

manual de uso de la madera para la construcción

Adrián Coto Portuguez

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO)
Oficina Nacional Forestal (ONF)

Lista de personas e instituciones que representan que revisaron el presente documento:

Alfonso Barrantes
Oficina Nacional Forestal (ONF)

Javier Fernández
Reducción de Emisiones por Deforestación y
Degradación, mas el incremento y conservación
de las reservas de carbono y el manejo

Héctor Arce
Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO)

Javier Chacón
Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos

Aarón Morales
Cámara de Construcción Costarricense (CCC)

Melissa Aldi
Colegio de Arquitectos

Walter Jiménez
Bomberos

Marco Quesada
MAPRO Productos de Madera

Claudia Salazar
Constructora Montesala S.A.

Jeannette Alvarado
Universidad Hispanoamericana

Carlos Álvarez
Unión Internacional de Arquitectos / Universidad Latina

Yolanda Rivas
Universidad Central

Laura Leandro
Consultora Independiente

José Antonio Flores
Universidad Hispanoamericana y constructor independiente

Gloria Elena Acuña
Instituto Nacional de Aprendizaje

Daniel González
Instituto Nacional de Aprendizaje

Silvia Campos
Instituto Nacional de Aprendizaje

Sergio A. Molina
Escuela de Ciencias Ambientales-UNA

Coautores y Colaboradores

- * Laura Leandro (Cap.1 y 2)
- * Alexander Brenes (Cap. 3)
- * Walter Jiménez (Cap. 6)
- * Carlos Álvarez (Introducción)
- * Vilma Quirós (Ilustración y Edición)
- * Kathya Solís (Diseño y Diagramación)
- * Cristián Navarro (Profesional Revisor)
- * José Antonio Flores (Anexo 3)

Julio 2015 - Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio existente sin la autorización explícita y escrita de FONAFIFO y ONF.
Este Manual no es de uso comercial.
Impreso por: Grupo Nación

PRÓLOGO

9

INTRODUCCIÓN

13

CAPÍTULO 1

LA MADERA

1. Introducción	16
2. Legislación	17
3. El recurso forestal nacional	17
4. Beneficios de la producción de madera de bosques y plantaciones, como sumideros de carbono	19
5. La estructura del árbol	22
6. Planos principales de la madera	25
7. Especies utilizadas en Costa Rica para la construcción	26

15

CAPÍTULO 2

PROPIEDADES DE LA MADERA

1. Introducción	30
2. Propiedades anatómicas	30
3. Propiedades físicas	33
4. Propiedades organolépticas	37
5. Propiedades químicas	40
6. Propiedades mecánicas	41
7. Propiedades eléctricas	42
8. Propiedades térmicas	42

29

CAPÍTULO 3

INGENIERÍA DE LA MADERA

1. Introducción	46
2. Conceptos básicos	46
3. Armaduras	53
4. Uniones estructurales	53
5. Tipos de uniones estructurales	55
6. Ensamblajes, juntas y empalmes en madera	63

45

CAPÍTULO 4

MADERAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

1. Introducción	74
2. La madera para la construcción	74
3. Maderas estructurales	76
4. Maderas no estructurales	84
5. La construcción en madera ante los riesgos	85

73

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN EN MADERA

1. Introducción	90
2. La madera en la construcción	91
3. Conceptos básicos	95
4. Productos industriales de madera para la construcción	102
5. Etapas de construcción en madera	109

89

CAPÍTULO 6

CONSIDERACIÓN DE SEGURIDAD EN CONSTRUCCIONES DE MADERA

1. Introducción	118
2. Protección por diseño	119
3. Construcción de edificios	121
4. Comportamiento de la madera ante el fuego	122
5. Resistencia al fuego de la madera	126
6. Protección de las estructuras de madera	127
7. Conclusión	130

117

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

133

ANEXO 1

ANÁLISIS COMPARATIVO

140

ANEXO 2

REVISTA HABITAR

143

ANEXO 3

NORMAS DE CONSTRUCCIÓN Y CERTIFICACIONES FORESTALES

148



Proyecto Escuela de Kekoldi

PRÓLOGO

Una fotografía tomada desde la Luna del planeta Tierra en 1969, nos hizo conciencia de la amplitud del Universo y de lo pequeño que somos....

Un lanzamiento de sonda en 1974, el Viking, reafirmo que somos un planeta único en el Sistema Solar....

En 1978, John Mercer advierte al Congreso de los Estados Unidos, que algo pasa, la capa de hielo de la Antártica se esta deshelando y es posible que la Tierra se este calentando.

Durante los 90, fotografías satelitales y mediciones confirman lo ya establecido por Mercer, pero además se descubre un agujero en la capa de Ozono tan grande como un país sobre la Antártica y que se expande rápidamente hacia el Norte.

A inicios del siglo XXI, los efectos del Calentamiento Global se hacen evidentes en los océanos, sequías continentales, lluvias y tormentas de magnitudes nunca antes experimentadas y el mundo inicia un proceso de defensa ante el ataque de la naturaleza, las ciudades se inundan por el aumento del nivel del mar, las poblaciones a nivel Mundial comienzan a migrar por razones ambientales a zonas mas protegidas...el mundo cambio para siempre.

En este contexto, la conciencia de que vivimos en un Planeta que se encuentra en una transición climática provocada en parte por el impacto de la huella humana y en parte por un ciclo natural del Planeta, hace que las sociedades contemporáneas comiencen a valorar un cambio de actitud cultural sobre el uso de los recursos naturales al tiempo que se establecen políticas para controlar las emisiones de carbono, metano y otros gases que producen el efecto invernadero hacia la atmósfera.

En este escenario, nos encontramos en un proceso de transición

social, cultural, político y económico, producto de no solo, de la nueva sociedad globalizada, sino además por los eventos naturales provocados por el calentamiento global que han venido afectando a poblaciones de toda la Tierra.

Si asumimos que más del 50 por ciento de la población mundial vivirá en ciudades para el año 2030, el impacto de la construcción con los actuales índices de contaminación del aire, del agua y de la tierra agrícola, se verán aumentados exponencialmente al tiempo que los índices sociales de exclusión social contribuyen a la creación de ciudades paralelas cuyos recursos constructivos dependerán de lo que se encuentre como residuos materiales para la construcción y consumo de energíay, cuyo impacto amplifica la erosión de los suelos así como la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

Por otro lado, el modelo de movilidad urbana basada aún en el combustible fósil, hacen que la tarea de neutralizar el Dióxido de Carbono sea una de las faenas más difíciles de lograr ante la presión de los intereses políticos y económicos de las transnacionales que aún ejercen el poder de influenciar a los gobiernos y parlamentos para hacer más lenta la migración hacia el consumo de energías limpias y sostenibles.

Su poder es tan grande, que son capaces de incitar a la guerra y crear crisis energéticas para poder lograr mayores rendimientos económicos durante un breve periodo de tiempo.

Este impacto además se ve apoyado por otros intereses económicos, tales como el de la industria del automóvil, los carteles de extracción mineral y de las industrias farmacéuticas y alimentarias que tienen como fin mantener el control no sólo de los recursos genéticos y tecnológicos, sino además el de la división del trabajo global con lo cual, la idea de un mundo interconectado se hace más precisa sobre ciertos intereses y rutas, que provocan

la sensación de lo irreversible de un proceso cultural que tiende hacia el agotamiento de los recursos así como el de la creación de una sociedad urbana que crece insaciablemente sobre las zonas de reserva de agua y otros recursos, causando cada vez mayor impacto en el territorio global.

Esta situación, ha generado una actitud de responsabilidad internacional sobre el impacto causado por los actuales sistemas de explotación de los recursos, los procesos de transformación industrial de materias primas y la producción agrícola, al tiempo que en los sistemas de consumo han tendido a cambiar las costumbres basadas en una nueva Cultura orientados hacia el concepto de sostenibilidad a fin de mitigar el impacto actual de los efectos del Cambio Climático.

En este sentido y como parte de esta conciencia globalizada de cambio, la Arquitectura y la industria de la Construcción han iniciado un proceso de redefinir sus estructuras de gestión y pensamiento, convirtiéndose en mas que una tendencia en una filosofía sobre la gestión responsable de la edificación.

Pero que significa la gestión responsable de la edificación?, ello significa un cambio de paradigma que va más allá de la simple selección de los materiales por cuanto además abarcan los procesos de gestión, extracción, eficiencia energética, minimización de residuos, capacidad de reposición y reutilización, bajo mantenimiento, incorpora un valor agregado a la salud y sobre todo, busca mejorar la calidad de vida de los habitantes del planeta, no sólo humanos, sino también a todas las especies biológicas que nos acompañan. En otras palabras, busca proteger la vida y sus relaciones sistemáticas en el amplio espectro de nuestro conocimiento.

En este sentido, los diseños arquitectónicos y su constructividad tienden hoy hacia la búsqueda de un sistema biofísico, o sea, que se acerque lo más posible a los sistemas naturales en sus procesos de vida, comprendiéndose ya la ciudad como un ente orgánico y por tanto, sus edificaciones como parte de los componentes de

un nuevo sistema biológico que tienda hacia la regeneración de su propio tejido y cuya adaptación sea capaz de amoldarse a las nuevas necesidades.

Así han nacido varios conceptos de abordaje sobre como construir nuestro futuro como sociedad y que no tiene caso nombrarlos aquí, a excepción de uno, el uso de la madera como material de construcción, que no sólo cumple con el cometido de la sostenibilidad, sino que además, es el único material capaz de lograr casi en su integridad, los parámetros científicos aptos para el nuevo paradigma de la evolución constructiva de la humanidad de los próximos siglos.

Es así, como el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal y la Oficina Nacional Forestal en Costa Rica, toman la iniciativa de generar un documento cuyo objetivo principal es el crear una estrategia para el desarrollo de la industria maderera en el país que se espera, tendrá amplias repercusiones sociales, económicas y políticas.

Las razones de ello, son que en el uso de la madera existe una oportunidad para regenerar los suelos y mejorar su capacidad productiva, al tiempo que ayudara a disminuir las islas de calor en las áreas urbanas.

Además, contribuye a la ampliación de reservas de recarga acuífera así como mejora la capacidad de migración de entes polinizadores que podrían llegar a regenerar los sistemas biológicos ínter dependientes y por tanto la creación de nuevos biomas, ecosistemas y biodiversidad, contribuyendo con ello a la mejora de la salud de los territorios selváticos primarios, así como en la transformación de territorios en bosques secundarios.

Así mismo, la madera tiene un impacto social, sobre todo para las comunidades de las áreas rurales que hoy ven disminuida su capacidad económica ante el cambio climático o bien de los mercados globales, generando con ello una nueva oportunidad de desarrollo humano que se encuentra además encadenada

a otras industrias tales como el turismo ecológico, la venta de oxígeno o bien en la industria de la construcción, no sólo de plantación y extracción sino también de los procesos de transformación.

En cuanto al aspecto técnico, la Madera es el material idóneo para la Construcción sostenible no solo por que no requiere de una mano de obra especializada, sino además por que sus implicaciones en la huella ecológica o humana son de bajo impacto.

Desde el punto de vista del Diseño, la madera se constituye junto con otros materiales naturales, en los preferidos por las personas para vivir atmosferas apropiadas de calidad espacial, al tiempo que psicológicamente, se ha comprobado que los seres humanos sienten mayor afinidad a vivir en espacios contruidos con materiales naturales que con los industriales.

Por ultimo, en Costa Rica, existió una vez una cultura del uso de la madera que se vio sustituida por la industria del cemento, hoy, ante las actuales circunstancias, se nos presenta una nueva oportunidad de volver a recuperar esa cultura constructiva que sin lugar a dudas, podrían generar esa tan ansiada identidad arquitectónica que andamos buscando.

Así las cosas, este documento desarrollado por el Arq. Adrián Coto Portuguese, podría ser la llave de la puerta que abre hacia el futuro de la construcción sostenible en nuestro país.

Arq. Carlos Álvarez Guzmán

Vice Presidente de la Región 3
Unión Internacional de Arquitectos
Director del Programa Arquitectura Responsable, Región 3 UIA



Escuela Katuir

INTRODUCCIÓN

El presente Manual es una guía básica para aquellas personas que deseen aprender e iniciarse sobre la madera como material de construcción, tanto para personas que toman decisiones en la contratación de obras constructivas, constructores, maestros de obras, así como profesionales de arquitectura e ingeniería.

La madera en el transcurrir de los años ha perdido posicionamiento como material de construcción, siendo sustituida por materiales como el concreto, muros secos etc. quedando relegada a usos básicos y de apoyo a otros materiales y peor aún en los últimos años, se ve para formaleta y apuntalamiento, el tabla yeso, por ejemplo, lo ha sustituido cien paredes y cielos, además se han creado mitos alrededor de la misma, que en muchos casos son falsos, tales como... construir con madera es más caro... o es un material de menor durabilidad... o es un material más sensible al fuego... entre otros y como veremos, son solo mitos.

Es importante concientizarse sobre las ventajas de construir con madera ya que como material es versátil, existiendo tantos tipos de madera como aplicaciones y necesidades constructivas, siendo además mucho mas ligera y su relación resistencia/peso es 10 veces superior al hormigón y 1,3 al acero, es durable si se le da el adecuado tratamiento, volviendo resistente a los insectos y a la humedad, además de gozar de una capacidad aislante de las mayores en la naturaleza, si tenemos una pieza del mismo grosor de un ladrillo de barro su aislamiento térmico es 4 veces superior y como aislante para el ruido es recomendable para auditorios y aulas pues genera menos ruidos y ecos, frente al fuego en piezas estructurales de buen grosor las mismas se carbonizan en su exterior evitando la oxigenación en su parte interna, protegiendo de posibles deformaciones y el colapso de la

estructura y es superior que el acero y el hormigón ante este evento, todavía mas si se da un tratamiento ignífugo y por ultimo es de fácil manejo y de rápido montaje.

Ah... y no olvidemos que es reciclable, biodegradable y reutilizable

Seis Capítulos conforman el presente "Manual", cuatro de ellos dedicados a una descripción de las propiedades de la madera, un quinto capítulo se explica cómo aplicar la madera a la construcción y da un ejemplo de un sistema constructivo y por último, una explicación de parte del Cuerpo de Bomberos como se deben aplicar las normas de seguridad, recordemos que se aplica en nuestro país la Norma NFPA 101, norma creada en los Estados Unidos de Norteamérica y este país utiliza la madera de una manera intensa, por lo que es importante para romper varios mitos de la misma ante el fuego, asimismo se acompañan anexos pertinentes al tema, entre ellos una tabla comparativa de Valores por metro cuadrado en construcciones de madera y prefabricado, en una experiencia real dirigida por el Banco Mundial (BIRF) en donde se demuestra que los costos de construcción en madera son menores que construir en prefabricado, estos datos se basan en los costos finales de construcción y no en un presupuesto.

Es importante hacer énfasis que el presente "Manual" es una introducción al tema, con un lenguaje sencillo, sin entrar en temas técnicos complejos, pretende de ser de fácil comprensión para que además de los arquitectos e ingenieros sea accesible a maestros de obra, carpinteros, ebanistas, estudiantes de diferentes profesiones, comercializadores de madera entre muchos otros.



Escuela Patiño



CAPÍTULO

LA MADERA

1. Introducción

La madera es el recurso material del bosque más valioso, no solo por todos los beneficios y productos asociados a su establecimiento y desarrollo, sino también por los aportes a la construcción, arquitectura, ingeniería e infraestructura de la sociedad.

Costa Rica como país tropical tiene una gran diversidad de flora, las especies forestales constituyen un grupo muy significativo de esa flora con 2500 especies, distribuidas en 130 familias y aproximadamente 700 géneros (Flores y Obando, 2003), muchas de ellas son maderables y con alto valor comercial. Históricamente nuestro país ha construido con madera; en la época precolombina se utilizaron especies de alta resistencia para la construcción de casas, puentes y algunas otras para elaborar muebles, paralelo a esto muchas otras especies fueron descubiertas y se fueron agregando a la lista de favoritas de los costarricenses, como la caoba (*Swietenia* sp.) y los cedros (*Cedrela* spp.), así como algunas leguminosas (Fabaceae) que en general producen excelentes maderas en los géneros *Dalbergia* (cocobolos), *Myroxylon balsamum* (bálsamo), *Peltogyne purpurea* (nazareno) y *Plastymiscium* spp. (cristóbal) (Jiménez et al., 2011).

Nótese que todas las especies anteriormente mencionadas y conocidas con una denominación o nombre común (o vulgar) poseen también un nombre científico (generalmente conformado por el género y la especie), esto para evitar confusiones de una misma especie en diferentes lugares. El uso correcto de los nombres científicos de las especies arbóreas de uso forestal y de otros usos en Costa Rica, es una obligación que todo profesional relacionado con los recursos naturales debe dominar, debido fundamentalmente a los cambios que se establece en la taxonomía; asimismo, los que surgen para los nombres comunes en las diferentes regiones del territorio nacional (Quesada y Fernández, 2005).

Generalmente muchas de las especies aprovechadas antes de los años 80's, eran abundantes además de poseer grandes diámetros, lo que ocasionó la sobreexplotación de dichas especies de madera aunado a la expansión agrícola que produjo gran cantidad de materia prima disponible. Sin embargo la escasez actual de madera y la introducción de especies en su mayoría exóticas que poseen diámetros menores, han provocado un cambio tecnológico en la industria de la madera nacional.

Actualmente las especies más plantadas en el país son la teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*), las cuales fueron introducidas en el país en los años 20 y 60 respectivamente (Rojas, 2005) y abastecen la mayor demanda de madera a nivel nacional; contrario a lo que se piensa la madera que se consume en el país no viene de la tala ilegal e indiscriminada del bosque, sino de plantaciones y también de bosques manejados de forma sostenible. Dichas especies se utilizan en la elaboración de tarimas, construcción general y muebles finos de exportación, entre muchos otros usos, además de contribuir a la captura de CO₂ producido por la quema de combustibles fósiles. Otras especies introducidas importantes para el sector forestal del país son: el ciprés (*Cupressus lusitanica*), la acacia (*Acacia mangium*), los eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) y los pinos (*Pinus* spp.). Cabe mencionar que la producción e importación de otras especies maderables, así como la oferta de otros materiales de construcción sustitutos de la madera, la han ido desplazando, aunque también se trabaja fuerte en la reforestación con especies locales como: laurel (*Cordia alliodora*), caobilla (*Carapa guianensis*), botarrama y cebo (*Vochysia* spp) pochote (*Bombacopsis quinata*), jaúl (*Alnus acuminata*), pilón (*Hyeronima alchorneoides*) y termina lías (*Terminalia* spp).

Según Tuk (2010) en la actualidad el consumo de madera ha bajado con respecto a finales del siglo XX. En el sector construcción, a partir de la década de los 80 se dejaron de

construir las partes de edificaciones como cerchas y clavadoras de regla de madera semidura y fueron sustituidos por el perfil laminado en frío, llamado vulgarmente perling. En paredes se dejó de usar tablilla en favor de materiales como el tabla yeso, placas cementicias, entre otras sobre estructuras de elementos de hierro galvanizado en chapa doblada en frío, llamada comúnmente furring. Así también, sustituyó el uso de contrachapados, comúnmente conocido como plywood por el aglomerado por placas de MDF, yeso o cementicias de producción local o importada. Cabe resaltar que dichos materiales son altos consumidores de energía para su procesamiento, lo que aumenta el efecto de invernadero en el planeta además algunos de ellos son altamente tóxicos.

El objetivo de este manual es reposicionar el uso de la madera producida localmente de fuentes legales y sostenibles, ya sea de plantaciones o de bosques manejados, haciendo memoria de todos los beneficios que nos da la naturaleza al producir este material, es decir desde que el árbol está en pie capturando carbono, hasta el mueble que lo almacena y contribuye a la carbono neutralidad de Costa Rica.

2. Legislación

Costa Rica comienza sus políticas para la conservación, protección y fomento de los recursos forestales a finales de la década de los 60's con la Ley Forestal 4465, 25 de noviembre de 1969, la cual sufre una primer modificación

en 1986 con la emisión de la Ley Forestal 7174, del 28 de junio de ese año.

En 1996 se firma la actual Ley Forestal, No. 7575. Para 1998 a través del Decreto No.27388, se plantean los principios, criterios e indicadores a través de la Comisión Nacional de Certificación Forestal, para que finalmente en 2008 y a

través del Decreto No. 34559, se establecen los estándares de sostenibilidad forestal.

Recae sobre diferentes instituciones la responsabilidad de cumplimiento de estas y otras normativas, entre las que figuran el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), la Oficina Nacional Forestal (ONF), y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO).

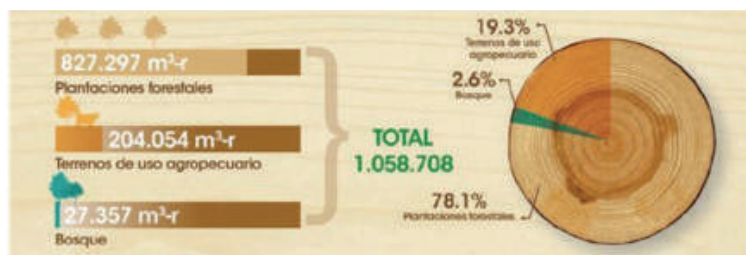
3. El Recurso Forestal Nacional

Costa Rica se caracteriza por tener una ubicación geográfica muy particular, lo que nos ubica en un bosque tropical rico en especies maderables muy preciadas, dentro de los principales bosques de nuestro país podemos identificar el bosque nuboso, el páramo, bosques pluviales, húmedos y muy húmedos hasta el bosque seco ubicado en el pacífico norte de Costa Rica. Todos ellos producen diferentes tipos de especies de maderas, las cuales poseen características distintas para cada uso particular. Lo que justifica conocer a profundidad la dinámica de dichos bosques y las prácticas de silvicultura, adecuadas para poder asegurar el buen uso de dichas especies y su permanencia dentro de nuestros ecosistemas.

En el mundo existen cerca de 4000 millones de hectáreas de masas boscosas, lo que representa la tercera parte de los terrenos del planeta (FAO, 2011), en Costa Rica el 52% del territorio está bajo cobertura forestal y el 25% son reservas protegidas públicas y privadas, por otro lado existen cerca 90000 hectáreas plantadas que incluyen especies nativas y exóticas, aunque este dato es incierto. Además existe incertidumbre sobre la tasa de reforestación actual en el país y la eventual carencia de materia prima en el futuro.

La Oficina Nacional Forestal (ONF) señaló que para el año

2012 casi el 80% de la madera producida en el país provino de plantaciones forestales sostenibles, las cuales fueron establecidas con el fin de obtener este material. Otra fuente importante de materia prima fue la obtenida a partir de terrenos de uso agropecuario (casi un 20%) y menos de un 3% de la madera consumida en el país se obtuvo de bosques, los cuales también son aprovechados y manejados según rigurosos criterios técnicos que pretenden causar el menor impacto posible e imitar su dinámica natural para asegurar su permanencia; aunque no se puede descartar que siempre se tale madera de forma ilegal (figura 1).



Fuente: Barrantes y Ugalde, ONF, 2013.

Figura 1. Volumen de madera procesada en la industria primaria según su fuente en Costa Rica en el 2012.

Dentro de los productos más sobresalientes que se elaboraron a partir de la materia prima producida localmente, se encuentran las tarimas, las cuales son utilizadas en la exportación de productos agrícolas (figura 2) y en la mayoría de las veces elaboradas en madera de melina. Para el año 2012 se elaboraron 5 626 673 unidades, lo que generó \$61,89 millones al sector forestal (ONF, 2013). Estas se fabricaron a partir de madera de diámetros menores, su aprovechamiento mejoró la rentabilidad de las plantaciones forestales, además que tuvo un impacto social positivo, ya que empleó a casi 1500 personas.



Fuente: Barrantes y Ugalde, 2013.

Figura 2. Principales usos de la madera en Costa Rica en el 2012.

Por otro lado el sector construcción es un actor importante en la utilización de la madera, ya sea para cimentación o reparaciones internas, externas, sencillas, rústicas, con alta especialización ingenieril, así como de lujo. La ONF (2013) afirma que el consumo de la madera ha disminuido en los últimos años, en parte debido a la exceso de requisitos para el aprovechamiento de la madera proveniente de manejo de bosque sostenible, además de la gran competencia de otros materiales sustitutos producidos localmente e importados, la pérdida de mano obra especializada, desconocimiento de las propiedades de madera de plantaciones, imposiciones legales para la construcción, entre otros.

La industria de la mueblería también sigue posicionada de manera relevante en el gusto de los costarricenses, y a pesar de una leve disminución en su consumo debido a la importación de muebles de otros materiales de corta duración y alta huella de carbono, aproximadamente el 12% de la madera producida, se utilizó para este fin. La exportación de madera en bruto y aserrada es aproximadamente el 20% de la producción nacional y los principales destinos de las exportaciones fueron Estados Unidos, Singapur, India, Vietnam y China. Apenas un 2% se emplea para la fabricación de tableros, lápices y otros productos (ONF, 2013).

4. Beneficios de la producción de madera de bosques y plantaciones, como sumideros de carbono

Como se mencionó anteriormente la mayoría de madera utilizada en el país proviene de plantaciones forestales y bosques manejados de forma sostenible. Ambos tipos de maderas son recursos renovables que nos pueden asegurar materia prima de forma indefinida, además de brindar grandes beneficios al ecosistema como el enriquecimiento del suelo, fuente de vida silvestre y biodiversidad, regula el ciclo hidrológico, disminuye la contaminación atmosférica, entre muchos otros.

Dentro de los beneficios más destacados en la actualidad, es que el cultivo de especies forestales y el consumo de productos de madera es una de las principales fuentes de captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CO_2) y su costo es relativamente bajo. Según Ordóñez y Masera (2001) la vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos períodos, a través de la fotosíntesis, es por esta razón que las plantaciones y los bosques son importantes sumideros de carbono.

Para detallar más el proceso de la captura y almacenamiento del carbono por parte de los árboles, es importante saber que una vez que el dióxido de carbono atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse. El árbol al crecer va incrementando su follaje, ramas, flores y frutos; así como altura y grosor del tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, dando lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía

solar originando a su vez un dosel cerrado.

Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, misma que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable que, a su vez aporta nuevamente CO_2 al entorno. Simultáneamente los troncos, al ir incrementando su diámetro y altura, alcanzan un tamaño tal que pueden ser aprovechados con fines comerciales.



Fuente: ASPAPEL
Figura 3. Ciclo sustentable del papel.

De este aprovechamiento se extraen productos como: tablas, tablonés y piezas pequeñas, que darán origen a subproductos elaborados como muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando carbono al suelo y CO_2 producto de su descomposición a la atmósfera. Finalmente durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es reemitido (ya sea al suelo o a la atmósfera), se considera que se encuentra almacenado. En el momento de liberación (ya sea por descomposición de la materia orgánica y/o la quema de la biomasa) el carbono fluye para regresar a su ciclo (Ordóñez, 1998 y 1999, citado

por Ordóñez y Masera, 2001).

En la figura 3 se muestra el ciclo sustentable del papel el cual es un producto elaborado a partir de la madera y aunque en nuestro país éste no se fabrica, es indispensable en nuestras vidas. Dicho ciclo se puede homologar al uso del papel que importamos, al de la madera utilizada en la construcción y al de los muebles de madera. Cabe destacar que el papel que se utiliza en todo el mundo proviene en su gran mayoría de bosques plantados, los cuales fueron establecidos para obtener tal producto y si bien es cierto que existen algunas especies de bosque natural con fibras apropiadas para extraer celulosa, es un gran error decir que si consumimos papel estaremos matando a un árbol del bosque, como muchas campañas publicitarias mencionan. Esa afirmación es incorrecta.

Como vemos en la figura 3 al inicio del ciclo vemos el establecimiento y desarrollo sostenible de las plantaciones, que a su vez generan vida silvestre y otros bienes y servicios, el más importante de todos es la captura del CO₂ atmosférico y posterior conversión a oxígeno. Otro de ellos es la madera, la cual puede ser procesada en aserraderos a productos de mayor valor agregado y posteriormente con ella se construirán nuestras casas y muebles. Por otro lado obtenemos la celulosa que es la materia prima para la elaboración del papel y cartón, de los que existen gran variedad, tipos, densidades, etc. Nótese que todos estos productos además de haber almacenado carbono durante el desarrollo del árbol, también lo hacen en forma de dichos productos, que además pueden ser utilizados por muchos años y posteriormente reprocesados para obtener otros productos, y es en este proceso cuando nuevamente se va liberar el dióxido de carbono y el ciclo vuelve a iniciar.

Es preciso mencionar que nuestro país desea llegar a ser una economía neutral en el 2021, por lo que es vital aumentar la tasa de reforestación del país, consumir madera y manejar nuestros bosques y plantaciones de forma sostenible para poder

convertirlos en sumideros de carbono de forma permanente. Además dentro del Plan Nacional de Desarrollo Forestal (MINAET, 2011) se menciona que existen enormes desafíos que deben ser abordados en esta década; los relacionados a este tema son:

- Asegurar el abastecimiento sostenible de la madera y productos no maderables en el mediano plazo, para evitar una mayor presión sobre los bosques y una peligrosa reducción de las reservas de carbono por deforestación y degradación forestal.
- Aumentar el consumo per cápita de madera que ha venido
- Carbono, tales como: aluminio, concreto, acero y plástico, entre otros.
- Mejorar la competitividad de la industria forestal, propiciar cadenas productivas entre empresarios de todas las escalas y promover la inserción de los bienes y servicios forestales, tanto en el mercado local, como en mercados internacionales para aprovechar las oportunidades que brinda la apertura comercial.

Como promedio un árbol absorbe a través de la fotosíntesis, el equivalente a una tonelada de CO₂ por cada metro cúbico de madera, al mismo tiempo que produce el equivalente a 0,7 toneladas de oxígeno. Cada metro cúbico de madera usado como sustituto de otros materiales de la construcción reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera en 1,1 toneladas. Si añadimos esto a la tonelada almacenada en la madera, cada metro cúbico ahorra un total de 2,1 toneladas de CO₂ (Vega, 2014), además que al finalizar su ciclo de vida, la madera se recicla o se revaloriza sin efectos de contaminación (Hernández, 2010). Es decir los gases contaminantes producidos de la quema de los combustibles fósiles, son utilizados por el árbol, fijados en la madera y convertidos en oxígeno, en otras palabras el consumo de la madera le ayuda al medio ambiente.

Además cabe mencionar que la madera como material de construcción posee una alta resistencia con respecto a su

peso y como lo muestra el cuadro 1, tiene requerimientos energéticos para sus procesamiento relativamente bajos en comparación con otros materiales utilizados en construcción. También se puede aserrar, procesar, secar, pintar, preservar, así como transformarla a productos de alto valor agregado; esto gracias a la variabilidad de texturas, densidades, colores, composiciones físicas y químicas y particular belleza, lo que a su vez da como resultado la gran versatilidad de usos: desde un puente con alta resistencia a esfuerzos mecánicos, hasta finas artesanías, pisos durables, lujosas puertas, ataúdes, hasta maquetas arquitectónicas.

MATERIAL	Kwh/Ton	KWh/m ³
Hormigón 1:3:6	275	600
Hormigón 1:2:4	360	800
Cemento	2200	2860
Mortero	277	400
Acero	13200	103000
Aluminio	2700	75600
Madera local secada al aire	200	110
Mader verde	200	220
Plásticos	45000	47000

Fuente: Pat Borer, Centre for Alternative Technology.

Cuadro 1. Requerimientos de energía para producción de materiales de construcción.

Cuando hablamos de madera de bosque o de plantación, debemos recordar además la gran cantidad de productos tangibles derivados de los mismos, no solo la materia prima para la construcción y en tiempos antiguos el material para producir fuego y elaborar herramientas; también uno de los más importante a través de la historia es el papel, indispensable para el desarrollo de nuestra civilización, sin olvidar la gran cantidad de alimentos, resinas, medicinas y otros productos

industriales de importancia económica a nivel mundial.

Y aunque se puede hablar extensamente de las bondades de la madera, también es bien conocido que posee algunas limitaciones en cuanto a su uso y procesamiento, sin embargo éstas son más bien producto del desconocimiento del material, por lo que se hace indispensable su estudio minucioso. Por ejemplo los tres principales defectos que se le atribuyen son: su inestabilidad dimensional, es decir que cambiar su forma cuando se expone a la humedad relativa del ambiente y la temperatura, ya sea que se hinche o que se contraiga, además de producir defectos como grietas y torceduras. Sin embargo con un adecuado secado de la madera, esto se puede evitar, en el próximo capítulo se detallará más sobre este tema.

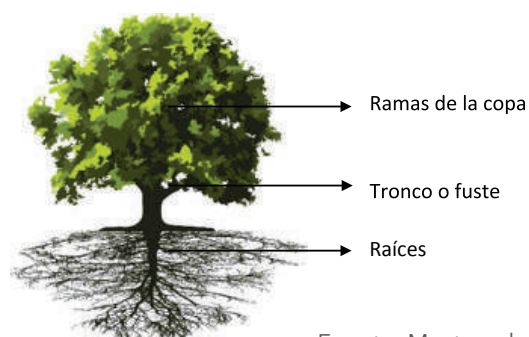
Otra debilidad de la madera es su composición biodegradable, lo que la hace susceptible al deterioro de agentes bióticos y abióticos; de los más importantes en nuestro país son algunas larvas de abejones (coleópteros), mariposas (lepidópteros), termitas de madera seca (isópteros) y algunos hongos de pudrición. El ataque de estos organismos le sucede a muchas especies de maderas de plantaciones que no poseen una alta durabilidad natural, no así sucedía con muchas de las especies maderables tradicionales que se utilizaban en el pasado, ya que muchas de ellas eran muy resistentes a estos daños, de hecho su alto valor comercial se debía en parte a alta durabilidad natural. Sin embargo para mejorar la vida útil de estas maderas de bosques plantados, se les puede aplicar diferentes sustancias químicas, así como tratamientos perseverantes dependiendo de la especie y el uso final de la misma. En Costa Rica varias empresas ofrecen el servicio y mucha de la madera importada de otros países ya viene preservada. En los próximos capítulos este tema será abordado en detalle.

Por último el mito más popular que ha creado mala reputación a la madera, es que es inflamable y que las estructuras construidas con ésta se queman con facilidad y a una alta velocidad, lo cual es absolutamente falso; si bien es cierto

la madera es combustible, pero no es inflamable, ni tiende a colapsar cuando entra en contacto con las llamas, lo que si ocurre con otros materiales (Fournier, 2008), y también existen en el mercado sustancias químicas retardantes del fuego que disminuye el riesgo a este tipo de daño. Todos estos temas serán analizados en detalle en el próximo capítulo.

5. La estructura del árbol

Los árboles son plantas leñosas que tienen una parte aérea formada por el tronco o fuste y ramas de la copa. La parte subterránea está constituida por las raíces. Estas plantas superiores tienen como características relevantes el ser perennes, con crecimiento secundario en diámetro y poseer células lignificadas (Díaz-vaz, 2003). Por otro lado la madera es un material biológico de origen vegetal, cuando forma parte del tronco de los árboles sirve para transportar el agua y las sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, da soporte a las ramas que forman la copa y fija las sustancias de reserva almacenando los productos transformados en las hojas. Todas estas funciones determinan la naturaleza de la madera (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

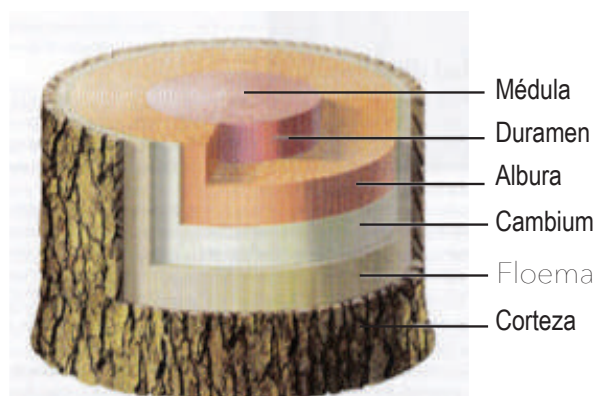


Fuente: Masterschool.
Figura 4. Partes de un árbol

La forma particular de crecimiento que tienen los diferentes tipos de árboles, produce infinidad de distintos tipos de maderas. Debido a esto, la diversidad en las propiedades y singularidades que tiene la madera no sólo significa que ella es apropiada para diferentes usos, sino que algunas especies son principalmente adecuadas para un tipo de producción y menos o no adecuadas para otros. De lo anterior resalta la importancia de conocer las características de cada madera y así decidir los usos más adecuados para cada una de ellas (Díaz-vaz, 2003).

Por otro lado si se realiza un corte transversal en el tronco del árbol, se observará que desde el exterior al interior está formado por las siguientes partes: corteza, floema, cambium, albura, duramen y en el centro un corazón llamado médula (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988). La corteza contiene filas de células muertas densamente empaquetadas, cuyas paredes están engrosadas con una sustancia grasa llamada suberina, su función es proteger, aislar e impermeabilizar la superficie del tallo o de la raíz. Asimismo, se forma en las heridas de los tejidos (Starr et al., 2009).

