



INVESTIGACIÓN

GUÍA DE USO Y APLICACIONES DE LA  
MADERA EN LA ARQUITECTURA EN  
COSTA RICA

Nº330-A8-158

Arq. Viviana Paniagua Hernández

Unidad de investigación de la Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica

## I INFORMACIÓN GENERAL

**Unidad Ejecutora:** Unidad de investigación de la Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica.

**Código del proyecto:** N°330-A8-158

**Nombre del proyecto:** "Guía de uso y aplicaciones de la madera en la arquitectura en Costa Rica"

**Actividad:** Investigación orientada a la docencia, se busca que la investigación se convierta una herramienta en la formación de los estudiantes de arquitectura; para que su futura responsabilidad no se limite a diseñar en madera sino también a hacer planteamientos técnicos realmente adecuados.

**Sub actividad:** La investigación está enfocada a la búsqueda de información bibliográfica y visual para confeccionar un documento que oriente acerca de cómo se debe de usar la madera en la arquitectura en Costa Rica, así como:

Evaluar el uso y aplicaciones de la madera en la construcción costarricense.

Conocimiento del mercado actual de la madera en el país.

Normativa vigente en torno a la construcción en madera

Determinar recomendaciones de métodos de tratamientos para diferentes tipos de madera

**Vigencia del proyecto:** Actualmente es necesario en la formación profesional del arquitecto aumentar los conocimientos en el tema del uso de la madera, para promover la transformación del sector construcción mediante el noble material, económico, renovable, no contaminante en su proceso de crecimiento, ni en su procesado primario.

"El tropiezo constante en el uso del material, es el grave problema del desconocimiento por parte de los arquitectos , y de los posibles inversionistas, acerca de características, propiedades físico-mecánicas, comparación de costos con respecto a otros materiales. Así como desconocimiento de la tecnología actual que permite ofrecer los mismos niveles de seguridad que el acero y el hormigón, por ejemplo en lo que al fuego y a la pudrición se refiere.

El conocimiento sobre las condiciones de la madera permite desarrollar plenamente sus ventajas, analizar los factores que se identifican como debilidades y subsanarlas, por ello se hace necesario difundir las mecánicas que permitan lograrlo.

## II ESTRUCTURA DEL PROYECTO

### 1.1 Antecedentes

La presente investigación va a estudiar algunos puntos a la fecha no han sido debidamente analizados, ni expuestos a los arquitectos, tales como:

- Análisis de las razones del retraso en Costa Rica de la utilización de la madera como elemento estructural de primer orden en la construcción, mitos, etc.
- Se busca hacer la interrelación entre los sectores: madera, arquitectura y construcción.
- Dar a conocer y divulgar las características físico-químicas de la madera y de sus productos derivados, así como de la tecnología actual que solventa los problemas característicos del material. (basado en investigaciones previas)
- Promover la exposición de las ventajas que reúne la madera en la construcción, en la arquitectura, la industria y el ambiente
- Comparar costos con otros materiales de construcción
- Conocer los alcances de la legislación vigente en la construcción en madera.
- Los esfuerzos de investigación que se hay hecho sobre el tema, muchas veces no resultan accesibles a los arquitectos, que son los promotores del uso del material.

### Experiencias nacionales

1 ["Madera Diseño y Construcción](#) Ing. Juan Tuk Msc.

2 ["Árboles maderables de Costa Rica"](#) Ing. Quirico Jiménez Msc



### Experiencias en el campo dentro de la institución:

1 [Maderas de Costa Rica 150 especie forestales](#) Licda. María Isabel Carpio Malavassi

2 ["Anatomía y Ultraestructura de 20 especies maderables de importancia comercial en Costa Rica"](#) Licda. María Isabel Carpio Malavassi Laboratorio de productos forestales UCR - CONICIT

### Experiencias en el campo fuera de la institución:

3 [Estudio para la Introducción del uso y aprovechamiento de la Madera en Construcciones ligeras de una Vivienda Unifamiliar](#)

Ing. Beatriz González Rodrigo. Madrid España 1999

4 Publicaciones Edificación en madera y Series COsntrucción en maderay de la Universidad del Bío Bío en Concepción Chile

## 1.2 Justificación

Debido a que actualmente no se aprovecha todo el potencial de la madera como material de construcción, existe una gran necesidad por profundizar en la motivación y los conocimientos del arquitecto en el uso de la madera en el marco de las posibilidades y la realidad costarricense. Como se mencionó anteriormente el desconocimiento por parte de los profesionales y de la ciudadanía en general, sobre el tema, limita el uso y las aplicaciones de la madera en la arquitectura y la construcción en el país en la actualidad.

El compromiso por formar profesionales con conocimientos más técnicos, se facilitaría mediante una herramienta útil para consultas y en la toma de decisiones, lo cual es la razón que motiva el origen de esta guía de uso y aplicaciones.

## 2. DESCRIPTORES:

Madera de plantación + CR

Tabla de especies- secciones de madera + disponible en el mercado

Comercios + distribución +maderas certificadas

Tablas + predimensionamiento + madera

Tratamientos maderas +disponibles en CR

Proyectos destacados +madera +CR

Institutos, laboratorios, fundaciones + madera

Comparación -recomendaciones + especies + usos + región (norte, caribe, pacífico)

Inspeccionar +construcciones + madera

Normativa Costarricense + construcción en madera

**MADERA +ARQUITECTURA+CONSTRUCCIÓN+COSTA RICA**

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Identificar cuáles son las condiciones de uso de la madera en la Arquitectura y la Construcción en Costa Rica, en la actualidad y en los últimos 20 años, con el fin de establecer y divulgar una guía con la información, uso y aplicaciones. Para promover el uso de la madera en la construcción.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las principales especies potenciales de la utilización de acuerdo al mercado y a una visión sostenible.
2. Promover centros de información de la madera en Costa Rica (Universidades, Institutos, Centros de Investigación)
3. Establecer las condiciones de disponibilidad en el mercado y técnicas para la utilización de la madera en la arquitectura. (Monocultivos, áreas reforestadas, aserraderos, importadoras, comercializadoras, etc.)
4. Divulgar la información técnica relacionada con construcción en madera, para que sea una herramienta en el quehacer del arquitecto.

## 4.2. METAS

Búsqueda de información sobre las condiciones de uso de la madera desde la década de los años noventa, a modo de desarrollar una premisa del estado de la cuestión.

Se quiere generar un documento que sea una guía que fomente el uso responsable de la madera en las construcciones costarricenses dentro de una concepción tanto plástica (de lenguaje de diseño) como técnica, que resulte en una herramienta práctica que resuma:

- Materias primas y productos de madera disponibles para la construcción que se encuentran actualmente en el mercado costarricense, en relación con la sostenibilidad.
- Procesos de las maderas que se llevan a cabo en Costa Rica (tecnologías)
- Accesibilidad a maderas de plantación (monocultivos) y a maderas nativas certificadas en CR.
- A posteriori Un programa de charlas con expositores nacionales e internacionales, para divulgar investigaciones en el tema y dar a conocer proyectos construidos en madera, que motiven al uso de la misma



Finalmente representación y conformación de red latinoamericana de maderas con profesores de la Universidad Bío Bío de Chile, la Universidad de Bogotá Colombia, la Universidad de Venezuela entre otras.

## 6. ÁREA GEOGRÁFICA DE INFLUENCIA

Estudiantes de la escuela de arquitectura de la Universidad de Costa Rica. Territorio nacional en general con los futuros profesionales, y hasta egresados de dicha escuela de arquitectura, esto a mediano y largo plazo.

**7. IMPACTO DEL PROYECTO** Se busca lograr promover tanto la cantidad como la calidad de obras arquitectónicas concebidas y materializadas en madera dentro del territorio nacional. Se promueve la arquitectura bioclimática y sostenible en madera como material que responde a las necesidades de conciencia ecológica nacional y mundial.

## **8. POBLACIÓN BENEFICIARIA DEL PROYECTO**

Se beneficiara a los estudiantes de arquitectura en su formación, mediante el conocimiento técnico más amplio y documentado de un material tradicional como lo es la madera.

A mediano y largo plazo el sector de la industria y la producción de Madera en CR se beneficiaría si se fomenta la cultura del uso del material.

También es importante mencionar que se beneficiará el medio ambiente, mediante el futuro desarrollo de proyectos en madera que sean concebidos dentro de los parámetros de la sostenibilidad

## **III GESTIÓN METODOLÓGICA DEL PROYECTO**

### **1. METODOLOGÍA**

Recopilación de información de centros nacionales de investigación, bibliotecas, Internet, entrevistas a investigadores, profesores y profesionales tales como: arquitectos, ingenieros civiles, forestales, químicos, ingenieros en construcción, a representantes de diferentes sectores de la industria y el mercado nacional.

### **2. SEGUIMIENTO**

El mecanismo de seguimiento para el cumplimiento de metas, se proyecta en el sistema de evaluación que se describe más adelante, aunado a: posibles revisiones con investigadores universitarios de UCR e ITCR

### **3. ACTIVIDADES**

- Desarrollar un estudio Bibliográfico revisiones en las bibliotecas de UCR ITCR UNA
- Revisar las publicaciones relacionadas con el tema en los últimos 20 años
- Antecedentes históricos de la arquitectura y construcción en madera en CR. En los últimos 20 años
- Resumir la normativa costarricense existente y en estudio o propuesta, (código sísmicos, código de construcción, INS protección contra el fuego.) comentar las limitaciones de la realidad nacional y en comparación con otros países
- Averiguar acerca de los centros de Investigación, laboratorios, etc. y visitarlos para generar contactos y obtener información pertinente y actualizada del tema.
- Resumir datos de las principales especies maderables de Costa Rica y su disponibilidad en el mercado.
- \*Estudios de campo (mercado) aserraderos, comercializadoras, aserraderos
- \*Visita a aserraderos, recolección re información y muestras
- \*Pruebas de laboratorio a las muestras (Instituto de investigaciones forestales de la UCR)
- Visita a diferentes centros de investigación e información
- Visita a los principales laboratorios forestales y de materiales del país
- Confeccionar tablas de recomendaciones de tipos de madera para diferentes usos en la construcción y en las diferentes zonas específicas del país (o por condiciones climatológicas por definir)
- Visita al INS para obtener datos estadísticos de trámite de planos (de diseños en madera, pólizas, restricciones, etc.)
- Visita al CFIA para obtener datos estadísticos
- Visita a los establecimientos comercializadores de MLE (maderas cultivadas, grupo Xilo, etc)
- Recolección de datos estadísticos de consumo de madera para la construcción
- Recolección de datos estadísticos de la situación forestal en el país
- Procesamiento y revisión de datos de estudio de campo
- Entrevistas y encuestas a profesionales
- Revisión y presentación de la Investigación a la comisión de Arquitectura
- Establecimiento de condiciones y conclusiones a divulgar
- Elaboración del documento de la Guía de usos y aplicaciones de la madera en la arquitectura en Costa Rica”
- Programación de exposiciones/mesas redondas. Programar fechas para invitar especialistas nacionales y extranjeros
- Elaboración de un índice de las referencias bibliográficas y páginas académicas en Internet.
- Elaborar un listado de la guía comercial de la Madera en Costa Rica aserraderos, productos preventivos, grupos comercializadores
- Obtener datos de posibles redes centro o latinoamericanas de maderas.

**4 .RECURSOS CON QUE CUENTA EL PROYECTO** Apoyo de profesores e investigadores de Universidades nacionales e internacionales.

## 5. EVALUACION Y MEDIDORES

Evaluación por parte de la comisión de proyectos de Investigación de la escuela de Arquitectura.

**Diseño de investigación** (evaluación de la relevancia del resultado de información obtenida y procesada. En la toma de decisiones del arquitecto)

**Análisis de datos** (de los métodos estadísticos)

Con el fin de que dicha revisión sirva para hallar posibles debilidades desde la perspectiva de los arquitectos profesores que conforman la comisión como potenciales usuarios



La palabra madera, se escribe muy diferente en las distintas partes del mundo, así de variables también son las especies, características de uso y trabajabilidad.

## PREFACIO

El origen de la idea de iniciar este documento se remonta al año 2008, cuando inició mi inquietud por comenzar una carrera hacia un énfasis dentro del quehacer como arquitecta, y el inicio de mis estudios del Magíster en Construcción en Madera de la Universidad del Bío Bío en Concepción Chile.

En este año también asistí al curso que se realizó en el LANNAME Laboratorio de materiales y modelos de la Universidad de Costa Rica. de “Diseño de Estructuras de Madera” que se dio como parte del programa de Educación continua de Escuela de Ingeniería Civil impartido por el profesor y dicho laboratorio Dr. Guillermo González Beltrán.

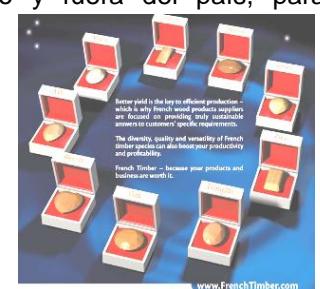
Ambos cursos generaron muchas interrogantes relacionadas con como poder empezar la búsqueda de construir conocimiento a partir de la información de alta complejidad técnica desde mi perspectiva y mi formación como arquitecta, con grandes interrogantes del área de la ingeniería civil y forestal.

Al recibir tanta información nueva e ir desarrollando un sin número de preguntas por contestar y una gran deseo por conocer más del tema y por compartir todo ello con quienes también pudieran interesarse. Fue que surgió la motivación por empezar a hacer una guía desde ese momento.

Además como profesional joven con relativamente poca experiencia y como profesora junior-interina en los talleres de Diseño y Construcción de la Escuela de Arquitectura de la UCR. decidí investigar más en el tema, para poder comenzar una carrera profesional y docente a la vez

Para poder hacer un primer aporte consideré adaptar la información recibida dentro y fuera del país, para reinterpretarla, ampliarla y detallarla en forma visual y gráfica, de modo que a mi parecer, fuera más comprensible y afín para los arquitectos y los estudiantes con esta vocación.

Debo aclarar más adelante los datos tomados de la propiedad intelectual de otros profesionales de la Universidad de Costa Rica, del curso del Dr. González, del libro Madera Diseño y Construcción del maestro Msc. Ing. Juan Tuk, del Curso de Inspección de Obras del Msc. Ing. Roberto Fernández, de las publicaciones de investigadora del INII Isabel Carpio y de algunas presentaciones de los profesores del Magíster en Construcción en Madera de la Universidad del Bío Bío, en así como de otras fuentes de información, en el desarrollo del material y en la bibliografía.



Por lo anterior, espero que este esfuerzo sea de utilidad para aquellos interesados en diseñar y hacer arquitectura responsable en madera. Y soñando más aún, que ojalá se convierta en una Guía de información, uso y aplicaciones de la madera en nuestro país.

.....compromiso?



## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	8
2.	ANTECEDENTES .....	8
2.1.	Información por considerar y propiedades de la madera .....	9
2.2.	Fundamentación - La madera material sostenible .....	9
2.3.	La madera y la producción de la energía biomásica .....	10
2.4.	Situación Actual de la Madera en Costa Rica. ....	10
3.	HISTORIA DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA .....	15
3.1.	Construcciones primitivas en Costa Rica .....	15
3.2.	Construcción con Madera en Costa Rica .....	15
3.3.	Sistemas constructivos en madera más usados en CR .....	15
4.	LA EDUCACIÓN Y LA INVESTIGACIÓN EN EL TEMA .....	16
4.1.	Centro Universitarios en en Costa Rica.....	16
4.2.	Algunas Instituciones relacionadas con los recursos forestales .....	16
5.	GENERALIDADES DE LA MADERA .....	18
5.1.	Estructuras de la madera.....	18
5.2.	Macro estructura .....	18
5.3.	Micro estructura .....	19
6.	LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	20
6.1.	Madera estructural y derivados .....	20
6.2.	Madera Aserrada (sólida) .....	20
6.3.	Clasificación de la madera.....	21
6.4.	Madera Laminada.....	22
6.5.	Madera Estructural Compuesta.....	23
6.6.	Madera contrachapada o “Plywood” .....	24
6.7.	Tableros de OBS y partículas .....	25
6.8.	Tableros de fibras .....	25
6.9.	Secado y preservación de la madera .....	26
6.10.	Preservantes utilizados actualmente para el tratamiento de la madera.....	28
7.	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.....	30
7.1.	Contenido de Humedad .....	30
7.2.	Cambios dimensionales.....	31
7.3.	Movimiento por la forma de cortar la madera .....	32
7.4.	Densidad.....	33
7.5.	Gravedad Específica.....	33
7.6.	Cálculo de la Gravedad Específica.....	34
7.7.	Propiedades Térmicas .....	34
7.8.	Conductividad eléctrica.....	35
7.9.	Propiedades acústicas.....	35
8.	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA .....	36
8.1.	Generalidades de las propiedades mecánicas .....	36
8.2.	Simbología Utilizada para las propiedades mecánicas .....	36
8.3.	Compresión Paralela y Perpendicular .....	36
8.4.	Tensión Paralela y Perpendicular .....	36
8.5.	Cortante .....	36
8.6.	Flexión .....	36
8.7.	Propiedades elásticas.....	37
8.8.	Factores que afectan las propiedades .....	37
8.9.	Defectos .....	37
8.10.	Resumen de las propiedades mecánicas de la madera .....	38
9.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERA .....	39
9.1.	Metodologías de diseño de estructuras en madera .....	39
9.2.	Propiedades por conocer para diseñar en madera .....	39
9.3.	Valores de diseño característicos (base o de referencia) .....	39
9.4.	Valores de ajuste .....	40
9.5.	Factores de Servicio: .....	40
9.6.	Elementos en flexión.....	40
10.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	41
10.1.	Secciones con cortes (agujeros, incisiones, cortes, ranuras, rebajes) .....	41