El floema es la corteza interna, es la porción de tejidos encargada del transporte del agua y alimento dentro del árbol. Cuando pierde actividad, los tejidos mueren y pasan a formar parte de la corteza aumentando su función protectora. El cambium vascular es una capa microscópica constituida por células vivas y de paredes muy delgadas, que se interpone entre la corteza y la madera. A través del proceso de división celular, el cambium produce en mayor proporción madera hacia la parte interna del árbol y en menor proporción corteza hacia la parte externa, aumentando así el diámetro del tronco. (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

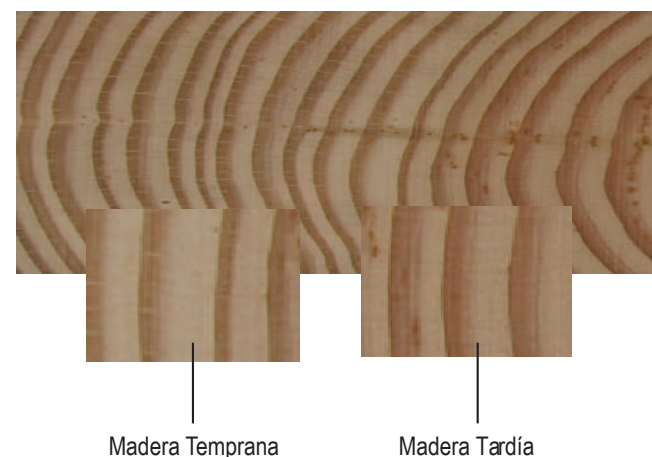


Fuente: Mader (2008).
Figura 5. Tronco del árbol.

La albura es un xilema húmedo y todavía funcional que se encuentra entre el duramen y el cambium vascular (Starr *et al.*, 2009). En un árbol vivo, el agua es transportada solo a través de la albura, el duramen no participa en esta función. La albura suele ser menos densa y menos durable al ataque de los xilófagos, pero más fácilmente impregnable que el duramen. Por lo tanto, la protección frente insectos y hongos suele ser más sencilla (Confemadera, 2014).

En la formación de la madera de albura se distinguen la madera temprana con paredes delgadas y color claro y células de origen tardío con paredes gruesas y color oscuro, que dan lugar a zonas de crecimiento diferenciados denominados anillos de crecimiento (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

La madera temprana también se conoce como madera de primavera o inicial y la madera tardía como madera de verano o final. En la figura 5, se observan las diferentes coloraciones para ambos tipos de maderas. El duramen se encuentra en el interior del tronco, suele exhibir una coloración generalmente más oscura que la albura, así como una mayor durabilidad y



Fuente: Faculty of Forestry and Wood Science.
Figura 6. Anillos de crecimiento compuestos de madera temprana y madera tardía.

suele ser menos impregnable a los productos de acabado y protección (ver figura 4) (Confemadera, 2014). Para las maderas comerciales, generalmente, solo el duramen es de valor y la albura no es deseable; no hay diferencia estructural apreciable entre duramen y albura. La médula es el tejido que se forma antes de la producción de la primera madera en el árbol (Wiedenhoeft, 2011).

En la sección transversal del fuste, ramas y raíces también se puede observar una serie de círculos concéntricos que forman los anillos de crecimiento (Díaz-vaz, 2003). Si se cuentan estos anillos podrá determinarse la edad del árbol, los anillos internos de los árboles más viejos, es decir el duramen; transcurrido cierto período dejan de cumplir la función de transporte de agua. Las células se tapan con depósitos, como resinas, gomas y otras sustancias que inhiben el crecimiento de bacterias y hongos (Mader, 2008). A este proceso se le conoce como duraminización.

Los anillos anuales no sólo son importantes para conocer la edad del árbol, sino que pueden servir como registro histórico de crecimiento. Por ejemplo, si las lluvias y otras condiciones fueron en extremo favorables durante una estación, el anillo anual será más ancho que lo ordinario. Si algunos de los lados de un árbol fue cubierto por otro o por un edificio, los anillos serán más anchos en el lado favorable (Mader, 2008).

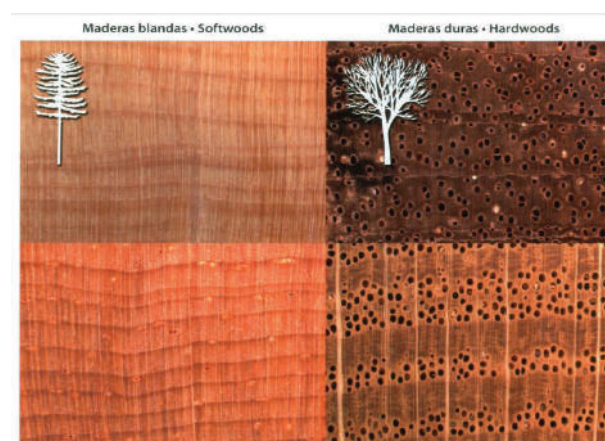
Del total de las especies arbóreas existentes un grupo corresponde a las coníferas, estos son árboles de copas más o menos piramidales cuyas hojas, en general tienen forma de agujas. Otro grupo lo constituyen las especies latifoliadas, árboles que presentan hojas en forma laminar y en general, ramas que se bifurcan adquiriendo forma dendrítica (Díaz-vaz, 2003), la mayoría de especies que crecen en nuestro país son latifoliadas, ver figura 6.

Las diferencias entre las especies coníferas y latifoliadas, también se manifiestan en las maderas que producen estas especies. Es así como las maderas de coníferas son denominadas vulgarmente maderas blandas, en consideración a que la mayoría tiene densidades que oscilan entre los $0,30 \text{ g/cm}^3$ y los $0,55 \text{ g/cm}^3$. Por su parte, las especies latifoliadas son denominadas maderas duras, ello por cuanto un número importante tiene densidades mayores a los $0,60 \text{ g/cm}^3$.

Sin embargo, es necesario tener en consideración que no todas las coníferas tienen densidades reducidas, ni todas las latifoliadas densidades altas (Díaz-vaz, 2003). Un buen ejemplo de ello es la popular madera de balsa (*Ochroma pyramidale*) que es una especie latifoliada extremadamente suave y posee una densidad promedio de $0,13 \text{ g/cm}^3$ (Carpio, 2003). En la figura 6, se muestran las diferencias de estructuras de ambos tipos de madera, las cuales además se estudiarán en detalle, en los próximos capítulos.

De acuerdo al largo de las células que componen la madera, se distinguen maderas de fibra larga y maderas de fibra corta. Se conoce a las coníferas como de fibra larga y a las latifoliadas de fibra corta, aunque al igual que en el caso de la separación entre maderas duras y blandas, las denominaciones de fibra larga y fibra corta no coinciden necesariamente en todos los casos. Independientemente de si se trata de maderas blandas, duras, de fibra corta o larga, los árboles de coníferas y latifoliadas empleados en producción forestal, concentran parte importante de su biomasa en los troncos. La madera que constituye estos troncos o fustes, cumplen principalmente con tres funciones: sostén, transporte y almacenamiento (Díaz-vaz, 2003).

Maderas blandas: coníferas Maderas duras: latifoliadas



Fuente: Wiedenhoeft (2011); Science-art; The Wood Guide.

Figura 7. Dos ejemplos de la superficie transversal de maderas blandas y duras, así como la imagen de un árbol genérico para cada tipo de madera.

La función más importante de la madera en un árbol vivo es la conducción de agua desde las raíces hasta el tronco, a lo largo de las ramas y hasta las hojas, si un árbol falla en esta tarea, éste muere rápidamente. La otra función de la madera es el soporte mecánico, es decir sostener en el aire el tallo, ramas, hojas, flores

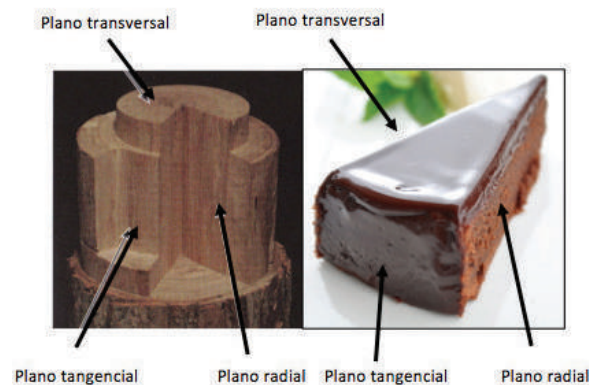
y frutos. La menos obvia de las tres funciones de la madera es el almacenamiento y la síntesis de bioquímicos (Wiedenhoeft, 2011). Los compuestos y elementos que son almacenados no han sido empleados por la actividad del árbol (Díaz-vaz, 2003).

6. Planos principales de la madera

En la madera se pueden observar tres planos que corresponden a tres direcciones; una de ellas transversal y dos longitudinales, de las que una es radial y la otra tangencial. La dirección transversal es perpendicular al eje vertical del tronco del árbol; la longitudinal radial es el corte en sentido paralelo al radio y la longitudinal tangencial es perpendicular al sentido del radio (ver figura 7) (Blanco *et al.*, 2003).

Esta compleja organización estructural hace de la madera un material anisotrópico, es decir con propiedades diferentes en sus tres planos de corte, que la convierten en un elemento muy particular y con propiedades diferentes a otros materiales tradicionalmente empleados en la construcción (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

Por ejemplo en la figura 8, se muestran las diferencias existentes entre la madera temprana y tardía no solo en las secciones transversales, sino también en las secciones longitudinales, en las que se pueden observar a simple vista, las figuras que producen las maderas tardías de los anillos de crecimiento. Estos dibujos corresponden al veteado y que varían su forma según el plano observado. En las secciones tangenciales, los anillos de crecimiento producen un diseño ondulado y piramidal, producto del ángulo formado por el corte longitudinal paralelo al eje y la forma cónica de los anillos, este dibujo es del tipo floreado

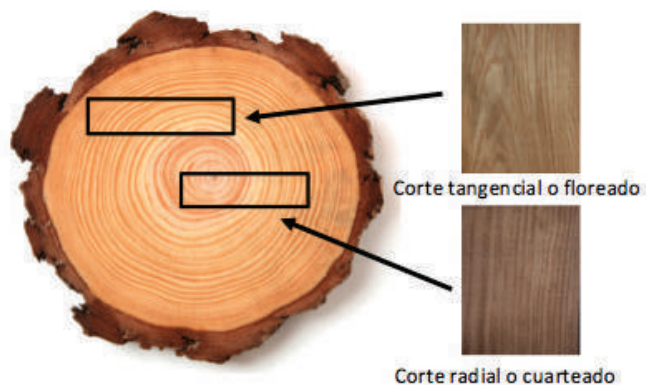


Fuente: Wiedenhoeft (2011); Linio.

Figura 8. Planos de corte de la madera ilustrados en dos formas diferentes.

A la izquierda hay una imagen de un tronco pequeño que ha sido cortado a través del grano para exponer la superficie transversal y a lo largo del grano para exponer las superficies radial y tangencial. Al lado derecho, un trozo de pastel muestra los tres planos de corte: del centro al borde del pastel se muestra la superficie transversal. Los lados cortados representan las superficies radiales y la costra exterior curva del pastel es la superficie tangencial.

Mientras que en las secciones radiales, la diferencia de tonalidad entre madera temprana y tardía, producen un dibujo de líneas longitudinales y paralelas, el cual es denominado cuarteado (Díaz-vaz, 2003).



Fuente: Formaswood
Figura 9. Tabla floreada y cuarteada

7. Especies utilizadas en Costa Rica para la construcción

Como se mencionó anteriormente, muchas de las especies de maderas costarricenses provenientes de bosques o de plantaciones forestales aparte de tener gran belleza, también poseen excelentes propiedades constructivas, ya sea por su trabajable fácilmente, así como gran resistencia a esfuerzos mecánicos o a la exposición a la intemperie. A continuación en el cuadro 2 se presenta una lista de las especies maderables más utilizadas en el sector de la construcción, carpintería y mueblería hoy día, a lo largo del manual se mencionarán algunas otras, que aunque no son tan frecuentes en la actualidad también poseen excelentes cualidades.

Nombre común	Nombre científico	Uso
Acacia	<i>Acacia magnium</i>	Construcción y carpintería en general
Almendro	<i>Dipteryx panamensis</i>	Construcción pesada, puentes, pisos
Botarrama	<i>Vochysia ferruginea</i>	Construcción y carpintería en general
Caobilla	<i>Carapa guianensis</i>	Construcción y mueblería en general
Chanco	<i>Vochysia guatemalensis</i>	Construcción liviana interna en general
Cedro	<i>Cedrela spp.</i>	Construcción y mueblería en general
Cenízaro	<i>Samanea saman</i>	Ebanistería y mueblería en general
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	Construcción y mueblería en general
Eucapilto	<i>Eucalyptus spp.</i>	Carpintería en general, construcción liviana
Fruta dorada	<i>Virola koschnyi</i>	Construcción liviana, ebanistería
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Construcción y mueblería en general
Jaul	<i>Alnus acuminata</i>	Mueblería en general, fósforos, ataúdes
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Construcción y mueblería en general
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	Construcción y mueblería en general
Níspero	<i>Manilkara chicle</i>	Construcción durable y pesada, traviesas
Pilón	<i>Hieronyma alcomeoides</i>	Construcción pesada en general, puentes
Pino	<i>Pinus spp</i>	Construcción y mueblería en general
Pochote	<i>Bombacopsis quinata</i>	Construcción y ebanistería en general
Teca	<i>Tectona grandis</i>	Construcción y mueblería en general
Terminalia	<i>Terminalia spp.</i>	Construcción pesada, puentes, pisos

Fuente: Elaboración propia, Carpio (2003).
Cuadro 2. Especies más utilizadas en construcción en el país.

Referencias bibliográficas

- Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón. 2014. Sitio oficial. En línea www.aspapel.es

- Barrantes, A; Ugalde, S. 2013. Balanza comercial y principales tendencias de las exportaciones e importaciones de madera y muebles de madera en Costa Rica. Estadísticas 2012. Oficina Nacional Forestal, San José, Costa Rica.

- Barrantes, A; Ugalde, S. 2013. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2012. Oficina Nacional Forestal, San José, Costa Rica.

- Blanco, L.; Carpio, I.; Muñoz, F. 2003. Fichas técnicas de especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

- Carpio, I. 2003. Maderas de Costa Rica. 150 especies forestales. Segunda edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

- Confederación Española de Empresas de la Madera (Confemadera). 2010. (en línea). <http://www.confemadera.es/rs/99/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/dc5/filename/conceptos-basicos.pdf>

- Diaz-vaz, J. 2003. Anatomía de la madera. 1ª ed. Marisa Cuneo Ediciones. Chile.

- Faculty of Forestry and Wood Science. 2014. Sitio oficial, en línea www.fld.czu.cz

- Flores, E.; Obando, G. 2003. Árboles del Trópico Húmedo. Importancia socioeconómica. Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica.

- Formas Wood. 2014. Sitio oficial, en línea www.formaswood.cl

- Fournier, R. 2008. Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades. Tecnología en Marcha. 21(4): 92 – 101.

- Hernández, H. 2010. Editorial: el mañana es la edad de la madera. Maderas ciencia y tecnología. 12(2) 67-68.

- Jiménez, Q.; Rojas, F.; Rojas, V.; Rodríguez, L. 2011. Árboles maderables de Costa Rica. Ecología y silvicultura. Segunda edición. Editorial INBio. Costa Rica.

- Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del grupo andino para la preservación de la madera. Editorial PRID-MADERA. Cartagena. Colombia.

- Inbloomtoo. 2014. Sitio oficial, en línea www.inbloomtoo.wix.com

- Quesada, R. Fernández, J. 2005. Actualización de listado de especies arbóreas de uso forestal y otros usos en Costa Rica, Listado por nombres científicos. (en línea). Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 2 (4), 2005:1-44. <http://www.itcr.ac.cr/publicaciones/revistakuru>

- Linio. 2014. Sitio oficial, en www.linio.com

- Mader, S. 2008. Biología. Ed. Mc Graw Hill Interamericana. México.

- Master School. 2014. Sitio oficial, en www.masterschool.com

- Minaet, 2011. Plan de desarrollo forestal Costa Rica 2011-2020.

- Ordóñez, J.; Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y bosques. 7 (1)3-12.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2011. (en línea). <http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s.pdf>

- Rojas, F. 2005. Principales especies forestales introducidas en Costa Rica. (en línea). Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 2 (4), 2005:1-44. <http://www.itcr.ac.cr/publicaciones/revistakuru>

- Starr C., R. Taggart, C. Evers y L. Starr. (2009). Biología, la unidad y la diversidad de la vida. 12ª Edición. Cengage Learning Editores S.A. México.

- Science-Art. 2014. Sitio oficial, en línea www.science-art.com

- The Wood Guide. 2014. Sitio oficial, en línea www.thewoodguide.com

- Tuk, J. 2010. Madera: diseño y construcción. San José: Colegio de Ingenieros y arquitectos. 236 p. Costa Rica.

- Vega, L. "El consumo de madera ayuda al medio ambiente". La Nación, Costa Rica. Consultado 4 abril 2014. 8 septiembre 2010 (http://www.nacion.com/opinion/foros/consumo-madera-ayuda-medio-ambiente_0_1147685242.html)

- Wiedenhoef, A. 2011. Identificación de las especies maderables de Centroamérica. Forest Products Society. Estados Unidos.



Escuela Patiño

CAPÍTULO

PROPIEDADES DE LA MADERA



1. Introducción

Tal y como vimos en el capítulo introductorio la madera es un material muy particular que posee distintas propiedades anatómicas, organolépticas, físicas, químicas, mecánicas y de durabilidad natural, entre muchas otras. Ciertamente no existen maderas de mala calidad, para cada una de ellas existe un uso específico según sus propiedades; y algunas características de la madera son deseables para ciertos usos pero indeseables para otros, por ejemplo no es recomendable hacer un piso de una madera muy suave o liviana, que no resista el desgaste que sufrirá cuando esté en uso, ni podemos pretender hacer una maqueta arquitectónica con una madera extremadamente pesada o dura, ni someter a la intemperie una madera de baja durabilidad natural (Cloutier, 2002). Es por eso que se hace indispensable si vamos a hablar de madera a lo largo del manual, conocer sobre sus principales características, ya que muchos de sus mitos se deben a mala utilización y desconocimiento.

2. Propiedades anatómicas

La mayoría de especies arbóreas en Costa Rica son latifolias (es decir de hoja ancha), por lo que se le dará énfasis a la composición anatómica de este tipo de maderas, pero sin dejar por fuera propiedades importantes de las especies coníferas (hojas con forma de agujas). Conocer la estructura anatómica de la madera no solamente nos ayudará a su correcta identificación, sino también nos dará una idea de cómo será su comportamiento físico-mecánico, ante procesos industriales como secado y preservación, trabajabilidad, entre otros.

Dentro de los principales tipos de células que forman la madera, se encuentran las fibras, los vasos o poros (presentes solamente en latifolias) y las células de parénquima. A continuación se dará una breve descripción de cada una de ellas.

- **Las fibras**

La madera está formada por células llamadas fibras, la mayoría son alargadas, pero huecas, de ahí su naturaleza porosa; estas células son imposibles de identificar a simple vista, ya que son extremadamente pequeñas. La figura 1, presenta un ejemplo de cómo se verían las fibras de la madera al hacer un corte transversal y en sentido longitudinal en un árbol, suponiendo que las fibras son agujas o pajillas. Es importante tener claro cómo se muestran las células en ambos sentidos, ya que todas las propiedades de la madera que estudiaremos van a cambiar dependiendo del plano que estemos observando. En el caso de las maderas coníferas las fibras son llamadas traqueidas, pero en este manual se hablará en general de fibras, ya que en su mayoría se mencionarán maderas tropicales (latifolias).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Plano transversal y longitudinal de un disco y polín de madera y la par una representación de cómo se verían las células que la constituyen.

En general la madera de especies latifolia das posee una estructura más compleja con respecto a las maderas coníferas, esto debido a que posee diversos tipos de células, no solamente las fibras y células parenquimatosas, sino también poros (vasos). Las fibras constituyen en sí el tejido leñoso y sirven de sostén al árbol, y como mencionamos anteriormente poseen una pared celular y un espacio interno llamado lumen. La madera cuando está en estado verde o recién cortada posee los lúmenes llenos de agua, por eso es más pesada que cuando está seca, momento en que los lúmenes se encuentran vacíos. Las fibras se encuentran en más de un 50% del volumen de la madera y el grosor de su pared celular, determinará en gran medida su densidad, posteriormente la resistencia mecánica de la madera y nos ayudará a discriminar en qué se puede utilizar.

- **Los poros**

Los poros o vasos son también elementos importantes en la composición de la madera de las latifolia das, ya que estos se encargan de transportar agua, savia y otros líquidos vitales para el funcionamiento del árbol. Los vasos son células en forma de tubos unidos por sus extremos generalmente abiertos y en algunas especies pueden formar hasta el 50% de su volumen total (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988). Algunas veces los poros pueden ser vistos a ojo desnudo, por lo que su presencia es una forma sencilla de discriminar entre ambos tipos de maderas. La forma como se agrupan los vasos, su tamaño, así como su ordenamiento en cada anillo de crecimiento es una forma útil para la identificación de la madera. Por ejemplo éstos se pueden agrupar de forma solitaria, es decir separados unos de otros o agrupados cuando están formando grupos de dos o más poroso, en racimos o en cadenas. Generalmente la misma especie de madera posee varios tipos de agrupación.

Ahora según el ordenamiento de los poros, la madera puede tener porosidad circular, semicircular y difusa. El primer caso corresponde cuando los poros de mayor tamaño se encuentran al inicio de los anillos de crecimiento, mientras que la porosidad es semicircular cuando también posee los poros más grandes también al inicio del anillo, pero se presenta una transición gradual de su tamaño conforme termina el anillo. Para el caso de la porosidad difusa, éstos se encuentran distribuidos sin ningún patrón definido. A continuación en el cuadro 1, se muestran las porosidades (agrupación y ordenamiento) para algunas especies de madera de Costa Rica.

Porosidad según agrupación	
Solitarios	Múltiples
Almendra * (<i>Dipteryx panamensis</i>)	Teca * (<i>Tectona grandis</i>)
Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>) *	Cedro (<i>Cedrela odorata</i>)
Caobilla * (<i>Carapa guinensis</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus saligna</i>)
Porosidad según ordenamiento	
Semicircular	Difusa
Roble blanco (<i>Quercus copeyensis</i>)	Botarrama (<i>Vochysia ferruginea</i>)
Cedro dulce (<i>Cedrela tonduzii</i>)	Cenízaro (<i>Samanea saman</i>)
Dama (<i>Citharexylum donnell-smithi</i>)	Gavilán (<i>Pentaclethra macroloba</i>)

Fuente: Elaboración propia.

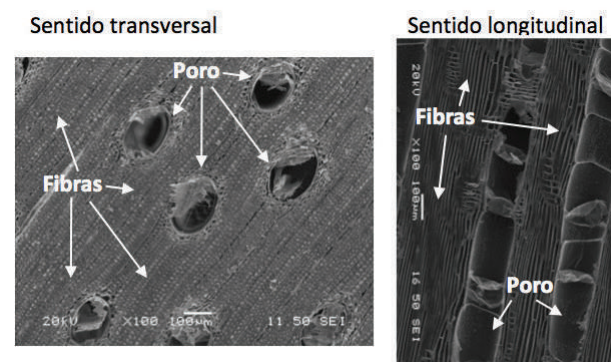
Cuadro 1. Porosidades (agrupación y ordenamiento) para algunas especies maderables de Costa Rica.

Nota: las maderas con asterisco (*) significa la presencia de tílides en sus poros.

Se aclara que una especie puede tener varios tipos de porosidades, según agrupación u ordenamiento, por ejemplo la madera de teca (*Tectona grandis*), posee poros agrupados de forma múltiple, así como solitarios (Carpio, 2003). Nótese que algunas de las especies nombradas en el cuadro 1 poseen un asterisco, el cual indica la presencia de tílides en sus poros, es decir que en sus lúmenes poseen membranas delgadas con apariencia globosa, las cuales cubren gran parte de su sección transversal y obstaculiza el transporte de fluidos a través de las células. Estos tílides (también llamada tilosis) se encuentran generalmente en el duramen, aunque también pueden ser ubicados en la zona de la albura y su presencia coincide con la reducción del contenido de humedad (Díaz-vaz, 2003). A veces pueden ser vistos a simple vista, como el caso de la madera de teca (*Tectona grandis*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y los cedros (*Cedrela spp.*).

Identificar la porosidad de las especies utilizadas en la industria forestal es importante, ya que nos brindará información del desempeño de la especie ante procesos industriales como el secado, la preservación, en manufactura secundaria, además de su peso, densidad, resistencia mecánica, así como el eventual uso. Por ejemplo una madera que se desea utilizar como aislante eléctrico debe poseer una buena porosidad, aparte de que debe de estar seca, ya que el aire es un excelente aislante y el agua es muy buena conductora de la electricidad. Otro ejemplo es cuando vamos a aplicar alguna clase de acabado a la madera, se debe de tomar en cuenta la porosidad para calcular el producto a aplicar, lo mismo si vamos a preservar madera por medio de una cámara de vacío presión, es necesario conocer qué tan dispuestos están las fibras y los poros a recibir el químico perseverante; lo mismo para el secado, en el caso inverso qué tan fácil el agua abandonará la madera.

En la figura 2 se muestra una célula de una fibra y de un poro en sentido transversal y longitudinal de madera de *Eucalyptus nitens* por medio de microscopía electrónica.



Fuente: Laura Leandro

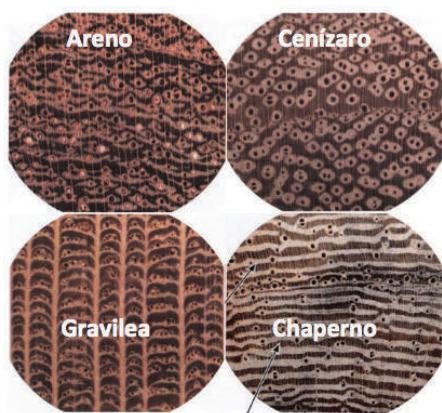
Figura 2. Células de fibras y poros de madera en sección transversal y longitudinal de *Eucalyptus nitens*.

- **El parénquima**

El otro componente importante de la madera son las células de parénquima, las cuales son cortas, de paredes delgadas y lúmenes desprovistos de contenido celular (Díaz-vaz, 2003), las cuales también se encargan de la conducción y del almacenamiento de nutrientes y están presentes en el sentido transversal, así como en el longitudinal (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988). Hay dos tipos de células de parénquima, de tipo axial que pueden verse rodeando los poros o dispuestas de forma difusa en el plano transversal (ver figura 3) y otras que pueden ser vistas fácilmente, conocidas como los rayos o radios de la madera. La presencia de células de parénquimas, es otra herramienta muy útil para la identificación de la madera y en muchas ocasiones puede ser tan abundante que se puede ver a simple vista como un tejido de

color claro.

Ejemplos de maderas costarricenses con parénquimas abundantes son el areno (*Qualea paraensis*), cenízaro (*Samanea saman*), la gravilea (*Grevillea robusta*) y los chapernos (*Lonchocarpus spp.*).



Fuente: Wiedenhoeft (2011).

Figura 3. Maderas con abundante células de parénquima.

Tal y como se observa en la madera de areno (*Qualea paraensis*) y el cenízaro (*Samanea saman*) existe un tejido más claro que el resto de la madera rodeando los poros, éste son las células de parénquima, para el caso de la gravilea (*Grevillea robusta*) éstas se presentan como anchas líneas verticales conocidas como rayos o radios, así como alrededor de los vasos, mientras que para el chaperno (*Lonchocarpus spp.*) el parénquima se muestra como líneas horizontales que involucran a los poros. Para las especies mencionadas, este tejido posee patrones bien particulares que ayudan a su identificación.

Para el caso de las maderas coníferas también se identifican los canales resiníferos, que son estructuras que producen resina, los pinos son ejemplos de especies que producen este tipo de compuestos. Según Díaz-vaz (2003) estos canales tienen su centro hueco, en el cual las células secretoras que lo forman vierten sus secreciones, generalmente resinas. Muchas veces éstos pueden ser confundidos con los poros de la madera de las latifoliadas, pero hay dos maneras de diferenciarlos, primero los canales se encuentran dentro de la madera final o entre la inicial y la final, mientras que los poros, están en todo el anillo de crecimiento; además aunque existan muchos canales resiníferos en las maderas coníferas, siempre es mayor la cantidad de poros presentes en las maderas duras (Wiedenhoeft, 2011).

Es importante reconocer cada uno de los planos de la madera a nivel microscópico y poder identificar las células anteriormente mencionadas ya que para orientación la madera se comportará de forma distinta, por ejemplo ahora que entendemos cómo se disponen las fibras en sentido transversal y cómo lo hacen longitudinalmente, no será lo mismo lijar en un sentido o en otro, tampoco será igual la cantidad de tinte que absorban o el dibujo que forme según la dirección del corte (debido a los anillos de crecimiento). Más adelante veremos que también se presentan muchas diferencias en cuando al comportamiento físico y mecánico según el plano de evaluación, así como procesos industriales tan importantes como el secado o en la preservación.

3. Propiedades físicas

La madera es un material sólido, formado por diminutas células se asemejan pajillas o agujas en sentido longitudinal. Están constituidas por una pared celular que deja un espacio interior denominado lumen (Díaz-vaz, 2003), que dan en primer lugar

el carácter poroso a la madera, e influye en otras propiedades como las mecánicas o su interrelación con la humedad. El aprovechamiento de una especie maderera como materia prima de cualquier proceso industrial depende entre otros factores de sus propiedades físicas. Las propiedades físicas incluyen la humedad y su efecto sobre el comportamiento de la madera y los cambios dimensionales, además una de las más importantes propiedades físicas, la densidad. Como la madera es un material poroso y heterogéneo y presenta un comportamiento anisotrópico (posee diferentes planos y comportamientos de acuerdo a estos) e higroscópico (tiene la capacidad de intercambiar humedad con el ambiente), sus propiedades físicas son también variables. El conocimiento de las propiedades físicas básicas de la madera tales como contenido de humedad, densidad y cambios dimensionales, permite procesarla bien y utilizarla adecuadamente (Ananías, s.f).

El agua en la madera

La presencia de agua en la madera es un hecho conocido, ya que ésta es indispensable para su desarrollo. Cuando un árbol es volteado, su madera conserva una cierta cantidad de agua que se localiza en los lúmenes celulares, en la pared celular y en otros espacios que pueden presentarse en la madera (Ananías, s.f). La humedad de la madera puede variar de acuerdo al lugar de crecimiento, la especie, la edad, la época del año, la posición dentro del árbol, etc. y afecta todas las demás propiedades de la madera. Generalmente la madera de albura posee más agua que la madera del duramen, ya que la función de las células que se encuentran en este tejido es la conducción del agua y otros líquidos vitales para el árbol, también es mayor cuando la madera es más joven, en comparación con madera madura. Las maderas livianas, por ser más porosas contienen más cantidad de agua que las maderas pesadas, es decir cuando la madera está en pie o recién cortada, la mayoría de sus lúmenes están llenos de

agua y de ahí su alto contenido de humedad y cuando éstas se encuentran secas, pierden toda el agua dentro de los lúmenes y por eso su denominación de livianas (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

La relación entre el agua total y la materia seca leñosa es muy variable en una pieza de madera, ya que está sujeta a la influencia de muchos factores. Así como el duramen no permite contenidos de humedad elevados debido a las sustancias contenidas en sus células, la albura puede acumular más del 100% de su peso seco en agua e incluso llegar a un 400% en algunas maderas muy livianas, como la madera de balsa (*Ochroma pyramidale*) y ceiba (*Ceiba pentandra*) que poseen contenidos de humedad superiores a 250%.

Dentro de la madera pueden existir tres tipos de agua distintos: el agua libre, el agua atada y el agua de constitución.

El agua libre se encuentra en los lúmenes de poros y fibras. Al iniciarse el secado, el agua libre se va perdiendo fácilmente por evaporación, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. En este punto, la madera estará en lo que se denomina “punto de saturación de las fibras (PSF)”, que corresponde a un contenido de humedad entre el 21 y 32%. Cuando la madera ha alcanzado esta condición, sus paredes celulares están completamente saturadas pero sus lúmenes están vacíos (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

El agua atada es la que se encuentra en las paredes celulares, según Ananías (s.f), por debajo del PSF y al continuar el proceso de pérdida de humedad, la madera comienza a perder agua contenida en sus paredes celulares, hasta alcanzar el llamado contenido de humedad en equilibrio (CHE) y depende fundamentalmente de la especie, la temperatura y la humedad relativa del ambiente en que se encuentre la madera. Para la mayoría de especies el CHE está entre el 12% y 18%. La madera

seca al aire sólo puede alcanzar estos valores de humedad en equilibrio, para obtener contenidos de humedad menores, debe someterse a un secado artificial, es decir en horno, para eliminar el resto del agua atada (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

En general la madera, ya sea que la usemos para muebles, como material de construcción y específicamente con fines estructurales, el contenido de humedad debe ser inferior al 15% (CORMA, s.f). De ahí la importancia de conocer su composición anatómica para saber cómo será su comportamiento en el proceso de secado.

El agua de constitución es la que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada mediante secado artificial, solamente mediante la destrucción del material (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

El contenido de humedad

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares. Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre la masa de agua contenida en una pieza y la masa de la pieza seca expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad (CORMA, s.f). Por ejemplo, si una pieza de madera contiene 15% de humedad, significa que posee 15 kilos de agua por cada 100 kg de madera.

$$CH = \frac{P_v - P_s}{P_s} \times 100$$

P_s

Donde:

CH: humedad de la madera expresada como un porcentaje

de su peso seco (%)

Pv: peso de la madera en estado verde o inicial (gr)

Ps: peso de la madera en estado seco o final (gr)

La densidad

Expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que forman la madera y el volumen que ellos ocupan. Como la madera es un material poroso, deben considerarse al referirse a la densidad de la madera, el volumen interno de los espacios vacíos existentes (Ananías, s.f).

En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera (CORMA, s.f), además se puede usar como estimador de la facilidad con que se deja trabajar (cortar, cepillar, moldurar, etc.) o como indicador de la facilidad para tratar la madera (secar o preservar). Normalmente las maderas de mayor densidad presentan una mejor resistencia mecánica y una mayor cantidad de material leñoso, pero su trabajabilidad y tratamiento mayor dificultad (Ananías, s.f).

La densidad básica o también llamado peso específico básico (PEB) considera la masa seca y el volumen de la madera saturada con agua, lo que se expresa como:

$$DB = \frac{P_s}{V_v}$$

V_v

Donde:

DB: densidad básica (g/cm³ o kg/m³)

Ps: peso o masa seca de la madera (gr o kg)

Vv: volumen de la madera saturada de agua (cm³ o m³)

Para el caso específico del PEB este valor es adimensional, es decir no tiene unidades.

En Costa Rica la madera se ha clasificado empíricamente de acuerdo con su dureza, como maderas suaves, semiduras y duras. En el cuadro 2 se presentan los valores de clasificación de la madera de acuerdo con su densidad básica o peso específico básico.

Porosidad según agrupación	
Densidad básica(kg/m3)/ Peso específico básico	Terminología
Menor a 0,20	Extremadamente liviana
0,20 a 0,25	Excesivamente liviana
0,25 a 0,30	Muy liviana
0,30 a 0,36	Liviana
0,36 a 0,42	Moderadamente liviana
0,42 a 0,50	Moderadamente pesada
0,50 a 0,60	Pesada
0,60 a 0,72	Muy pesada
0,72 a 0,86	Excesivamente pesada
Mayor a 0,86	Extremadamente pesada

Fuente: Carpio (2003).

Cuadro 2. Clasificación de la madera de acuerdo a su densidad básica o su peso específico básico.

De acuerdo con el cuadro anterior podemos mencionar gran variedad de maderas nacionales que poseen diferentes valores de densidades básicas, lo que responde a que podamos elaborar gran cantidad de productos diferentes, de acuerdo a

este parámetro. A continuación en el cuadro 3, se presentan los valores de la densidad básica de algunas maderas costarricenses, su respectiva clasificación y sus usos más destacados.