10.2.	Elementos curvos y de sección variable.....	42
10.3.	Elementos en compresión, flexo compresión, flexo tensión torsión.....	42
10.4.	Elementos estructurales de secciones compuestas.....	43
10.5.	Paneles de ala delgada .....	43
10.6.	Muros de corte y Diafragmas.....	44
11.	<b>UNIONES.....</b>	46
11.1.	Tipos de Uniones .....	47
11.2.	Clavos .....	47
11.3.	Tornillos:.....	47
11.4.	Pernos y clavijas (pines) .....	48
11.5.	Placas conectoras.....	48
11.6.	Placas multiclavos .....	48
11.7.	Teoría de uniones .....	48
11.8.	Uniones momento resistentes .....	51
12.	<b>PROTECCIÓN PREVENTIVA DE LA MADERA .....</b>	53
12.1.	Agentes atmosféricos degradadores de la madera .....	53
12.2.	Agentes biológicos- degradadores de la madera .....	53
12.3.	Agentes externos –degradadores de la madera .....	53
12.4.	Clases de riesgo .....	54
12.5.	Protección por Diseño medidas de tipo constructivo y de saneamiento .....	55
12.6.	Protección pasiva.....	56
12.7.	Métodos de tratamiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
12.8.	Productos protectores contra el fuego y elección del tipo de protección .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
12.9.	Protección superficial decorativa .....	56
12.10.	Preservantes de la madera disponibles en Costa Rica .....	57
13.	<b>APLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA .....</b>	57
13.1.	El desconocimiento de sus características físico-mecánicas .....	57
13.2.	Confort Térmico .....	57
13.3.	“Mecanismos de transferencia de calor” .....	58
13.4.	Balance térmico de una vivienda .....	58
13.5.	Transmitancia térmica de elementos constructivos.....	58
13.6.	Coeficiente volumétrico de pérdida térmica.....	59
13.7.	Ventilación .....	60
14.	<b>SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MADERA .....</b>	61
14.1.	Estructuras de luces mayores .....	61
14.2.	Estructuras de luces menores .....	62
15.	<b>ARQUITECTURA Y MADERA.....</b>	66
15.1.	Los materiales desde el punto de vista de la construcción biológica .....	66
15.2.	Espacios, Formas, Funciones .....	67
16.	<b>NORMATIVA PARA LA MADERA .....</b>	68
17.	<b>CONCLUSIONES .....</b>	70
18.	<b>ANEXOS .....</b>	71
18.1.	Especies maderables comerciales en costa rica - usos en la construcción.....	71
18.2.	Muestrario de 12 especies de interés comercial en Costa Rica.....	72
18.3.	Ilustraciones de usos de 12 especies de maderas de interés en la construcción en Costa Rica .....	73
18.4.	Recomendaciones para el uso de la madera en la construcción en Costa Rica .....	77
18.5.	Muestra de Proyectos de trascendencia Nacional .....	78
18.6.	Muestra de Proyectos de renombre Internacional.....	79
18.7.	Empresas Que Cuentan Con Madera Certificada .....	86
18.8.	Listas de Verificación para control de obras ejecutadas en madera .....	87
18.9.	Importancia de conocer el proceso constructivo en madera .....	91
18.10.	Sistema de Construcción Habicon: un caso exitoso de incorporación de madera de reforestación en la construcción.....	92
18.11.	Productos de Tecnología en madera.....	93
18.12.	Tecnología Honeycomb o panal .....	93
18.13.	Publicaciones en madera.....	95
	Las anteriores portadas son una muestra de algunas de las publicaciones disponibles en ISSUU.com.....	95
19.	<b>GLOSARIOS .....</b>	96
20.	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	98



## 1. INTRODUCCIÓN

La posibilidad de trabajar con madera nos hace pensar en la sostenibilidad, por ser este un material renovable, que utilizado correctamente, con procedencia de plantaciones bien manejadas; Comparado con otros materiales, tiene la ventaja de que ayuda a reducir las emisiones de carbono tan preocupantes por cómo afectan el cambio climático.

El conocimiento amplio de las características de cualquier material, resulta imprescindible para su correcta utilización. En este caso la información es compleja por el hecho de que es producto del metabolismo del árbol que es un organismo vivo y por eso sus propiedades están sujetas a las variaciones causadas por los factores externos que afectan su crecimiento.

Además hay que tener en cuenta que son muchas especies de árboles maderables con diferentes características anatómicas, químicas, físicas, reglas de diseño y cálculo entre otras por conocer. Lo que hace que la información parezca compleja, sin embargo el enfoque que se busca es poder analizar la información con pensamiento crítico, y de alguna manera personalizar dicha información, para poder adaptarla a los intereses particulares de utilización.

Ya qué hoy en día, bien se puede decir que la madera es un material muy versátil, al que se le puede hacer más resistente a los agentes externos que la deterioran, extendiéndole su ciclo de vida. Es que se debe divulgar que existen estas posibilidades al alcance de la mano. Por ejemplo se puede reforzar su ya por naturaleza buen comportamiento ante la acción del fuego, donde el material se carboniza en su superficie, lo que protege su interior. Esto aunado a la debida preparación industrial, hace que se alcance y supere la resistencia de otros materiales.

Pero para poder extender el ciclo de vida de la madera, primero se debe tener conciencia de sus ventajas, lo que nos permite desarrollar plenamente su uso y analizar los factores que se identifican como debilidades a subsanar. Es de nuevo en este otro punto, es que se hace necesario difundir las mecánicas que permitan lograr la construcción de calidad y que garantice el confort de índole térmico, acústico, protección contra el fuego, humedad y plagas.

En síntesis, la responsabilidad del arquitecto no se limita a diseñar, sino también a resolver y comprobar que sus planteamientos sean realmente adecuados y la presente guía tiene finalidad de hacer un pequeño aporte en este tema



## 2. ANTECEDENTES

La madera ha estado arraigada a la humanidad desde que los aborígenes hacían sus refugios y chozas circulares. En Costa Rica para 1910 el gobierno, prohibió las construcciones en bahareque después del terremoto ocurrido en la Provincia de Cartago, por lo que ese mismo año, se impulsa la construcción en madera. A partir de ese momento fue que se desarrollaron técnicas constructivas y aportes que aun podemos encontrarlos en casas estilo victoriano.

Como otro antecedente, se destaca el impulso de las técnicas constructivas promovidas desde el COVAO (colegio vocacional de artes y oficios) en Cartago, que fue el antecesor de los artesanos, actuales carpinteros.

En la década de los 40 apareció la hibridación de materiales, donde el acero jugó un papel preponderante motivado por el incremento del cultivo del café y la importación de estructura metálicas desde Europa. El ladrillo como elemento de mampostería se trabajaba en forma mixta con el concreto, y la madera se utiliza en detalles interiores menores.

Fue a partir de la década de los años los 50, que la mampostería en concreto adquiere un auge importante con los bloques, que continúa hasta la fecha como material predominante. No por estas circunstancias se abandona la madera. Se puede decir que esta continua en aproximadamente un 25% de las construcciones lo que provocó la explotación forestal desmedida, sin control del estado, que se comenzó a regular hasta 1969 con la promulgación de la primera Ley Forestal.<sup>1</sup>

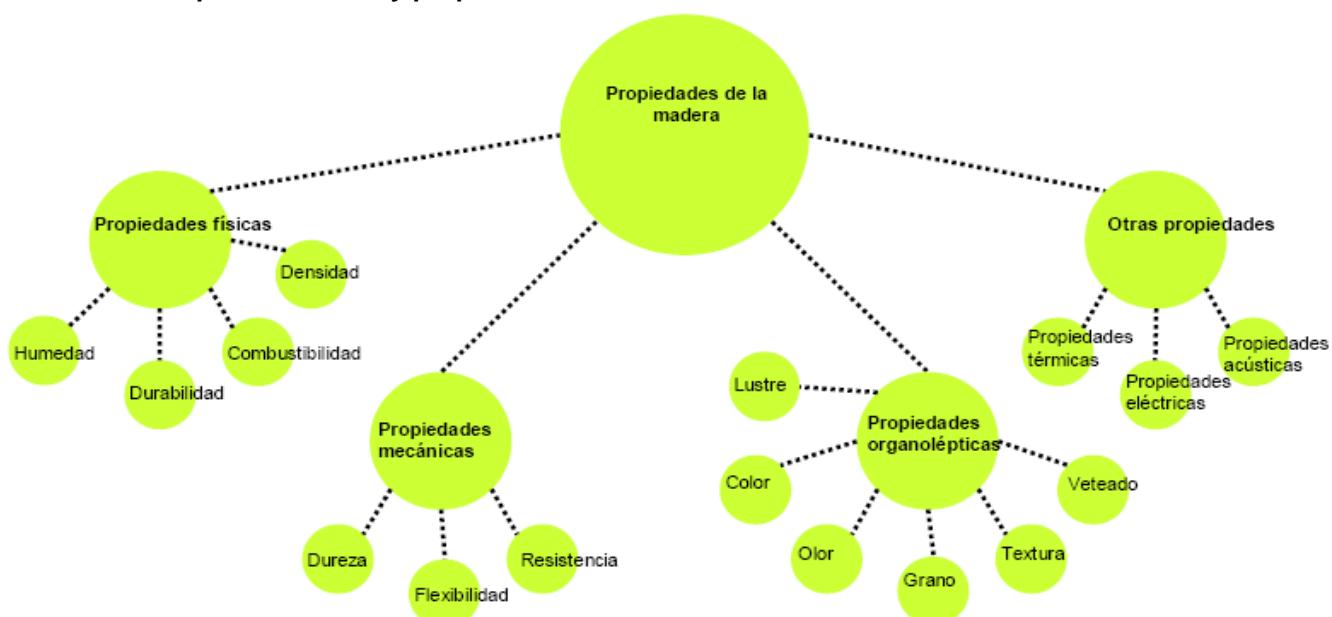
La utilización de la madera como material primario actualmente no está lo suficientemente arraigado en el país, por lo que en la actualidad existen solo algunos proyectos de gran escala, que hayan sido construidos recientemente.

A lo anterior, se debe aunar a que tanto inversionistas como profesionales dudan acerca del uso del material debido al desconocimiento general del tema, y otros subtemas asociados, tales como: la desinformación de la deforestación vs la plantaciones nacionales, los costos comparativos de la construcción en madera vs otros materiales, como garantizar su durabilidad, mantenimiento, etc.

<sup>1</sup> Fonseca Elizabeth Historia de la Arquitectura en Costa Rica, Fundación Museos del Banco Central de Costa Rica 1998

Como se tiene identificada esta situación, es que resulta necesario actuar al respecto. Más aún hacerlo desde la perspectiva y posición estratégica del arquitecto visto este como promotor, diseñador, y vínculo entre otros profesionales, usuarios y clientes.

## 2.1. Información por considerar y propiedades de la madera



## 2.2. Fundamentación - La madera material sostenible

La madera es un material celulósico, que produce la naturaleza sin contaminar al medio ambiente, tal y como el resto de las energías renovables, la energía que produce la madera proviene del sol, mediante el proceso de fotosíntesis el reino vegetal absorbe y almacena una parte de la energía solar que llega a la tierra.

Ya que las células vegetales utilizarán la radiación solar para formar sustancias orgánicas a partir de sustancias simples y de dióxido de carbono. En su producción, por cada tonelada de madera se extraen 4Ton de CO<sub>2</sub> como promedio. Además es el único material que cede energía al medio ambiente, por el contrario los demás materiales requieren consumir energía para su producción.

La sostenibilidad es un aspecto de gran importancia para la sociedad en general y para el sector construcción en particular, este sector consume el 50% de los materiales extraídos de la naturaleza, produce el 50% de los desechos, y consume el 40% de la energía.

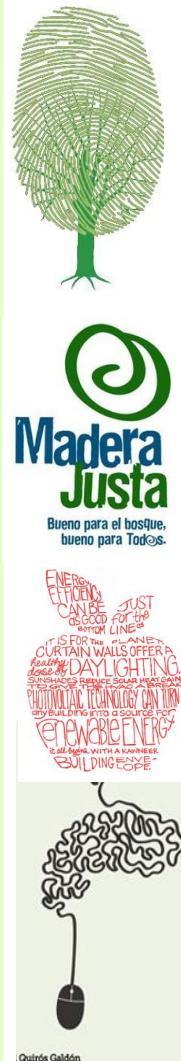
Por la anterior relación, es que se concibe la madera, como el material de elección, ya que es un producto natural renovable, que será sostenible siempre y cuando provenga de plantaciones o bosques manejados científicamente, en los que el volumen de la madera cosechada no exceda al volumen que crece en la plantación o en el bosque.

Por ello se reitera que para la construcción en madera, esta debe de provenir de bosques de plantaciones manejadas con buenas prácticas de la ingeniería forestal y que también permitan el máximo aprovechamiento de cada trozo, como se muestra en la imagen adjunta

Además las maderas deben ser tratadas de forma ecológica, es decir sin químicos que contengan arsénico, ni cromo, que atente contra la salud y el medio ambiente. Por su parte el Ing. Rolando Fournier afirma que "la sostenibilidad no solo debe pregonarse; también debe demostrarse con estudios serios" En relación a esto se puede mencionar que con base en criterios de bioarquitectura, utilizando parámetros de evaluación, el prestigioso Instituto de Bio-Construcción y Ecología de Alemania otorgó a la madera cosechada las más altas calificaciones desde el punto de vista ecológico, convirtiendo a la madera cosechada en el patrón con el que se mide el comportamiento ecológico de los demás materiales.

La sostenibilidad tiene tres dimensiones a considerar: social, ambiental y económica; la combinación de estos tres factores es lo que caracteriza una solución sostenible. Por ello se pretende apuntar a una propuesta que de antemano las contemple.

La madera tiene muchos otros usos, diferentes a la construcción, por ejemplo en la producción de celulosa para hacer papel, en la industria química de extractivos, que también son muy beneficiosos



para el ser humano. Otro uso de gran importancia es el de la producción de biomasa.

### 2.3. La madera y la producción de la energía biomásica

Dado que gran parte del costo de industrialización de la madera como productos de construcción, procede en alto grado de la energía que se consume en su procesamiento, el tema de **energía-madera**, se considera importante, y por ello se hace una breve referencia, para considerarlo como parte clave del proceso de fabricación de elementos constructivos con madera.

La biomasa de la madera se puede aprovechar de dos maneras; quemando los desechos o subproductos de la madera para producir calor o bien transformándola en combustible para su mejor transporte y almacenamiento.

El gas metano se puede capturar a través de la construcción de un biodigestor; este es un sistema de tratamiento primario anaerobio que consiste en retener por un determinado período de tiempo los desechos orgánicos en un tanque cerrado, para que se dé la fermentación del material, produciendo el gas.

La biomasa, por lo general incluye plantas de crecimiento rápido, restos de madera, de animales y algas cultivadas, por citar algunos ejemplos. No obstante, es una fuente de energía procedente en última instancia del sol y puede convertirse en energía renovable siempre y cuando sea utilizada adecuadamente.

Hay tres fuentes principales de biomasa arbórea; los árboles no deseables en bosques naturales bajo manejo forestal, los restos vegetales de podas y raleos no comerciales en plantaciones forestales y los residuos en las fases de aprovechamiento e industrialización de la madera.

Por otro lado, se debe considerar la capacidad de uso de la tierra, aproximadamente el 60% del territorio costarricense para el desarrollo de actividades forestales, dando un alto potencial para dedicar terrenos forestales a la producción de biomasa.

De la producción total anual de madera en trozas del país se ha estimado casi la mitad en consumo de madera rolliza en aserraderos estacionarios para procesamiento de madera de bosque natural, plantaciones y aserraderos, por lo que la otra en residuos podría ser utilizada comercialmente, con posibilidad de ser convertida en metanol.

Como se mencionó al inicio, se menciona este tema **energía-madera**, para hacer conciencia de una necesidad de generar y consumir energías alternativas y a la vez se visualiza como una opción de solución al tema de los desechos generados por la industrialización de la madera para la construcción. *Imágenes ilustrativas*<sup>2</sup>



### 2.4. Situación Actual de la Madera en Costa Rica.

En los países desarrollados con tradición forestal, la madera, manejada técnicamente en todas sus etapas, es considerada un material básico en la industria de la construcción, especialmente en proyectos de vivienda.

*El desarrollo, adaptación y transferencia de tecnologías para el manejo sostenible de las plantaciones forestales y el adecuado tratamiento industrial de sus productos, constituye la base fundamental para ampliar las posibilidades de uso de la madera en la construcción, con un alto grado de confiabilidad y competitividad, y llegar a considerarla como una alternativa sostenible que contribuya a la solución de uno de los mayores flagelos de nuestros tiempos: el déficit habitacional.*

En contraposición, en los países en vías de desarrollo, los avances tecnológicos logrados alrededor del acero, el concreto y los plásticos, y el poco conocimiento que tienen nuestros arquitectos e ingenieros sobre las propiedades, técnicas de cultivo y procesamiento de la madera, son factores que han contribuido a que la madera termine considerándose como un material apto solamente para construcciones rústicas o temporales de poco valor, o a la construcción limitada a pequeños "adornos" en las casas y a fabricar muebles.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Centro Vitivinícola Emina, Edificio sostenible que aprovecha la biomasa los restos orgánicos, producidos por el cultivo, para generar energía. Inés Leal - CONSTRUIBLE.es - 22/10/2006

<sup>3</sup> Fournier Zepeda Rolando, Perspectivas del mercado de la construcción para la madera de reforestación.

No hay duda de que la madera, manejada técnicamente y en forma sostenible, es un material económico, estético, de buen comportamiento estructural, renovable y amigable con el ambiente.

Una excelente referencia que se tiene para ello en el país, es el sistema Habicon es un sistema de construcción desarrollado por el Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción, CIVCO, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, bajo estrictos conceptos de sostenibilidad. El cual fue concebido para el ensamblaje de edificaciones ligeras de 1 a 4 pisos. El esqueleto estructural de Habicon (paredes, pisos y techo) está constituido por marcos, cerchas, vigas y columnas de madera ensamblados por medio de conectores metálicos. Dicha estructura se recubre con paneles prefabricados de microconcreto reforzado. La madera que emplea el dicho sistema es de plantación, tratada por impregnación en cámaras de vacío presión o por difusión, por ello Habicon es un buen ejemplo de incorporación masiva de la madera en proyectos de vivienda. Ver anexos<sup>4</sup>

### Aprovechamiento de la madera en Costa Rica<sup>5</sup>

Cuadro 8-7. Clasificación de las maderas utilizadas en las áreas tropicales.

Categoría de uso	Propiedades de la madera	Usos Principales	Ejemplo de especies de reforestación en Costa Rica	Comentarios
Maderas decorativas	Buena apariencia, calidad, estabilidad de las dimensiones, durabilidad, facilidad de procesamiento, propiedades de barnizaje y acabado	Muebles de calidad y acabado de interiores	<i>Tectona grandis, Acacia magnum, Bombacopsis quinatum, Terminalia oblonga, Cedrela odorata, Carapa guianensis, Platymiscium polystachyum, Enterolobium cyclocarpum, Astronium graveolens, Terminalia amazoniana</i>	Mayor valor, competencia de las maderas frondosas de latitudes templadas y tableros de mediana densidad.
Maderas de alta a altísima densidad o Maderas duras	Apariencia, resistencia, alta durabilidad natural, preferiblemente disponible en grandes dimensiones de las trozas	Principalmente en la construcción	<i>Gliricidia sepium, Dipteryx panamensis, Hymenaea courbaril, Terminalia amazonica, Hyperionia alchorneoides</i>	Este tipo de madera utiliza una pequeña proporción del total de las maderas tropicales.
Maderas de mediana densidad o Maderas semiduras	Buena apariencia, grano recto y claro, durabilidad natural, buenas condiciones de procesamiento y de trabajabilidad con herramientas naturales	Acabados exteriores para establecimientos comerciales, en la construcción de viviendas, y en muebles.	<i>Gmelina arborea, Pinus sp., Cordia alliodora, Cupressus lusitanica, Eucalyptus deglupta, Grevillea robusta, Terminalia ivorensis, Alnus acuminata, Vochysia guatemalensis, Vochysia ferruginea, Stryphnodendron excelsum</i>	Utilizados con mayor frecuencia, pero presentan una gran competencia de productos sustitutos.
Maderas suaves	Madera muy suave de color blanca	Paletas, palillos de dientes, aislantes y otros	<i>Virola koschnii, Jacaranda copaia Rollinia pittieri, Ochroma pyramidalis</i>	Generalmente estas especies tienen un uso específico y son de bajo valor comercial

Fuente: Brown, 2000, Kleinn y Pelz, 1994 y Odoom, 2001.

Cuadro 8-5. Productos principales en comercializados en Costa Rica.