Especie	Densidad básica(kg/m3)	Clasificación	Usos
Balsa <i>Ochroma pyramidale</i>	0,13	Extremadamente liviana	Maquetas, flotadores, aeromodelismo
Ceiba <i>Ceiba pentrandra</i>	0,24	Excesivamente liviana	Carpintería; construcción, formaleas y cajas
Sangrillo <i>Pterocarpus officinalis</i>	0,28	Muy liviana	Carpintería, construcción interna, formaleas
Javillo <i>Hura crepitans</i>	0,30 a 0,36	Liviana	Carpintería, construcción interna y muebles
Lechoso <i>Brosimum utile</i>	0,40	Moderadamente liviana	Carpintería general, construcción interna

Especie	Densidad básica(kg/m3)	Clasificación	Usos
Cedro María <i>Calophyllum brasiliense</i>	0,42 a 0,50	Moderadamente pesada	Construcción y carpintería en general, muebles
Chiricano <i>Vantanea barbourii</i>	0,60	Pesada	Construcción en general, carrocería, pisos
Cocobolo <i>Dalbergia retusa</i>	0,72	Muy pesada	Artesanías, instrumentos musicales, esculturas
Nazareno <i>Peltogyne purpurea</i>	0,83	Excesivamente pesada	Construcción pesada, pisos, ebanistería
Guayacán real <i>Guaiaicum sanctum</i>	1,12	Extremadamente pesada	Artesanías, ejes propulsores de barcos

Fuente: Elaboración propia, Carpio (2003), Jiménez et al. (2011).
Cuadro 3. Valores de densidad básica (kg/m³) para especies maderables nacionales, clasificación y respectivos usos.

Cambios dimensionales

Como se mencionó anteriormente, la madera contiene una cierta cantidad de agua depositada en los lúmenes y en las paredes celulares de las fibras. Normalmente cuando la madera intercambia humedad de la pared celular, se producen variaciones de sus dimensiones, las que son conocidas como contracción o hinchamiento (Ananías, s.f). Un ejemplo de contracción es cuando una puerta reduce sus dimensiones y se afloja y uno de hinchazón cuando por el contrario las gavetas de un escritorio no abren por haberse hinchado.

La anisotropía trae como consecuencia diferentes valores para la hinchazón o contracción en las tres direcciones u

orientaciones de la madera. La contracción en el sentido tangencial es 1,5 a 3 veces mayor que la contracción radial y la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera, esta afirmación es fácil comprenderla al entender la posición de las fibras es dichas direcciones y es indispensable conocerla para tomarla en cuenta a la hora de construir con madera.

4. Propiedades organolépticas

Estas características son las que observados de forma macroscópica o a ojo desnudo, además pueden ser percibidas con otros sentidos aparte del de la vista. Este término agrupa a singularidades tales como: color, textura, veteado, grano, sabor, brillo y olor.

El color es una de las características de fácil observación y está asociada a propiedades muy diversa como su edad y valor comercial, siempre se refiere a la tonalidad que presenta el duramen y es bastante subjetiva. El color varía no solo entre diferentes clases, sino también dentro de una especie y en algunos casos dentro de la misma pieza de madera (Gonzales, 2008). Además que el color de un árbol recién cortado puede ser completamente diferente a la madera seca y procesada, además que muchas especies cambian de color con el tiempo y con la exposición a la luz. Una complicación adicional es que las personas vemos los colores de forma diferente, y las palabras para describir el color, a menudo no significa exactamente lo mismo para diferentes personas (Wiedenhoeft, 2011).

El color se origina por la pigmentación que aportan los compuestos de la madera, entre los que se pueden citar: polisacáridos, lignina, resina, gomas y otras sustancias, las cuales forman parte de la pared celular o están rellenoando los lúmenes de las células. Además este puede ser modificable

por cambios en el contenido de humedad, microorganismos que la pueden colonizar, degradación provocada por radiación ultravioleta, cambios por recubrimientos o impregnantes adicionados a la madera y también por efecto de ciertas particularidades del crecimiento como la madera de reacción, desviaciones del grano y nudos entre otros (Díaz-vaz, 2003).

En Costa Rica existen maderas de muchos colores, desde muy claras, casi blancas y amarillas, hasta otras muy oscuras, así como moradas y verdes. El color particular de algunas especies maderables juega un papel importante en la elaboración de productos de alta calidad, mueblería, ebanistería, souvenirs y acabados de lujo, muchas veces coincide que maderas de bellos colores, también presenta una alta durabilidad natural, esto debido a la presencia de compuestos en sus lúmenes que dan determinado color, pero también sirven para proteger al árbol del ataque de agentes externos. En la figura 4 se presentan imágenes de maderas nacionales con colores particulares.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Color de la madera de algunas especies de Costa Rica.

La textura está definida por la distribución, proporción y tamaño relativo de los elementos (poros, parénquima y fibras), ésta debe ser observada en la sección transversal de la madera y tiene importancia en el acabado de la madera (Gonzales, 2008). Según Díaz-vaz (2003) se clasifica en gruesa (elementos celulares de gran dimensión), media (células de tamaño intermedio) y fina (células de diámetros pequeños). La textura debe ser considerada a la hora de aplicar productos como pinturas, lacas y otros acabados, ya que el rendimiento de la labor dependerá también del tamaño de los elementos anatómicos de la madera. En el cuadro 4 se presentan algunos ejemplos de especies maderables costarricenses con diferentes tipos de textura.

El veteado se refiere al dibujo presente en las superficies longitudinales de la madera, tal y como se mencionó en el capítulo anterior existen dos tipos de dibujos producidos por el veteado: uno es el denominado cuarteado, que corresponde a un dibujo de líneas paralelas más oscuras que el resto de la madera, originadas por las maderas tardías al cortar la madera en sentido radial. El otro dibujo denominado floreado, corresponde a un dibujo de forma irregular, ondulado y piramidal, también formado por las maderas tardías, pero en este caso cuando es cortado en sentido tangencial (Díaz-vaz, 2003), el veteado se puede ver afectado también por la presencia de taninos en la madera, así como en la irregularidad del crecimiento y en general se distinguen dos tipos diferentes de veteados: pronunciado y suave (o liso). Ejemplos de especies de madera con veteados pronunciados son: el cocobolo (*Dalbergia retusa*), la teca (*Tectona grandis*) y el cenízaro (*Samanea saman*) y madera con veteados lisos o suaves son: el laurel (*Cordia lliodora*), la caobilla (*Carapa guianensis*) y las coníferas.

El grano es la disposición que tienen los elementos longitudinales (poros, fibras, parénquima, etc.) con respecto al eje longitudinal del tronco, en su sección radial o tangencial (Gonzales, 2008). Este puede ser ondulado, entrecruzado, inclinado o recto. El ondulado se presenta cuando las células van de arriba a abajo

Textura		
Gruesa	Media	Fina
Espavel (<i>Anacardium excelsum</i>)	Cedro amargo (<i>Cedrela odorata</i>)	Ron Ron (<i>Astronium graveolens</i>)
Lechoso (<i>Brosimum utile</i>)	Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>)	Ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i>)
Caobilla (<i>Carapa guianensis</i>)	Cedro María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	Manú (<i>Minquartia guianensis</i>)
Ceiba (<i>Ceiba pentandra</i>)	Tamarindo (<i>Dialium guianense</i>)	Pino (<i>Pinus caribaea</i>)
Eucalipto (<i>Eucalyptus deglupta</i>)	Almendro (<i>Dipteryx panamensis</i>)	Cristóbal (<i>Platymiscium pinnatum</i>)

Fuente: Elaboración propia y Carpio (2003).

Cuadro 4. Textura de la madera de algunas especies de Costa Rica.

en el tronco del árbol con ondulaciones hacia atrás y hacia delante de 1 a 2 cm. El grano entrecruzado se produce cuando las células no corren perfectamente rectas de arriba abajo en el árbol, sino que crecen curvándose hacia la derecha del tronco por varios años, luego se curvan hacia la izquierda por varios años y nuevamente hacia la derecha, sin embargo esta alternancia de la curvatura produce una madera que puede ser muy atractiva, pero es también difícil de procesar. La madera con grano recto posee células que corren de

arriba abajo casi verticalmente (Wiedenhoeft, 2011). El grano inclinado se produce cuando la dirección de los elementos leñosos forma ángulos agudos con respecto al eje del árbol (Gonzales, 2008). Flores y Obando (2003) señalan que algunas especies muestran torsión en el tronco cuando los árboles se encuentran en terrenos de pendientes considerables, por lo que es muy importante conocer la procedencia de la madera y si bien es cierto, cada especie posee uno o varios tipos de grano en particular, sin embargo esta propiedad se ve afectada enormemente por el sitio donde el árbol se desarrolla y de la disponibilidad de nutrientes, tipo de suelo y condiciones climáticas; jugará un papel importante en el desempeño de labores como lijado, torneado, taladrado, etc. A continuación en cuadro 5, se presentan ejemplos de maderas costarricenses con distintas direcciones de granos, aunque una sola especie puede poseer varios tipos.

Grano			
Recto	Inclinado	Ondulado	Entrecruzado
Panamá (<i>Sterculia apetala</i>)	Cedro María (<i>C. brasiliense</i>)	Pochote (<i>B. quinata</i>)	Almendro (<i>D. panamensis</i>)
Tempisque (<i>Sideroxylon capiri</i>)	Siete cueros (<i>L. costaricensis</i>)	Gavilán (<i>P. macroloba</i>)	Chiricano (<i>V. barbourii</i>)
Roble (<i>Q. seemannii</i>)	Pino radiata (<i>P. radiata</i>)	Quiura (<i>Casearia sylvestris</i>)	Amarillón (<i>T. amazonia</i>)

Fuente: Elaboración propia y Carpio (2003).

Cuadro 5. Dirección del grano de la madera de algunas especies de Costa Rica.

El sabor es producido por ciertas sustancias contenidas en la madera que la solubilizan y que por ello es posible de detectar con el sentido del gusto y por lo general se pierde con el tiempo (Díaz-vaz, 2003). El sabor debe emplearse con cierto cuidado pues algunos árboles contienen sustancias tóxicas que pueden ocasionar alergias al ser humano (Gonzales, 2008), más aún si la madera se destina a usos que deben estar en contacto con alimentos. En Costa Rica existen varias especies que poseen sabores particulares, varios ejemplos son las maderas de aceituno (*Simarouba amara*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*) las cuales poseen un sabor amargo, o por el contrario la madera de indio desnudo verde (*Bursera simaruba*) posee un sabor dulce, así como el aguacatillo (*Cinnamomum brenesii*) presenta un ligero sabor a canela. Mientras que hay muchas otras especies que no tienen ningún sabor particular, es decir son insaboras, como el jaúl (*Alnus acuminata*), ojoche (*Brosimum alicastrum*) y la fruta dorada (*Virola sebifera*) (Flores y Obando, 2003).

El olor es otra propiedad muy subjetiva, ya que diferentes personas percibirán un olor de forma distinta y puede existir gran variabilidad en la intensidad del mismo, el olor se evalúa cuando la madera está recién cortada, ya que éste se pierde con el tiempo. Algunas especies de maderas nacionales con olores particulares cuando está fresca son el ron ron que tiene un leve olor a trementina, a veces semejante a vinagre; el laurel (*Cordia alliodora*) posee un leve olor a ajo, la madera tostada (*Sclerolobium costarricense*) que huele a frijol o la madera de vainillo (*Stryphodendron microstachyum*) que tiene un olor sulfuroso. Así como otras maderas que son inoloras: ceiba (*Ceiba pentandra*), el cortez amarillo (*Tabebuia chrysantha*) y el chiricano (*Vantanea barbourii*) (Flores y Obando, 2003).

El lustre o brillo se produce por la reflexión de la luz que incide en la madera, especialmente en los planos radiales y en especies con radios leñosos grandes. El brillo depende en gran medida de cuán pulida se encuentre la superficie, puede ser influido por el contenido de humedad y es más notorio en las secciones

longitudinales que transversales (Díaz-vaz, 2003). El brillo se puede clasificar en tres categorías: bajo, medio o alto, por ejemplo la madera de cedro maría (*Calophyllum brasiliense*) y campano (*Sacoglottis trichogyna*) poseen un lustre bajo, mientras que las especies de peine de mico (*Apeiba membranacea*) y surá (*Terminalia oblonga*) poseen lustres regulares, especies con lustres elevados son la caobilla (*Carapa guianensis*) y el cedro dulce (*Cedrela tonduzii*) (Flores y Obando, 2003).

La densidad y dureza están relacionadas con las propiedades físicas de la madera. La densidad describe el peso o la masa de un espécimen en relación a su volumen, es decir la cantidad de materia leñosa en una pieza de madera y la dureza nos da información sobre cuán fácil o difícil es cortar o penetrar la madera. La densidad aparente de un pedazo de madera se ve afectada por la cantidad de humedad presente en la muestra. La madera dejada a la intemperie se empapará de agua con la lluvia y parecerá más densa que la madera de la misma especie secada adecuadamente. En la descripción de las propiedades físicas y mecánicas respectivamente, se presentan ejemplos de maderas nacionales con distintas densidades y durezas (ver cuadro 3).

5. Propiedades químicas

La madera es un material formado principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno y al igual que las otras propiedades son importantes conocerlas porque nos van a indicar cómo se comportarán ante diferentes procesos, como la elaboración del papel, o si trabajamos con hongos consumidores de los componentes estructurales de la madera.

La madera tiene una peculiar composición química, las células están constituidas principalmente por celulosa, entre el 40% y 45% de la pared celular, también acompañan a la celulosa otro grupo de hemicelulosas que pueden estar entre un 20% y 30%,

así como la lignina (20% y 30%) y algunos otros compuestos accesorios (extraíbles) que se pueden presentar de 1% a 10% (Díaz-vaz, 2003).

La celulosa es un compuesto orgánico, de alto grado de polimerización, es decir que se puede agrupar en largas cadenas y está originado a partir de glucosa, es el esqueleto de la pared celular y es importante porque es higroscópica, es decir tiene la capacidad de ceder y recibir agua del medio ambiente, lo que justifica en muchas ocasiones los cambios dimensionales de la madera. Su color es blanco.

Las hemicelulosas (son de varios tipos) y diferentes a la celulosa, son más fáciles de solubilizar y termo degradar, pueden ser cadenas cortas hasta tener estructuras amorfas.

La unión del compuesto celulosa y las hemicelulosas, es conocido como la Holo celulosa.

La lignina es el compuesto cementante de la pared celular, que le otorga rigidez y características de leño a la madera. Es un polímero heterogéneo tridimensional, es muy estable y difícil de extraer de la madera, además es resistente a la degradación térmica y de menor higroscopicidad. Es resistente al ataque de biodegradadores de la pared celular. Su color es café.

Los extraíbles pueden ser ceras, grasas, resinas, aceites, colorantes orgánicos, taninos y gomas. Su función es proteger al árbol de agentes invasores. Es importante conocer las proporciones y características de elementos constitutivos de la madera, porque a partir de éstas se podrán comprender otras propiedades de la madera como la durabilidad natural, ya que muchos hongos se especializan en consumir algún tipo de componente en específico.

6. Propiedades mecánicas

Como hemos mencionado a lo largo del manual, conocer

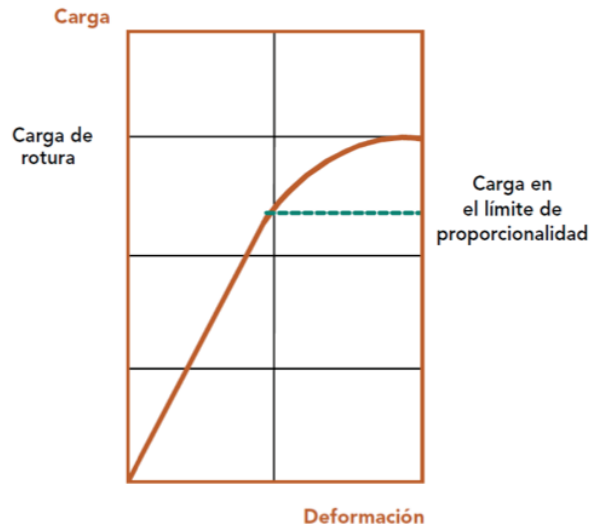
sobre las propiedades anatómicas y físicas de la madera nos dará el criterio técnico para poder determinar el uso de una especie de madera, y más allá de eso saber si la podemos utilizar para fines estructurales, así como conocer cuál será su comportamiento ante fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier carga que actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme (CORMA, s.f).

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida.

Cuando la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente. Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta, hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado. Si se sigue aumentando la carga, se logra la rotura del material. El límite elástico se define como el esfuerzo por unidad de superficie, en que la deformación aumenta en mayor proporción que la carga que se aplica. Es decir la madera es elástica hasta este punto, donde podemos aplicar una carga y la madera sufrirá una deformación proporcional, pero posteriormente al quitarla volverá a su forma inicial. Sin embargo en el punto de rotura o falla la carga aplicada provocará una deformación permanente, es decir el material fallará y no podrá volver a su forma original (figura 5).

Dentro de los esfuerzos más importantes a los que puede estar sometida la madera están:

Compresión paralela a las fibras: es la resistencia de la madera cuando se le aplica una carga en dirección paralela a las fibras, es decir tratando de reducir sus dimensiones. Esta propiedad resulta importante en una gran cantidad de tipos de piezas, como pilares o las patas de una mesa o silla.



Fuente: CORMA.

Figura 5. Comportamiento carga-deformación.

Compresión perpendicular a las fibras: es la resistencia de la madera a una carga en dirección perpendicular a las fibras, aplicada en una cara radial. Este tipo de esfuerzo es característico de las zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes.

Flexión estática: es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz. Esta propiedad es importante en piezas tales como vigas, viguetas de forjado, pares de cubierta, etc.

Cizalle: es la medida de la capacidad de la pieza para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza sobre otra. Las tensiones tangenciales por rodadura de fibras sólo se producen en casos muy concretos, como son las uniones encoladas entre el alma y el ala de una vigueta con sección en doble T.

Tracción paralela a las fibras: es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras.

Dureza: es la resistencia que presenta la madera a la penetración de otro objeto (ARAUCO, s.f).

La resistencia de la madera se verá afectada por todos los esfuerzos mencionados anteriormente, pero también por otros factores inherentes del material como presencia de nudos, inclinación del grano, contenido de humedad, grietas, pudrición, edad, etc.

6. Propiedades eléctricas

La madera seca es un excelente aislante eléctrico, propiedad que decae a medida que aumenta el contenido de humedad. Es por eso que se fabrican utensilios de cocina y herramientas con maderas en estado seco, ya que el aire es un excelente aislante; mientras que el agua es muy buena conductora, por lo que no es recomendable que esté en contacto con la electricidad.

Propiedades acústicas

La madera como material de construcción cumple un rol acústico importante en habitaciones y aislación de edificios, ya que tiene la capacidad de amortiguar las vibraciones sonoras, por lo que es importante conocer la anatomía de la madera, su porosidad y su comportamiento ante el sonido, ya sea cuando la utilizamos para un teatro, una pared divisoria o un instrumento musical.

7. Propiedades térmicas

El calor en la madera depende de la conductividad térmica y de su calor específico. Por ello, las maderas de baja densidad conducen menos calor que las de alta densidad.

Referencias bibliográficas

- Ananías, R. s.f. Física de la madera. Material del curso. Departamento Ingeniería en maderas. Universidad del Bio Bio, Chile.
- Arauco. s. f. Ingeniería y construcción en madera. Chile.
- Blanco, L.; Carpio, I.; Muñoz, F. 2003. Fichas técnicas de especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Carpio, I. 2003. Maderas de Costa Rica. 150 especies forestales. Segunda edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Cloutier, A. 2002. Apuntes de anatomía avanzada de la madera. Material del curso. Departamento de Ciencias Forestales y de la madera. Universidad Laval. Canadá.
- Confederación Española de Empresas de la Madera (Confemadera). 2010. (en línea). <http://www.confemadera.es/rs/99/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/dc5/filename/conceptos-basicos.pdf>
- CORMA (Corporación Chilena de la Madera). s.f. Manual la construcción de viviendas en madera. Chile.
- Díaz-vaz, J. 2003. Anatomía de la madera. 1ª ed. Marisa Cuneo Ediciones. Chile.
- Flores, E.; Obando, G. 2003. Árboles del Trópico Húmedo. Importancia socioeconómica. Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- González, E. 2008. Guía de Contenidos "Identificación Organoléptica y Macroscópica de Maderas Comerciales". CITEMADERA. Primera edición. Perú.
- Jiménez, Q.; Rojas, F.; Rojas, V.; Rodríguez, L. 2011. Árboles maderables de Costa Rica. Ecología y silvicultura. Segunda edición. Editorial INBio. Costa Rica.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del grupo andino para la preservación de la madera. Editorial PRID-MADERA. Cartagena. Colombia.
- Panshin, A. J.; de Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood technology. Cuarta edición. McGraw-Hill. Estados Unidos.
- Wiedenhoef, A. 2011. Identificación de las especies maderables de Centroamérica. Forest Products Society. Estados Unidos.



Escuela Kekoldi

CAPÍTULO

INGENIERÍA DE LA MADERA



1. Introducción

En este Capítulo desarrollaremos el análisis de los conceptos básicos en la construcción con madera como una de las para comprender el funcionamiento del mismo como material en la construcción.

Como hemos mencionado en los capítulos anteriores la madera tiene características particulares como material biológico que es necesario conocer y entender, para lograr un mejor desempeño y optimizar su uso en proyectos.

En el Capítulo 1 se dio una lista de maderas que están presentes en el mercado nacional y que además se producen en el país, asimismo se indica su uso (construcción, muebles, etc.) es importante sobreponer estas maderas a las importadas en la medida que son mas apropiadas para nuestro contexto de país tropical, dado a su adaptabilidad al medio como material constructivo

2. Conceptos básicos

Como cualquier otro material en la construcción, la madera se verá sometida a una serie de acciones, las cuales debemos comprender, estas son;

Fuerza: es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los materiales. la unidad de medida de fuerza es el newton que se representa con el símbolo: N Recordemos que al aplicar una fuerza a un cuerpo se produce otra fuerza igual en sentido contrario llamada reacción.



Fuente: www.aprendedefisica.com, 2010

Figura 1. Fuerza

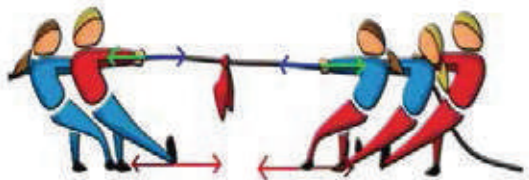
Movimiento: es un fenómeno físico que se define como todo cambio de posición que experimentan los cuerpos en el espacio, con respecto al tiempo y a un punto de referencia, variando la distancia de dicho cuerpo con respecto a ese punto o sistema de referencia, describiendo una trayectoria. Para producir movimiento es necesaria una intensidad de interacción o intercambio de energía que sobrepase un determinado umbral.



Fuente: www.rena.ve

Figura 2. Movimiento

Equilibrio mecánico: cuando la suma de fuerzas y momentos sobre toda y cada una de las partes del cuerpo se anulan. Todo cuerpo o estructura estará en equilibrio cuando todas las fuerzas que actúan sobre él se compensan mutuamente.



Fuente: www.rena.ve
Figura 3. Fuerzas en equilibrio.

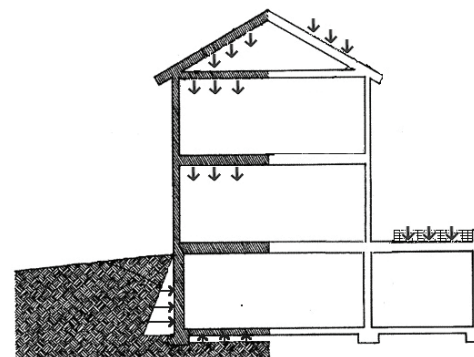
Cargas

Toda construcción está sometida a cargas, siendo estas básicamente tres tipos, estas son las que se consideran a la hora de hacer los cálculos estructurales, de acuerdo al CSCR, se definen

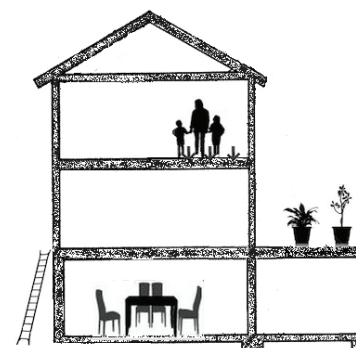
Cargas muertas o permanentes: es la carga gravitacional o el peso de todos los componentes estructurales, así como de los sistemas y componentes no estructurales permanentes, tales como paredes, pisos techos, equipos de servicio fijos.

Cargas vivas o sobrecargas de servicio: Son aquellas debidas al uso u ocupación de la construcción y que la identifican. Incluyen personas, objetos móviles o divisiones que puedan cambiar de sitio. Generalmente actúan durante períodos cortos de la vida de la estructura.

Cargas ocasionales: Son aquellas cargas a la que se somete una estructura eventualmente como el viento o un sismo.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4. Carga muerta en edificio



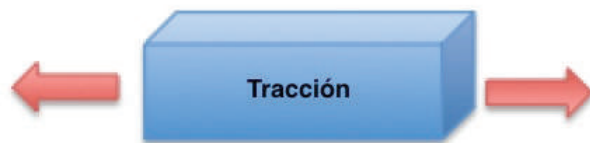
Fuente: Elaboración propia
Figura 5. Carga viva en edificio

Esfuerzos

Estas son todas aquellas fuerzas interiores que se generan en un cuerpo cuando está sometido a la acción de una carga.

Tal como indicamos en el Capítulo anterior se necesita tanto un diseño adecuado como unos elementos que sean capaces de soportar las fuerzas, cargas y acciones a las que va a estar sometida. Los diferentes tipos de esfuerzos que soportan los diferentes elementos de las estructuras son:

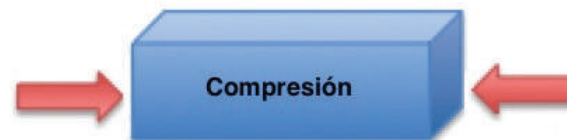
Resistencia a la tracción, es cuando un elemento se somete a dos fuerzas en sentido contrario tendiendo a estirar y a romper la pieza, estas fuerzas contrarias alargan la longitud y reducen la sección transversal.



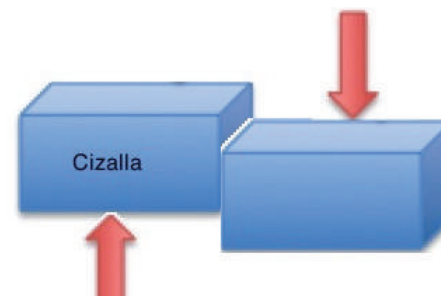
Fuente: Elaboración propia
Figura 6. Tracción

Resistencia a la compresión, es la acción de someter a la madera a fuerzas que tiende a comprimir las fibras en un sentido axial o perpendicular a ellas. La resistencia generalmente es mayor en el sentido axial.

Resistencia al corte o cizalla: es la acción de fuerzas paralelas y en sentido contrario que llegan a cortar la sección transversal de la madera.



Fuente: Elaboración propia
Figura 7. Compresión.



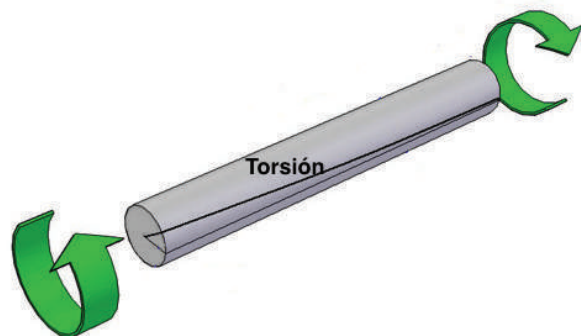
Fuente: Elaboración propia
Figura 8. Cizalla.

Resistencia a la flexión: es cuando una pieza se apoya en dos puntos y se le somete fuerza en uno o varios puntos, se presentan tanto la fuerza de tracción como la de compresión.



Fuente: Elaboración propia
Figura 9. Resistencia a la flexión

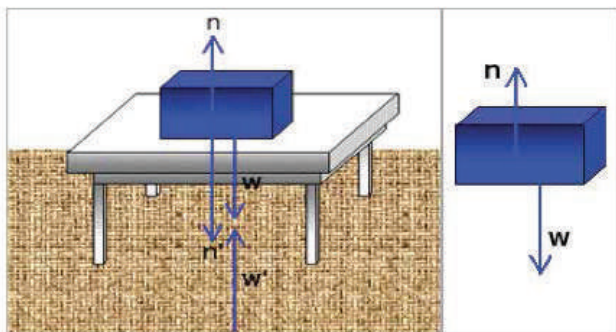
Resistencia a la torsión: es cuando se somete a dos fuerzas de giro en sentido contrario con respecto al eje longitudinal de la pieza.



Fuente: Elaboración propia
Figura 10. Torsión

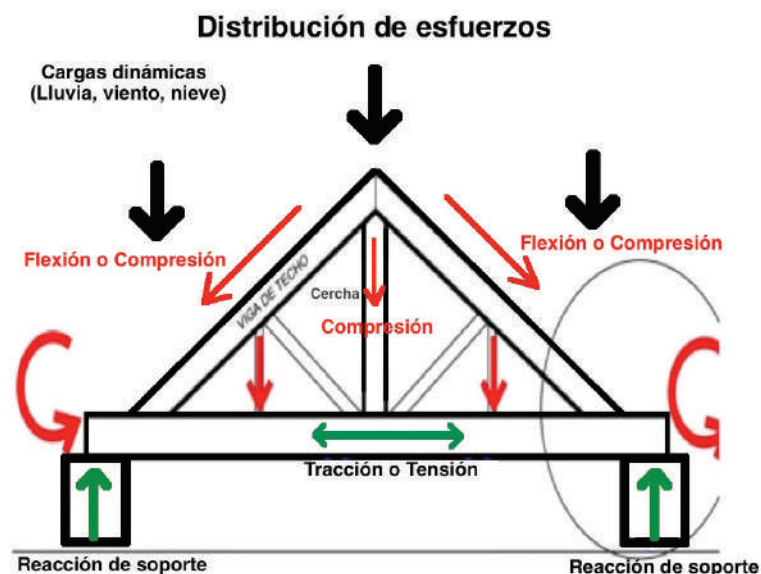
Estructura

Definimos estructura como un conjunto de elementos resistentes que colaboran entre sí para soportar fuerzas y cargas.



Fuente: Publicación: Leyes de Newton, Enviado por: vicma2009, <http://www.monografias.com/trabajos30/leyes-newton/leyes-newton.shtml>
Figura 11. Aplicación de carga

Toda estructura al ser analizada debe realizarse por separado sus diversas partes o elementos. Podemos considerar el equilibrio de cada componente como cuerpo libre, analizando las fuerzas aplicadas externamente y aquellas que otros elementos ejercen sobre la parte en estudio. Esto nos permite apreciar mejor la forma en que las cargas se distribuyen entre los distintos elementos.

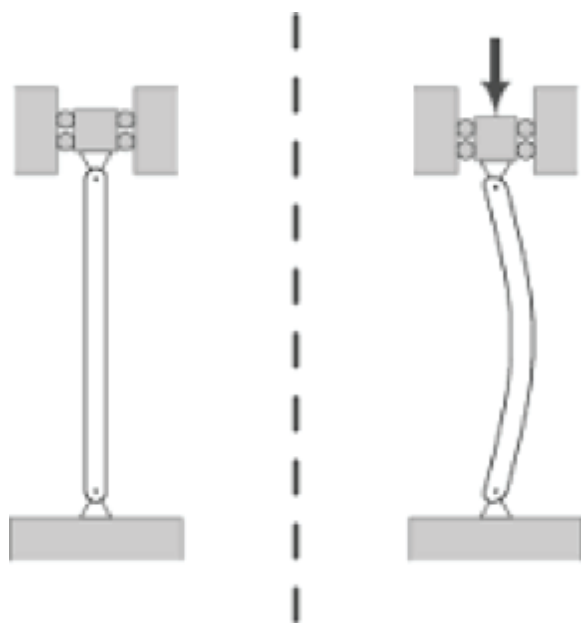


Fuente: Elaboración propia
Figura 12. Distribución de esfuerzos

Es de suma importancia conocer los tipos de esfuerzos que actúan sobre una estructura, pero es primordial saber seleccionar los elementos de dimensiones y propiedades físico mecánicas adecuadas y disponerlos en forma eficiente para que puedan resistir las fuerzas que le sean aplicadas, sin que se produzcan deformaciones importantes que dañen la estructura.

Un mismo elemento se comporta de forma distinta según sean la dirección de las fuerzas que se le aplique para deformarlo

Cuando la madera se coloca con la dimensión mayor de la sección transversal (peralte) en la dirección de las fuerzas aplicadas su rigidez y capacidad de soporte aumenta, soportando más carga y sufriendo menos deformación.



Fuente: www.wikipedia.org

Figura 13. Comportamiento por tipo de esfuerzo

Fuente:

Si a una pieza de madera muy esbelta se le aplica una fuerza de compresión, este tenderá curvarse en la dirección de sus menor rigidez, tal como podemos ver en la Fig. 13

Para una mención de la aplicación de las fuerzas podemos ver en la fig. 14, las siguientes características: a) una columna de sección circular, se puede deformar con igual facilidad en cualquier dirección por la acción de una fuerza, b) si la columna es de sección rectangular muy alargada se deformará más fácilmente como lo indica la flecha, c) cuando la columna es cuadrada, se deformará igualmente en las direcciones de sus cuatro caras, d) cuando la fuerza actúa en la dirección de la dimensión mayor de una columna rectangular está se deformará menos o sea que resistirá la acción de fuerzas de mayor magnitud.

Deflexión carga y forma

En análisis estructural, la deflexión hace referencia al grado en el que un elemento estructural se deforma bajo la aplicación de una fuerza. Existe una relación entre deflexión carga y forma, entendiéndose como forma, en este caso la sección transversal y la longitud.

Para elementos que tienen la misma longitud y sección transversal, al aumentar la carga, aumentará la deflexión.

En iguales condiciones de carga y con la misma sección, a mayor longitud mayor la deflexión.

Si la longitud y la carga son las mismas, la deflexión es la misma si se usan secciones más grandes.



Fuente: www.design-technology-in-stem.com
Figura 14. Deflexión y forma

Deflexión y proporción de los elementos.

Si se aplica una fuerza en una figura compuesta de dos elementos dispuestos en forma de cruz que tienen las mismas dimensiones, la carga se distribuirá uniformemente en sus cuatro extremos o apoyos.

Pero si modificamos las dimensiones de uno de los elementos con una sección mayor, las fuerzas se distribuirán en proporciones diferentes. El elemento de sección mayor es más rígido, es decir, más difícil de flexionar y soportará mayor carga.



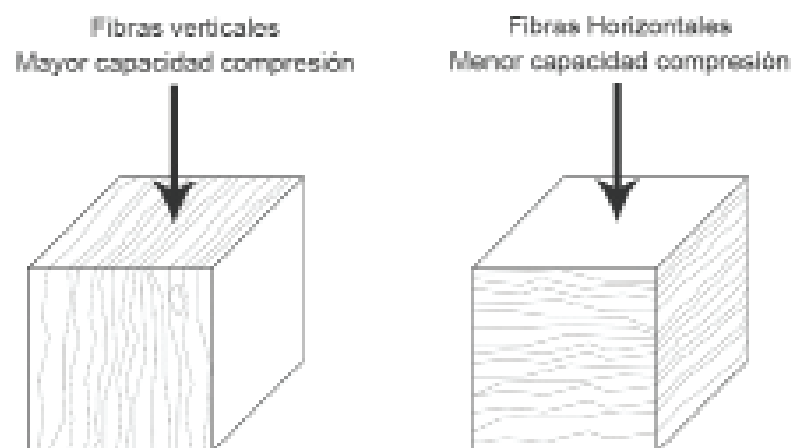
Fuente: www.design-technology-in-stem.com
Figura 15. Distribución de cargas

Algo parecido a lo anterior sucederá si usamos dos piezas de madera iguales, una de ellas apoyada por su cara menor dimensión y el otro por su cara mayor. La primera pieza será más rígida y resistirá mejor la flexión sometida por las fuerzas verticales y por lo tanto asumirá más cargas.

Cuando realizamos el mismo ejercicio con piezas de madera que son de igual sección, pero una de ellas es más larga que la otra, la más corta mayor rigidez y soportará la mayor parte de la carga.

Eficiencia de las secciones de compresión

Algunas secciones son más eficientes que otras para resistir fuerzas de compresión. Así con el mismo volumen de material que el de un elemento de sección cuadrada, podemos tener uno de la misma altura pero de sección rectangular alargada. Sin embargo, la resistencia de este elemento es menor que la del elemento de sección cuadrada. En una situación extrema, podríamos tener una lámina, siempre con la misma cantidad de material, pero ni siquiera puede resistir su propio peso.



Fuente: Autoría propia
Figura 16. Resistencia a compresión.

Modificando la forma de la pieza de madera se aumentará la capacidad de resistencia, e inclusive se puede lograr elementos con resistencia mayor a las del elemento original.

Formación de unidades rígidas

La forma en que coloquemos las piezas de madera influirá en su comportamiento. De ahí la importancia de identificar a las fuerzas que actúan sobre ellos y es posible lograr una disposición más eficiente.

Como se puede apreciar en la figura, es mejor colocarlas con el lado mayor peralte y en la misma dirección en que actúan las cargas.

Si reemplazamos los apoyos horizontales por otros elementos (vigas), vemos también que algunas formas de disponerlos son mejores que otras.

Las piezas de madera verticales (columnas) tienden a desplazarse lateralmente, por lo que no es conveniente utilizar elementos con lados muy delgados.