Tipo de producto	Dimensión (pulgadas)	Largo de comercialización
Tablilla	½ x 3, ½ x 4 o ½ x 5	De 1 varas hasta 4 varas
Regla	1 x 3	Preferiblemente de 4 varas
Regla para marco	1 x 4	Preferiblemente de 4 varas
Regla para plantilla	1 x 2	Preferiblemente de 4 varas
Formaleta	1 x 12	Preferiblemente de 4 varas
Cargadores	1 x 5	Preferiblemente de 4 varas
Alfajilla o cadenillo	2 x 5	Preferiblemente de 4 varas
Piso	1 x 3, 1 x 4 o 1 x 5	De 1 varas hasta 4 varas
Rodapié	½ x 3, ½ x 4 o ½ x 5	De 1 varas hasta 4 varas
Corniza	1 x ½, 1 x 1	De 1 varas hasta 4 varas
Cuarto redondo	½ x ½, 1 x 1	De 1 varas hasta 4 varas

Cuadro 8-4. Porcentaje de utilización de la madera aserrada en Costa Rica.

Tipo de mercado	Volumen de madera utilizada (m <sup>3</sup> )	Porcentaje (%)
Construcción	205 000	55
Muebles y puertas	75 000	20
Embalajes	75 000	20
Otros	20 000	5
<b>Total</b>	<b>375 000</b>	<b>100</b>

Fuente: Carrillo, 2001

### Arquitectura en madera - Situación actual

#### “Los estigmas de la madera”

Hacen mal quienes tratan a la madera de forma superficial: la madera tiene el valor inapreciable, por no decir único, de ser una de las pocas fuentes naturales de recursos que el hombre es capaz de renovar.

#### Estigmas:

1. El desconocimiento de características físico-mecánicas.
2. Su predisposición a la descomposición.
3. Su inestabilidad dimensional.
4. Su comportamiento ante la acción del fuego.

El petróleo se acabará un día, otros minerales se agotarán, pero un bosque bien cuidado, e incluso muchas veces sin cuidar, irá produciendo madera de forma indefinida. Hoy día la madera se mantiene en destacados lugares de la economía mundial, tanto por las elevadas cifras de producción anual (2500 millones de m<sup>3</sup>), como en los distintos mercados internacionales, dado el aprecio existente por sus cualidades y propiedades físicas, químicas y mecánicas que la hacen, por ahora, insustituible.

De amplia disponibilidad y belleza, la madera requiere relativamente de pequeñas cantidades de energía en su procesamiento y transporte, tiene buenas propiedades de resistencia a la tensión, compresión y flexión, (relación peso específico vs resistencia mecánica altamente favorable). La madera es liviana, de relativo bajo costo, fácil de trabajar y acoplar mediante uniones simples, excelente aislante térmico, eléctrico y acústico cuando está seca, y sus elementos entrelazados son muy elásticos, dando estabilidad al sistema ante solicitudes horizontales como viento y sismo.

<sup>4</sup> Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción, CIVCO. Escuela de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. rfournier@itcr.ac.cr

<sup>5</sup>\*FONAFIFO Solís Corrales, Manuel Moya Roque, Roger

En contraste con las propiedades mencionadas, son pocos los factores limitantes de su uso.<sup>6</sup>

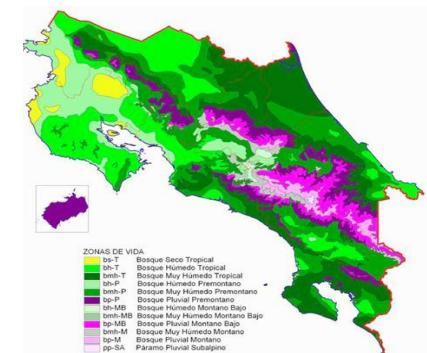
## Caracterización de los Bosques de Costa Rica.

¿Cuánto bosque hay en el país? y ¿cuánto debe haber?

El Sistema de Información de los recursos forestales de Costa Rica SIRFOR, proporciona estadísticas en cuanto a Bosques, y a la cobertura Forestal en CR, además se debe mencionar que la biodiversidad ha sido estudiada por muchos investigadores, tales como el ecólogo Holdridge, que estableció un sistema para el país de clasificación de 12 zonas de vida y clasificó los bosques en: húmedos, muy húmedos, secos, pluviales, y páramo, según a la altura sobre el nivel del mar, precipitación media anual y temperatura.

También en relación con el tema se hizo la evaluación del estado de la cobertura forestal de Costa Rica para el año 2005 empleando tecnología satelital. Este estudio permitió concluir que el país continúa experimentando un proceso de recuperación de cobertura forestal.

El porcentaje del territorio nacional con cobertura forestal es del 48%, sin contar con las áreas de manglares, páramos y plantaciones forestales. De toda la cobertura forestal existente apenas un 45% (1.118.995 ha) que está bajo algún grado protección. Y la recuperación de la cobertura forestal fue más de 7 veces la tasa de pérdida.<sup>7</sup> Se menciona que un 44% de la cobertura forestal nacional se encuentra bajo protección en diferentes unidades de conservación, el resto (56%) está en propiedad privada



Nombre Común	Nombre Científico*	Fotografía
Laurel	<a href="#">Cordia alliodora</a>	No Disponible
Cedro Amargo	Cedrela mexicana	No Disponible
Caobilla	Carapa guianensis	A small photograph showing a tall tree with a dense canopy against a blue sky.
Guanacaste	<a href="#">Enterolobium cyclocarpum</a>	A small photograph showing a large, spreading tree with a dense canopy.
Genízaro o Cenízaro	<a href="#">Samanea saman</a>	A small photograph showing a large tree with a dense canopy and hanging roots.
Ciprés mejicana	Cupressus lusitanica	No Disponible
Gavilán	Pentaclethra macroloba	No Disponible
Jabillo	Hura crepitans	No Disponible
Pino caribaea	Pinus caribaea morelet	No Disponible
Melina	Gmelina arborea	
Teca	Tectona grandis	

## Especies forestales destacadas en C.R.

El término especies forestales se refiere a una especie arbórea, generalmente, utilizada por la calidad de su madera para aserrío o para leña.

En CR se conocen cerca de 10.000 especies de plantas y de éstas, cerca del 20% corresponden a especies arbóreas, algunas, clasificadas como maderas finas.

No obstante, dada la alta tasa de deforestación producida, especialmente, entre la década de los cincuenta y ochenta, algunas especies tales como la Caoba, el Cocobolo, el Guayacán real y el Nazareno son parte de las especies con mayor amenaza de ser extinguidas.\* Fuente: INBio, 2005.

Algunas de las especies que se han destacado para la plantación, por ser genéticamente homogéneas son: Pino caribaea, Eucaliptus globulus, Melina y Teca.

## Descripción de especies maderables por zonas:

Zonas de altura:

Jaul: (*Alnus acuminata*) crecimiento rápido madera suave, 1200 a 3000 msnm

Eucalipto: (*Eucaliptus globulus*) crecimiento rápido madera suave, 2200 a 3000 msnm

Ciprés: (*Cupressus lusitanica*) crecimiento medio, madera semidura 1500 a 2500 msnm

Pino: crecimiento medio, madera semidura 1500 a 3700 msnm

Otras son: Cedro dulce, Roble encino y Lloró

Zonas de bajura:

Teca, Melina, Pino caribaea, Eucalipto bosque tropical húmedo de bajura, bosque secundario (Atlántico)

Teca: (*Tectona grandis*)

Melina (*Gmelina arborea*)

Otras son: Pochote, Melina y Teca reforestadas por ejemplo en el corredor biológico de Diría. Así como el Cebo (*Vochysia guatemalensis*)

Fuente: Zepeda Rolando, Perspectivas del mercado de la construcción para la madera de reforestación.

\*Imágenes Grupo Xilo

7 Fuente: Fondo Nacional de Financiamiento Forestal; EOSL-Universidad de Alberta, 2007. Estudio de Monitoreo de Cobertura Forestal de Costa Rica 2005. San José de Costa Rica.

## Plantaciones en Costa Rica

### Estadísticas comercio internacional-rubro maderas y derivados, 2000-2008

En cuanto al balance comercial de las exportaciones e importaciones de la madera y sus derivados, para el 2007 los sectores que consumieron la madera cosechada fueron el embalaje (43%), construcción (34%), mueblería (16%) y otros (7%). Para el mismo año se produjeron 5.7 millones de las tarimas para la exportación de productos agrícolas. La madera cosechada de sistemas agropecuarios o de manejo de bosques se emplea principalmente en el sector construcción y mueblero.

A partir del 2010 el déficit de madera puede alcanzar 850,000 m<sup>3</sup>/año, debido al desabastecimiento de madera de las plantaciones forestales, las restricciones a la cosecha de árboles en sistemas agropecuarios, los desincentivos al manejo forestal y a la reforestación. Esto obligará al país a importar cientos de millones de dólares por año en madera. En el 2007 se procesaron 1.339,140 m<sup>3</sup>-r de madera en rollo.<sup>8</sup>

**Bosques-Industria-Comercio** Para el año 2001 más de 8 mil empresas giraban alrededor del uso de la madera, el sector generaba alrededor de 18 mil empleos estables. También las plantaciones forestales ya eran el cultivo más extenso del país.

Alcanzaron 150 mil ha y sobrepasaron a sectores tradicionales como: el café, el banano y la caña de Azúcar. El valor agregado del sector Forestal a la economía en este año fue de \$140 millones aproximadamente, o sea un 0.87% del PIB

#### Industria secundaria

La industria tradicional más grande del país es la Plywood Costarricense y PORTICO.SA, que innovó en el campo manejando bosque natural y produciendo puertas y ventanas de caobilla. Ahora, han aparecido otras industrias relacionadas con las plantaciones forestales.