3. Armaduras

El concepto de armadura se aplica cuando se necesita cubrir una luz mayor que el largo de los elementos estructurales con que se cuenta, o cuando uno solo no sería lo suficientemente resistente para soportar las cargas a que se somete por lo que debemos de unir varios de ellos, Pero no se trata simplemente de unirlos, sino que cumplir ciertos requisitos que hagan posible logra su estabilidad a los esfuerzos que se somete e impedir la deformación o el colapso de la pieza.

La madera goza de la ventaja de que su trabajabilidad para formar armaduras es simple y se puede realizar con las herramientas básicas.



Fuente: Mianyang - roof trusses, Province of British Columbia, Flickr
Figura 17. Estabilidad en armaduras

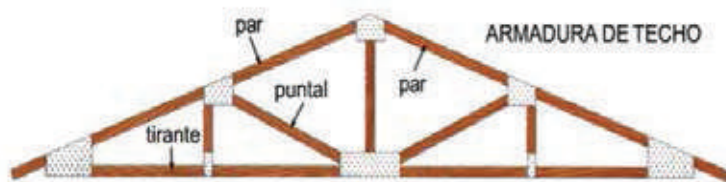
La manera más práctica para lograr esta resistencia es triangular los marcos para evitar su desplazamiento y deformación, pues el triángulo es una figura estable.

La triangulación de elementos es el método por el cual podemos lograr una armadura que cumpla con los requisitos de estabilidad solicitada.

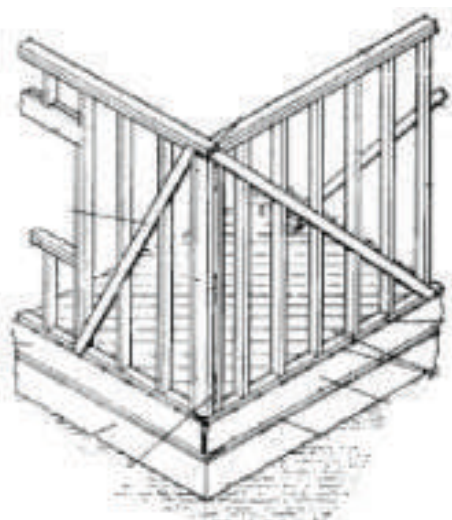
Al colocar los marcos debemos considerar el problema que pueden genera con la inestabilidad lateral.

Por esa razón no basta estabilizar estas estructuras en el plano vertical, si no también estabilizarlas trasversalmente. Una alternativa es colocar listones o piezas sujetadoras.

El objetivo primordial al concebir una estructura será el de disminuir el material y aumentar sus resistencia. Tal como mencionamos anteriormente una estructura está formada por diferentes partes, que actúan unidas, por lo que se hace imprescindible comprender cada uno de estos elementos



Fuente: www.ingenierocivilinfo.com
 Figura 18. Armadura de techo.



Fuente: www.fao.org
 Figura 19. Estabilización de elementos

A través del análisis y comprensión de las leyes que rigen el equilibrio de los cuerpos podemos obtener estructuras eficientes.

4. Uniones estructurales

Tal como vimos en el capítulo anterior una construcción en madera está formada por muchas piezas estructurales que deben estar unidas entre sí y lograr que trabajen como un sistema estructural.

El unir dos o más piezas de madera estructural se denomina unión estructural, y su función es principalmente es dar continuidad a las fuerzas que actúan sobre ellas, La unión estructural a su vez, restringe el desplazamiento de las piezas que vincula y haciéndolas actuar como una unidad. Las uniones en la madera son muy comunes dado a sus medidas comerciales.

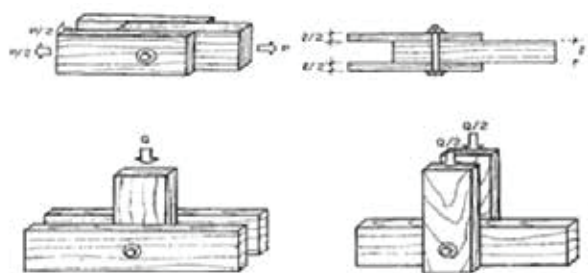


Fuente: www.teycubermaderas.com
 Figura 20. Uniones estructurales.

Elementos de unión

Las uniones estructurales se realizan por medio de elementos o accesorios de unión, los cuales transmiten las fuerzas que actúan en las piezas de madera.

En las uniones de piezas de madera cada elemento está sometido a la acción de fuerzas o cargas que se transmiten a través de los elementos de unión tales como clavos, pernos etc.



Fuente: www.virtual.unal.edu.com

Figura 21. Elementos de unión.

Se debe comprender bien el tipo de unión que se va a realizar esto para evitar la falla del elemento de unión ya que si no es lo suficientemente fuerte o si aquella introduce esfuerzos excesivos en la madera es inevitable la falla.

Recordemos que para aumentar la resistencia debemos aumentar los elementos de unión. Para fines prácticos pueden considerarse que los elementos de unión son iguales, la fuerza se distribuye en ella en partes iguales.

Área resistente

La selección de la madera apropiada es importante en el tanto que los esfuerzos a los que se someten los elementos de unión, no deben superar a aquellos que la madera debe

soportar. La resistencia de la unión depende de los esfuerzos que se generan en la madera adyacente a los extremos de la unión y, particularmente, en ciertas secciones

críticas, donde los esfuerzos son superiores a los que la madera puede resistir. La sección más crítica, es decir la más resistente, es la que determina la capacidad de la unión. El área de esta sección más crítica se denomina área resistente.

Si el área resistente es muy pequeña la madera cederá ante la acción de la fuerza. Pero separando más el extremo de la madera al elemento de unión, se aumentará el área resistente y puede conseguirse una unión adecuada.

Angulo entre la dirección de la fuerza y la fibra

Tal como ya hemos mencionado el comportamiento de la madera varía de acuerdo con la dirección de las fuerzas en relación con la orientación de las fibras. Esto es particularmente importante en el caso de las uniones.

Las fuerzas pueden actuar perpendicularmente a las fibras, También pueden actuar paralelos a la dirección de las fibras o en casos intermedios pueden darse fuerzas inclinadas en relación a la dirección de las fibras como en los elementos laterales, tal como se muestra en la Fig. 16.

La orientación de las fibras también debe considerarse al construir las uniones. De hecho si se tienen varios elementos de unión, estos deben colocarse a espaciamientos iguales o mayores que los recomendados, más aun cuando están alineados con la dirección de las fibras, Esta alineación de los elementos de unión, sin respetar los espaciamientos mínimos, puede originar rajaduras en la madera.

5. Tipos de uniones estructurales

Las uniones estructurales de las piezas de madera pueden ser hechas mediante diverso tipos de elementos de unión, independientemente de la disposición de los componentes. A continuación veremos los seis tipos principales de uniones.

Unión amarrada

Las uniones amarradas son quizás las más antiguas que se trabajan en la madera, y se siguen usando hasta nuestros días principalmente, principalmente cuando se utiliza madera rolliza.

Las cuerdas que se utilizan para estos amarres pueden ser de distintos materiales como cuero, fibras naturales o sintéticas, alambre etc. Véase en el Anexo de fotografías las construcciones indígenas.

Para facilitar la colocación de las piezas y la aplicación de las cuerdas en su fijación definitiva, pueden hacerse cortes o rebajes en algunos de los elementos de la madera.

En la Fig. 22 tenemos ejemplos de uniones amarradas, en la primera se juntan elementos para lograr mayor resistencia y en la segunda una unión para lograr mayor longitud.

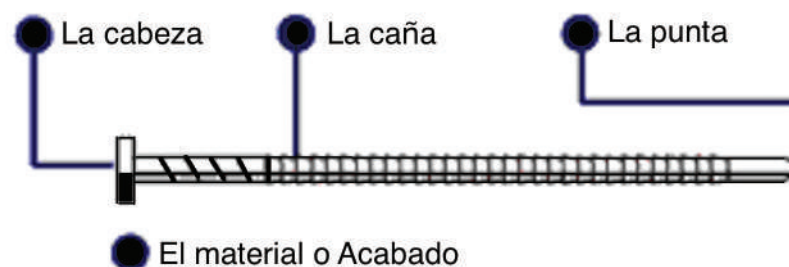
Uniones clavadas

Son aquellas en las que se utilizan clavos. Por su facilidad de construcción y economía generalmente son las más utilizadas.

En los clavos identificamos tres partes: punta, caña y cabeza. Las diferentes formas y hasta materiales en que se fabrican dan origen a una gran variedad, cada uno de estos con aplicaciones específicas.



Fuente: www.arteybambu.com
Figura 22. Uniones con amarres.



Fuente: www.bostych.com
Figura 23. Partes del clavo.

Los clavos tienen por lo general una relación constante entre su diámetro y longitud. La longitud varía cada $\frac{1}{4}$ de pulgada (6mm) a partir de 1" (25 mm) hasta 3½" y, desde esta longitud aumentará $\frac{1}{2}$ " (12 mm) hasta 6" (150 mm) y en algunos casos especiales más.

Los diámetros varían de acuerdo a la longitud y según el tipo de clavo. En los clavos comunes los diámetros van desde 1.83mm, para clavos de una pulgada (25 mm); hasta 7.21mm para clavos de 6 pulgadas (150 mm).

Tipos de clavos

Los clavos se fabrican de distintos materiales y con diversos recubrimientos y formas, a fin de aumentar su eficiencia de acuerdo al uso.

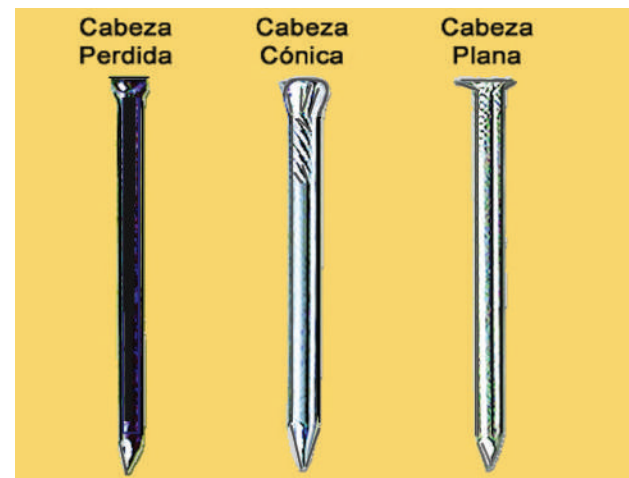
Los clavos más usados son los de alambre, pero si se requiere mayor dureza, como cuando se clava madera a concreto o albañilería, se utilizan clavos especiales de acero.

Los clavos pueden ser recubiertos con diversos materiales. Así tenemos clavos galvanizados, estañados, cementados etc. Los recubrimientos no solo aumentan la duración bajo la acción de la intemperie, sustancias contenidas naturalmente en la madera o por procesos de impregnación, sino también en algunos casos su resistencia a la extracción.

Tipos de cabeza

Los clavos comunes son de cabeza plana y vista, pero si se

requiere esconderla se emplean clavos sin cabeza, los cuales se introducen bajo la superficie de la madera. Para estructuras temporales se utilizan clavos de doble cabeza, que pueden ser extraídos con mayor facilidad sin dañar la madera.



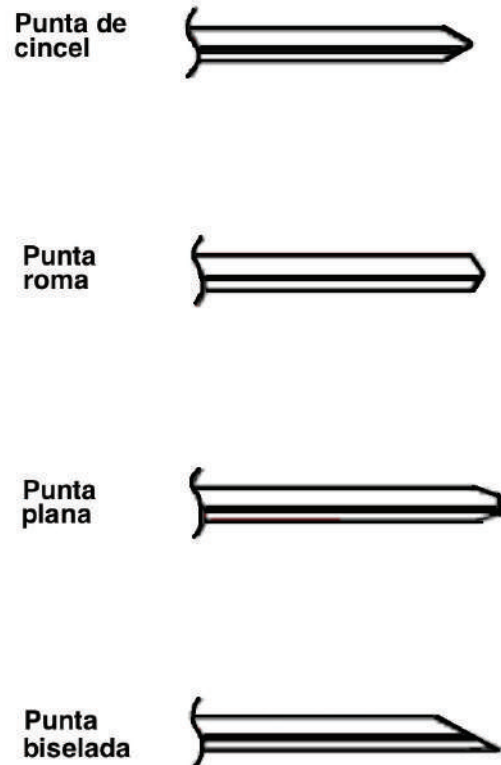
Fuente: www.ojodepez-fanzine.com
Figura 24. Tipos de cabezas de clavo.

Tipos de punta

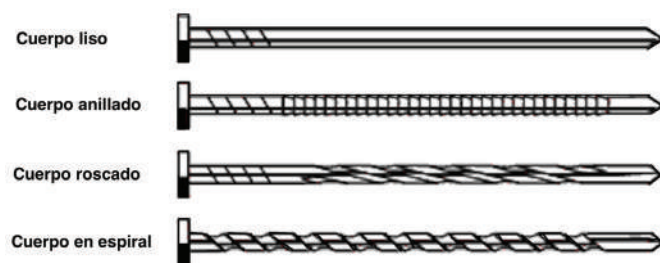
Para unir elementos de madera se usa, por lo general, clavos con punta en diamante. Sin embargo, en ciertos casos pueden usarse clavos con otros tipos de punta para reducir el riesgo de rajaduras.

Tipo de caña

La caña o cuerpo del clavo puede ser redonda o helicoidal o bien presentar algunas estrías en su superficie lisa. Estas dos últimas aseguran una fijación más firme y reducen la capacidad de extracción.



Fuente: www.bostich.com
 Figura 25. Tipos de punta de clavo.



Fuente: www.alibaba-spanish.com
 Figura 26. Tipo de caña de clavo.

Comportamiento del clavo

Cuando el clavo es introducido, la punta rompe y separa una cierta cantidad de fibras, lo cual permite que el clavo ocupe un sitio dentro de la madera. Estas fibras separadas que rodean el clavo, tratan de regresar a su posición anterior, ejerciendo una presión contra el clavo y aprisionando fuertemente. La resistencia a la extracción de un clavo está relacionada con su diámetro, forma de caña y longitud de penetración en la madera.

La resistencia a la unión clavada puede disminuir con el tiempo. Esto debe tenerse en cuenta al diseñar la unión para considerar márgenes adecuados de seguridad.

Las uniones clavadas son eficientes si los esfuerzos aplicados sobre el clavo son esfuerzo de cortante. No es recomendable una unión clavada si las fuerzas que se aplican puedan tender a extraer el clavo.

Longitud de penetración

En uniones de elementos de madera, el clavo debe atravesar completamente uno de ellos y penetrar al menos diez veces el diámetro del clavo en la otra pieza.

En uniones de tableros con elementos de madera, la longitud del clavo deberá ser suficiente para penetrar en la madera una longitud igual al doble del espesor del tablero.

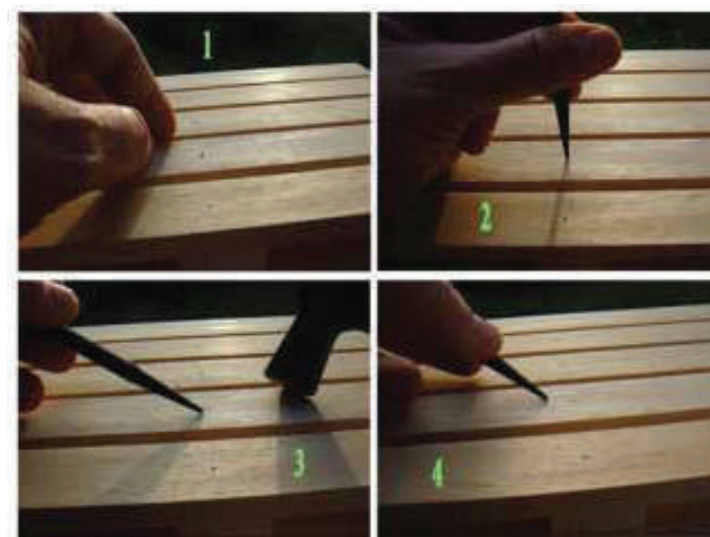


Fuente: www.guiademanualidades.com
Figura 27. Uniones con clavos.

Los llamados clavos lanceros son aquellos que se introducen con una inclinación de 30° respecto al elemento vertical y a una distancia del extremo del elemento de un tercio de la longitud del clavo.

Cuando la madera es muy dura o tiende a rajarse, es recomendable taladrar un agujero guía de un diámetro menor al 80% del diámetro del clavo.

Muchas uniones no están sometidas a fuerzas considerables. Tal es el caso de las uniones para fijar elementos no estructurales y acabados. En estos casos pueden utilizarse un mínimo de clavos. Sin embargo las uniones entre elementos estructurales que soportan cargas pesadas, deben construirse con especial cuidado. Los clavos deben estar espaciados y a suficiente distancia de los bordes. Esto evita que se produzca la falla de la unión por desgarramiento de la fibra.



Fuente: www.bricolaje.facilicimo.com
Figura 28. Clavos introducidos en diagonal.



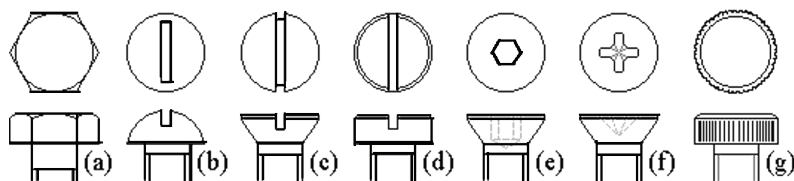
Fuente: www.prosperidad.cl
Figura 29. Estructuras fijadas con clavos.

Uniones atornilladas

En este tipo de unión podemos considerar tanto las que se dan con tornillos como aquellas en que se utilizan tirafones

Los tornillos para maderas y los tirafones tienen muchas características en común. En ambos casos se trata de elementos metálicos alargados de espiga recta y punta cónica, con fileteado helicoidal autorroscante. La diferencia fundamental entre tornillos y tirafones radica en la mucho mayor dimensión de estos últimos, que se fabrican en largos de 10 pulgadas o más. Los tornillos y tirafones poseen más fuerza de sujeción que los clavos, por lo que son muy usados para fijar elementos metálicos a la madera. Otra ventaja es que son más fáciles de sacar ocasionando menor daño a la madera.

Los tornillos más usados son de cabeza ranurada, que se introducen por rotación alrededor de su eje, utilizando desatornilladores planos. Las cabezas de los tornillos Phillips o Allen resisten mejor las fuerzas de rotación al introducirlos. Para estos tornillos se requieren desatornilladores con punta especial. Los tirafones se fabrican con cabezas cuadradas o hexagonales y se introducen usando llaves.



Fuente: www.wikipedia.org

Figura 30. Tipos de cabezas de tornillos.

Cuando se utilizan maderas muy duras es necesario taladrar agujeros antes de colocar los tornillos y tirafones. El diámetro de la perforación en la zona correspondiente a la espiga debe ser igual al diámetro de ésta. La perforación en la parte

correspondiente a la punta, debe ser del diámetro menor que el del núcleo.

Uniones empernadas

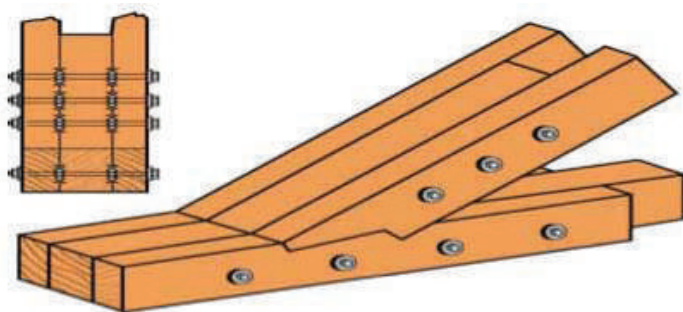
El perno es un elemento largo y cilíndrico, generalmente de acero. El perno común es de cabeza hexagonal, con una caña lisa y extremo roscado para colocar la tuerca.

Los pernos permiten lograr uniones de alta resistencia. Además las uniones empernadas pueden desarmarse con facilidad.



Fuente: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_tirafondo.htm . <http://www.ies9021.edu.ar/?p=1075>,
Figura 31. Partes del perno.

Los pernos se introducen en agujeros previamente taladrados en la madera. Para facilitar la colocación, el diámetro de la perforación debe ser ligeramente mayor que el diámetro del perno. Sin embargo, el diámetro del agujero taladrado no debe permitir un juego excesivo, ya que, de ser así, se provocarían deformaciones adicionales que perjudican la resistencia de la unión. El perno se fija a los elementos de madera ajustando la tuerca con una llave. Las arandelas aumentan el área de apoyo, evitando que la cabeza y la tuerca se incrusten en la madera cuando se ajuste al perno.

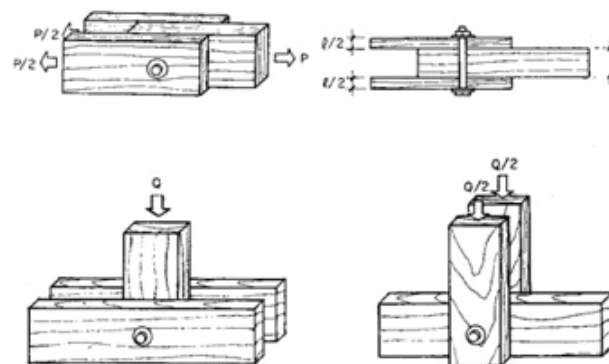


Fuente: www.feycubermadera.com
Figura 32. Uniones con pernos.



Fuente: www.bricolage-pvc.com
Figura 33. Tipo de pernos.

Las uniones emperradas tienen como característica que deben ser revisadas y reajustadas periódicamente debido a los cambios de dimensión que ocurren en la madera al variar su contenido de humedad o las fuerzas a que se someten.



Fuente: Curso Edificación 1 Autor: Prof. Luis Sanhuez, <http://www.monografias.com/trabajos82/edificacion/edificacion2.shtml>
Figura 34. Esfuerzos sobre pernos.

Esfuerzos de una unión emperrada

La resistencia de una unión emperrada depende tanto de las características de los pernos, como del área resistente y la calidad de la madera.

Al aplicarse la carga, el perno es sometido a una acción de cizallamiento o cortante. A mayor diámetro, mayor será su resistencia a este tipo de esfuerzo.

También se producen en el perno efectos de flexión, cuya importancia depende de la relación entre su longitud y su diámetro, es decir su esbeltez. Por otro lado la resistencia de la madera debe ser suficiente para equilibra la fuerza transmitida por el perno.



Fuente: www.mecma.com.mx
 Figura 35. Conectores para madera.

El perno produce en la madera esfuerzos de aplastamiento, corte y tracción, perpendicular a las fibras, dependiendo de la inclinación de las fuerzas en los elementos con respecto a la dirección de las fibras.

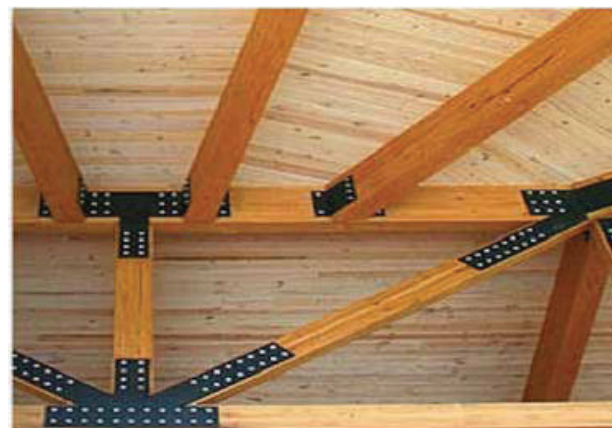
Para que el perno pueda desarrollar toda su capacidad resistente, debe colocarse a suficiente distancia de los bordes. Al igual que en otros tipos de unión, cuando se usan varios pernos, estos deben estar espaciados entre sí.

Uniones con conectores y pletinas

Este tipo de unión recién se empieza a usar en nuestro país, en algunos casos son de fabricación artesanal, existe en el mercado piezas industrializadas, las mismas facilitan la instalación de las piezas de madera.

Conectores

Son aquellos elementos metálicos de unión, que van colocados en el área de contacto de las piezas de madera. Estos elementos son introducidos parcialmente en cada cara, y se fijan definitivamente por medio de pernos.



Fuente: www.andreangaritach.blogspot.com
 Figura 36. Uso de pletinas en madera.



Fuente: www.decorablog.com
 Figura 37. Uniones encoladas.

Los conectores aumentan la resistencia de las uniones estructurales y son fáciles de colocar.

Pletinas

Son placas metálicas lisas con perforaciones para tornillos o pernos o bien provistas de múltiples dientes para clavar. Son utilizadas como elementos de unión entre piezas de madera.

Uniones encoladas

El encolado de madera es la unión más económica. Dependiendo del tipo de unión que se realice puede requerir el uso de herramientas o habilidades especiales. La más simple únicamente se aplica cola sobre las superficies que se van a unir y se deja endurecer completamente.

El encolado de madera es una de las técnicas más sencillas de unión de piezas de madera, permite además en función de los esfuerzos a que se someta la madera combinar sea con clavos o pernos.

Uniones con anclajes

Cuando se requiere unir un elemento de madera a otro de hormigón o de mampostería, se usan elementos metálicos de diversas formas que en general se denominan anclajes. Este tipo es muy utilizado en la unión de los cimientos con la estructura de madera.

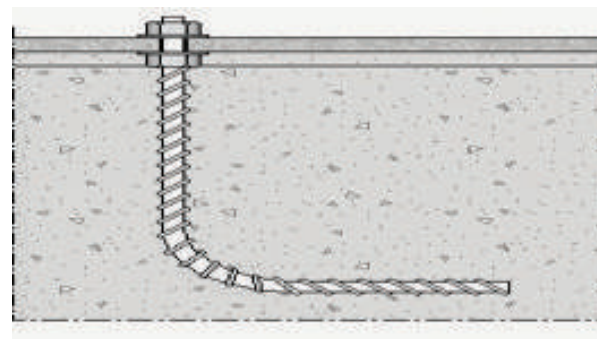
Un extremo del anclaje debe ser embebido en el concreto, o fijado a la mampostería con mezcla. Este extremo tiene forma tal que, una vez que la mezcla se ha endurecido, la extracción del anclaje es muy difícil. El otro extremo debe tener una forma adecuada para asegurar la pieza de madera.

Perno de anclaje

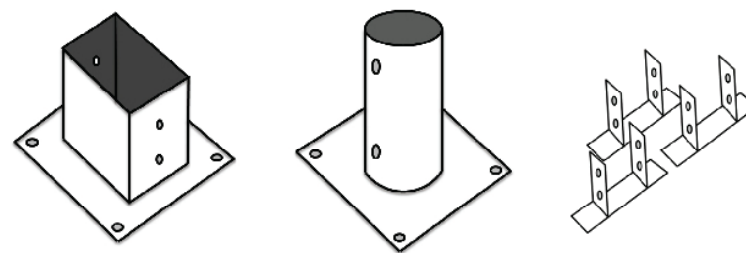
Es un perno de anclaje, el lado que se fija a la madera es idéntico al extremo roscado de un perno común.

Pletinas de anclaje

Las pletinas de anclaje se fijan a la pieza de madera con tornillos o pernos.



Fuente: JUNAC, 1980
Figura 38. Perno de anclaje.



Fuente: Elaboración propia
Figura 39. Pletinas de anclaje

6. Ensamblajes, juntas y empalmes en madera

En los trabajos con la madera se hace muy frecuente la necesidad de unir varias piezas para conformar un artículo determinado. Las diferentes formas en que se puede unir la madera se observan en muebles, puertas y ventanas, en los encofrados o en cualquier otra labor donde se utiliza la madera como materia prima constructiva.

Existen tres formas básicas para unir la madera: empalmes de madera, ensamblajes y juntas (o acoplamientos). Entre estos existen más de 500 posibilidades.

Empalmes.

Es la unión de dos o más piezas de madera con la finalidad de alcanzar determinada longitud. Los empalmes son muy utilizados en los encofrados y en la construcción de viviendas y embarcaciones.

Entre los tipos más utilizados están:

A tope

A corte inglete.

A media madera.

A media madera con tarugos

Caja y espiga o machihembrado.

Cola de milano.

A dientes triangulares (finger joint)

Los empalmes para que sean más seguros y resistentes deben estar acompañados de pegamentos, tarugos, puntillas o tornillos. Requiere de hecho maquinaria y una mano de obra especializada, dado a que algunas uniones son complejas.

Ensamblajes

Es la unión de dos o más piezas de madera formando ángulos. Los ensamblajes son muy utilizados en las construcciones con madera o más bien imprescindibles cuando se habla



Fuente: www.teycubermadera.com
Figura 40. Empalme con dientes.



Fuente: www.teycubermadera.com
Figura 41. Empalme con tarugos y cola de milano



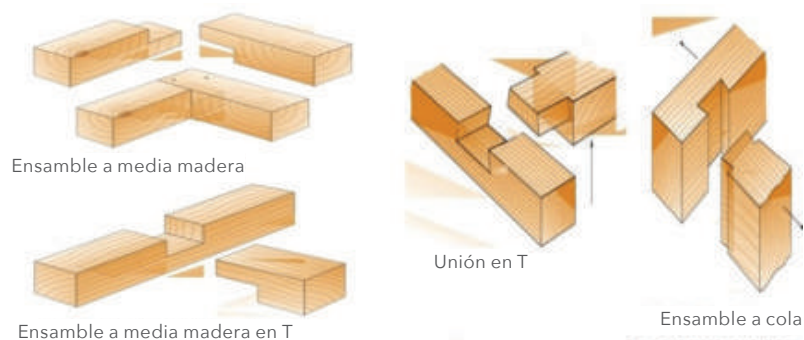
Fuente: www.teycubermadera.com
Figura 42. Empalme a espiga.

de confeccionar o construir algo con madera. Algunos de los empalmes que se utilizan con mayor frecuencia en los trabajos con la madera son: a tope con diferentes variantes; a media madera por las cabezas o extremos; en "T". Veamos cada uno de ellos.

Ensamble a tope: Es el más sencillo de todos. Como puedes observar en la figura las piezas se unen simplemente a tope, sin que medie ninguna construcción para reforzar la unión. Para aumentar la rigidez del ensamble se debe utilizar pegamento y utilizar algunas de las variantes indicadas en la figura: tornillos o tarugos. En el caso de utilizar los tarugos estos se deben confeccionar de una madera que sea más dura de las que intervienen en el ensamble.

Ensamblados a media madera: Llamado también a media madera en los extremos. Se destaca por su construcción sencilla y la forma rápida de su confección.

Ensamble a media madera tipo "T": Este ensamble es muy utilizado en los trabajos hogareños y sobre todo en la confección de muebles sencillos y paneles para divisiones. Al igual que el ensamble anterior su construcción es sencilla.



Fuente: www.brocolage.facilisimo.com
Figura 43. Ensamblados

Juntas

Son la unión de dos o más maderas por sus caras o cantos con el fin de lograr dimensiones imposibles de encontrar en una pieza única

Existen dos grupos bien diferenciados.

La unión de dos piezas simplemente cepilladas y encoladas en la que se tendrá presente las propiedades de los diversos tipos de maderas.



Fuente: <http://www.mm-holz.com/en/>
Figura 44. Viga encolada



Fuente: www.maderasamerica.com.ar
Figura 45. Tablero encolado

El otro consiste en reforzar la unión mediante lengüetas, ranuras etc.

Hemos hecho mención anteriormente que la madera en países desarrollados es de uso cotidiano, lo que ha permitido que la investigación sobre el comportamiento de la madera permita avances importantes de diferentes sistemas constructivos, desde estructuras simples hasta complejos edificios de varios pisos, Costa Rica ha sido un país que ha ido abandonando la madera como material constructivo y dejándolo como material decorativo o de apoyo para otros materiales (yuguetas, formaletas, etc.) Recordemos que las grandes casas estilo victorianas de principio de siglo XX se construían en su gran mayoría en madera y fue el material mas utilizado posterior al Sismo de 1910 (Cartago) por su excelente comportamiento ante estos eventos naturales.

Tal como hemos visto a lo largo de este capítulo los sistemas estructurales trasladan las fuerzas (estática- peso propio o dinámica-eventos naturales) hasta los cimientos esto permite clasificar los sistemas en cuatro grandes grupos:

Estructuras Macizas

Se denominan de esta forma porque generalmente se utiliza madera rolliza o madera de sección rectangular o cuadrada una sobre otra

Son estructuras conformadas piezas de madera conformadas por vigas y columnas que se entrelazan entre si generalmente para obras con luces pequeñas.



Fuente: Adrián Coto
Figura 46. Ejemplo de estructura maciza



Fuente: Adrián Coto
Figura 47. Estructura de Entramado

Estructuras Laminares

Conformada principalmente por laminas planas de madera contrachapada que en conjunto forman un sistema estructural, este sistema permite amplias luces entre apoyos

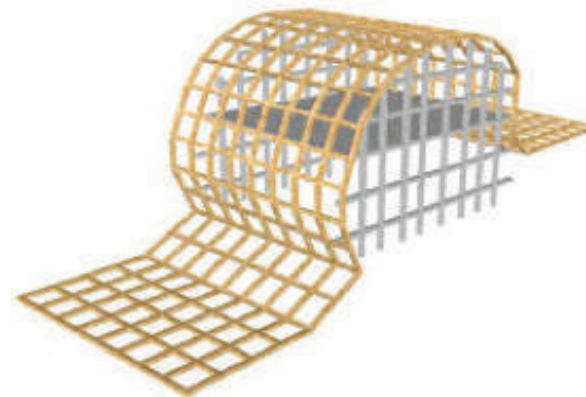


Fuente: Juan Tuk
Figura 48. Estructura Laminar

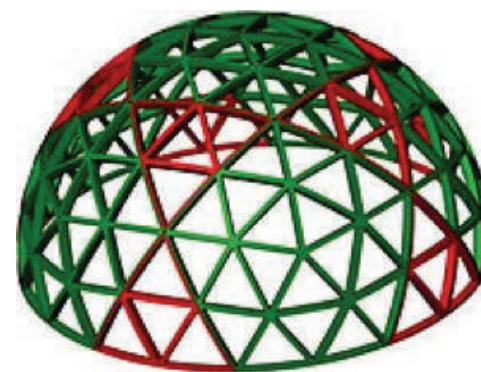
Estructura de entramado espacial

Este ultimo es una tipología para cubrir grandes con madera natural aserrada y no necesariamente laminada de esta forma constructiva se desprenden las siguientes clases de estructura 1- reticulares espaciales: construida por una cuadrícula paralela y de vértices desplazados entre 45 y 60 grados formando tetraedros rectangulares y pirámides 2-

Geodésicas: cúpulas conformadas por pequeñas superficies planas conformando un reticulado y 3- Lamelas: barras de sección corta y entrelazadas



Fuente: arqred
Figura 49. Estructura reticulada



Fuente: Wikipidia
Figura 50. Estructura Geodésica



Fuente: maderadisegno
Figura 51. Estructura Lamenar

Es importante recalcar como ya se dijo que dependiendo de la distancia entre apoyos podemos clasificar las estructuras en menores y mayores, la primera no excede luces de 6 mts y es generalmente para viviendas, además se pueden identificar los siguientes sistemas de entramados que combina diferentes elementos estructurales, a saber:

- **Vigas sobre columna (pilar)**

Aquí se colocan las vigas principales sobre las columnas y sobre estas las viguetas ya sean del techo o el segundo piso



Fuente: www.cadamda.org.org
Figura 52. Viga sobre pilar

- **Viga sobre columna para dos pisos**

Tiene exactamente la misma disposición que las Vigas sobre Columnas, pero sobre la columna se monta la columna del segundo piso



Fuente: www.proyectos.habitissimo.es
Figura 53. Viga sobre pilar segundo piso



Fuente: www.casa-lavandablogspot.com
Figura 54. Viga contra pilar



Fuente: www.estrumad.es
Figura 55. Doble viga.

- **Viga contra columna (pilar)**

Aquí la columna es continua y las vigas se colocan contra la columna, debido a esto se deben utilizar herrajes metálicos

- **Doble viga**

Este sistema se caracteriza por la continuidad tanto de las columnas como de las vigas, no se cortan en las uniones y van colocadas en sentido contrario unas sobre otras



Fuente: www.forestalmateriales.com.ar
Figura 56. Doble pilar.

- **Doble columna (pilar)**

La viga principal esta entre dos columnas, generalmente se trabaja con clavos o pernos que permiten la transmisión de las cargas

En el caso de las estructuras denominadas mayores dado a sus característica de cubrir grandes luces se utiliza en techados de piscinas, gimnasios, fabricas, canchas, etc. que para efectos del presente trabajo únicamente mencionamos para su conocimiento, básicamente son dos sistemas:

1- Sistema de estructuras Planares; que son aquellas que cubren luces con bases de uno o mas elementos marcos, arcos vigas, etc.) y que se unen entre ellos.

2- Sistemas Espaciales Laminares, son aquellas que están conformadas por formas planas y delgadas generalmente utilizando madera contra chapada o laminada encolada, tema que por razones ya expuestas no se profundiza en el presente manual.

Referencias Bibliográficas

Brenes, A. 2012. Desarrollo de un manual para uso de un sistema constructivo modular de paredes de madera Proyecto graduación Licenciatura. Ingeniería Forestal. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. p. 11 – 31.

Junta del acuerdo de Cartagena, 1980. Cartilla de construcción con madera. Lima, Perú. p 40-72.

Costamagna, C. 2012. Una introducción a la arquitectura sostenible. (en línea). Disponible en <http://www.todoarquitectura.com/revista/41>.

Fritz Durán, A; et al. 2007. La construcción de viviendas en madera. Santiago, CL. Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera. 523 p.

La llave del Hogar. Sistemas constructivos de las casas de madera, (en línea). Consultado 8 agosto.2014. Disponible en [www.lallavedelhogar.es /index.htm](http://www.lallavedelhogar.es/index.htm).

Plycem Construsistemas Costa Rica. Guía de aplicaciones Plycem. (en línea). Disponible en http://www.plycem.com/descargas/Guia_aplicaciones_plycem_5. PDF de junio 2005.



Colegio Palmera

CAPÍTULO

MADERAS ESTRUCTURALES Y
NO ESTRUCTURALES



1. Introducción

Para las personas que se encuentran en el campo de la construcción, la madera es un material poco conocido y utilizado, con excepciones en las partes decorativas, incluso en los carreras universitarias, se llevan (dependiendo de la universidad) cursos sobre comportamiento de los materiales de construcción y como regla general la madera está excluida, solo se dan hechos aislados de parte de profesores con interés en el tema. Debe ser interés de parte de los involucrados en todos sus extremos del sector construcción (ingenieros, arquitectos, maestros de obras, carpinteros, ebanistas, madereros distribuidores etc.) e instituciones interesadas en el tema tratar de introducir en las entidades técnicas, para universitarias y universidades, cursos que permitan la divulgación de la madera como material principal de la construcción, así se formarían nuevos técnicos y profesionales con deseos de diseñar y construir con este material

Anteriormente indicamos los esfuerzos realizados por el Instituto Tecnológico de Costa Rica, por promover la construcción de madera plantada en Costa Rica, vale hacer sobresalir que en el mes de junio (2014) realizó un excelente curso con expertos argentinos, un curso teórico-práctico en donde se construyó un pequeño módulo habitacional (30 m²), además logro alianzas estratégicas con dos instituciones financieras. Además lograron que el proyecto Trópika, diseñado por estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), obtuviera el primer lugar como casa favorita del público en la premiación final de Solar Decathlon 2014. En Francia, este proyecto utiliza la madera como elemento estructural y arquitectónico. El INA tiene interés de poder involucrar este material en sus cursos.

El manejo de la madera en proyectos es muy escaso por parte de los profesionales, se pretende en este capítulo dar una

bases fundamentales para poder determinar las características básicas que se necesitan en las construcciones de madera que aseguren una vida útil apropiada de la construcción (40 a 60 años), por supuesto como cualquier otra construcción con el debido programa de mantenimiento. Actualmente existen excelentes ejemplos e intentos de introducir este material a un nivel competitivo.

2. La madera para la Construcción

La madera en la construcción, tiene un uso en básicamente dos categorías, las cuales se describen a continuación,

Maderas de uso temporal, estas pueden ser de dos tipos, las auxiliares, que cumplen una función de apoyo en el proceso constructivo, tales como las yuguetas que se utilizan para fijar las cuerdas con que se van a trazar las líneas de centro de paredes.

Una yugueta se construye colocando dos estacas de madera a una distancia aproximada de 80 cm una de otra, y uniéndolas con un codal a nivel o los arriostres provisionales (pieza inclinada, diagonal de un rectángulo en un armazón o estructura que le da seguridad y estabilidad) también en la formaleta. Otro uso es transitorio que permite apoyar estructuralmente la obra, sin quedar incorporadas en la estructura final y definitiva, ejemplo de estas, son los soportes de fondo de la formaleta en el hormigón. Desgraciadamente es en este nicho donde la madera ha quedado posicionada.

Maderas de uso definitivo: Se consideran aquellas incorporadas a la obra constructivas con carácter definitivo, sea esta en la estructura o en los terminados, siendo elemento esencial en la vida útil.



Fuente: www.cmm.com
Figura 1. Uso temporal en columnas



Fuente: www.cmm.com
Figura 2. Uso temporal en escaleras



Fuente: www.arquienguate.blogspot.com
Figura 3. Uso temporal en formaleta

Por lo tanto, se entenderá que la construcción en madera se refiere aquellas obras constructivas sean en su totalidad resueltas en madera tanto en estructura como en acabados, aunque también se debe considerar aquellas en estructura y sus acabados sean en otros materiales (tabla yeso, siding, tabla roca, madera contrachapada, etc.)

Debe la estructura cumplir en todos sus extremos con los requerimientos de seguridad, resistencia, durabilidad y en su vida útil, estas construcciones deben contemplar aislamiento térmico y acústico, aislamiento a la humedad, resistencia al fuego y protección en todas las áreas, dentro de esto se debe erradicar el concepto de "madera seca" ya que estas estructuras debe ser con secado en procesos industriales que le aseguro a los usuarios un uso definitivo y correcto en la construcción, se debe hablar del contenido de humedad, ej. madera para estructura debe contener entre un 12 y 18% de humedad. Además es importante adelantar que este porcentaje variara significativamente dependiendo de la zona climatológica en donde se encuentre la obra. Recordemos que en un país tropical como el nuestro estas variaciones son significativas, dependiendo del área que nos encontremos (atlántico, montañoso, pacífico, etc.)

3. Maderas Estructurales



Fuente: www.fotolia.com File: #82645818 | Author: Maxim_Kazmin
Figura 4. Maderas estructurales

Estas maderas son aquellas que forman parte de la estructura de una construcción y que están sometidas a las fuerzas básicas de toda obra constructiva.

Recordemos, como ya hemos dicho, que la madera presenta características diferentes con respecto a otros materiales de construcción y que presenta, según su especie, comportamientos mecánicos diferentes tanto en su densidad, fluencia, resistencia como en su módulo de elasticidad, estos parámetros se ven modificados por características tales como, los nudos, variaciones de desviación en las fibras y espesor de sus anillos de crecimiento.

Existe en nuestro país por parte del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) la Norma INTE 06-07-03:2011

_ Madera Estructural- Clasificación en grados estructurales para la madera aserrada mediante evaluación visual, para aquellos que quieran profundizar técnicamente en este campo. Estas se adquieren en las oficinas centrales de INTECO, además está el Capítulo 11 del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR)

Ya indicamos anteriormente que las Normas INTECO no pueden reproducirse en forma alguna. Y deben adquirirse a título personal en las oficinas de INTECO, sita en la Universidad de Costa Rica. Debemos recordar que estas normas no son de uso obligatorio.

Caso contrario, es el Código Sísmico (CSCR), el cual es uso obligatorio para los profesionales en el campo del diseño y construcción. Y es obligación de estos transmitir aquellos otros involucrados del sector.

Tal como dijimos, es el Capítulo 11 del CSCR y el mismo tiene como objetivo de establecer los lineamientos necesarios para el diseño de estructuras en madera para la sismo resistencia de una obra constructiva.

Es importante por lo tanto indica que este Capítulo se divide en varias secciones, el primer apartado son las Generalidades, seguido por factores de carga y resistencia, estándares y materiales, ductilidad de sistemas sismo resistentes, requerimientos de diseño especiales para sistemas tipo muro, conexiones y por ultimo control de calidad y resistencia

Una pequeña pero importante descripción de cada apartado se dará a continuación;

Generalidades

Aquí se indica que toda la madera a usar para estructuras

Tipo de sistema	Ductilidad	Ductilidad	Altura máxima	Regularidad
sismoresistente	local	global asignada	permitida	permitida
Arcos y galpones articulados	Moderada	1.0	1 nivel 15 m	Regular
Marcos tipo 1	Moderada	1.0	1 nivel	No se aplica
Marcos tipo 2	Moderada	1.5	1 nivel	Regular
Marcos tipo 3	Optima	2.0	2 niveles 10 m	Moderada
Muros tipo 1	Moderada	1.0	1 nivel	Moderada
Muros tipo 2	Moderada	2.0	2 niveles	Moderada
Muros tipo 3	Optima	3.0	2 niveles 20 m	Moderada
Armaduras	Moderada	1.5	no se aplica	No se aplica

Fuente: CSCR

Tabla 1. Ductilidades globales asignadas a cada tipo de sistema sismoresistente

debe cumplir con una producción, tratamiento y clasificación para ese uso, además indica que se debe adoptar el diseño por factores de carga y resistencia (LRFD), según el ANSI/AF & PA.

Factores de carga y resistencia

Este apartado presenta el formato de diseño LRFD para maderas.

Estándares y materiales

Se definen los materiales a usar en la construcción de los sistemas sismo resistentes, los cuales son madera aserrada estructural, madera laminada, madera contrachapada estructural y conectores mecánicos.



Fuente: <http://jmcastro.webs.uvigo.es/>

Figura 5. Unión Articulada

Ductilidad de sistemas sismo resistentes

Se definen de los cuatro sistemas, y se podrá notar que los dos sistemas más importantes son los marcos y los muros, además define las alturas permitidas y la cantidad de niveles en cada tipo de sistema sismo resistente.

La tabla siguiente nos permite clarificar lo anterior mente dicho.

Requerimientos de diseño especiales para sistemas tipo muro.



Fuente: <http://jmcastro.webs.uvigo.es/>
Figura 6. Unión rígida

Este apartado versa sobre los requisitos para diafragmas y muros de cortante de madera, puede uno encontrar las fórmulas para el cálculo de la capacidad y desplazamientos de los diafragmas y muros de cortante.

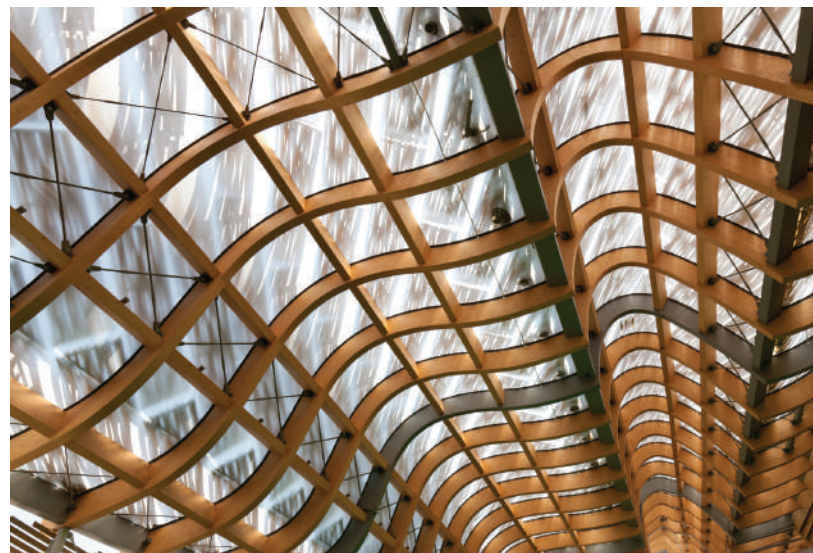
También se encuentran los requisitos para asegurar un comportamiento estructural adecuado.

Recordemos los diferentes sistemas que vimos al final del capítulo anterior.

Conexiones.

Tres tipos de conexiones definen el CSCR,

Articuladas, las define como aquellas articulaciones que solo transmiten fuerzas axiales y de cortante y de poca capacidad



Fuente: Fotolia.com File: #84710993 | Author: tiero
Figura 7. Unión Semirrígida

para transmitir momentos flexores.

Rígidas, estas transmiten fuerzas axiales, de cortante y momentos flectores, indicando que no son capaces de deformarse después de alcanzar su capacidad elástica.

Semirrígidas, estas son similares a las anteriores, pero con la diferencia que deben deformarse después de alcanzar su capacidad elástica

Tal como vimos en el capítulo anterior.

Tipo de sección	Espesor			Ancho		
	Nominal (pulgadas)	Mínimo cepillada [cm]		Nominal (pulgadas)	Mínimo cepillada [cm]	
		seca	verde		seca	verde
Tablas	.3/4	1.6	1.7	2	3.8	4.0
	1	1.9	1.9	3	6.4	6.5
	1.-1/4	2.5	2.6	4	8.9	9.0
	1.-1/2	3.2	3.3	5	11.4	11.7
				6	14.0	14.3
				7	16.5	16.8
				8	18.4	19.0
				9	21.0	21.6
				10	23.5	24.1
				11	26.0	26.7
				12	28.6	29.2
				14	33.7	34.3
				16	38.8	39.4
				2	3.8	4.0
				3	6.4	6.5
				4	8.9	9.0
				5	11.4	11.7
				6	14.0	14.3
Estructural	2	3.8	4.0	2	3.8	4.0
	2.-1/2	5.1	5.2	3	6.4	6.5
	3	6.4	6.5	4	8.9	9.0
	3.-1/2	7.6	7.8	5	11.4	11.7
	4	8.9	9.0	6	14.0	14.3
	4.-1/2	10.2	10.3	8	18.4	19.0
				10	23.5	24.1
				12	28.6	29.2
Grandes				14	33.7	34.3
				16	38.7	39.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Tamaños estándares nominales y mínimos para madera aserrada

Control de calidad e inspección

Consta de tres sub apartados, uno con la información básica que debe contener los planos estructurales, otro de identificación y clasificación estructural de los elementos y un último de preservación de la madera.

Requisitos

Dimensionamiento, el diseño y calculo debe realizarse de acuerdo a el Código Sísmico Norma de Costa Rica, paralelamente y tal como dijimos sin carácter obligatorio se encuentra la Norma INTE 06-07-03:2011.

Exige que el productor debe indicar los tamaños nominales y reales de las secciones de la madera aserrada indicándose tanto para la condición de madera seca como de madera verde.

Para tales efectos presenta la siguiente tabla, la cual debe ser guía primordial en las construcciones de obra civil.

Tolerancias Dimensionales, el CSCR establece las clases de tolerancia dimensional que la madera aserrada y estructural tenga una desviación máxima permitida respecto a las dimensiones nominales, estas también están consideradas en la Norma INTE 06-07-03:2011.

Acabado, es práctica normal que la madera estructural este sin cepillar, en el sitio de la construcción se da el acabado de acuerdo a los requerimientos de las especificación.

Protección, en el trópico dado a las características de alta humedad ambiental, exposición solar y alto nivel de lluvia, es recomendable utilizar medios químicos de protección y nunca poner a la madera en contacto directo de protección y nunca poner a la madera en contacto directo con la tierra. En zonas menos húmedas se puede

no aplicar protección química siempre y cuando se tomen medidas de diseño en la correcta protección

Clasificación, hemos dicho constantemente que la madera es un material biológico y orgánico y que por lo tanto es heterogéneo y presenta variaciones significativas en sus parámetros de diseño, por lo que utilizarla como elemento estructural debe conocerse las propiedades mecánicas de cada especie, existe para estos efectos dos métodos de clasificación, el primero denominado "visual" y el segundo "mecánico"

Visual, se realiza una evaluación visual de las características, tales como nudos, desviación de la fibra, anchura de los anillos, entre otros)

Mecánica, su evaluación se realiza a través de máquinas y equipos en laboratorios especializados en comportamiento estructural de materiales de construcción.

Dicho de paso, la Norma INTE 06-07-03:2011. Utiliza el método de evaluación visual

Contenido de humedad en maderas estructurales

Humedad, como regla general se acepta que el contenido de humedad en este tipo de madera no sea superior al 20%, el CSCR indica que se considera madera aserrada seca aquella que tenga una cantidad igual o menor al 19% y se considera verde la que sea superior a 19%, esto con la finalidad de minimizar la probabilidad de hinchazón de la madera, también hay que tratar que la humedad sea cercana a la humedad ambiental del área en que la madera será expuesta, también se puede considerar lo siguiente,

madera expuesta al medio ambiente bajo cubierta -15% más/ menos 3% y madera expuesta al ambiente al descubierto- 18% más/ menos 6%, estas última las debemos considerar como opcionales.

Es importante indicar que la madera se estabiliza en función de la humedad relativa y la temperatura ambiental, la madera va a sufrir movimientos diferenciales ante los cambios de humedad y estos se dan en las tres direcciones principales de la madera, radial, tangencial y longitudinal, las "fendas" nacen precisamente de estos cambios y las primeras se manifiestan en el proceso de secado

Lo anteriormente planteado o sea el hecho de que el contenido de humedad en la madera debe ser considerado en función de la zona climática en donde se construye es un tema poco estudiado en nuestro país, como zona tropical que somos, existe poca información y estudios técnicos. La práctica ha sido usar maderas duras o muy duras.

Los tratamientos preventivos debe dar a la madera una resistencia al ataque de los agentes bióticos, para obtener este resultado se debe crear una capa de protección alrededor de la pieza, recordemos que los riesgos biológicos son variables, así que también puede variar la profundidad de esta capa protectora.

La protección de la madera se puede realizar a través de sistemas mecánicos, sistemas químicos o manuales.

La primera, algunos estudiosos la denominan protección por diseño constructivo, esta protección consiste en utilizar las propiedades de la madera para disminuir el efecto adverso de los agentes destructores de la madera, una construcción de madera bien diseñada puede llegar a proteger muy bien la madera, ejemplos de lo aquí indicado son, aleros amplios que evite que la lluvia llegue a las paredes, montar



Fuente: www.fotolia.com File: #59263443 | Author: NinaMalyna
 Figura 8. Aditivos como protección



Fuente: www.fotolia.com File: #64972418 | Author: tab62
 Figura 9. Barnices como protección

sobre basas de concreto la construcción, permitir una buena ventilación, entre otras.

La protección química conlleva en colocar una cantidad de producto químico protector necesario para evitar o retardar las degradaciones o riesgos a que la madera pueda ser sometida, generalmente esta se aplica para proteger contra los insectos u hongos xilófagos.

Protección contra la humedad

Los agentes atmosféricos son el sol y la lluvia y dependiendo de estos se pueden generar niveles de humedad que afectan directamente, la humedad o la exposición directa a la lluvia produce un aceleramiento en el envejecimiento de la resina de la madera, su acción muy dañina y permite el crecimiento de hongos y posteriormente el anidamiento de insectos.

Aquí funciona de muy buena forma la protección por diseño constructivo, algunos ejemplos de los mismos los podemos observar en el Capítulo 5.

Tal como indicamos anteriormente aleros amplios, separación de la madera a las zonas expuestas a la humedad, cubiertas, son algunos de los elementos constructivos que llevan a proteger la madera.

Como regla general la madera debe permanecer con un contenido de humedad adecuado (12% a 18%) y estar bien ventilada, aquí en el trópico donde generalmente la humedad relativa es alta, la madera es más propensa al ataque de hongos e insectos.

En la parte química se encuentran los barnices y los aditivos.

Protección contra los hongos

Los hongos son agentes bióticos que aparecen en la superficie de la madera y para evitar la aparición de los mismos se debe aplicar un tratamiento químico de tipo fungicida, además de los hongos también se da el moho.

En la protección por diseño constructivo, se debe evitar la humedad, se debe propiciar una buena ventilación y la adecuada exposición al sol, al decir adecuada es porque si se sobreexpone al sol puede ser contraproducente.

Protección ante el Calor

El calor puede afectar o dañar la madera, generalmente los cambios bruscos pueden deteriorar el aspecto externo, una de las ventajas del trópico es que estos cambios bruscos son casi nulos. Recordemos que el calor puede ayudar a evitar la humedad, pero es importante no sobreexponer la madera a calores fuertes, ubicar paredes de una manera adecuada evita esta sobre exposición, principalmente en zonas como Guanacaste o donde se genera mayor calor en las áreas del pacífico.

La madera es un material biológico, que se contrae y se expande ante los cambios bruscos del calor, lo cual puede generar grietas.

Recordemos que la exposición al sol tiene otras implicaciones y esta es la radiación solar donde los rayos ultravioletas y los infrarrojos actúan directamente, los ultravioleta no penetran profundamente la madera, este efecto superficial tiene implicación directa al degradar la lignina, perdiendo cohesión

en las fibras, provocando reventa duras, mismas que ante la humedad propicia el crecimiento de hongos y moho

En cambio los infrarrojos provocan calentamiento de la zona donde se expone, provocando grietas longitudinales o fendas en la superficie, paralelamente sube las resinas por el recalentamiento de los rayos, acelerándose el envejecimiento de la madera

El calor por lo tanto va a bajar el nivel de humedad en las piezas, lo que se contraerá de una manera más evidente, si este es el caso nunca se debe colocar madera verde y se debe permitir traslapes importantes en las piezas.

La protección a estos efectos se puede lograr tanto con sistemas químicos como por diseño.

Protección ante el Ruido

La madera es un excelente material para evitar la propagación del sonido, entre más suave más porosa, por lo tanto más absorbente, por lo que es recomendable en aquellos espacios que requieren una buena acústica y se debe regular la reverberación, recordemos que al aplicar barnices esta característica cambia.

Protección contra los insectos y hongos xilófagos

Esta protección debe ser de índole químico con el fin de prolongar la vida útil de la madera, debemos recordar que estamos en el trópico donde el crecimiento de estos agentes bióticos es el propicio, entre más humedad mejor las condiciones para la aparición de los mismos.

Existe una gran cantidad de tratamientos, sin embargo unos son más efectivos que otros, estos métodos se agrupan

según la profundidad de penetración del químico, los tratamientos superficiales son aquellos que alcanzan a lo mucho 3 mm de penetración, por lo tanto los tratamientos a profundidad son aquellos que alcanzan penetraciones superiores a los 3 mm, es importante recalcar que esta penetración también está en función del tipo de madera y sistema de aplicación, tal como vimos en el Capítulo 2, Punto 2

Clasificación de sustancias perseverantes

De acuerdo a Ávila C. en su estudio "Técnicas de determinación de retención y penetración en la madera" estos se clasifican de la siguiente manera;

Oleosos; de acuerdo a las Normas Norteamericanas esta se obtienen de la destilación del alquitrán, siendo una mezcla compleja que contiene sustancias neutras, ácidas y alcalinas, es insoluble al agua, es de alta toxicidad, a los hongos e insectos, no es corrosivo a los metales, de fuerte y penetrante olor por lo que NO SE RECOMIENDA para interiores de las viviendas, no permite a la madera ser pintada o barnizada.

Creosota, esta pueden ser ordinarias, liquidas o mezclas.

Óleo solubles, es un producto orgánico, se disuelven en aceite, resultan en algunos casos eficaces como fungicida e insecticida pero ineficaces a los perforadores marinos, el óxido tributil es soluble en agua.

Naftenatos

Pentaclorofetano de sodio

Oxido tributil estañoso

Quinolinato 8 de cobre

Hidrosolubles, producto inorgánico, son solubles al agua, son altamente fungicidas e insecticidas, son excelentes fijadores, reducen la acidez y la corrosión metálica, carecen de olor y no son inflamables, permiten utilizar acabados, su desventaja consiste en que hincha la madera.

Sales múltiples; estas sales perseverantes tienen en su composición elementos fungicidas (cobre) e insecticidas (arsénico o boro), tiene buena fijación o adherencia, se debe manipular con mucha precaución por su alta toxicidad

a.1) Arsénico-cobre-amoniacaes

a.2) Cobre-cromo-arsenicales

a.3) Cobre-cromo-bóricas

Compuesto de boro; es un buen perseverante insecticida y fungicida para la madera recién cortada, puede ser pintada, no despiden olores ni vapores irritantes, se recomienda en construcciones rurales y en la madera que no está en contacto con el suelo dado a que es lixiviable (desplazamiento de sustancias solubles).

Otras sales, de características similares a las descritas en sales, son hidrosolubles pero su uso está restringido:

c.1) cobre-cromo-flúor

c.2) Cobre-cromo-fosforo

c.3) cromo-zinc-cloro

c.4) Flúor-cromo-arsénico-fenol

4. Maderas no Estructurales

Son todas aquellas maderas que no son parte de la estructura, pueden ser decorativas o de carácter funcional, la siguiente lista da una idea de aquellas maderas no estructurales;

La clasificación de las maderas no estructurales, por regla general, se enmarcan en dos categorías;

Madera Expuesta: esta madera de cumplir con requisitos de buena calidad, implica por lo tanto que su apariencia debe ser buena y estar libre de defectos, su acabado será a través de barnices o químicos transparentes y en algunos casos será natural.

Madera no Expuesta: son aquellas que se cubrirán con pintura o barnices opacas, por lo que su calidad será menor y en algunos casos se permiten defectos.

Recordemos que según el uso así será la densidad, el tipo de corte, el grado de calidad, etc... demandada (Clasificación de muy dura a blanda) asimismo debemos tener claro que entre más blandas, menos durables son en nuestro clima tropical, por lo que debemos aplicar químicos para aumentar la vida útil de la madera.

Requisitos de la madera no estructural:

Contenido de Humedad

Las maderas no estructurales no deben superar un 20%.

de humedad, al igual que las maderas estructurales la humedad debe ser cercana a la humedad ambiental, más en los casos de uso exterior y estas a su vez debidamente protegidas ya sea por protección química o de diseño,

esto es importante ya que una humedad inadecuada conllevará a que la pieza se deforme y se verá visualmente desagradable.

Las maderas no estructurales son más propensas a la exposición de la humedad que las estructurales, aquí es importante señalar que el proceso de pudrición en la madera se inicia cuando el contenido de humedad supera el 30%, los hongos de pudrición blanca requieren más humedad que aquellos de pudrición café para que se propicie las condiciones de uso, los contenidos de humedad en la madera para que se den condiciones óptimas para el crecimiento de hongos es del 40% al 80%, para evitar esta situación se recomienda que las maderas no estén expuestas directamente a la lluvia y a la humedad a través de métodos de diseño y en caso de no poder aplicar este método se debe realizar una protección química.

Acabado

Tal como mencionamos anteriormente, las maderas no estructurales, requieren un mejor acabado, que implica además, del cepillado, el lijado, la ausencia de defectos los cuales deben ser pocos o inexistentes. Aquí se debe aplicar la Norma INTE-06-07-02: 2011 de INTECO, la cual es para madera de uso general, es importante que esta norma excluye la madera de muebles y molduras además de las laminadas y contrachapadas ya que funciona solo para madera de uso general.

Dimensionamiento

Las piezas deben tener un secado adecuado, para que una vez instalada no sufra cambios en el dimensionamiento, para efectos de estandarizar las dimensiones INTECO tiene la norma mencionada anteriormente.

Requisitos Generales:

Además de los requerimientos anteriores la madera no estructural debe cumplir con los siguientes requisitos,

- 1) No debe tener nudos y caso de que así sea, deben ser sólidos y no deben ser mayores a 25 mm de diámetro.
- 2) Las grietas y deformaciones deben ser leves y ser corregidas en caso de que se den.
- 3) No debe contener hongos o pudrición de tipo alguno.
- 4) No debe tener presencia de agujeros hechos por insectos y por último.
- 5) No debe presentar aristas faltantes ni reventa duras y ser parte de la medula del árbol.

5. La construcción en madera ante los riesgos

Sismos

Costa Rica goza de uno de los mejores códigos sísmicos del mundo, paradójicamente el Capítulo 11 el cual está dedicado a la madera es de una página en todas las

versiones anteriores al 2010, en esta versión (Código Sísmico 2010) se sientan las bases para el diseño estructural para la madera, tanto aserrada como contrachapada, desgraciadamente existen pocos profesionales dedicados en este tema.

Además en su Apartado 11.7 se sientan las bases del contenido mínimo de información en los planos y especificaciones.

Fuego

Recordemos que la madera en esencia está conformada por carbono, el cual es combustible por lo que es susceptible al fuego y que la combustión disminuye la capacidad de resistencia e incluso puede llevar al colapso total.

Esto contribuye al mito que como material de construcción ante el fuego no es un buen material, recordemos que muchos de los materiales de construcción no son combustibles, pero ninguno es a prueba de fuego, por ejemplo las estructuras metálicas se dilatan y se retuerce cuando se somete a la exposición del fuego, en algunos casos pierde más del 50% de resistencia en los primeros quince minutos a la exposición del fuego, el concreto se resquebraja con el calor y ante la exposición de cambios bruscos como se da ante el agua, en ambos casos las estructura tiende a colapsar.

El Laboratorio de Experiencias e Investigación del INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria, Chile), indica;

“El fuego ataca de forma relativamente lenta y progresiva la madera. Por debajo de los 2,750 grados solamente desprende vapor de agua, gases piroleñosos y CO₂, lo que dificulta el ataque del fuego. Por encima de los 2,750 grados la reacción es exotérmica y a partir de los 4,500 grados resta un residuo

solido (carbón de madera) susceptible de quemar y por tanto de causar daños estructurales y el colapso estructural”

Son tres aspectos, que hace que la madera sea más segura de lo que comúnmente se cree;

Que la conductividad térmica en la madera es baja, lo que hace que la temperatura disminuya significativamente hacia el interior.

Generalmente se carboniza una capa superficial, lo que impide la salida de los gases, además de la penetración del calor.

Y por último, la dilatación térmica es casi despreciable, por lo tanto no actúa sobre las estructura y no las deforma, impidiendo su colapso.

Por estas razones no debemos desechar a la madera como un material constructivo, ya que si se utiliza adecuadamente puede ofrecer condiciones adecuadas de seguridad. En el Capítulo 6 se toca a fondo este tema.

Referencias Bibliográficas

Tuk, J. 2010. Madera: diseño y construcción. San José: Colegio de Ingenieros y arquitectos. Costa Rica.

Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del grupo andino para la preservación de la madera. Editorial PRID-MADERA. Cartagena. Colombia.

Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew y Szokolay. 1977. Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos - Código Sísmico de Costa Rica. Versión 2010

Confederación Española de Empresa de la Madera (confemadera) 2010.(en línea) <http://7/www.confemaderas/rs/99/-54ec438b-9358-4483f9e98868dc5filenameconceptos-basicos.pdf>

David J. 2002. Arquitectura y Entorno. Editorial Blume

Centro de Transferencia Tecnológica- La construcción de viviendas en madera, Chile

INTECO - Normas de Madera, INTE-06-07-03:2011, INTE 06-07-02:2011 e INTE 06-07-01:2011 (Únicamente se citan)

Estructalia- El Blog de la Ingeniería Civil

Ching- Adams - Guía de la Construcción Ilustrada, Editorial LIMUSA WILEY

Estructuras de madera contra sismos en los Abruzos-Boletín de Información Técnica No 263

La Madera arremete como mejor como la mejor alternativa de construcción ante terremotos-Seminario Contrarréplica

Productos de madera para la construcción- Gerhard Schickofer

La construcción de artesonados- Liliana Palia y Santiago Tormo. www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC4_081.pdf

Manual para la protección contra el deterioro de la madera-Gobierno Federal de México

Uso estructural de la madera-Lignun facile

Como proteger y tratar la madera- Taringa

Tratamiento de la Madera - Arqhys

Clasificación de la madera estructural - Varios autores.

Propiedades físicas de la madera - Futper Carpintería

Nuestros Productos- Victoria Maderas. www.victoriamaderas.com.ar



Escuela Katuir

CAPÍTULO
CONSTRUCCIÓN EN MADERA



1. Introducción

Como ya hemos indicado para todo profesional en Ingeniería y Arquitectura que desee involucrarse en el diseño y construcción de proyectos de madera, independiente a el uso o dimensión que se le dé al proyecto, lo primero que debe consultar debe ser, sin duda alguna, el Código Sísmico en su Versión 2010, Capítulo 11, del cual dimos un breve descripción

Además, también es de carácter obligatorio conocer las Norma Técnicas establecidas por INTECO, las cuales son, 06-07-01: 2011 06-07-02: 2011 y 06-07-03: 2011

La primera contiene un extenso glosario, con las definiciones de todos y cada uno de los términos utilizados en el tema de madera, por lo tanto no realizaremos un glosario en el presente trabajo, para no duplicar esfuerzos, tomaremos esta Norma como referencia de carácter obligatorio de consulta.

La segunda norma versa sobre Madera aserrada para uso general y sus Requisitos

La tercer y última norma contiene información sobre Madera estructural – Clasificación en grados estructurales para la madera aserrada mediante una evaluación visual.

Recordemos que la madera fue el material primordial de construcción en tiempos pasados, después del terremoto de 1910 y la prohibición de los sistemas constructivos de bahareque y adobe, la madera fue la primer opción, tan así que las viviendas con el estilo victoriano costarricense de la clase alta, se construían en madera, algunas casas subsisten al día de hoy, lo mismo fue la vivienda en las zonas bananeras, en los beneficios de café y muchos otros casos

Desgraciadamente, la falta de un suministro de madera, aunado a la baja industrialización del sector maderero y de un fuerte desarrollo de la industria de materiales sustitutos hizo que en las últimas décadas, la madera perdiera posicionamiento y disminuyera su uso como material de construcción. También sucedió que en cierta medida se veía el uso de la madera como un transgresión al medio ambiente por la explotación de los bosques naturales.

Es hasta los últimos años que en función se comprende que la reforestación para la explotación maderera es más bien beneficiosa.

La ausencia de normativas que le permitiera a los arquitectos e ingenieros realizar cálculos y diseños, produjo que estos profesionales abandonaran el uso de este material, es recientemente que aparece normativa apropiada para el uso de la madera, tal como ya indicamos es hasta la Versión de 2010 que el Código Sísmico la incorpora.

El uso de la madera en la construcción de viviendas y estructuras de uso público, es un tema que está tomando cada vez más fuerza globalmente, sobre todo en la actualidad donde existen investigaciones científicas y ejemplos claros de sus propiedades y múltiples formas de utilizarla.

En relación con la madera, la construcción permite un uso intensivo de este recurso casi en bruto, lo cual se traduce en una menor inversión de energía durante el proceso de transformación de este material.

Adicionalmente, la tecnología existente permite asegurar estructuras de calidad, idóneas para climas y entornos como el costarricense. La madera como producto aplicado, otorga a las estructuras características únicas: es lineal, sismo-resistente, cuenta con alta capacidad de aislamiento, durable, calculable,

resistente y segura, además de su ya conocida belleza y calidez. Asimismo, estas construcciones son más saludables porque la madera bien tratada no permite humedad y por ende, evita enfermedades al ser humano como alergias y asma entre otras, características de los climas tropicales húmedos.

Al hacer una comparación entre viviendas de madera o bloque, las construidas en madera son mucho más eficientes en el consumo de energía. Se ha comprobado que las casas de madera representan 28% de ahorro de demanda de energía, lo que se puede traducir en 376 litros menos de combustible al año.

Por la calidad y belleza, así como por otras bondades características de la madera, se hace necesario fomentar el uso de este recurso natural renovable.

En el siguiente capítulo vamos a estudiar todos los pasos necesarios para la realización de una construcción en madera, en base a los conceptos que hemos estudiado en los capítulos anteriores.

2. La madera en la construcción

El único material que permite una construcción en su totalidad sea el mismo es la madera, tanto en su parte constructiva, basas, estructura, cerramientos, pisos, cielos, puertas, ventanas, rodapiés, etc. Como en sus elementos complementarios, muebles, closets, detalles arquitectónicos, etc. Y muchos de estos elementos tiene precios relativamente económicos en comparación a sus sustitutos.

La Oficina Nacional Forestal (ONF), en su página web publica desde el año 2005 una lista de precios de madera en pie, en patio y madera aserrada, según la ONF esta lista comprende 27 especies obtenida de 100 industrias, intermediarios y productores.

En el anexo 3 encontraremos unas tablas comparativas de construcción de escuelas comparando el valor del metro cuadrado de espacios iguales entre madera y prefabricado.

Estas salen de un proyecto desarrollado por el Banco Mundial (BIRF) en conjunto con el gobierno costarricense desarrollado en los años 2012 y 2013. La característica principal de estos datos es el hecho de que la información es recolectada después de la construcción, lo que nos permite tener información pertinente

Tomaremos como ejemplo un Comedor para ejemplificar el hecho que construir en madera puede ser más económico que otros materiales, en el Anexo 1 podremos ver los cuadros comparativos entre ambos sistemas constructivos y la modalidad constructiva de los cuadros indicados realizados para el BIRF. por A. Coto 2013.

ACTIVIDAD	COSTO FINAL					
	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONTO TOTAL PROMEDIO	METROS CUADRADOS	COSTO EN M² COLONES
EDIFICACIONES						
COMEDOR ESCOLAR AISLADO EN MADERA	unidad	1	¢21.954.296,00	¢21.954.296,00	152,00	¢144.436,16
COMEDOR ESCOLAR AISLADO EN PREFABRICADO	unidad	1	¢18.557.621,80	¢18.557.621,80	72,00	¢257.744,75

Fuente: Adrián Coto
Figura 1. Cuadro Comparativo

Podemos notar que el valor de construcción por metro cuadrado es bastante menor en la construcción del comedor de madera con respecto al prefabricado.