En este último caso, por ejemplo, están: Maderas Cultivadas de San Carlos, Flor y Fauna S.A en Altamira de San Carlos y MACORI S.A. en la Península de Nicoya. Muy destacable son las numerosas mueblerías pequeñas cuya materia prima principal es el 'tablón maderero' provistos por pequeños productores utilizando, frecuentemente, aserraderos portátiles.\*: Datos Parciales.<sup>9</sup>

#### Impacto económico y social de las plantaciones -situación actual y perspectivas

Según McKenzie (2000), desde 1998 el volumen de madera proveniente de plantaciones forestales se ha venido incrementando hasta alcanzar, en el 2002, un volumen que representa un 45% del consumo nacional). La presencia cada vez mayor de madera de plantaciones ha generado una serie de actividades asociadas (asesoramiento, cosecha, transporte, industria, secado, mueblería, construcción, pisos, artesanías, fabricación de maquinaria y comercialización de productos), que le han dado mucho dinamismo a la economía, principalmente en las regiones de mayor pobreza del país.

La actividad forestal además de producir importantes servicios ambientales (fijación de carbono, protección de suelo y agua, mejora del paisaje), genera mucho empleo y desarrollo económico en las áreas rurales de mayor pobreza. Contribuyen a un desarrollo territorial equitativo y sostenible, porque no exigen tierras de fácil acceso, no demandan calidad en la infraestructura de servicios, no alteran la estructura de tenencia de la tierra, y promueven el acceso de pequeños y medianos propietarios.

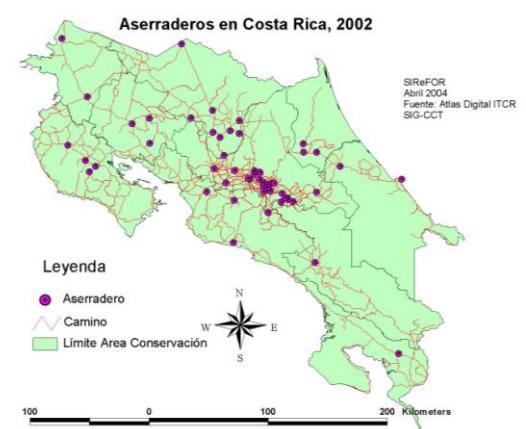
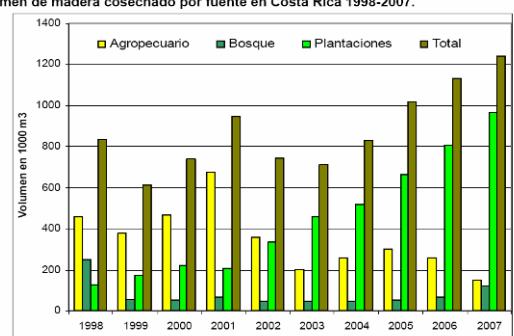
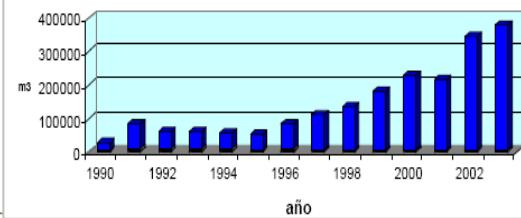


Figura 3  
Volumen de madera cosechado por fuente en Costa Rica 1998-2007.



Fuente: Barrantes y Salazar, 2008, Barrantes 2008

Evolución consumo de madera de plantaciones forestales  
m<sup>3</sup> de madera en rollo



<sup>8</sup> Calvo, Julio. Bosque, cobertura y recursos forestales 2008. 15 informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible.

<sup>9</sup> Fuente: ONF. 2002. Impacto económico del uso de la madera en Costa Rica. Oficina Nacional Forestal, PROFOR, FONAFIFO y PNUD. San José, Costa Rica.

La caída en la tasa de reforestación, es la más grave amenaza sobre el futuro de la actividad, porque no ha permitido formar la masa crítica que abastezca a una industria competitiva, que aproveche la troza integralmente y pueda pagar mejores precios por la materia prima.

Las empresas individuales que han alcanzado una masa crítica mínima (Maderas Cultivadas, Pan American Wood, Flor y Fauna, entre otras), han invertido en la industria, han desarrollado tecnología y han sido exitosas introduciendo y posicionando productos, tanto en el mercado nacional como en el internacional. Esto demuestra claramente que, en el ámbito del país, también se puede lograr el desarrollo de plantaciones competitivas.

Consumo de madera en rollo en m<sup>3</sup> por fuente de materia prima y uso principal en el 2007

Principales usos	%	Total	Bosque	Plantación	Agropecuario
Madera de construcción	34	458.237	61.737	268.311	128.189
Mueblería	16	220.536	59.570	39.363	121.603
Embalajes	43	573.028	0	573.028	0
Otros	7	87.340	0	87.340	0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1.339.140</b>	<b>121.307</b>	<b>968.042</b>	<b>249.791</b>

Fuente: Barrantes y Salazar, 2008.

Las plantaciones forestales son el cultivo con mayor área certificada del país, lo cual demuestra que los reforestadores nacionales han creído e invertido en la sostenibilidad de la reforestación

#### Otros factores positivos son:

- a. El 70% de las tierras del país son de vocación forestal.
- b. Los crecimientos que muestran los árboles en CR son superiores a los de los competidores.
- c. Se ha desarrollado tecnología y conocimiento para la producción sostenible
- d. Se cuenta con mecanismos financieros e instituciones de apoyo al sector productivo
- e. El país tiene una ubicación estratégica mercado
- f. El uso de la madera, genera un valor agregado importante a la economía.

#### Algunas conclusiones acerca del mercado de la madera en CR.

1. Capacidad de producción de madera en rollo y en m<sup>2</sup> de madera en CR. 30% de los 53000km<sup>2</sup> = 15000 de los cuales 50% altura y 50% de bajura
2. Producción del bosque manejado es de 25m<sup>3</sup>/Ha/año mientras que el consumo de madera en Costa Rica es de 500 000m<sup>3</sup> por año.
3. Área de bosque que se debería destinar para el consumo es: 500 000/25=20 000Ha,
4. Por su parte el pino requiere de 15 a 20 años. Mientras que el eucalipto 5 años 0.025m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de aquí se puede obtener el número aproximado de casas que se pueden construir a partir de los m<sup>2</sup>
5. Por su bajo peso la madera (500kg/m<sup>3</sup>) en comparación con el concreto (2310kg/m<sup>3</sup>) requiere de cimientos de menor tamaño, lo cual representa una economía en el costo de las obras.
6. El acero es 9.6 veces más caro que la madera



Imágenes Ilustrativas de los bosques en Costa Rica



CASA TRADICIONAL BRIBRI: U-SURE.

Casa Tradicional Bri bri  
Comunidad de KachabLi, 2004

"(...) el pueblo talamanqueño ha representado en su vivienda la bóveda celeste, o más bien el cono celeste. (...) Esta figura, al tomar cuerpo hacia arriba o hacia abajo, integra normalmente los distintos niveles cósmicos, los inframundos y los supramundos. . ."

### 3. HISTORIA DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA

#### 3.1. Construcciones primitivas en Costa Rica

##### La casa cósmica talamanqueña y sus simbolismo

Dentro de las referencias, la manera en que se construían las viviendas más tradicionales en madera, -específicamente las de forma cónica-, relataban el proceso de construcción de *la gran casa cósmica por Sibú, el demiurgo de los pueblos Bri bri y Cabécar.*, La casa cósmica talamanqueña reúne ordenadamente la mayoría de los componentes del cosmos. De manera que la simbolización de su universo toma forma concreta en el *U-suré* o casa cónica, cuya cubierta equivale a la bóveda celeste.

Dicha armazón cónica es de interés, porque siempre se erguían en madera. Las principales maderas nativas que han usado los talamanqueños en la construcción son:

Bejuco de fuego, Suita, Guayabón, Bambú de montaña, Bejuco aromático, campo santo, Manu plátano, Cedro, Laurel, Laurel negro, Chonta, Cachá, Lagartillo, Campana, Guanacaste, Oreja de mula, Aromillo, Bejuco de fuego.

#### 3.2. Construcción con Madera en Costa Rica

La construcción de edificaciones de madera en Costa Rica tuvo su auge en la primera mitad del siglo XX, sobretodo en viviendas. Todavía se puede observar muchas construcciones de esa época en el Gran Área Metropolitana.<sup>11</sup>

##### Tabla de datos de Cronología

**1906** Arthur Wolf funda el aserradero "Nacional Lumber Company"

**1924** W. Brealey y Underwood fundan el depósito de maderas y aserradero "La California"

**1929** Existen en el país 7 empresas madereras

**1934** En San José existen 17 empresas madereras Uso estructural Surá, Pilón, Campano, Laurel, Roble, Chiricano y Guayacán,

Para techos Caobilla, Surá, Campano, Laurel, Chiricano, Guayacán, Cedro, Cenízaro y Gavilán

Las compañías madereras abrieron trochas en los bosques para obtener las maderas más valiosas y luego los finqueros ganaderos prendían fuego al resto del boque, se produjo la perdida de grandes extensiones boscosas y se da la severa escasez de madera.



Ciudad Colón



San Rafael Heredia



Taras-Cartago



Turrúcares-Alajuela



Santa Ana



Zuruái -Heredia



San José de la Montaña



Sta. Teresa Puntarenas



Taras-Cartago



Malpaís Puntarenas



Taras-Cartago



Coronado



Cerro de la Muerte



Quenos



Parque Nac. Juan Castro

Ilustraciones Sistemas Constructivos, utilizadas en CR. (Grupo Xilo)

#### 3.3. Sistemas constructivos en madera más usados en CR

En cuanto a los antecedentes del uso de la madera, se puede decir que en Costa Rica en la mayoría de los casos se trabaja con madera aserrada y solo en casos especiales se emplean elementos laminados.