Estas comprobaciones se hicieron en condiciones similares de ubicación, acceso, mano de obra, etc. Tal como es el caso de la Red de Palmeras, en donde se construyó el Liceo en madera y la Escuela en prefabricado ambas separadas por 200 mts de distancia, con caminos de doble tracción y ríos de dimensión importante sin puentes, pudiéndose comprobar costos más bajos en la construcción de madera.

Varios factores influyen, entre ellos se encuentran el transporte, la madera es más liviana lo que permite transportar mayor cantidad de material, además una buena programación y despiece hacen del sistema un prefabricado, llegando al sitio las piezas necesarias en cada una de las etapas de construcción, reduciendo el desperdicio, otro aspecto es que es que el tiempo de montaje es menor y con menos personal.



Fotografía: Adrián Coto
Figura 2. Colegio de Palmeras.

Otra de las características es que la madera permite un desarrollo arquitectónico superior al prefabricado, además de una mayor adaptabilidad al confort humano a través de mecanismos pasivos.

Además goza de una ventaja que pocas veces se analiza y es el hecho de que una construcción en madera tiene



Fotografía: Adrián Coto
Figura 3. Escuela de Palmeras.

un peso menor que otros materiales, lo que permite la utilización de suelos con una resistencia menor de toneladas por metro cuadrada, comparada con materiales como el concreto o acero, su peso es menor con resistencias similares a las cargas.

Otro parámetro que nos permite confirmar el hecho de que la madera tiene un precio menos que otros sistemas constructivos es el Manual de Valores base unitarios por Tipología Constructiva del Órgano de Normalización Técnica del Ministerio de Hacienda, tomemos aquí la el valor por metro cuadrado de la Vivienda Tipo VC02 (concreto, mampostería integral, prefabricado) contra la Vivienda Tipo VM 01, la cuales son comparables, el valor de la primera es de 240,000 Colones contra la segunda de 230,000 Colones

También es importante indicar que el comportamiento ante los sismos es mejor y de mayor flexibilidad. Juntemos las dos variables, precio y seguridad y encontraremos ventajoso el construir en madera.

Este es un tema que se trató a profundidad en Chile, después del terremoto del 27 de febrero de 2010 en el Seminario; Contrarréplica: reconstrucción de Chile en madera.. organizado por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Talca y la Corporación de la Madera, recordemos que este sismo alcanzó una magnitud de 8,3 M_w de acuerdo al Servicio Sismológico de Chile y de 8,8 M_w según el Servicio Geológico de Estados Unidos.

Dentro de las conclusiones de este seminario, se encuentra el hecho de que las viviendas de madera sufrieron menos daños que las de otros materiales, además de que son fácilmente reconstruibles.

En este sentido es importante comprender el comportamiento mecánico en el cálculo de estructuras, aquí encontramos tres aspectos que se deben considerar, perfectamente explicados, en La Guía de Construir en Madera de Juan Quiapo de Llano Moya et al, 2010, a saber

- "Duración de la carga y ambiente al que va a estar sometido el elemento estructural". La resistencia y la deformación de la madera son sensibles a la duración de la carga y al ambiente al que está sometido el elemento estructural. Para considerar estas particularidades, en el cálculo estructural con madera se emplean coeficientes que minoran la resistencia o incrementan la deformación por fluencia del material. A modo de ejemplo, la resistencia de cálculo de un elemento estructural sometido a una carga permanente se considera aproximadamente un 55% menor que si esta fuera instantánea y la resistencia de cálculo, en elementos lineales, en ambientes protegidos (tanto interior como exterior) se considera aproximadamente 20% mayor que en ambientes exteriores no protegidos.

- Flexión como factor limitante del cálculo. Esto es debido a que se suelen utilizar mayoritariamente secciones rectangulares con una proporción del canto y el espesor no muy elevada y a que la madera presenta un módulo de elasticidad bajo (aproximadamente entre 10 y 20 veces menor que el acero).

- Tracción y compresión perpendicular a las fibras. La madera es poco resistente si la carga se aplica perpendicularmente a las fibras. La resistencia a la tracción perpendicular suele ser de un 5,0% a un 1,4 % de la resistencia a la tracción paralela a las fibras. La sollicitación en dirección perpendicular a las fibras suele ser el factor limitante en el cálculo de uniones, encuentros y elementos estructurales de sección variable y/o de directriz curva. En la construcción con madera es importante evitar cambios imprevistos en los proyectos que puedan ocasionar que un elemento estructural quede sometido a los efectos de una tracción o compresión perpendicular a las fibras no considerada en el cálculo. Igualmente en el diseño de las uniones y encuentros será importante considerar el natural movimiento de la madera (por ejemplo por acción de

condiciones climáticas del medio muy variables a lo largo del año) para evitar la aparición de tensiones perpendiculares a las fibras.”

Como hemos mencionado en capítulos anteriores, debemos identificar dos categorías en este material, primero, su uso como estructura, columnas, entramados de piso o de paredes, estructura de techos entre otros y en segundo lugar el uso del material como revestimiento o cubrimiento o accesorios, paredes, puertas, ventanas, muebles etc.

Por lo tanto como todo material estructural de construcción cuenta con ventajas y desventajas, a saber;

Ventajas:

- Es buena a la Compresión.
- Es muy buena a la Tracción
- De deformación progresiva y duradera a la Flexión
- Es ligera lo que permite fácilmente su transporte y movilidad
- Es fácil de cortar tanto manual como con herramientas eléctricas
- Tiene un buen comportamiento acústico
- Buen comportamiento ante el fuego, es seis veces superior al acero y su comportamiento es predecible.
- Es liviana y manejable.
- Bien tratada es un material perdurable.
-

Desventajas:

- Es susceptible a los agentes bióticos
- Es susceptible a los agentes abióticos
- Es irregular en su composición
- Tiene limitaciones físico-geométricas
- Tiene características anisotrópicas (*es la propiedad general de la materia según la cual cualidades como: elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc. varían según la dirección en que son examinadas*)

Con respecto al comportamiento de la madera ante el fuego será un tema tratado a profundidad en el Capítulo 6 del presente Manual, aquí nos permitiremos indicar que la madera a pesar de ser un material combustible e inflamable tiene la característica de ser predecible, siendo un material que tiene una baja transmisión del calor mantiene las propiedades en lapso de tiempo considerable y al crear una capa carbonizada que evita continúe quemando, contrario a las creencias tiene un excelente comportamiento de resistencia ante el fuego

Otro aspecto importante a considerar al estudiar la madera es que es un material orgánico, anisotrópico, higroscópico y heterogéneo de estructura micro tubular y que como material se debe analizar las tres direcciones. Axial, Radial y Tangencial, recordemos;

Dirección Axial: Es la dirección paralela a las fibras de la madera y es la dirección que tiene las mejores propiedades.

Dirección Radial: Esta dirección se define como la perpendicular a las fibras.

Dirección Tangencial: Es una sección transversal pero tangencial a los anillos.

En nuestro país para efectos de medición, a pesar de que existe la obligación y por ley, el usar el Sistema Métrico Decimal, en el caso de la madera no se aplica, se sigue utilizando la pulgada y la vara como medida, en las trozas se usa la pulgada maderera tica, que consiste, en una pieza de una pulgada por una pulgada por cuatro varas.

En los sitios de ventas se enfatiza estas medidas al vender la madera en varas y pulgadas.

Esta costumbre se debe cambiar y realizar las medidas en sistema decimal, cambio que paulatinamente se está dando, debemos, nosotros los profesionales en este campo propiciar y especificar en el SMD. Se debe estandarizar apropiadamente tanto en el diseño como la construcción.

3. Conceptos Básicos

En este apartado veremos los conceptos básicos a la hora de diseñar y construir una obra en madera, para efectos analizaremos cada una de las partes, iniciando por la fundaciones y terminando en la techumbre.

Las construcciones de madera al igual que otros sistemas constructivos se dividen en cuatro partes los elementos constructivos de una obra en madera

- Cimientos, es el conjunto de elementos estructurales principal función es transmitir las cargas de la construcción los cuales se entierran en el suelo, distribuyendo las cargas de forma que no superen la presión admisible del suelo.
- Estructura Principal, es el sistema de estructura que se diseña para transmitir a los cimientos las cargas aplicadas a la construcción, sin que se sobrepase los esfuerzos permisibles de los elementos, estos son vigas, columnas o muros de carga.



Fuente: www.fotolia.com File: #85375843 | Author: mariusika11
Figura 4. Quedó sin pie de imagen. Debe decir:

- Estructura Secundaria, son todos aquellos elementos que permite, estos son, pisos, entrepisos, escaleras, techo etc.
- Recubrimientos, todo aquel elemento que recubra la estructura y separe y proteja del medio ambiente (calor, Ruido, humedad etc.) a los espacios, estos son techos, fachadas, puertas, ventanas etc.

Cimientos: el aspecto más importante a la hora de diseñar una construcción es que la estructura nunca tenga contacto directo con la humedad del suelo o de la cimentación, por ese motivo se vuelve muy importante diseñar apropiadamente la cimentación, esto independiente a los factores de diseño estructural, tales como, condiciones de carga, características del suelo o las restricciones constructivas. De acuerdo al Código Sísmico en el Apartado 11.3.1 generalidades, se indica "Para estructuras bajo techo con exposición a la intemperie, en contacto con el suelo o concreto, debe presentar una retención y penetración mínimas del perseguido, según estén especificadas para este uso"

En todos los sistemas de cimentación (pilotes, basas, losas flotantes, fundación continua con sobre cimiento, zócalo, etc.) lo recomendable es que la madera nunca este en contacto con la humedad.

El tipo de cimentación que se escoja, como en cualquier otro tipo de construcción depende de lo determinado en el Estudio de Suelos y el nivel freático (*"es una acumulación de agua subterránea que se encuentra a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo"*) y en función de la complejidad de la obra misma y de los requerimientos

legales establecidos, lo recomendable como siempre es recurrir al ingeniero estructural.

Otro aspecto importante a considerar es la pendiente del terreno, arquitectónicamente es recomendable que toda construcción en madera deba estar al menos unos 40 cm sobre nivel del suelo, esto con el fin de realizar una estructura con una arquitectura más bioclimática al crear una ventilación cruzada por la parte inferior de la construcción.

Otra manera de realizar un piso es el denominado como piso sordo el cual consiste en colocar piso de madera sobre una losa de concreto.

Otro método muy usado en nuestro medio es el uso de cadenas sobre basas aquí se recomienda que el piso de madera al menos unos 20 cm del piso natural y dejar buque de ventilación en el zócalo.

Estructura Principal; de acuerdo a lo establecido en el Código Sísmico Versión 2010, se establece que una estructura (horizontal y vertical) es la que recibe, ya sea, su peso propio, cargas permanentes, cargas vivas, cargas de viento y sísmicas, entre otras, los esfuerzos a que vayan a ser sometidas, por lo que se convierte como cualquier otro sistema constructivo, el aspecto más importante a la hora del diseño de una obra constructiva en madera. Procedemos a ver seguido los aspectos más importantes, tanto de los elementos horizontales como los verticales.

Aquí debemos volver a enfatizar la capacidad de la madera ante eventos sísmicos, un mito que heredamos por la baja tecnología constructiva y su poca comprensión estructural, en inicios de la segunda mitad del siglo XX, es que la madera no es eficiente ante los sismos.

Los tratamientos de protección desarrollados y la tecnología desarrollada, permite que la madera, sea uno de los materiales con mejor comportamiento ante las solicitudes de carga a que se ve sometida ante un sismo.

Sin entrar al tema de los cálculos estructurales es importante indicar cuales partes son importantes de considerar cuando se diseña en madera, a saber,

Estructura horizontal: dependiendo del sistema constructivo de cimentación que se elija (pilotes, basas, losas, cimentación corrida, etc.) es importante definir los elementos estructurales que conforman los pisos y entrepisos, conocidas como vigas y estas definidas como los elementos estructurales diseñados para soportar cargas y transferirlas transversalmente a través del espacio a los elementos de apoyo, estos elementos que constituyen la estructura horizontal son los siguientes;

Viga principal, esta se define por ser la primera viga sobre la cual se apoya el resto de la estructura, por lo tanto soporta y transporta las cargas de la construcción a las columnas o fundaciones, la distancia entre las mismas está definido por la luz máxima a las cuales se sometan las vigas secundarias.

Las dimensiones de las mismas se definen a través del cálculo estructural, aunque es práctica normal en construcciones de uno o dos pisos usar dimensiones comerciales que van de 5 cms x 20 cms a 5 cms x 25 cms, para luces no superiores a 6 mts.

Cuando dadas las características del diseño, se necesiten luces superiores de 6 mts, el cálculo estructural las

características de las dimensiones de las vigas, además se definirá la especie de madera a usar.

Es importante insistir que esta viga debe anclarse a la fundación escogida, y que debe estar alejada a toda humedad generada por los pisos o escorrentías de los suelos. Cuando la viga principal se asienta directamente sobre cimientos de hormigón (placa corrida, sobre cimiento, etc.) se debe aislar la madera del concreto

Es asimismo importante resolver las conexiones de una manera adecuada que asuman los esfuerzos laterales a que pueda ser sometida la estructura.



Fuente: www.fotolia.com File: #36071454 | Author: dragoncello
Figura 5. Ejemplo de viga principal.

Vigas secundarias; conocidas en nuestro medio como cadenillas, permiten formar un entramado que además de distribuir las cargas hacia las vigas principales, permitirá la colocación del piso, estas se dan en casi todos los sistemas constructivos a excepción cuando se construyen pisos sordos, ya que el mismo se asienta sobre el concreto.



Fuente: www.fotolia.com File: #85375843 | Author: mariusika11
Figura 6. Ejemplo de viga secundaria

Se consideran vigas secundarias tanto las del primer piso como el entramado de los entrepisos del segundo nivel y subsiguientes.



Fuente: www.fotolia.com #73607657 | Author: dreamnikon
Figura 7. Ejemplo de viga secundaria en entrepiso

Como práctica normal los cadenillos tienen dimensiones que varían de los 5 cms x 10 cms a los 5 cms x 15 cms, siempre se debe tener claro que estas dimensiones se definen correctamente por el análisis de las cargas a que será sometida la construcción.

Es recomendable que se cambie el sentido de los cadenillos, en los diferentes cuadros que se conforman por las vigas principales, con el fin de permitir la mejor distribución de las cargas.

A este tipo de vigas se puede adicionar lo denominado como diafragmas, cadenetas o crucetas los cuales ayudan a evitar deformaciones laterales y alabeos de las cadenillos, además reducen la vibración.



Fuente: www.wikipedia.com
Figura 8. Ejemplo de cadenillos

Viga Corona, esta es la coronación de la estructura, es la viga que permite la transición a la colocación del techo, generalmente tiene idénticas dimensiones que la viga principal.



Fuente: www.fotolia.com File: #66184401 | Author: Svt
Figura 9. Ejemplo de viga corona

Vigas de cielo raso, en nuestro medio se conoce más como entramado de cielo, es importante indicar que no se calculan para ser sometidas a cargas extras, más que su propio peso y el del cielo raso por lo que las dimensiones son menores al resto de la estructura. Sucede lo mismo cuando se realiza un cielo artesonado.

Otros tipos de vigas, aquí se dan aquellos tipos de vigas que nacen de las aperturas que se realizan en los cadenillos, sean buques para escaleras u otros elementos arquitectónicos, la práctica normal es adosar doble cadenillos, para aumentar su resistencia, estas si transmiten cargas de tipo estructural.



Fuente: www.fotolia.com File: #56386684 | Author: AP
Figura 10. Ejemplo de vigas de cielo raso

Estructura Vertical, esta es considerada toda aquella estructura que conforme las paredes, sean de carácter soportante o no.

Los soportantes generalmente soportan y transmiten cargas dinámicas (sismos, vientos, etc.) y estáticas (peso propio, cargas vivas, otras estructuras). Los soportantes pueden ser perimetrales o internos

Los no soportantes o auto soportantes son aquellas paredes que únicamente sirven de separadores de espacios y no reciben o transmiten cargas, se pueden eliminar sin afectar la estructura principal, generalmente son solo internos.

Estos elementos contienen los buques de puertas y ventanas, lo que genera que su entramado este conformado por elementos verticales y horizontales.

De acuerdo a la Guía de Construcción Ilustradas de Ching-Adams, podemos dividir una pared (tablero, tabique, panel) de madera en los siguientes elementos,

- Solera: inferior y superior, piezas de madera horizontal, que se ubican en la parte inferior y superior de la pared, son más comunes en las paredes no soportantes, ya que en las soportantes se pueden utilizar las vigas principales.



Fuente: www.wikipedia.com
Figura 11. Ejemplo de soleras

- Pies derecho e izquierdo: pieza de madera vertical que define la terminación de la pared en sus costados.
- Buques ventanas y puertas, también conocidas dependiendo de su ubicación como 1- parte superior como cargador (dintel) 2- parte inferior como alfeizar (caso de ventanas únicamente, en puertas no existe) y 3- laterales como jamba, definidas también como las piezas laterales que sostiene el dintel.
- Puntas de dintel, piezas de madera colocadas en la parte superior del dintel. (no existe cuando el dintel es macizo)
- Transversal Cortafuego, su función es bloquear el ascenso de los gases generados por la combustión y retardar la propagación de las llamas, esta se

coloca horizontalmente entre las piezas verticales, cumplen también la función de permitir mejor adherencia en los revestimientos.

Es importante aquí recalcar tal como recomienda el Libro “La construcción de Viviendas de Madera” en su Capítulo 10, que en el caso de que cuando los buques de ventanas superen los 2 mts de luz se utilice doble jamba.

En los tableros estructurales la costumbre es colocar diagonales, costumbre cada día menor, ya que los trasversales cortafuegos en conjunto con los revestimientos permite dar mayor resistencia. Esto permite reducir la cantidad de material a usar por lo tanto una reducción significativa en el presupuesto.

Para efectos de la instalación eléctrica se debe seguir en todos sus extremos el recién aprobado Código eléctrico, de ser así se reduce importantemente el riesgo de un incendio por cortos circuitos o recalentamiento de los cables eléctricos, mismo sucede en caso de las instalaciones mecánicas y su Código.

Por último la tercer etapa en una construcción de madera es su coronación o el techo, este elemento se ubica sobre la viga corona y su función es aislar la construcción y los materiales de las inclemencias del medio ambiente, es sumamente importante recordar que nos encontramos en el trópico, clima que genera condiciones especiales en las construcciones y en madera en especial.



Fuente: Adrián Coto
Figura 12. Ejemplo de contrafuego

El techo permite aplicar estrategias bioclimáticas las cuales consisten en buscar las condiciones de confort humano, siendo una tarea bastante compleja que requiere el conocimiento de distintas estrategias y su fundamento científico. Ejemplo de ellas son, ventilación cruzada, aleros amplios, creación de sombras, evitar la radiación solar sobre las paredes, entre otras y muchas de estas se logran a través de un buen diseño de techos.

Por lo tanto podemos notar que al trabajar los techos consiste en dos vertientes, la primera es de carácter arquitectónico (pendientes, cantidad de planos, encuentros de estos planos, desagües, etc.) y la segunda es constructiva, lo que conlleva la estructuración.

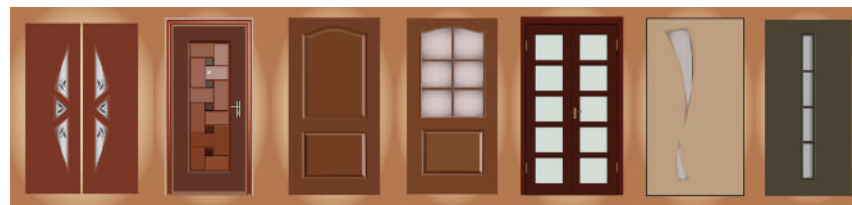
Dependiendo de la cantidad de aguas (una, dos o más) así implicara la estructuración del techo

4. Productos industriales de madera para la construcción

Son todas aquellas maderas que no son parte de la estructura, pueden ser decorativas o de carácter funcional, la siguiente lista da una idea de aquellas maderas no estructurales;

Puertas

Las puertas de madera en los últimos años han sufrido una pérdida de posicionamiento en el mercado por tres factores importante, los costos, la gran industrialización de los materiales sustitutos y nuevos materiales (plástico, cartón comprimido MDF, etc.), quedando relegadas básicamente a las puertas principales, ya que las internas se prefiere las puertas de materiales sustitutos y a las viviendas de valor importante. Aquí se debe analizar el costo/beneficio en relación con la durabilidad y vida útil y se podrá notar que el uso de puertas de madera es más beneficioso para la construcción.



Fuente: www.fotolia.com File: #62254706 | Author: llpds
Figura 13. Ejemplo de puertas en madera

Muebles fijos

Se consideran muebles fijos todos aquellos muebles que se encuentra debidamente indicados en los planos constructivos y que se realizan en el proceso de construcción. Ejemplo de estos son los muebles de cocina y los muebles de baño.

Aquí debemos ser enfáticos en el uso de madera, ya que estas zonas son consideradas de alta humedad y materiales como el MDF u otros similares no son apropiados para exponerlos a la humedad, aunque tengan un recubrimiento de melanina u otro material ya que el agua se introduce por las juntas e inflan el material presentando importantes deformaciones estéticas y estructurales. La madera con un adecuado tratamiento presenta un buen comportamiento en este tipo de muebles, teniendo vidas útiles largas (20 a 30 años), en muchos casos perdiendo su vigencia más por moda que por daños.



Fuente: www.fotolia.com File: #52382549 | Author: Ana Vasileva
Figura 14. Ejemplo de muebles en madera

Enchapes

Los enchapes en madera en las obras arquitectónicas es una de las pocas áreas en donde la madera se está reposicionando de una manera fuerte en los últimos años, ya que algunos estilos arquitectónicos que están de boga

propicia su uso (minimalismo, eclecticismo, regionalismo etc.) Incluso estos enchapes pueden ser externos o de fachada.



Fuente: www.wikipedia.com
Figura 15. Ejemplo de enchapes en madera

Cielo Raso

Materiales como el tabla yeso, tablilla de PVC entre otros materiales, han hecho que la tablilla de madera sea cada vez menos utilizada en los cielos rasos, incluso en los denominados cielos artesonados, la tablilla de madera ha sido sustituida.

Dos razones son las que han generado esta situación, la primera, materiales como el tabla yeso, que son de rápida instalación y en algunos casos, cuando hay diseño, son

muy estéticos y agradables y la segunda en un momento dado los costos de la tablilla de madera eran mas altos, esto dado por las estrategias de introducción de nuevos materiales, esto a la fecha es muy discutible.



Fuente: www.fotolia.com File: #63267991 | Author: Sergione
Figura 16. Ejemplo de cielo raso en madera

Molduras

Las molduras en madera tienen varias funciones en su colocación, pueden ser para muebles, marcos en ventanas y puertas entre otras. Últimamente las molduras en plástico y otros materiales han sustituido a la madera y las de madera han quedado para construcción de alto costo.



Fuente: www.fotolia.com File: #72939854 | Author: Inok
Figura 17. Ejemplo de molduras en madera

Tapajuntas

Los elementos constructivos requieren la disposición de juntas de dilatación para reducir los efectos de las deformaciones y variaciones geométricas en los mismos, ya sea con materiales iguales pero son de carácter fundamental cuando se dan cambios de material.

Las juntas de madera tiene un muy buen comportamiento para este uso



Fuente: <http://www.altagamatarimas.es/>
Figura 18. Ejemplo de tapajuntas en madera

Ventanas

Aquí también los estilos arquitectónicos han influido sobre el uso de las ventanas de madera, los profesionales, principalmente los arquitectos, influidos por estos estilos han olvidado que vivimos en una zona tropical donde las condiciones de lluvia y exposición solar son elementos a considerar dentro del proceso de diseño, han ido olvidando las protecciones al medio ambiente, estos estilos propician el no uso de aleros, las fachadas planas y ventanas sin protección a la lluvia, ya que vienen de áreas donde estas condiciones son casi inexistentes y para esto usan marquetería de aluminio el cual sufre poco deterioro ante el medio ambiente.

Otra razón en este cambio en el gusto y preferencia del consumidor para utilizar aluminio es el hecho de que este material tiene un acabado de fábrica. (Anodizado)

Por otro lado existe actualmente una toma de conciencia de parte de los profesionales de que debemos diseñar para las condiciones del trópico y se debe volver a materiales más amistosos al medio ambiente y aquí la madera no tiene competidor, por lo que debemos propiciar este material



Fuente: www.fotolia.com File: #86736123 | Author: ykordik
Figura 19. Ejemplo de una ventana en madera

Marcos y contramarcos

Entendamos el marco como aquellas piezas de madera que se colocan en el buque de la puerta o ventana que sostendrán la puerta o ventana a través de las bisagras y la colocación de la cerradura, para este no ha habido un

sustituto por lo que es un producto bastante demandado. El contramarco es el segundo marco que se les coloca a casi toda abertura sirviendo de transición entre el marco y la pared, este si se ha dejado de usar y ya no es tan frecuente en las construcciones.



Fuente: <http://madera.fordaq.com/>

Figura 20. Ejemplo de marcos y contramarcos en madera

Huellas de escaleras

Este es el elemento horizontal de una escalera el cual permite el apoyo de pie, generalmente esta pieza tiene unos 30 cms de ancho, pero de acuerdo a la formula siguiente puede sufrir variaciones en sus medidas.

Contra huellas de escaleras

La fórmula para calcular las gradas es la siguiente:

$$2 \text{ CONTRAHUELLAS} + 1 \text{ HUELLA} = 0.63 \text{ CM}$$

Para lugares poco transitados, la huella y la contrahuella de la



Fuente: www.fotolia.com File: #85621006 | Author: Voyagerix

Figura 21. Ejemplo de huellas de escaleras en madera

escalera (grada) pueden ser de 0.21 cm cada una.

Se ha determinado a través de análisis ergonómicos que la mayor comodidad en las escaleras (gradas) deben tener una huella de 0.29 cm y una contrahuella de 0.17 cm.

Para gradas exteriores (plazas y espacios urbanos) la huella será de 0.39 cm. y la contrahuella de 0.12 cm.

En nuestro caso hay dos reglamentos donde se regula estas dimensiones, el primero el Reglamento de Construcción el cual permite contrahuellas no superiores a 18 cm y huellas de 30 cms y el reglamento de la Ley 7,600 con contrahuellas no superiores a 14 cms.



Fuente: www.wikipedia.com

Figura 22. Ejemplo de contrahuella de escaleras en madera

Pasamanos

Esta pieza es de apoyo para poder subir o bajar escaleras, desgraciadamente pasamanos de metal y su fuerte industrialización ha hecho que se utilice los de madera en menor cantidad, es obligación de nosotros los profesionales poder reposicionarlo como un material de carácter primordial, la fotografía que continua acentúa lo estético, agradable y funcional que un pasamanos bien diseñado en madera puede ser.

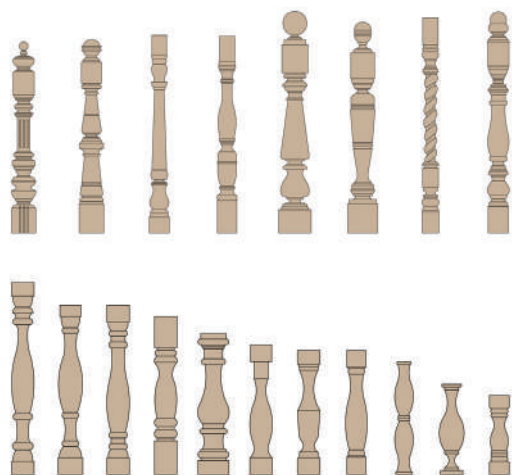


Fuente: www.fotolia.com File: #65054371 | Author: sutichak

Figura 23. Ejemplo de pasamanos en madera

Balaustres

La palabra balaustre o balaústre proviene del latín *balaustum*, que significa 'flor de granada' es una forma originalmente moldeada en piedra y posteriormente en madera y metal, que soporta el remate de las barandas de escaleras así como de balcones y terrazas. Estos se utilizan en estilos arquitectónicos de corte tradicional, por ejemplo el estilo Santa Fe.



Fuente: www.fotolia.com File: #47973628 | Author: ngaga35
Figura 24. Ejemplo de balaustres en madera

Rodapiés

Un rodapié, conocido también como zócalo, es una pieza tradicionalmente de madera que se coloca perpendicularmente

al piso en la unión del mismo y las paredes de las habitaciones para protegerlas de golpes o roces.

Actualmente existe otros materiales para utilizar como rodapié (PVC, plástico, fibrocemento) pero ninguno logra la estética y la belleza de la madera.



Fuente: www.fotolia.com File: #55456552 | Author: Photographee.eu
Figura 25. Ejemplo de rodapiés en madera

Pisos

Piso proviene de "lugar que se pisa" se considera como la superficie inferior y horizontal de un espacio arquitectónico.

Aquí la madera no tiene material comparable en calidez y confortabilidad, ya que su temperatura es adecuada cuando se camina descalzo, su mantenimiento es fácil principalmente

por los avances tecnológicos de los barnices.

Pisos como los cerámicos o los porcelanatos son fríos al tacto, en algunas épocas del año este frío es incómodo, a diferencia de la madera que mantiene una temperatura constante y agradable todas las épocas del año.

Otro material que pretendido competir contra la madera son los pisos laminados, pero la gran mayoría no tienen una buena resistencia a la humedad, lo que acorta su vida útil a periodos relativamente cortos (2 a 4 años), los pisos de madera pueden superar fácilmente los 40 o más años de vida.

Actualmente el mercado ofrece pisos como por ejemplo los de Teca de fácil instalación y de precio competitivo, los cuales han tenido una muy buena aceptación y demanda.



Fuente: www.fotolia.com File: #36487230 | Author: rottenman
Figura 26. Ejemplo de pisos en madera

La clasificación de las maderas no estructurales, por regla general, se enmarcan en dos categorías;

- **Madera Expuesta:** esta madera debe cumplir con requisitos de buena calidad, implica por lo tanto que su apariencia debe ser buena y estar libre de defectos, su acabado será a través de barnices o químicos transparentes y en algunos casos será natural.
- **Madera no Expuesta:** son aquellas que se cubrirán con pintura o barnices opacas, por lo que su calidad será menor y en algunos casos se permiten defectos.

Recordemos que según el uso así será la densidad, el tipo de corte, el grado de calidad, etc... demandada (Clasificación de muy dura a blanda) asimismo debemos tener claro que entre más blandas, menos durables son en nuestro clima tropical, por lo que debemos aplicar químicos para aumentar la vida útil de la madera.

5. Etapas de construcción en madera

Independientemente del modo constructivo que se escoja en la construcción debemos seguir la siguiente sucesión de etapas que transforman a la madera, luego del reaserrado, en elementos y componentes de la edificación. Estas son:

1. La adquisición de material.
2. La recepción, acondicionamiento y suministro.

3. El habilitado y pre cortado.
4. El pre armado y armado.
5. El almacenamiento y embalaje.
6. El transporte y entrega.

La adquisición del material

Para proceder a la adquisición de la madera de construcción es indispensable tener en cuenta aspectos como:

- El tipo de material: según el uso al que será destinado, ya sea en cimentación, estructuras, tabiques, revestimientos y otros.
- Las dimensiones: de acuerdo a las necesidades dentro de su aplicación.
- La clasificación de calidad: Aquí podemos considerar las distintas clasificaciones de la madera según su aplicación (maderas estructurales y no estructurales), ya sean normadas o estandarizadas. Pueden ser visuales o exigir otros elementos evaluativos.
- La cantidad: Se deben considerar las medidas reales para tomar en cuenta el requerimiento en los procesos de fabricación y el desperdicio estimado.
- La disponibilidad de material: Que pueda sustentar de manera eficiente toda la obra en volumen y tiempo.
- Los costos: debe ajustarse a un presupuesto optimizado.

- Las posibilidades de transporte: Los tiempos de entrega y las cantidades dependerán en gran manera de la efectividad del transporte.

Recepción, acondicionamiento y suministro

La recepción comprende:

- El control de calidad del material: verificación de calidad de consistencia entre calidad comprada en el sitio de suministro y el entregado en proyecto.
- La aceptación de material: Una vez realizado el control de calidad se aceptará el material conforme y se devolverá el no conforme.
- La clasificación y selección: según el uso la que será destinada (paredes techos, pisos, entre otros).

El acondicionamiento comprende:

- El secado del material: esto si el material no viene seco de origen y su aplicación exige un contenido de humedad específico.
- Aclimatamiento: la madera siempre debe permanecer aunque este seca, por lo menos 24 horas para acoplarse a las condiciones atmosféricas del sitio, principalmente con el contenido de humedad.

- La preservación del material (en algunos casos): Esto si la aplicación implica alto riesgo de deterioro por agentes biológicos o ambientales.
- Almacenamiento del material: es deseable que la madera este cubierta, ojala bajo techo, protegida de la radiación solar, la lluvia y otros agentes que puedan de alguna forma influenciar las capacidades para las cuales fue adquirida.

El suministro comprende:

- El abastecimiento de la madera debidamente clasificada para las diferentes etapas de la construcción.

Habilitado y pre cortado

El habilitado: consiste en dar a una pieza de madera re aserrada, ciertas características de forma y de acabado requeridas por el uso al que se destine. Generalmente se lo hace para obtener una sección transversal uniforme a todo lo largo de la pieza.

- ***El habilitado***

Consiste en dar a una pieza de madera ciertas características de forma (dimensión real) y de acabado (cepillado y lijado) requeridas según el uso al que va destinada. Generalmente para obtener uniformidad en la sección transversal de la pieza.

- ***El pre cortado***

Es el corte o labrado, generalmente transversal, que se efectúa en una pieza de madera habilitada, para darle una longitud

determinado.

El prearmado y armado

- ***El prearmado:***

Consiste en disponer las piezas habilitadas y precortadas, formando la figura real de elemento por construir, pero sin fijar las uniones, con el fin de verificar las dimensiones totales. Si esta correcto, cada pieza servirá de muestra para obtener otras iguales o proceder al armado.

- ***El armado:***

Consiste en fijar o asegurar las uniones entre piezas de componentes prearmados, para que conserven la forma dada al ser puestos en la obra.

Para las etapas de prearmado y armado, es importante tomar en cuenta:

- Tipo de ajuste de las uniones
- Identificación de todas las piezas
- Tamaño de componentes y conjuntos
- Posibilidades de alzamiento y transporte

Almacenaje, embalaje y transporte

El almacenaje:

tiene por objeto conservar el material en el mejor estado posible, hasta que llegue el momento de ser transportado hacia la obra, ahí se procura mantener el tamaño, forma y color en superficies de las piezas mediante:

- La protección de los efectos bioclimáticos
- La correcta ubicación de las piezas



Fuente: http://www.ohra.es/default.aspx?pagename=Bsp_Bauholzlagerung

Figura 27. Almacenaje de madera de construcción en un almacén exterior

•

El embalaje:

Consiste en proteger los materiales de posibles daños durante su manipuleo y transporte. Formas de embalaje:

- Según el tamaño de las piezas de madera.
- Según la función que desempeñan (techos paredes, pisos, entre otros).

Para esto se usan distintos elementos como manteados, cajas, envolturas plásticas, entre otros.

El transporte:

consiste en el traslado del material desde el lugar de fabricación hacia el sitio de la obra. Se deberá tomar en cuenta:

- **El estado de elaboración:** madera aserrada, estructuras ensambladas etc
- **El medio de transporte:** tipo de vehículo
- **La ruta a seguir:** relación entre cercanía y buenas condiciones del camino.



Fuente: www.gmtimber.com

Figura 28. Colocación del material.

Es preferible mantener cubierta la madera durante el transporte para aislarla de agentes ambientales como el sol, la lluvia el viento y otros que puedan modificar sus condiciones óptimas para ser utilizadas en obra.

En todas las etapas anteriores siempre es de suma importancia considerar que la madera como material biológico es susceptible a las condiciones bioambientales por lo que su protección y buena manipulación garantiza su eficiencia en los procesos constructivos para los cuales sea requerida.

Tolerancias de fabricación

Las tolerancias: son los márgenes de error que se permiten en la cantidad o calidad de las piezas de madera o de las obras contratadas.

Estas se clasifican en:

- Tolerancia de tamaño (dimensión nominal, dimensión real).
- Tolerancia de forma (rectitud de las piezas, cotes de ángulo, distanciamiento de ejes).
- Tolerancia de aspecto: (color, manchas, pecas, vetas, entre otros).
- Tolerancia de unión (machimbre, juntas, entre otros).
- Tolerancia de acabado (cepillado, no cepillado, lijado, barnizado, laqueado, entre otros).
- Tolerancia de resistencia (madera estructural, madera no estructural).

Referencias Bibliográficas

Tuk, J. 2010. Madera: diseño y construcción. San José: Colegio de Ingenieros y arquitectos. Costa Rica.

Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del grupo andino para la preservación de la madera. Editorial PRID-MADERA. Cartagena. Colombia.

Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew y Szokolay. 1977. Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos - Código Sísmico de Costa Rica. Versión 2010

Confederación Española de Empresa de la Madera (confemadera) 2010.(en línea) <http://7/www.confemaderas/rs/99/-54ec438b-9358-4483f9e98868dc5filenameconceptos-basicos.pdf>

David J. 2002. Arquitectura y Entorno. Editorial Blume

Centro de Transferencia Tecnológica- La construcción de viviendas en madera, Chile

INTECO - Normas de Madera, INTE-06-07-03:2011, INTE 06-07-02:2011 e INTE 06-07-01:2011 (Únicamente se citan)

Estructalia- El Blog de la Ingeniería Civil

TEC promueve construcción de casas de madera plantadas en Costa Rica. La Prensa Libre 19 de junio de 2014

Ching- Adams - Guía de la Construcción Ilustrada, Editorial LIMUSA WILEY

Estructuras de madera contra sismos en los Abruzos-Boletín de Información Técnica No 263

La Madera arremete como mejor como la mejor alternativa de construcción ante terremotos-Seminario Contrarréplica

Building with Wood. .Modern Solutions for Wood Construction. 2014. CEI-Bois

La construcción de artesonados- Liliana Palia y Santiago Tormo. www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC4_081.pdf

Uso estructural de la madera-Lignum facile Pag 2-11 www.lignumfacile.es/index2.php?no_html=1&option

Clasificación de la madera estructural - Varios autores.

Propiedades físicas de la madera - Futper Carpintería

Nuestros Productos - Victoria Maderas





Escuela Katuir

CAPÍTULO

CONSIDERACIÓN DE SEGURIDAD EN
CONSTRUCCIONES DE MADERA



1. Introducción

Muchos códigos de construcción establecen las condiciones de protección contra incendios en las edificaciones y especifican el comportamiento al fuego que deben tener los materiales que forman parte de la misma, en nuestro país la normativa de aplicación obligatoria son las normas de la Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego de los Estados Unidos, (NFPA) por sus siglas en inglés, entre ellas las normas NFPA 220 "Norma para Tipos de Construcción de Edificios"; Norma NFPA 251 "Métodos normalizados para los ensayos sobre Resistencia al Fuego de Materiales de Construcción de los Edificios"; Norma NFPA 251/ASTM e 119 "Métodos normalizados para los ensayos de Incendio y de la Construcción y de los Materiales de Edificios"; NFPA 268 "Métodos normalizados de pruebas de incendio para evaluar la contribución del acabado interior de Paredes y Cielorrasos en crecimiento de incendio" y la NFPA 5000 "Código de Construcción y Seguridad de Edificio".

La madera es uno de los materiales más utilizados en la construcción, ya que se emplea para estructuras y armazones, cerramientos exteriores, revestimientos de paredes, cubiertas, pisos, encofrados y acabados interiores.

La gran mayoría de los profesionales en el campo del diseño y construcción de edificaciones frecuentemente se resisten a emplear la madera como material constructivo porque la consideran peligrosa frente a la acción del fuego, esta percepción es técnicamente incorrecta y probablemente se deba a la falta de información sobre el comportamiento al fuego de las estructuras

de madera y esto en nuestro país repercute en su poco uso.

Una razón por la que la madera y los productos de madera han sido adoptados universalmente como material estructural es el hecho de que ésta puede ser procesada en muchas formas diferentes aprovechando la ventaja específica de las características químicas y físicas especiales de la madera como materia prima.

En un incendio se alcanzan, temperaturas de 500 a 1200 °C, por lo que los materiales que componen la estructura se dañan y pierden su capacidad portante, la madera, pese a ser considerada un material combustible; puede proporcionar una integridad estructural razonable durante un incendio, dependiendo de su forma geométrica, dimensiones físicas y el contenido de humedad de los elementos.

Durante el incendio, la pérdida de la sección en los pilares y las vigas de madera gruesa es muy lenta, y la capacidad de carga se mantiene durante mucho tiempo, también hay que destacar que la pérdida de humedad incrementa la resistencia de la madera, por lo que en un principio no hay pérdida alguna de resistencia, el aislamiento y la escasa dilatación que sufre (alta estabilidad ante el fuego) contribuyen a la no propagación del incendio.

Los tratamientos ignífugantes retrasan la ignición y propagación, concediendo así tiempo para iniciar las operaciones de extinción, sin embargo, toda madera es combustible. La combustión de la madera produce la carbonización de su superficie a una velocidad de aproximadamente 0,7 mm/min, este carbón vegetal forma una capa protectora que aísla del fuego la parte de la madera no quemada. Por lo tanto, los elementos de gran sección proporcionan un grado de intensidad estructural frente al fuego mucho mayor que los de sección delgada.

La construcción de madera gruesa ha demostrado ser una excelente forma de construcción, debido a que mantiene su integridad en un incendio durante un período relativamente elevado, con lo que proporciona un amplio margen para la intervención y la extinción.

En el caso de la construcción de madera donde se emplean elementos estructurales de dimensiones menores, la superficie expuesta es mayor y la resistencia al fuego disminuye mucho, por lo tanto la integridad estructural de las construcciones de esta clase en caso de incendio es relativamente pequeña, en este caso las superficies protectoras que funcionen como recubrimiento como las de yeso ó mortero son importantes para aumentar la resistencia al fuego.

2. Protección por diseño

La protección por diseño constructivo busca que no se de una alta concentración de humedad en las piezas de madera, así como reducir al mínimo los cambios importantes de contenido de humedad en la madera, para estos efectos se debe a través de elementos arquitectónicos proteger las piezas de madera de la acumulación de agua a través de una correcta solución de las escorrentías, de la lluvia evitando la exposición directa, por ejemplo, a través de aleros y formas arquitectónicas, también del agua capilar, entendiendo esta como la fracción del agua que ocupa los micro poros en el suelo, evitando el contacto directo de la madera con el suelo, también es función la protección por diseño plantearla posibilidad de desvío del agua de lluvia a través de drenajes y tuberías.



Fuente: <http://j-l.es/farfanestella/rehabilitacion/wp-content/uploads/2012/06/apeo-forjado-madera-6.jpg>
Figura 1. Ejemplo daños por falta de mantenimiento

Estas soluciones arquitectónicas permitirán tener un contenido de humedad de la madera adecuado con el uso para impedir la formación de grietas en la madera y que en estas se acumulen agentes bióticos que deterioren la madera.

Debemos considerar que en el trópico los daños son causados por acumulaciones de humedad o por exposición de la madera al efecto de la lluvia y a las condiciones climáticas, como la exposición solar, sin dejar por fuera la falta adecuada de mantenimiento.

Las medidas de protección por diseño constructivo se pueden dividir a su vez en dos tipos de medidas de actuación:

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

En este apartado es importante hacer énfasis en el punto a) ya que la crisis medioambiental a la que nos enfrentamos ha centrado en arquitectura la construcción, la atención al impacto que los edificios tienen al medio ambiente, se sabe que las construcciones son responsables de más de un 50% de emisiones nocivas que están provocando el calentamiento global y esto va desde el uso de los materiales hasta las respuestas de diseño, por esta razón la arquitectura busca en los últimos años una respuesta de balance para reducir radicalmente el empleo de energía a

través de métodos de diseño y materiales más ecológicos, es aquí donde la madera entra en juego, recordemos que la madera en lo que podríamos llamar su proceso de fabricación, transformación, transporte, industrialización y su aplicación en la obra es de bajo consumo de energía, y en su estado de natural de árbol es capturado de CO₂.

Un libro que se recomienda para conocer los métodos de protección por diseño es "Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales, de los Autores, Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew y Szokolay, 1977" así como cualquier libro de diseño de construcción bioclimática.

Puertas y Ventanas

El caso de las ventanas y las puertas exteriores, el primer paso de protección se debe dar a través del diseño con las debidas protecciones a la lluvia y al sol, paso seguido debe ser protegida químicamente, la dureza de la madera es importante ya que debe resistir la penetración y la extracción de clavos o tornillos, no se deben usar maderas blandas ya que su densidad permitirá la acumulación de humedad y por ende su deformación. No deben ser muy duras para que permitan su trabajo en carpintería y de equipos

Pisos

Uno de los aspectos más importantes es su apariencia, generalmente esta característica se ve en las maderas duras, además de tener una buena resistencia al desgaste

son también de poca contracción o dilatación. Al igual debe permitir el clavado o atornillado.

No necesariamente necesita protección química, si la protección por diseño es adecuada, tales como los pisos sordos (aquellos que se montan sobre losas de concreto) o se separa del contacto con el suelo (sobre basas de madera o concreto), evitando así el contacto directo con la humedad. Es recomendable usar algún barniz de poliuretano o protección, uno de los más eficientes y antiguos es el uso de ceras, que además ahuyentan a los insectos.

Otros Usos

Las maderas para rodapiés, cornisas o enchapes deben ser maderas lo suficientemente suaves y trabajables en máquinas simples o manuales pero lo suficientemente duras para resistir las fuerzas a que se someten (semidura). Deben permitir el encolado y las uniones, en el caso de los rodapiés deben no estar expuestos a la humedad. Debe tratarse a los insectos.

3. Construcción de Edificios (Clasificación)

Un modo reconocido de codificar las especificaciones de

protección y seguridad contra incendio de los edificios es clasificándolos por tipos de construcción, de acuerdo con los materiales utilizados para los elementos estructurales y el grado de resistencia al fuego que proporciona cada elemento. Ningún material o edificio es totalmente a prueba de fuego, sin embargo, es posible diseñar edificios que resistan el fuego sin sufrir daños estructurales graves. El objetivo de los requisitos de protección estructural contra incendios de los códigos es diseñar edificios resistentes al fuego en equilibrio con la gravedad prevista de los incendios.

Los tipos de construcción reconocidos actualmente por la NFPA son fundamentalmente cinco: (1) resistente al fuego, (2) incombustible, (3) común (exterior protegido), (4) madera pesada, (5) almacén de madera.

La NFPA 220 define los subtipos de construcción resistentes al fuego usando como base la cantidad de resistencia al fuego en horas requerida para los componentes del edificio.

4. Comportamiento de la madera ante el fuego.

Al quedar la superficie de una pieza de madera expuesta a temperaturas elevadas durante períodos de tiempo prolongados debido a la acción del fuego, esta experimenta

una descomposición química o pirolisis que genera gases inflamables, que comenzarán a arder, resultando una carbonización superficial. La conductividad térmica de la madera es de por sí baja, y la del carbón considerablemente menor, por lo que hacia el interior de la madera no carbonizada; los incrementos de temperatura y consecuentemente las reducciones de las propiedades mecánicas, serán moderadas.

El carbón genera por su parte un estrato que limita, tanto la conducción del calor hacia la madera del interior, como también el paso de los gases inflamables que constituyen el combustible del fuego desde el interior hacia el exterior.

De esta forma, pese a ser combustible, cuando se le utiliza, empleando piezas de dimensiones transversales suficientemente grandes, la madera puede ser considerada como un material de construcción resistente al fuego.

La NFPA 220 especifica las dimensiones mínimas permitidas en los diferentes elementos estructurales de madera y las tasas de resistencia al fuego requeridas para columnas, arcos, vigas, viguetas y cerchas.

La eficiente utilización de la madera en construcciones que deben satisfacer exigencias específicas de resistencia al fuego exige conocer, con cierta confiabilidad, la velocidad de avance de la carbonización que experimenta al quedar expuesta a las

llamas. Este valor se emplea para calcular las reducciones de las dimensiones de la sección transversal de una pieza durante un incendio.

Durante un incendio los sectores adyacentes a las aristas de las piezas de madera expuestas al fuego quedan sometidos a temperaturas más elevadas que las zonas centrales por quedar expuestas al calor desde dos superficies convergentes. Esto condiciona carbonizaciones incrementadas en torno a la arista, la que gradualmente va experimentando un redondeo.

Si se asume para éste una geometría circular de radio r , el área que se consume por el redondeo asciende a $A = 0,215 r^2$, cuyo centroide se desplaza de los bordes rectos del frente de carbonización en $y = 0,223*r$, según se esquematiza en la figura.

En forma conservadora se puede asimilar el radio de redondeo a la profundidad de carbonización.

En el cálculo de piezas, bajo consideración de una determinada resistencia al fuego, se especifican dimensiones de madera suficientes como para que la sección transversal remanente después de un período de tiempo preestablecido desde el inicio del incendio resulte capaz de resistir las cargas requeridas.

- **Reacción al fuego.**

Se entiende por reacción al fuego de un material de construcción su potencial contribución al fuego en caso de incendio. La reacción al fuego viene determinada por la combustibilidad del material, teniendo en cuenta los parámetros: facilidad de ignición, velocidad de propagación, desprendimiento de calor, opacidad de humos desprendidos, goteo, etc. La madera tiene una mala reacción al fuego por eso se clasifica como material combustible.

- **Combustión.**

La combustión de la madera tiene lugar en dos etapas. La primera consiste en una destilación destructiva, esta se da en condiciones de combustión incompleta, con poco o ningún oxígeno presente, donde el calor separa los vapores combustibles de la madera y queda carbón vegetal.

La segunda etapa comprende la combustión de los gases en el aire, encima de la madera y del carbón vegetal mezclado con oxígeno, formando un lecho incandescente de gran intensidad luminosa. El calor de los gases y del carbón vegetal en combustión, destilan más vapores volátiles de la madera y aumentan la temperatura y la velocidad de combustión. La aceleración de la combustión sólo está limitada por la velocidad a la que el aire entra en contacto con la madera ardiendo.

Para que la combustión continúe, es esencial además la presencia de una cantidad de oxígeno en el aire, el efecto del

aire en la combustión de la madera, varía según su cantidad (volumen) y velocidad, así como de la forma, el tamaño, densidad y composición del material a quemar.

Cuando la combustión se efectúa con exceso de aire la temperatura de la llama estará en función de la humedad. Así por ejemplo, en una madera al 15 % de humedad, se tiene una temperatura de llama de 1.150 °C. Si la madera es anhidra, se alcanzan hasta 1.800 °C en la llama. En cualquier caso, la temperatura de la llama supera los 1.000 °C, ello da a la llama un poder de propagación proporcional a su temperatura.

Mientras tanto, la madera se encuentra a una temperatura de entre 400 a 600 °C, temperatura por debajo de la cual no se mantiene la combustión viva.

Esto puede ocurrir con exceso o también con defecto de aire. Tal es el caso de una viga gruesa: el carbón superficial produce que la combustión interna se de con defecto de aire, en este caso el calor generado se disipa por convección, la madera en el interior de la viga está a menos de 275 °C y se apaga.

Si la combustión tiene lugar con defecto de aire se desprenden gases en diferentes proporciones CO₂, CO, H₂ e hidrocarburos.

La combustión de la madera se presenta en una primera fase

endotérmica, hasta los 150 °C, la madera absorbe calor que sólo emplea en evaporar el agua y secarse.

De 150 a 280 °C continúa absorbiendo calor y desprende gases alcohólicos y ácidos formados por un 30 % de CO (combustible) y un 70 % de CO² (incombustible). La madera presenta, en esta fase, un color marrón.

De 280 a 380 °C la combustión se hace exotérmica, la madera desprende calor y gases abundantes, apareciendo los hidrocarburos y disminuyendo el CO². Presenta un color negro achocolatado.

Hacia los 350 °C todos los gases que se desprenden son combustibles, aunque escasos y abundan los hidrocarburos.

Por encima de los 450 °C están presentes el hidrógeno y los hidrocarburos y un residuo de carbón inflamable.

- **Poder calorífico.**

El poder calorífico de las fibras de la madera es prácticamente constante, pero las materias contenidas en aquéllas, resinas, taninos y materias extractivas, aumentan o disminuyen dicho poder calorífico. Así, por ejemplo, la resina tiene un poder calorífico de 9.000 a 10.000 cal/gr. (37,7 MJ/kp a 41,9 MJ/kp) y la lignina 6.000 cal/gr.

Según la proporción en que intervienen en la madera, así varía el poder calorífico de ésta, tomando valores comprendidos entre los límites de 2.800 y 5.000 cal/gr. y admitiéndose como valor medio 16,76 MJ/kp (4.000 Kcal/kg).

Otro factor que modifica el poder calorífico es la humedad contenida en la madera, pues como sabemos está en equilibrio con las condiciones ambientales. Este factor, además influirá en todo el proceso de reacción y resistencia al fuego y, por lo tanto, es preciso citar la humedad a que se encuentra. Así, 1 kg, de madera al 12 % de humedad tiene un poder calorífico superior, igual al de 900 gr. de madera seca. Por todo ello, se comprende que el poder calorífico de una misma especie es variable incluso si la madera es anhidra.

Las maderas densas tienen más poder calorífico superior, que las ligeras, pero si éstas tienen, como es frecuente sustancias extractivas, ellas elevan a aquél y en definitiva pueden tener poder calorífico parecido; sin embargo, la madera densa arderá más despacio.

- **Inflamabilidad.**

La inflamabilidad es la facilidad que tiene un combustible para poder emitir gases que se inflamen. Es evidentemente función de:

- 1 De la posibilidad de que estos gases puedan salir al exterior al aportar calor.

2. Del flujo del calor que es necesario aportar al material para que esto ocurra.

3. Del punto de Inflamación del material, entendiéndose por tal la temperatura a la cual el combustible emite gases capaces de inflamarse con una chispa o llama.

En el caso de la madera, estos gases son hidrocarburos en su mayoría.

Se admite como punto de Inflamación los 276 °C, sin embargo, no es constante, pesando fuertemente la especie.

Al principio de la combustión el calor aportado a la madera se emplea en evaporar el agua de la misma, produciéndose un efecto de secado, no teniendo lugar la combustión hasta que aquélla esté seca. Con ello se reduce el foco calorífico en la primera fase. El efecto es el mismo que si se arrojase agua al fuego. De aquí se deduce que raras veces es la madera la causa de la Iniciación del fuego, salvo en almacenes de serrín, vigas muy secas o en alguna otra ocasión excepcional.

De la misma forma actúa la humedad ambiente, pues ya sabemos que cada especie tiene un contenido de humedad, en equilibrio con el de la atmósfera y aquélla hace incombustible a la madera, empleando el calor recibido en evaporar el contenido de agua en vez de producir calor.

La especie de madera influye fuertemente en la Inflamabilidad. Las especies más ligeras al contener un volumen grande de poros, ofrecen gran libertad a los gases para su desprendimiento. Dichos gases, en su mayoría inflamables provocan rápidamente las llamas.

La forma de emplear la madera, el estado del material y la humedad ambiente son también factores decisivos para la inflamación.

La madera es, por tanto, combustible e inflamable en estado natural, pero puede eliminarse esta inflamación totalmente, mediante tratamientos Ignífugos, teniéndose en definitiva un material de construcción seguro ante el fuego.

• **Humos y gases.**

El humo que libera la madera al quemarse es una mezcla de muchos tipos de gases diferentes, algunos inofensivos pero muchos peligrosos, especialmente si se respiran. La velocidad de combustión y, por tanto, de desprendimiento de los gases tóxicos es el factor que hace a éstos extremadamente peligrosos y causantes de víctimas. Las concentraciones exactas de cada gas dependerán del tipo de madera y su estado.

En la madera gruesa, la velocidad de combustión es lenta y el desprendimiento de CO₂ y CO es proporcional a la temperatura, admitiéndose que los gases, aunque intervenga el CO y CO₂ son poco peligrosos, esto debido a que la combustión que se produce es completa, si la combustión es

incompleta se generarán una serie de gases tóxicos que crean un empobrecimiento de oxígeno, lo que produce un ambiente letal, la pérdida de conocimiento y el envenenamiento.

Cuando existe menos aire para la combustión, aumenta la producción de monóxido de carbono así como la de hollín y combustibles sin quemar.

La madera seca y acondicionada generalmente produce la menor cantidad de humo peligroso y emite la mayor cantidad de calor. Cuando más humo produce la madera al quemarse, menos calor emite.

Se comprende fácilmente que una norma de toxicidad que sólo valore el porcentaje o composición química de los humos, no es válida en absoluto; debe considerar también la velocidad de desprendimiento de los mismos.

5. Resistencia al fuego de la madera.

Se han creado una variedad de términos relacionados con los tratamientos ignifugantes que se aplican a los materiales celulósicos como la madera, que producen con cierta frecuencia errores de concepto y bastante confusión. A menudo se emplean de forma incorrecta términos tales como "resistencia al fuego", "resistente a las llamas", "de combustión lenta" o "retardador de llamas", "a prueba de llamas" e "ignifugante". El término "resistente al fuego" no debe emplearse en relación con los tratamientos

ignifugantes que se aplican a los materiales combustibles. Su correcto significado se refiere a la capacidad que posee una estructura o conjunto estructural para resistir el ataque de un fuego.

La resistencia al fuego se define "como la propiedad de un elemento o conjunto estructural para resistir al fuego o proporcionar protección frente al mismo. Aplicado a los elementos estructurales de un edificio se refiere a la capacidad para confinar el fuego, continuar desempeñando la función para la que han sido diseñados o ambas cosas a la vez".

• Estabilidad mecánica.

Como se indicó anteriormente la madera tiene mala reacción al fuego por tratarse de un material combustible, aunque el uso de materiales ignifugantes la reduce. Sin embargo, tiene una alta resistencia al fuego, pudiendo contener el incendio y mantener en pie las partes del edificio mientras se desaloja. Con razón, si bien es el combustible más antiguo, también lo es como material de construcción. La razón de ello estriba, principalmente, en las siguientes propiedades de la madera:

1 El coeficiente de conductibilidad calorífica de las fibras es muy pequeño y la transmisión de calor al interior de la madera es cada vez más lento y difícil en profundidad.

2. La madera es un material higroscópico. El agua contenida en la misma absorbe calor de evaporación y ésta no entra en combustión hasta que está seca. El tiempo que

se emplea en ello es tiempo que se gana en resistencia al fuego.

3. El espesor de las piezas o elementos es otro factor favorable. En las vigas o elementos gruesos la madera comienza ardiendo superficialmente después de haber ganado tiempo hasta su secado. El carbón formado en la superficie sirve de protección a la parte interna que dada la baja conductibilidad térmica permanece Intacta.

En estas condiciones se produce una disminución de la resistencia mecánica de la pieza por haberse reducido la sección útil, pero como por otra parte la madera seca gana en resistencia mecánica, este último aumento es superior ligeramente a la pérdida por sección, generalmente.

- **Estanqueidad a las llamas.**

La estanqueidad a las llamas presenta una gran variabilidad, según los materiales de que se trate, incluso en la madera, ofreciendo valores muy altos en algunas maderas sin ignifugar.

El fallo de la resistencia al fuego por estanqueidad de los elementos de madera, se pone de manifiesto en aquellos elementos de cierre de huecos (puertas, ventanas, etc.).

Se admite que la velocidad de penetración del fuego en la madera es de 0,7 mm/mín.,, despreciando los 3 primeros mm de formación de carbón.

- **Emisión de gases inflamables.**

Aunque la madera hemos visto que emite gases inflamables (hidrocarburos), lo hace por la cara expuesta, ya que la transmisión de calor a la cara externa es muy débil. No suele, por tanto, observarse este efecto.

- **Aislamiento térmico.**

En el caso que nos ocupa de la madera, al ser baja la conductibilidad térmica, el fuego en la cara expuesta no suele ser capaz de calentar la otra cara. Se tiene, pues, un excelente aislante que facilita la lucha contra el incendio.

6. Protección de las estructuras de madera.

Si bien cierto es posible que la madera no requiera protección para la resistencia al fuego, si es ideal realizar esta protección para reducir la inflamabilidad y la emisión de productos volátiles y gases. Esto se consigue mediante tratamientos ignífugo con distintos productos que mejoran la reacción ante el fuego.

El término “ignífugo” implica un menor grado de protección que “resistente al fuego”, se emplea en relación a productos químicos, pinturas y recubrimientos utilizados directamente o para tratar materiales de construcción combustibles, así como para materiales una vez protegidos.

Se define un material ignífugo como aquel que “posee o proporciona índices de inflamabilidad o propagación de llamas comparativamente bajos”.

El índice nominal de propagación de llama se expresa en números o clasificaciones obtenidas de acuerdo con las especificaciones de la NFPA 255, Método de ensayo de las características superficiales de combustión de los materiales de construcción. Los términos “retardador de llamas” y “resistente a las llamas” pueden emplearse indistintamente para designar materiales de decoración que, debido al tratamiento químico a que se les somete o a sus propiedades inherentes, no se inflaman fácilmente ni propagan las llamas cuando están expuestos a fuegos pequeños o moderados.

Con frecuencia los tratamientos de ignífugos se han empleado de forma incorrecta. Tienen una gran aceptación debido en parte, a una falta generalizada de información acerca de sus limitaciones y a la capacidad de diferenciar los eficaces de los que no lo son.

La madera se trata con materiales ignífugos por impregnación a presión o por recubrimiento, aunque cualquiera de estos dos tratamientos reduce la capacidad de propagación de las llamas, ninguno es significativamente efectivo para el aumento de su resistencia a la degradación ante una exposición continua a

fuego, ni impide la reducción de su capacidad de carga calorífica.

Pese a que no existe un tratamiento que haga incombustible la madera, si se logra se retrasa la propagación de la llama desde un fuego incipiente a su entorno inmediato y, en algunos casos se impide la propagación con la aplicación de tratamientos de reciente desarrollo, reduciendo de manera sustancial el aporte de combustible y humo. También puede mejorarse la capacidad de resistencia al fuego en elementos estructurales de madera en edificios mediante el empleo de recubrimientos ignifugantes.

- **Tratamiento Ignífugo mediante impregnación a presión.**

Consiste en introducir en la madera un producto ignífugo para mejorar su reacción al fuego. Estos productos suelen ser sales, y actúan de las siguientes formas:

a.- Aislando la madera de la penetración de calor mediante fusión del ignifugante (bórax y ácido bórico) tapando, así, los poros de la madera e impidiendo la salida de gases.

b.- Inhibiendo la combustión. El cloruro de zinc bajo la acción del calor desprende radicales capaces de captar (OH)- y H+ procedentes de la madera impidiendo la combustión.

c.- Productos que fomentan la carbonización reduciendo la combustión con llama, como fosfato di amónico y fosfato amónico.

d.- Disminuyendo la concentración de productos combustibles en el ambiente. El sulfato amónico al descomponerse por calor desprende amoníaco, gas inerte que reduce la presión parcial de los productos volátiles desprendidos por la madera.

e.- Reduciendo la absorción de calor por la madera. El cloruro de zinc al cambiar de estado absorbe el calor que tendrían que absorber la madera.

Los métodos de impregnación son variados pero, en general, se emplean la inmersión prolongada y la impregnación en autoclave. La retención necesaria para que la protección sea eficaz es de 20 a 80 kg/m³ de producto ignífugo.

- **Recubrimientos de materiales ignífugos.**

En las estructuras de madera sin tratar, o en los casos en que no resulten prácticos los tratamientos de impregnación a presión, pueden usarse recubrimientos de materiales ignífugos. Los recubrimientos pueden aplicarse sobre cualquier superficie de elementos estructurales, acabados interiores o mobiliario. Pueden aplicarse a brocha, a rodillo, pulverizados. Como sucede en las impregnaciones a presión, el grado de reducción de la propagación de la llama que se obtenga por el recubrimiento dependerá de la combustibilidad original de la superficie, de la eficacia del material de recubrimiento empleado, de la cantidad de material que se aplique, de la perfección de la aplicación y de las dimensiones e importancia del fuego que se vea expuesta.

Con las pinturas normales, el objetivo usual es cubrir la mayor cantidad posible de superficie con la menor cantidad de material. El enfoque es distinto cuando se trata de aplicar recubrimientos de materiales ignífugos. Aquí el objetivo es proporcionar la cantidad de recubrimiento por unidad de superficie que sea necesaria para asegurar un grado adecuado de protección. El espesor de película de las pinturas intumescentes es un factor decisivo en las prestaciones de dichos recubrimientos.

Entre los muchos recubrimientos ignífugos patentados, varios tienen certificación extendida por laboratorios acreditados. Debe desconfiarse de cualquier pintura llamada ignífuga o a prueba de fuego que no tenga la certificación de sus características de propagación de llama extendida por un laboratorio de ensayos nacional o internacionalmente reconocido. Existen cuatro tipos de recubrimientos ignífugos para madera, en orden descendente de su eficacia son:

a.- Pinturas intumescentes: Estas pinturas se expanden ante la acción del calor cambiando de un recubrimiento delgado, tipo pintura, a una costra gruesa e hinchada parecida al malvavisco tostado. Esta costra produce alguno o incluso todos de los siguientes efectos: aísla el combustible del calor, aísla el combustible del oxígeno, produce gases diluyentes y reduce los gases inflamables. Mantiene su eficacia hasta que se resquebraja por la alta temperatura o por el calor sostenido.

b.- Mástiques: Se aplican con llaneta o con pistolas de pintura y forman un grueso recubrimiento sobre la superficie del material combustible; su consistencia, una vez aplicados, varía desde una superficie dura parecida a la cerámica a una superficie blanda parecida al alquitrán. Todos resisten cantidades importantes de calor e inhiben la propagación de

la llama por la membrana incombustible e inexpugnable que forman.

c.- Pinturas que producen gases: Estos recubrimientos, cuando se calientan, emiten gases incombustibles que diluyen el oxígeno en las cercanías de la superficie protegida, impidiendo que se concentre suficiente cantidad de oxígeno para mantener la combustión.

d.- Recubrimientos cementosos y de fibras minerales: Poco se ha investigado sobre la posible aplicación de estos recubrimientos en la madera para mejorar sus características de resistencia ante el fuego. Generalmente se utilizan sobre acero estructural para protegerlo de las temperaturas elevadas de incendio. Hay expertos que piensan que los elementos de madera podrían protegerse de la misma forma.

Ventajas: Los recubrimientos ignífugos tienen las siguientes ventajas: (1) pueden aplicarse sobre materiales combustibles que están ya instalados; (2) son relativamente baratos; (3) pueden aplicarse con facilidad; y (4) no originan pérdida de resistencia a altas temperaturas y humedades.

Inconvenientes: Los recubrimientos ignífugos tienen las siguientes desventajas: (1) la facilidad de su aplicación puede producir tratamientos demasiado escasos e ineficaces; (2) las superficies que no estén expuestas ni sean accesibles no pueden tratarse; (3) su durabilidad es limitada; (4) son susceptibles de sufrir daños; y (5) el tratamiento debe repetirse cada vez que sea necesario.

Comportamiento ante el fuego: Los recubrimientos ignífugos pueden mejorar sustancialmente la actuación de la madera

frente al fuego. El grado de mejora es función de la efectividad del tratamiento.

7. Conclusión

Dentro de los factores que han influido en el rechazo de la madera como material de construcción en nuestro país es su combustibilidad.

Sin embargo, la experiencia de otros países ha demostrado, que las estructuras de madera con determinadas técnicas de tratamiento, presentan un comportamiento bajo la acción de los incendios, igual o superior al de muchas estructuras de materiales incombustibles.

De tal manera, un elemento estructural de madera de proporciones robustas, conserva su capacidad de carga en un incendio durante mayor tiempo que un miembro de acero de igual resistencia, aunque en el exterior mantengan flamas carbonizadas. También es posible incrementar la resistencia al fuego mediante tratamientos simples de impregnación de sustancias retardante al fuego.

Compilado por Walter Jiménez Mora

Encargado Programa de Control de Proyectos

Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica

Referencias Bibliográficas

Moncada, J.; Moncada, J.A. (Ed.). (Marzo 2009). Manual de Protección Contra Incendios NFPA (Quinta edición en español).

Elvira, L., Jefe del Laboratorio del Fuego Departamento de Maderas I.N.I.A (1984). Respuesta de la madera ante el fuego en la construcción (versión electrónica). [Informes de la construcción](#) Vol. 35, n.º 358.

Normas NFPA 220, NFPA 251, Norma NFPA 251/ASTM e 119, NFPA 268, NFPA 5000 (Únicamente se citan).

Editorial MAPFRE; Instrucciones Técnicas de Protección Contra Incendios (Julio 1988). Resistencia al Fuego de las Estructuras de Madera.



Escuela Kekoldi



CAPÍTULO

CONCLUSIONES

1. Conclusión

Hemos visto a través de este Manual de una manera simple y sencilla, de manera tal, que personas no técnicas o expertas en el tema, tales como estudiantes, ebanistas, carpinteros, productores, comercializadores, sin dejar por fuera arquitectos e ingenieros logren comprender la importancia de rescatar la madera como un material de construcción, en este Capítulo realizaremos un resumen de todo lo visto a lo largo.

Volvamos a enfatizar que la madera como material constructivo a lo largo de los últimos años a perdido su papel predominante y ha sido sustituido ya sea por el concreto y otros materiales, creándose una serie de mitos incorrectos alrededor de la misma, algunos de estos son:

- Material de costos muy alto.
- Material de vida útil corta.
- Material propenso al fuego.
- Se pudre fácilmente.
- Sirve solo como material decorativo.
- Es de alto mantenimiento.
- Es inseguro.
- Hay poca mano de obra especializada.



Fuente: http://cr.worldmapz.com/photo/3857_en.htm

Figura 1. Casa antigua en madera

Como hemos visto ninguna de ellas tiene un verdadero fundamento, mas bien han sido estrategias mercadológicas de algunas grandes empresas interesadas en posicionar materiales sustitutos, recordemos que la madera fue el material predominante a principios del Siglo XX, posicionado de manera tal que los grupos mas pudientes lo utilizaban en sus viviendas, San José actualmente tiene claros ejemplos de esa construcción en su arquitectura patrimonial, las viviendas de corte victoriano es un vivo ejemplo, actualmente son viviendas de 100 o mas años en perfecto estado de conservación. Analicemos cada una de estas objeciones, los constructores tienen como idea que construir en madera es mas caro, algo realmente falso. Como podemos ver el Anexo 1, se presentan dos cuadros de precios comparativos de lo que fue el Proyecto de Equidad y Eficiencia de la Educación Convenio de Préstamo 7284-CR financiado por el Banco Mundial para el Gobierno de Costa Rica. Es importante recalcar que estos precios por metro cuadrado no es de tipo presupuestal sino los costos reales posteriores a la construcción, este proyecto manejo dos sistemas constructivos, el tradicional prefabricado y la madera, podemos notar claramente que las obras en madera tienen un precio inferior a las similares en prefabricado, se puede notar que las diferencias son significativas tanto en lo que se denomina Empresa Gestora (por administración) como en Empresa Constructora (llave en mano) El Anexo 2 es un escrito de esta experiencia en el cual vemos una serie de ventajas de construir en madera, la cuales veremos mas adelante.

Otra de las objeciones que ha calado en los constructores es que la madera tiene una vida útil bastante menor que otros materiales, mito también totalmente infundado si consultamos el Manual de valores Unitarios por Tipología

Constructiva Versión 2015 del Órgano de Normalización Técnica del Ministerio de Hacienda podemos notar que las vidas útiles de las construcciones de Viviendas en Concreto y las Viviendas en Madera ambas están con vidas útiles comprendidos entre los 40 y 70 años, incluso en este mismo podemos confirmar otra vez que los costos son inferiores en madera. Los avances en aditivos ha hecho posible poder extender la vida útil de la madera, además de como vimos en el Capítulo 6 existe lo denominado Protección por Diseño y una combinación entre ambos conlleva a una extensión de la vida útil.

Continuando, uno de los mitos mas fuerte es que la madera es propensa al fuego, es innegable que este material es propenso al fuego, tan así que se usa en hogueras y chimeneas, pero cuando se utiliza como material de construcción debe analizarse otras variables, una de ellas es que con los avances en los sistemas eléctricos aplicados en el Código Eléctrico, la posibilidad de incendio por un corto circuito se ha reducido sustancialmente y las probabilidades que esto se de son las mismas que en una construcción de concreto, otro aspecto como lo vimos en el Capítulo 6 existen recubrimientos y pinturas intumescentes que hacen que la madera presente un comportamiento ante el fuego adecuado, en conversaciones con bomberos comentaban que ellos se sienten mas seguros en entrar a incendios de construcción de madera que a construcciones en metal, ya que esta ultima colapsa mas fácilmente.

Con las tecnologías actuales, tal como vimos en el Capítulo 4, existe en la parte química ya sea barnices o aditivos que protegen la madera contra la humedad y el crecimiento

de hongos y otros agentes bióticos, por lo tanto la pudrición no es un factor relevante.

También es importante que la madera ante la humedad esporádica tiene un excelente comportamiento, si lo comparamos con el tabla yeso (gypsum) es muy superior y no se hincha como le sucede al tabla yeso, este es un material de moda pero es sumamente sensible a la humedad, incluso a la humedad relativa y tal como vimos la madera se comporta muy bien cuando su humedad es similar a la relativa.

La madera es el único material de que se puede utilizar en todas y cada una de las diferentes partes de una construcción, estructura, divisiones, pisos, entrepisos, decoración, etc. El hecho de que actualmente solo se vea como material decorativo es parte de lo que indicamos de las estrategias de introducción de otros materiales, quedando relegada la madera a este tipo de elementos, ni el concreto ni el acero u otros materiales logra el llamado "calor humano" que logra la madera, su influencia sobre la siquis humana es incomparable. Debemos como sociedad rescatar los beneficios de la madera.

Tampoco es cierto que la madera implique mas mantenimiento que otros materiales, toda obra constructiva implica mantenimiento, la corrosión en el acero, el hongo negro en el concreto entre otros, es muestra clara que todo material de una u otra forma se ve afectado con el medio ambiente, la madera debidamente procesada y tratada incluso requiere un mantenimiento menor.

Otro aspecto que hemos de hacer resaltar es el hecho de que a quedado demostrado que la madera tiene un excelente comportamiento ante los eventos sísmicos, principalmente si las uniones esta bien diseñadas la posibilidad de colapso de la estructura es casi mínima, convirtiéndola es una estructura muy segura, mas en un país de las características de nuestro país, el concreto es mas susceptible a colapsar que la madera.

BENEFICIOS

La madera ofrece varios beneficios

- Costos constructivos más bajos.
- Disminución de la huella de carbono.
- Una arquitectura más bioclimática.
- Una relación cultural más fuerte.
- Espacios humanizados y sustentables .
- Mejor comprensión del medio ambiente .
- Fácil manejo para el personal por ser liviana.
- Se transporta mayor cantidad de material.
- Mano de obra menos especializada.
- Menor transmisión de carga térmica
- Se puede prefabricar piezas
- Menor desperdicio de material
- Bien trabajada tiene acabados superiores.

- No necesita recubrimientos por lo que los tiempos de construcción.
- Mejor comportamiento sísmico.
- Fácil sustitución de piezas dañadas.

“La madera bien trabajada desde las bases del diseño arquitectónico logra un desempeño bioclimático que, en conjunto con la orientación para considerar el recorrido solar, así como el acomodo de la forma ante los vientos dominantes, el manejo de los claros oscuros, la ventilación cruzada y el uso de petatillo de madera en los buques de ventanas conlleva inevitablemente una mayor comodidad, que mejora el proceso enseñanza-aprendizaje.

El diseño tomo en cuenta los preceptos de la arquitectura bioclimática enmarcada en un contexto natural, donde arquitectura y paisaje logran una simbiosis de la concepción del espacio: afuera/adentro, ambos espacios cargados de alegría y poesía. Seguimos los conceptos de manejo de la sombra en el diseño propugnados por el Arq. Bruno Stagno: sombras de vegetación, sombras de aleros, sombras de árboles, sombras de edificios... En fin, un solo disfrute, un disfrute de aprendizaje, un disfrute de mejorar, un disfrute para el alma. Arquitectura humilde como humilde es la madera, pero rica en calidad espacial; al fin, verdadera arquitectura.”*



Fotografía: Adrián Coto
Escuela de Kekoldi Diseño: Arq. Adrián Coto



Escuela Katuir

ANEXOS

ANEXO 1

ANALISIS COMPARATIVO

El presente anexo muestra costos comparativos de los metros cuadrados entre dos sistemas constructivos, madera y prefabricado.

Esto es producto de los costos del proyecto desarrollado por el Banco Mundial (BIRF) y PROMECE, institución adscrita al Ministerio de Educación Pública, no es el resultado de presupuestos, sino más bien un análisis de los costos una vez realizada la construcción por lo que la información es muy real.

Como se podrá notar los costos directos constructivos son más bajos en madera que en prefabricado, lo que demuestra que el mito de construir en madera es más caro que otros sistemas.

GESTORA. PRECIOS POR METRO CUADRADO DE CONSTRUCCIÓN. EMPRESAS DE GESTORA.

ACTIVIDAD	PRESUPUESTO CONTRACTUAL				Cambio	505	
	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONTO TOTAL PROMEDIO	METROS 2	COSTO en M2 Colones	COSTO en M2 Dolares
EDIFICACIONES							
AULA TELESECUNDARIA EN PREFABRICADO.	unidad	1	€26.200.000,00	€26.200.000,00	144,00	€181.944,44	\$360,29
ADMINISTRACION EN MADERA.	unidad	1	€21.658.416,00	€21.658.416,00	160,00	€135.365,10	\$268,05
MÓDULOS EN MADERA (2 AULAS DE 30 M2)	unidad	1	€22.191.000,00	€22.191.000,00	125,00	€177.528,00	\$351,54
SERVICIOS SANITARIOS DE ALBERGUE EN MADERA	unidad	1	€19.646.432,00	€19.646.432,00	86,00	€228.446,88	\$452,37
BATERIA SANITARIA ESTUDIANTES EN MADERA	unidad	1	€13.551.304,00	€13.551.304,00	80,00	€169.391,30	\$335,43
BATERIA S.S. EN PREFABRICADO DE 41 m2	unidad	1	€10.589.890,16	€10.589.890,16	41,00	€258.290,00	\$511,47
AULA ACADEMICA ADOSADA EN PREFABRICADO	unidad	1	€11.107.949,00	€11.107.949,00	72,00	€154.277,07	\$305,50
AULA ACADEMICA AISLADA EN PREFABRICADO	unidad	1	€13.214.338,40	€13.214.338,40	72,00	€183.532,48	\$363,43
AULA PREESCOLAR EN PREFABRICADO	unidad	1	€15.098.384,93	€15.098.384,93	96,00	€157.274,84	\$311,44
MODULO DE USURE (JU BRIBRI) AISLADA EN MADERA	unidad	1	€8.166.288,00	€8.166.288,00	105,00	€77.774,17	\$154,01
ALBERGUE DE MADERA DE 160 M2.	unidad	1	€21.895.120,00	€21.895.120,00	160,00	€136.844,50	\$270,98
COMEDOR ESCOLAR AISLADO EN MADERA	unidad	1	€21.954.296,00	€21.954.296,00	152,00	€144.436,16	\$286,01
COMEDOR ESCOLAR AISLADO EN PREFABRICADO	unidad	1	€18.557.621,80	€18.557.621,80	72,00	€257.744,75	\$510,39
CENTRO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN MADERA.	unidad	1	€40.772.264,00	€40.772.264,00	288,00	€141.570,36	\$280,34
OBRAS COMPLEMENTARIAS							
PASILLOS (PASOS CUBIERTOS) EN MADERA	unidad	1	€12.054.436,61	€12.054.436,61	45,00	€267.876,37	\$530,45
RELLENO DE LASTRE	unidad	1	€2.700.000,00	€2.700.000,00	360,00	€7.500,00	\$14,85
RAMPA CUBIERTA DE 1.48 Mts ANCHO EN MADERA	M2	1	€707.000,00	€707.000,00	13	€54.384,62	\$107,69
SISTEMA PLUVIAL	Global	1	€3.770.000,00	€3.770.000,00	1742	€2.164,18	\$4,29
SISTEMA DE AGUAS NEGRAS	Global	1	€7.664.124,00	€7.664.124,00	1742	€4.399,61	\$8,71
SISTEMA POTABLE	Global	1	€3.461.796,00	€3.461.796,00	1742	€1.987,25	\$3,94
SISTEMA ELECTRICO	Global	1	€40.654.525,00	€40.654.525,00	1742	€23.337,84	\$46,21
TANQUES SÉPTICOS	Global	1	€642.600,00	€642.600,00	3	€226.666,67	\$448,84
GANANCIA POR ADMINISTRACION DE GESTORA	Global	1	€73.311.145,00	€73.311.145,00	1868	€39.245,79	\$77,71

ACTIVIDAD	PRESUPUESTO CONTRACTUAL				Cambio	\$505,00	
	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO PROMEDIOS	MONTO TOTAL	METROS 2	COSTO en M2 Colones	COSTO en M2 en Dólares
EDIFICACIONES							
AULA TELESECUNDARIA PREFABRICADA	unidad	1	¢36.200.000,00	¢36.200.000,00	144	¢251.388,89	\$497,80
ADMINISTRACION PREFABRICADA	unidad	1	¢14.500.000,00	¢14.500.000,00	72	¢201.388,89	\$398,79
CASA DEL MAESTRO DE 36 m2 PREFABRICADO	unidad	1	¢13.672.617,96	¢13.672.617,96	36	¢379.794,94	\$752,07
BATERIA SANITARIA PREFABRICADA DE 72 m2	unidad	1	¢15.230.368,93	¢15.230.368,93	72	¢211.532,90	\$418,88
BATERIA S.S. EN PREFABRICADO DE 41 m2	unidad	1	¢14.250.000,00	¢14.250.000,00	41	¢347.560,98	\$688,24
BATERIA SERVICIOS SANITARIOS DE 14 M2. CON INODOROS, HOJALATERIA, BAJANTES, BEBEDERO Y ASEO	UNIDAD	1	¢3.591.091,75	¢3.591.091,75	14	¢256.506,55	\$507,93
COMEDOR DE 42m2 INCLUYE MUEBLE COCINA, BODEGA, BEBEDERO Y CASETA GAS. PREFABRICADO	unidad	1	¢9.451.834,16	¢9.451.834,16	42	¢225.043,67	\$445,63
AULA ACADEMICA ADOSADA EN PREFABRICADO	unidad	1	¢13.777.826,29	¢13.777.826,29	72	¢191.358,70	\$378,93
AULA ACADEMICA AISLADA EN PREFABRICADO	unidad	1	¢14.920.885,94	¢14.920.885,94	72	¢207.234,53	\$410,37
AULA PREESCOLAR 72 M2 EN PREFABRICADO	unidad	1	¢16.524.003,75	¢16.524.003,75	72	¢229.500,05	\$454,46
MODULO DE USURE (JU BRIBRI) AISLADA EN MADERA	unidad	1	¢8.212.864,15	¢8.212.864,15	70	¢117.142,55	\$231,97
ALBERGUE EN MADERA. CON FUNDACIONES DE CONCRETO Y BASES DE COLUMNAS Y VIGAS METALICAS	unidad	1	¢10.800.000,00	¢10.800.000,00	42	¢257.142,86	\$509,19
COMEDOR ESCOLAR PREFABRICADO de 72m2	unidad	1	¢15.868.700,00	¢15.868.700,00	80	¢198.358,75	\$392,79
SALA DE INNOVACION Y APRENDIZAJE	unidad	1	¢24.000.000,00	¢24.000.000,00	144	¢166.666,67	\$330,03
OBRAS COMPLEMENTARIAS							
ACERA DE CONCRETO CON TECHO	Global	1	¢6.840.000,00	¢6.840.000,00	171	¢40.000,00	\$79,21
ACERAS DE CONCRETO	M2	1	¢21.076,67	¢21.076,67	1	¢21.076,67	\$41,74
RAMPA CUBIERTA 3.00 MTS ANCHO	M2	1	¢69.895,77	¢69.895,77	1	¢69.895,77	\$138,41
SISTEMA PLUVIAL	Global	1	¢1.632.500,00	¢1.632.500,00	370	¢4.412,16	\$8,74
SISTEMA DE AGUAS NEGRAS	Global	1	¢3.734.000,00	¢3.734.000,00	370	¢10.091,89	\$19,98
SISTEMA POTABLE	Global	1	¢3.648.175,00	¢3.648.175,00	370	¢9.859,93	\$19,52
SISTEMA ELECTRICO	Global	1	¢12.407.250,00	¢12.407.250,00	370	¢33.533,11	\$66,40
TANQUES SÉPTICOS	Global	1	¢863.537,01	¢863.537,01	3	¢304.598,59	\$603,17

Fuente: Adrián Coto, Banco Mundial (BIRF) y PROMECE
Ejemplo de un análisis comparativo

ANEXO 2

REVISTA HABITAR

Se presenta el escrito sobre un proyecto de madera realizado en el Volumen 83 de la Revista Habitar, órgano oficial del Colegio de Arquitectos de Costa Rica.

ACCESIBILIDAD EN LUGARES INACCESIBLES

Es importante indicar que este proyecto fue propuesto por Costa Rica, por la Región III de la Unión Internacional de Arquitectos y fue nominado para el Premio Vassillis Sgoutas, esta selección se realiza anualmente y es la primera vez que Costa Rica es nominada.



LA ACCESIBILIDAD EN LUGARES INACCESIBLES

Diseño y materiales en
armonía con la cultura local

Arq. Adrián Coto

Un nuevo paradigma de adjudicación y construcción

La Escuela de Patiño forma parte de una nueva experiencia de infraestructura educativa financiada a través de un programa del Banco Mundial. Amparado por la Ley No 8558 y administrado por PROMECE, bajo la dirección del Dr. Carlos Barrantes Rivera, este programa rompe paradigmas tanto en procesos de adjudicación como en sistemas constructivos.

El proyecto Equidad y Eficiencia de la Educación definió tres modalidades de adjudicación para contextualizar socioculturalmente las obras de infraestructura y optimizar el uso de los recursos del préstamo:

1. La modalidad de participación comunitaria es un sistema donde no hay proceso de contratación de empresas y la comunidad es responsable de la ejecución de la obra, por medio de la Junta de

Educación o Administrativa, con el apoyo de un ingeniero itinerante y el Departamento de Infraestructura de PROMECE (Proyecto de Equidad y Eficiencia Educativa).

2. Las empresas gestoras son las encargadas de construir el proyecto de infraestructura educativa por administración, en el entendido de que serán las responsables de administrar los recursos, hacer las compras de materiales, contratar mano de obra y subcontratos, así como pagar los extremos de cargas sociales, lo cual le da el pie para actuar como patrón.

3. Con la modalidad de licitación pública se atienden todos los colegios, escuelas y grupos de escuelas que por ubicación geográfica y vías de comunicación permitan tener mayor eficiencia en el proceso de la contratación administrativa.

73

Dentro de los sistemas constructivos, el programa permitió superar lo prefabricado, dando como resultado este modelo como el más exitoso. La construcción en madera suma 36 centros educativos, lo que implica 86 aulas; entre cocinas, salas de maestros, dormitorios y baterías de baños suman 83; y entre centros tecnológicos, espacios culturales, de arte y facilidades para la educación física suman 31.

El programa fue más allá, al preparar gente de la zona durante la construcción para dar mantenimiento a la operación del centro; además, se dieron charlas sobre mantenimiento, donde se indicó cuáles partes deben recibir asistencia en un plazo mensual, trimestral, semestral y anual, junto con los responsables del buen mantenimiento. En síntesis, se trata de un manejo integral que involucra a las Juntas, las ADI, los maestros y los estudiantes, para que apropien como suyos los centros educativos.

Uno de dichos centros fue el ganador de la Bienal Centroamericana de Arquitectura 2012, honor que recayó sobre el Colegio Sepecue, diseñado por el Arq. Luis Aguilar, construido por la Empresa Koinonia, bajo la Supervisión de los ingenieros Álvaro Salas y Sergio Agüero, y la inspección de la Arq. Victoria Adís. El proyecto que presentamos en esta edición fue diseñado en el Departamento de Infraestructura de PROMECE, el cual está bajo mi responsabilidad.

Originalmente, este modelo constructivo se utilizaba únicamente para zonas indígenas de muy difícil acceso y bajo la modalidad de Participación Comunitaria y Empresa Gestora, pero esta se amplió a la modalidad de Empresa Constructora y a zonas de fácil acceso.

Madera + diseño arquitectónico = desempeño bioclimático

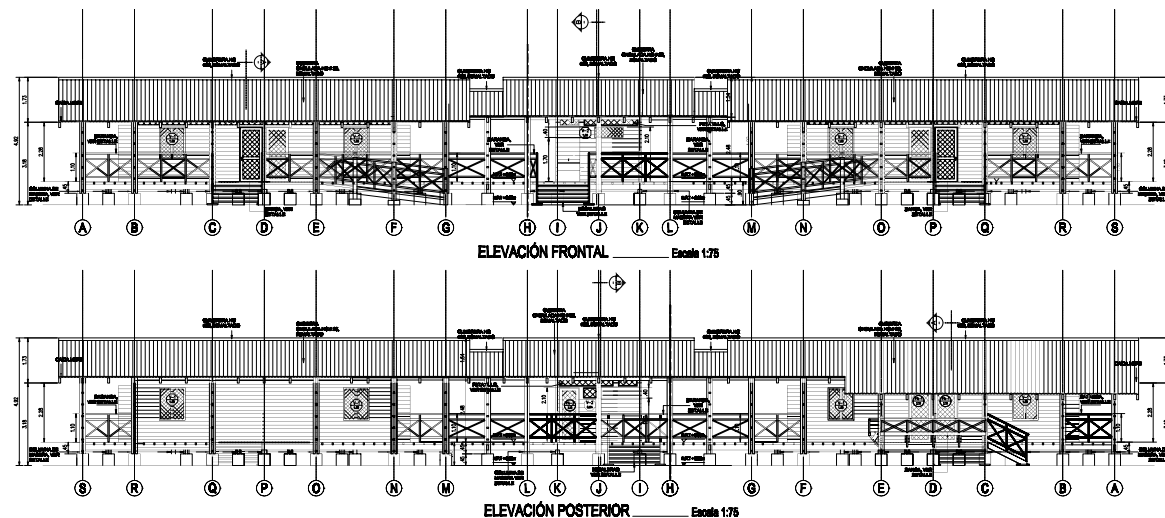
Como material constructivo, la madera ofrece varios beneficios en estos centros educativos:

- Costos constructivos más bajos.
- Disminución de la huella de carbono.
- Una arquitectura más bioclimática.

- Una relación cultural más fuerte.
- Mejor comprensión de la cultura indígena y su concepto de espacio, sirviendo de modelo para otros proyectos.
- Organización social participativa.
- Cuidado de la infraestructura al considerarla propia por su esfuerzo.
- Mejoramiento y comprensión intercultural en ambos sentidos.
- Mejor comprensión del medio ambiente a través del Regente.
- Mejor comprensión de su propia cultura.

La madera bien trabajada desde las bases del diseño arquitectónico logra un desempeño bioclimático que, en conjunto con la orientación para considerar el recorrido solar, así como el acomodo de la forma ante los vientos dominantes, el manejo de los claros oscuros, la ventilación cruzada y el uso de petatillo de madera en los buques de ventanas conlleva inevitablemente una mayor comodidad, que mejora el proceso enseñanza-aprendizaje.

El diseño tomo en cuenta los preceptos de la arquitectura bioclimática enmarcada en un contexto natural, donde arquitectura



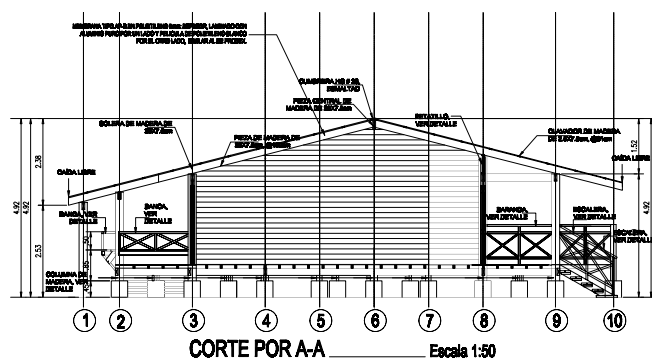
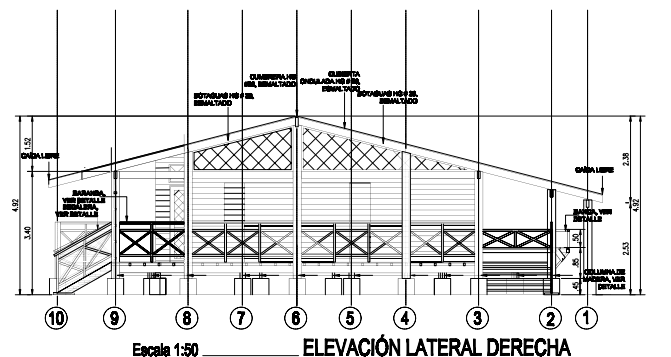


y paisaje logran una simbiosis de la concepción del espacio: afuera/adentro, ambos espacios cargados de alegría y poesía. Seguimos los conceptos de manejo de la sombra en el diseño propugnados por el Arq. Bruno Stagno: sombras de vegetación, sombras de aleros, sombras de árboles, sombras de edificios... En fin, un solo disfrute, un disfrute de aprendizaje, un disfrute de mejorar, un disfrute para el alma. Arquitectura humilde como humilde es la madera, pero rica en calidad espacial; al fin, verdadera arquitectura.

Al diseño bioclimático se une la meta de lograr centros educativos más sustentables y humanizados para uno de los grupos sociales menos aventajados en los procesos educativos de nuestro país. Se debe tomar conciencia de que este programa busca el mejoramiento de la infraestructura educativa en zonas indígenas y seguramente si sometiéramos uno de estos centros educativos a la Norma RESET, se lograría fácilmente su aprobación.

El diseño de la planta es alargado y angosto, en una relación 1:4. Consta de tres aulas, un comedor-cocina y un núcleo de baños en el centro, lo que permite generar tres módulos que,





al mismo tiempo y a través de una comunicación horizontal, generan una sola unidad. Toda la estructura se encuentra elevada sobre pilotes y estos a su vez sobre basas de concreto, en prevención de las típicas inundaciones de la zona atlántica y en respuesta a la ventilación cruzada. Cuenta, además, con una casa de maestro que brinda todas las comodidades para pernoctar en el área del proyecto.

La edificación incluye un amplio pasillo frontal con accesos en gradas y rampas en cumplimiento de la Ley 7600, así como pasillos laterales en dos de los tres módulos que permiten el desarrollo de espacios sociales en una zona de alta precipitación. Además de un espacio

de transición afuera-adentro que permite bajar las cargas térmicas de los vientos, amplios aleros en la parte posterior admiten una difusión de la luz de una manera refractada e indirecta. Los buques de ventana llevan petatillo, al igual que las áreas entre el cielo y la viga cargador, generando así una mayor velocidad de los vientos.

Se aumenta también el espacio, colocando un aislante térmico debajo de las láminas de hierro galvanizado esmaltadas por ambos lados, material culturalmente aceptado, dando mayores alturas de piso/cielo. No se usan canoas, sino drenajes: así, el agua de lluvia se vuelve una aliada para reducir la temperatura del viento (recordemos que nos encontramos muy cercanos al nivel del mar).

El comedor cuenta con un área de fogón externo, donde se cocina con leña, colocado en un espacio donde el viento aleja el humo; el fogón se distancia prudencialmente de toda estructura de madera. Este espacio es primordial dentro de la cultura indígena.

El núcleo de baños cumple –al igual que el resto del proyecto– con la Ley 7600; tiene además una pequeña área de aseo y almacenamiento, como un núcleo independiente, y pasillos que bordean los cuatro lados. La evacuación de las aguas se maneja a través de FAFA.

Las tres aulas son espaciosas y diseñadas para una cantidad de estudiantes no mayor a 25; cuentan con vestíbulo de acceso y las paredes divisorias entre aulas son de doble forro con aislante. El resto de las paredes son a un solo forro,



FICHA TÉCNICA

Nombre: Escuela Patiño

Ubicación: Cahuita, Talamanca

Diseño arquitectónico:

Arq. Adrián Coto Portuguese e Ing. Sergio Agüero Barrantes

Ingeniería eléctrica:

Ing. Olman Ramírez Araya

Regencia ambiental:

Biol. Isaac Baldizon Fernández y Arq. Adrián Coto Portuguese

Área de construcción obra nueva: 422 m²

Área de construcción obra por rehabilitar: 55 m²

Costo de la obra: 169.139.616,16 colones

Adjudicatario: PROMECE, representado por el Dr. Carlos Barrantes Rivera

Constructora: Desarrollos Urbanísticos Almada S.A.

Supervisores de obra:

Ing. Sergio Agüero Barrantes, Arq. Victoria Adís Moreno y Arq. Adrián Coto Portuguese

lo que obliga a un trabajo bien detallado para lograr una estética agradable. Las ventanas son en petatillo, pues se eliminó todo el vidrio.

Los techos se diseñan a dos aguas, sin canoas, con láminas esmaltadas largas sin uniones o traslapes, todo con el fin de reducir la posibilidad de goteras y acorde con la simplicidad de la arquitectura, sin desmejorar la calidad espacial y formal. Todo el proyecto cuenta con barandas sencillas y resistentes, donde nos podemos sentar a compartir momentos agradables en espacios atractivos.

Los detractores de la madera podrían aducir que construir con este material es más difícil: nada más alejado de la realidad cuando existe una verdadera programación en el taller de diseño y una verdadera confección de planos. Se

desglosa la cantidad y tipos de piezas que se deben utilizar, convirtiendo así el sistema en un verdadero prefabricado con la menor cantidad de desperdicio.

A lo largo del proyecto se ha llevado un monitoreo constante de los costos de construcción, tanto en madera como prefabricado, y podemos afirmar con toda certeza que construir en madera es más barato que construir en prefabricado o con el otro modelo que desarrollamos, de metal y siding de Ricalit (que también tiene un costo menor al del prefabricado).

Los diseñadores tenemos la responsabilidad de cumplir con toda la normativa establecida, sin importar la dificultad de acceso a los proyectos y, sobre todo, tenemos la obligación de hacer una arquitectura para todos.

Un manejo integral que involucra a las Juntas, las ADI, los maestros y los estudiantes, para que apropien como suyos los centros educativos.

1. Escuela Patiño.
2. Elevaciones frontal y posterior.
3. Fachada posterior.
4. Área de preparación de alimentos.
5. Elevaciones derecha e izquierda.
6. Módulo de baños y aulas.
7. Pasillo interconector.
8. Ing. Sergio Agüero, Arq. Adrián Coto y Arq. Victoria Adís.

ANEXO 3

NORMAS DE CONSTRUCCION Y CERTIFICACIONES FORESTALES

Mucho se escribe sobre ellas, sobre todo los interminables trámites y los altos costos para obtenerlas. Lo cierto es que llegaron para quedarse y de paso cambiarnos la forma de construir y hacer negocios. Desde su llegada hace unos cien años, las Normas y las Certificaciones han llevado el desarrollo industrial y científico a niveles nunca antes imaginados.

Ningún constructor responsable dudará en cumplir las Normas de Construcción, pues en su formulación trabajan los más avanzados y modernos laboratorios del mundo; estandarizando los materiales y los procesos de la construcción. El arquitecto o ingeniero que no sea ejecutivo en su cumplimiento, está arriesgando su proyecto, carrera y cliente.

- ***Al cumplir las Normas de Construcción, el constructor y el propietario pueden confiar que la inversión cumplirá los exigentes estándares internacionales de calidad.***
- ***Al adquirir productos de madera con Certificación Forestal pueden confiar que se garantizará la protección del ambiente y de los derechos humanos.***

Si usted piensa construir con madera o pertenece al sector forestal, y desea asegurar una gestión financieramente exitosa y reducir su huella ecológica, le conviene acercarse y dominar estos temas, donde se entrelazan y complementan criterios técnicos-científicos con criterios sociales-políticos.

Tomando como ejemplo la Certificación Forestal FSC (Forest Stewardship Council) creada en 1994 por un grupo heterogéneo de activistas independientes, conformado por empresas productoras, consumidoras y comercializadoras de madera con representantes de organizaciones ambientalistas y de derechos humanos, preocupados por el problema de la deforestación, la degradación del ambiente y la exclusión social.

Los criterios y parámetros formulados en esta certificación, promueven el desarrollo y crecimiento económico de la sociedad, en armonía con la protección del ambiente y de los derechos humanos. Estos elementos se complementan en armonía, lo cual es la base del desarrollo sostenible.

En marzo del 2003, Centroamérica contaba con 42 operaciones forestales certificadas FSC, para un total de 732,864 Ha de bosque o plantación certificadas (www.wwfca.org). En Costa Rica, los productores de madera no están obligados a obtener alguna certificación forestal para producir, importar, comercializar o exportar su madera. El proceso de certificarse FSC es voluntario.

En ocasiones, las empresas forestales se han certificado por exigencia de sus Bancos, pues estos entes financieros deben demostrar que sus clientes están comprometidos con los conceptos de sostenibilidad. En otras ocasiones, los mercados receptores organizados y proactivos, lo exigen como condición indispensable.

Poseer la Certificación Forestal, le permite a la empresas forestales ingresar con sus productos a los grandes mercados de los países históricamente compradores de madera, como EUA, Japón, Australia y gran parte de los países nórdicos y europeos, los cuales cada vez presionan más para que las empresas demuestren su compromiso con el ambiente y la sociedad.

- ***A través de la Red Mundial de Productos Certificados (GFTN), la Certificación Forestal se convierte en una efectiva herramienta para llegar a los consumidores finales.***

En estos países, la construcción con madera es lo común, han logrado bajar los costos de sus obras en comparación con otros materiales, pues al modular livianos elementos prefabricados pueden ahorrar recursos en transporte, manipulación e instalación, sean viviendas u obras mayores. Como el edificio londinense Murray Grove, con 9 pisos y 29 apartamentos, construido principalmente con madera.

- ***La madera es el único material de construcción absolutamente renovable y potencialmente inagotable, durante su crecimiento retiene su volumen en CO2 y libera casi su volumen en oxígeno.***

La utilización de la madera en construcción les ha permitido reducir su huella de carbono y reducir el Calentamiento Global, y como si fuera poco, han logrado aumentar sus bosques. Por ejemplo, EUA ha logrado en cien años duplicar su cobertura forestal, gracias al estímulo que reciben los propietarios de plantaciones,

pues el sector constructivo de ese país utiliza armazones de madera en el 90% de las casas que construye. Todas normadas y certificadas.

Cada vez es más frecuente que en los países con mayor organización civil, se prohíba tajantemente importar madera o productos de madera que no cuenten con Certificación Forestal, en particular la FSC.

- ***En estos países, la sociedad civil es proactiva, y está eficientemente organizada para exigir la Certificación Forestal a cada pulgada de madera que ingrese por sus fronteras.***

Pero aún en estos países se discute ampliamente sobre la conveniencia que el Estado adopte y promocióne como propia alguna marca específica de Certificación Forestal. Esto podría dar la impresión que se benefician únicamente las grandes empresas que cuentan con suficientes recursos. Pero en Costa Rica hubo experiencias por parte de Fundecor, donde se utilizó un esquema "sombrija": Varios pequeños empresarios unieron esfuerzos y pagaban en conjunto la certificación, rompiéndose así el mito de la exclusión social generada por la Certificación Forestal.

- ***Las Normas de Construcción y las Certificaciones Forestales no son generadoras de subdesarrollo y pobreza. El desconocimiento de ellas si lo es.***

Entonces hacemos la pregunta: ¿Cómo aprovechar en Costa Rica las Normas y las Certificaciones Forestales para obtener beneficios tangibles a favor del ambiente, la sociedad y la economía?

Poco se discute sobre esto en el sector forestal, y menos todavía entre diseñadores y constructores. Entre los argumentos presentados por los promotores, encontraremos diversidad de criterios, al analizarlos podemos estar o no de acuerdo con ellos. Personalmente considero como relevantes los siguientes objetivos:

- 1. Dar un plazo razonable (¿50 años?) para que el país adopte los criterios y parámetros de sostenibilidad definidos por las Certificaciones Forestales Internacionales. La operación que decida pagar para obtener la certificación, lo haría de forma voluntaria.**
- 2. Las Normas de Construcción relativas a la madera existen y se utilizan con eficacia desde hace décadas. También deben adoptarse progresivamente.**
- 3. El Estado debe construir las vías de comunicación entre los sectores. El objetivo principal es diseñar las herramientas que le permitan a las Normas/ Certificaciones generarle beneficios tangibles a las empresas productoras/consumidoras.**

Cabe mencionar que cada país exitoso en gestión forestal, pasó previamente por esta etapa de discusión, y encontraron novedosas maneras de generar los acuerdos que benefician a los sectores involucrados, desde importadores hasta productores nacionales. Gracias a esto, existen empresas que voluntariamente cumplen los parámetros de sostenibilidad aún sin tener formalmente la Certificación Forestal.

Podemos encontrar en la experiencia de estos países una guía de aprendizaje, pero no podemos copiar e intentar

implantar sus exitosos modelos, pues las realidades y los actores involucrados difieren radicalmente. Debemos diseñar nuestro propio modelo de implementación, con el sello criollo: Tropical, progresista y solidario.

- En los países con sectores forestales sólidos y arraigados, los constructores son los principales consumidores de la madera.**

En Costa Rica hay mucho trabajo por hacer. Y eventualmente encontraremos resistencia por parte de los sectores que producen y comercializan otros materiales tradicionales de construcción. Por eso es importante integrarlos desde el inicio del proyecto, para que en vez de perder protagonismo y generarles pérdidas económicas, también se beneficien de las bondades del uso de la madera certificada y normada.

- El Estado cumple una valiosa función para generar los espacios de entendimiento, análisis, discusión y negociación.**

Es de vital importancia la participación y compromiso de las universidades públicas y privadas, para que los estudiantes y profesores además de ser promotores de los conceptos de sostenibilidad, realicen investigaciones (de laboratorio y de campo) enfocadas en buscar nuevas formas de mejorar la gestión del sector forestal y constructivo, y de esta manera, hacer más eficiente y competitivas las empresas privadas y las instituciones públicas regentes: mejoramiento continuo.

Los productores forestales y los constructores, necesitan unir sus esfuerzos con los Colegios Profesionales y las Cámara empresariales que los representan. Generar grupos interdisciplinarios de análisis y discusión, dirigidos por expertos moderadores con amplia experiencia

internacional en estos procesos. Hay muchos profesionales comprometidos que hacen esto alrededor del mundo. El intercambio de experiencias y nuevas técnicas será siempre favorable.

Los medios de comunicación masivos tienen un serio compromiso social: Educar a la población en general, para que la comunidad nacional e internacional reconozca y aprecie los esfuerzos de las empresas forestales y constructoras que cumplan los conceptos de sostenibilidad.

- ***Costa Rica, por su vocación ambientalista y solidaria, tiene la oportunidad histórica de liderar a la Región hacia los ideales de la sostenibilidad.***

Para terminar, solo me basta agradecer y felicitar a las pioneras empresas nacionales y centroamericanas, que impulsadas por su visión progresista y solidaria, ya cuentan con la Certificación Forestal FSC. Su participación y liderazgo es necesario en este proceso.

Estas empresas son un ejemplo de trabajado esforzado e incansable, no esperan sentados a que vengan otros a solucionar sus necesidades y problemas. Con orgullo le muestran al mundo que desde una pequeña región también podemos hacer historia, contribuyendo con nuestro granito de arena para el beneficio de la humanidad.

Arquitecto José Antonio Flores Sibille.

Experiencia en temas de Certificación Forestal FSC - WWF, con más de 20 años construyendo con madera a través

de la empresa Alternativas Maderables Ambientales (AMA la Madera).

Profesor universitario y consultor internacional en temas de construcción sostenible.



Cabaña Fraijanes, Alajuela. 450 m².
Mención Honorífica y Finalista Bienal CFIA-Metalco 2004.
amalamadera@racsa.co.cr / www.amalamadera.com
José Antonio Flores Sibille, arquitecto.



Sobre el coordinador y autor

Arquitecto independiente egresado de la Universidad de Costa Rica (1983) con estudios de postgrado en la Universidad Interamericana de Puerto Rico (1990) Ha realizado trabajos en el exterior, Panamá, Honduras y África Oeste (Níger, Nigeria Senegal, Mauritania y Malí) Ha sido profesor universitario en Arquitectura (UACA 1983-1987), en Administración de Negocios (UICR 1991-1996) Mercadeo de la Ciencia de la Construcción (UC 1998-2009) Gerencia de Mercadeo en la Maestría de Electromecánica del ITCR (2004-2006) Diseño VI y VII (UC 1998 - 2009) Profesor Dirección Empresarial y Taller de arquitectura y Urbanismo 11(U Latina 2010-presente).

Su experiencia laboral lo ha hecho ocupar diferentes gerencias, Gerente General de Righetti (1988- 1989) Gerente de Mercadeo Prograf Internacional (1989- 2000) Gerente de Mercadeo de ERGO Limited - Honduras (1996-2000), Actualmente es Presidente de AC arquitectos y Asociados S.A. y Consultor en Infraestructura Educativa en El Salvador para el Banco Mundial (BIRF).

A nivel de asociaciones pertenece al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, Colegio de Arquitectos, Instituto Costarricense de Valuación, Instituto Costarricense de la Madera y al American Institute of Architects en donde ha ocupado puestos en Juntas Directivas y variadas Comisiones. Miembro de Tribunales de Honor del CFIA.

Perito y Valuador del CFIA. Ex Director de la Cámara de Consultores en Arquitectura e Ingenierías. Ex miembro del Consejo de SUPRICORI (Sistema de Acreditación de las Universidades Privadas), Par Valuador Internacional invitado por COMAEA (Consejo Mexicano de Acreditación de Escuelas de Arquitectura), Par Valuador de CCAAI (Consejo Centroamericano de Acreditación en Arquitectura e Ingenierías) Vicepresidente, Vocal I y Tesorero del Colegio de Arquitectos (2007-2009 y 2012-2015).

Ha publicado escritos en revistas tales como Construcción, Acta Académica (UACA) Actualidad Económica, Estilos y Casas, Construir (Centroamérica), Actualidad Indoor, El Constructor (Colombia) Habitar (CARQ) y la Revista del CFIA.

Ha participado en 412 proyectos para un total de 578.324 mts² con un 61% construido para un total de 276 proyectos ejecutados. Tiene proyectos publicados en revistas.