En los inicios de la historia de la construcción en madera en el país, el sistema de pilar y viga, fue el seleccionado. Esto se repitió en las construcciones tradicionales que trajeron los conquistadores españoles y se desarrolla mucho en diseños particulares en la actualidad. Se hace referencia a los sistemas de troncos y plataforma, porque en estos son los más característicos y que plantean más ventajas,

<sup>10</sup> La casa cósmica talamanqueña y sus simbolismos, A. González y F. González, Editora de la Universidad de Costa Rica, San José, 1989. Fotografía Licda. Ana Patricia Vásquez Hernández.- Texto citado - González y González 2000

<sup>11</sup> Tabla de Cronología Tomada de González Beltrán Guillermo "Diseño de Estructuras de Madera" 2008

El primero por la predilección que existe de este sistema que luce rustico, para las casas tipo cabañas, características para turismo, que es una de las principales actividades económicas del país y la segunda por se la más idea para desarrollar construcciones, con sistemas prefabricados en madera en Costa Rica.

El sistema en madera lamina requiere más desarrollo, desde el punto de vista que solo existen dos empresas que se encargan de esto en el país y ninguna de ellas ofrece actualmente casas prefabricadas, para considerarlas en una escala mayor (de conjuntos residenciales, proyectos de interés social u otros).

El sistema de tabique lleno, se descarto debido a que en Costa Rica se importa mucha madera y este sistema implica un consumo más masivo y por ende un mayor costo.

Lo anterior no quiere decir que no sea interesante conocer lo que se ha desarrollado en el país en otros sistemas que no sean los de troncos y plataforma. Ni que los otros carezcan de potencial para su futuro desarrollo en el país.

### **Sistemas mixtos**

Existe una larga tradición en el uso de la madera para la confección de cerchas, y a que actualmente persiste el gusto por vivir en casas con cubiertas en madera. Esto se ve tanto en vivienda de interés social, como en las viviendas de clases media, donde las cubiertas “en artesonado” como se le llama en Costa Rica” le dan un valor agregado a las casas.

Además es común que se utilicen pérgolas y otros elementos menores de madera en las cubiertas, por las características funcionales y estéticas que solo este material posee. De ahí el interés particular del presente trabajo, por centralizar únicamente el desarrollo de soluciones para cubiertas y no un sistema constructivo completo o innovador.

## **4. LA EDUCACIÓN Y LA INVESTIGACIÓN EN EL TEMA**

### **4.1. Centro Universitarios en Costa Rica**



Costa Rica cuenta Universidades Públicas, estatales tales como:

**ITCR** (El instituto tecnológico de Costa Rica) imparte Ingeniería Forestal e Ingeniería en Construcción

**UNA** (Universidad Nacional de Costa Rica) imparte la carrera de Ingeniería Forestal y existe un doctorado en “Ciencias naturales” el cual es cursado por algunos ingenieros forestales

**UCR** (Universidad de Costa Rica) imparte las carreras de Arquitectura, Ingeniería Civil, maestrías en construcción, administración en la construcción e ingeniería estructural

Ninguno de los centros de educación superior en el país cuenta con un énfasis o mención en madera, no existen opciones similares a las que se ofrecen en la Universidad del Bío Bío en Chile.

### **4.2. Algunas Instituciones relacionadas con los recursos forestales**

#### **Laboratorio de productos forestales Universidad de Costa Rica**

En el año 1967 se estableció como el primer laboratorio de maderas del país, además del estudio de las propiedades tecnológicas de la madera se adicionan otros aspectos como aglomerados, contrachapados, calidad de fibras para producción de papel ya sea a partir de la madera o de desechos agroindustriales y otros, además del control de calidad y similares.

En sus años de existencia en el LPF se han estudiado las propiedades tecnológicas de más de 200 especies maderables de Centroamérica, y otras áreas.

Además se conocen las características anatómicas, morfométricas y pulpeo de las fibras de varias especies maderables y no maderables conocidas en el país.



Dispone de una colección de maderas con aproximadamente 2000 especies de herbario y láminas microtómicas permanentes con los cortes de madera y sus componentes, de las especies estudiadas. Cuenta con un centro de documentación especializado en el área de tecnología de la madera que da sustento a áreas de investigación que aquí se desarrollan y de la comunidad en general.

Las áreas de investigación corresponden a: Anatomía y morfología de la Madera, Durabilidad de la madera, Química de la madera, Preservación de la madera, Propiedades Físicas y mecánicas de la madera, Secado de la madera, Trabajabilidad de la madera





### **Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LANAMME**

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, es una unidad académica de investigación adscrita a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Fundado en la década de los cincuenta, es un Laboratorio Nacional especializado en la investigación aplicada, la docencia y la transferencia tecnológica en el campo de la protección de la infraestructura civil, vial y líneas vitales.

Dotado de los más modernos equipos, cuenta además con un recurso humano altamente calificado, formado en los principales centros de desarrollo científico y tecnológico del mundo, quienes actualizan permanentemente sus conocimientos en las áreas de las ingenierías.

### **Instituto de Investigación y servicios forestales INISEFOR**

El INISEFOR, es un instituto interdisciplinario de investigación forestal establecido para realizar actividades de investigación, extensión y transferencia tecnológica, con la finalidad de generar el conocimiento y la tecnología aplicada necesarios para contribuir al desarrollo científico de la actividad forestal nacional e internacional, propiciando el crecimiento económico de la sociedad y cumpliendo los principios fundamentales del manejo sostenible del ambiente.



### **Laboratorio de productos forestales del ITECR CIIBI**

El CIIBI es una unidad académica de la Escuela de Ingeniería Forestal cuya misión es contribuir con el desarrollo nacional e internacional, mediante la generación y transferencia de modelos de manejo sostenible de los recursos forestales.



### **Instituto de biodiversidad de Costa Rica INBIO**

El INBio es un centro de investigación y gestión de la biodiversidad, establecido en 1989 para apoyar los esfuerzos por conocer la diversidad biológica del país y promover su uso sostenible. El instituto trabaja bajo la premisa de que el mejor medio para conservar la biodiversidad es estudiarla, valorarla y aprovechar las oportunidades que ésta ofrece para mejorar la calidad de vida del ser humano. Es una organización de la sociedad civil, de carácter no gubernamental y sin fines de lucro, con un fin de reconocido interés público, que labora en estrecha colaboración con diversos órganos del gobierno, universidades, sector empresarial y otras entidades públicas y privadas dentro y fuera del país. Dentro de los servicios de INBIO están "Información sobre biodiversidad" e "Información sobre conservación".



### **Fundación para el Desarrollo de la Cordillera FUNDECOR**

FUNDECOR La Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central, es una organización no gubernamental fundada en 1989 para proteger y desarrollar los bosques de Costa Rica localizados en la Cordillera Volcánica Central. La cobertura boscosa de este territorio es una de las más grandes de Costa Rica y comprende muchos de los Parques Nacionales del país.

El Sello Verde certifica que el bosque natural es manejado rigurosamente bajo los principios y criterios de sostenibilidad, garantizando la conservación del bosque, el mantenimiento de sus funciones ecológicas. Se certifica así un tipo de manejo que garantiza que el bosque está produciendo los servicios ambientales que presta el bosque como son la regulación del flujo acuífero, la fijación de carbono, la protección de la biodiversidad, y el mantenimiento de la belleza escénica.

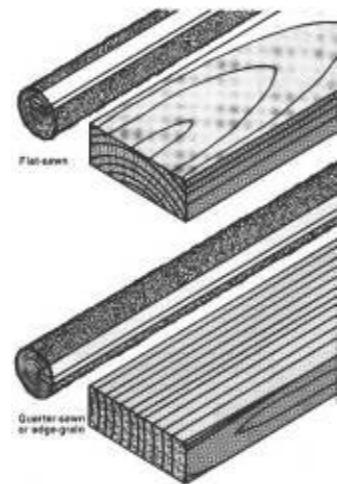
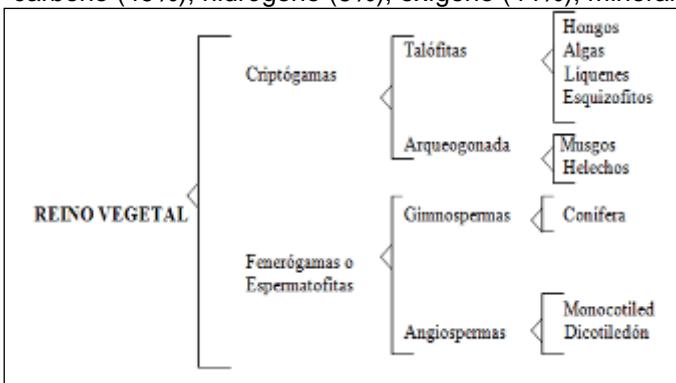
La misión de FUNDECOR parte del principio de que, la conservación y el desarrollo, deben coexistir en armonía y consiste en conservar y promover el uso sostenible de los recursos naturales del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC), mediante el desarrollo y aplicación de mecanismos de mercado y educación ambiental, para crear y transferir conocimiento que mejore la política pública ambiental nacional e internacional.

Es importante mencionar que FUNDECOR, tiene ofertas vigentes de madera, donde comercializa madera en pie propiedad de sus afiliados al Programa de Comercialización de Madera de Plantaciones Forestales, indica donde se ubica la plantación así como Cuadros de Especies y Precio por Pulgada Maderera Tica (PMT). Y por otro lado tiene y base de datos de maderas, donde se pueden hacer consultas por los nombres científicos de las especies.

## 5. GENERALIDADES DE LA MADERA

### 5.1. Estructuras de la madera

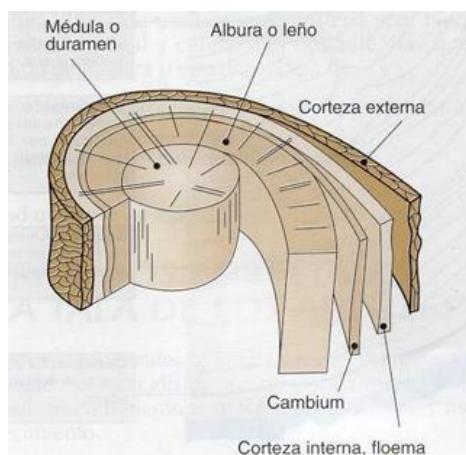
La madera es un material de origen orgánico celular compuesto por celulosa (40-60%), hemicelulosa (20-35%) y lignina (20-40%). Está constituida por carbono (49%), hidrógeno (6%), oxígeno (44%), minerales (1%)



Cortes en tablas floreado o tangencial  
Quarter-sawn or edge-grain: cuartead o radial

- La micro estructura celular es clave para entender porque la madera es de 20 a 40 veces más fuerte en el plano longitudinal que transversal.
- La Ultra estructura explica porque la contracción es de 10 a 20 veces mayor en el plano longitudinal que en el transversal
- La Parte maderable del árbol tiene tres funciones básicas conducción de agua, almacenamiento de sustancias y resistencia mecánica
- Para estas tres funciones se distinguen en los tejidos
- Parenquimáticas cortas y delgadas
- Prosenquimáticos células alargadas y gruesas

### 5.2. Macro estructura



#### Anillos anuales de crecimiento, madera temprana – tardía

Se ven a simple vista como círculos concéntricos, unos claros y otros oscuros.  
**Rayos medulares:**

Se observan en algunas especies, a simple vista, líneas distribuidas en posición radial.

#### Médula:

Círculo central del tronco que puede tener diferentes formas

#### Xilema y floema:

Xilema: Se compone de dos partes (Albura y duramen)

Floema: Está formado por la corteza externa y la interna

Cambium vascular: División celular entre xilema y floema

#### Albura y duramen:

Función mecánica -conducción-almacenamiento.

Albura: células del xilema vivas y activas se llaman.

Duramen: células del protoplasma con el tiempo y crecimiento mueren

### Consideraciones de la macro estructura

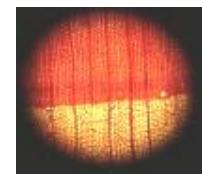
- La madera de duramen es más densa, no es atacada fácilmente por insectos y hongos
- La albura en cambio es más clara, porosa, blanca y destruida con facilidad.
- El duramen o no puede impregnarse o se impregna con mucha dificultad. La relación entre la anchura del duramen o de la albura varía por especie.
- El duramen puede faltar en un árbol pero la albura es indispensable, eso se puede comprobar en algunos árboles viejos que se presentan totalmente huecos por haber sufrido la destrucción por la acción de insectos y hongos.
- La resistencia mecánica es igual en el en ambas si ésta se mide con la misma humedad.
- La madera es un material anisotrópico
- (Diferentes propiedades en distintas direcciones)
- Debe ser observada en 3 planos perpendiculares entre sí para poder darse cuenta en forma exacta de su estructura.

### 5.3. Micro estructura

La madera se obtiene de 2 grupos conocidos comercialmente como:

- Las coníferas (gimnospermas) son las maderas blandas (softwood),
- Las maderas de las plantas (Angiospermas) son las maderas duras (hardwood).

La estructura celular de estas dos categorías es diferente.



#### La estructura de las maderas de coníferas

Esta es relativamente simple ya que consiste de un 90% a 95% de traqueidas longitudinales, 2 a 12% de radiales y de 0 a 1% de canales resiníferos

##### Traqueidas longitudinales o fibras

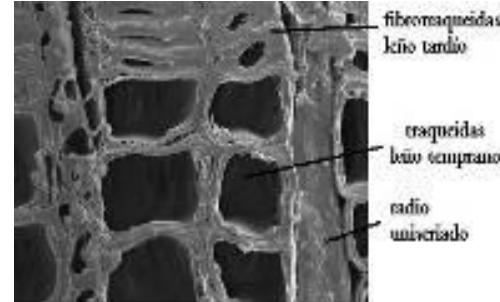
Son células largas de 2 a 5 mm., están distribuidas en filas radiales y su extensión longitudinal se orienta en el mismo eje del tronco, al evolucionar de leño temprano a leño tardío, las paredes celulares se vuelven más gruesas mientras sus diámetros disminuyen, esta diferencia puede resultar en una diferencia de densidad 3 a 1.

##### Radiales

Son las que se encargan del almacenamiento y transporte de agua y sales minerales transversalmente

##### Canales resiníferos

Son longitudinales y forman cavidades dentro del tejido fibroso de la mayoría de las coníferas

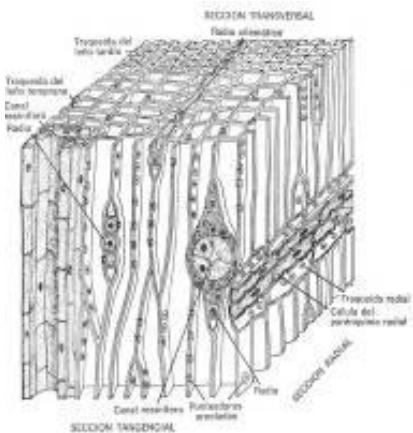


#### La estructura de las maderas de latifoliadas

Es más compleja, posee un tejido básico para la resistencia de fibras libriformes y fibrotraqueidas, constituyendo entre 30 y 60 %. Dentro de este tejido se distribuyen los vasos conductores a menudo con lúmenes de gran tamaño. Estos vasos son tubos largos que tiene una longitud que varía desde pocos centímetros hasta varios metros de longitud compuesto por elementos vasculares de 0.2mm a 1 mm de longitud y constituyen del 0 al 60%. La madera es generalmente porosa

Las fibras de las latifoliadas tienen paredes celulares más gruesas y lúmenes más pequeños que las traqueidas de las coníferas

El parénquima longitudinal puede constituir de un 10% a un 60%. El número de células parenquimáticas en latifoliadas es mayor que en las coníferas. Usualmente las latifoliadas tienen radios más grandes y abundantes que las coníferas. Los radios de las latifoliadas constituyen de un 5 a un 30% dependiendo de la especie.



#### Ultra estructura

La sustancia básica de la pared celular es la celulosa, esta es un polímero de cadena larga insoluble en agua, la cual forma unidades mayores de estructura llamada microfibrillas. Estas a su vez, forman entidades conocidas como macrofibrillas, que son las que constituyen las láminas (lamellae) que forman las diferentes capas de la pared celular.

Entre las paredes celulares hay una capa, la lámina media constituida principalmente por lignina, que es un polímero tridimensional muy estable que actúa como cementante. En la pared primaria es muy delgada, las microfibrillas están orientadas en forma aleatoria e irregular.

La pared secundaria está constituida por 3 capas S1, S2, S3. La capa exterior S1 es muy delgada (0.1 a 0.2 μm) las microfibrillas se encuentran orientadas con un ángulo promedio de 50 a 70° con respecto al eje longitudinal.

La capa más gruesa es S2 de varios micrómetros de espesor y las microfibrillas están orientadas a un ángulo pequeño de (5-20°), las S3 también es delgada y las microfibrillas son prácticamente perpendiculares al eje longitudinal de la fibra. Desde el punto de vista de la ingeniería la capa dominante S2 toma efectivamente los esfuerzos de tensión. En compresión los grupos de microfibrillas se vuelven columnas esbeltas las cuales son arriostradas por las capas exteriores e inferiores S1 y S3 que tiene un pendiente suave.<sup>12</sup>

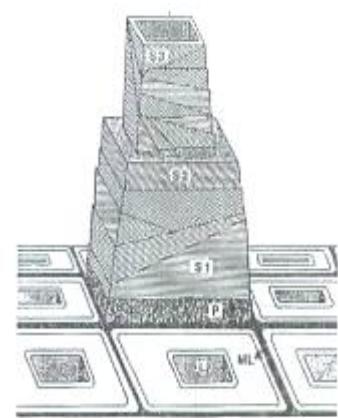


Figura 2.9. Ultraestructura de la madera [2].

## 6. LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

### 6.1. Madera estructural y derivados

Históricamente el tamaño de los árboles en el bosque determinaba el tamaño de la madera que estos puedan producir. Hace cien años con secciones de 15x45 cm y longitud de 20m se podía conseguir. Hoy secciones mayores que 7.5x22.5 cm y más de 5m de longitud son caras y escasas. Sin embargo, si se necesitan tamaños mayores, varios miembros de madera pueden combinarse y formar un miembro compuesto.

### 6.2. Madera Aserrada (sólida)

La producción empieza con el corte y extracción de los troncos del bosque

Los procesos generalmente son:

Remover la corteza, Aserrado principal, Aserrado secundario 8 con sierras circulares, de cintas múltiples o rayos láser), Cepillado, Tratamiento químico (preservante y/o ignífugo) y Secado

#### Cortes

**Corte longitudinal** es el corte perpendicular al eje de simetría (posición central vertical) del árbol

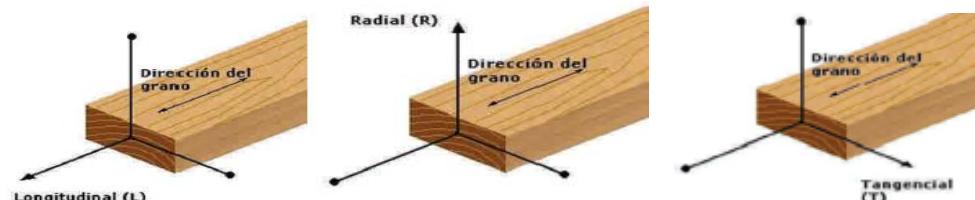
**Corte Radial** es el corte que atraviesa por el diámetro y perpendicular al corte transversal

**Corte tangencial** es el tangente a los anillos de crecimiento, este último no pasa por la médula del árbol.



#### Importancia de la forma del corte:

La importancia de la diferencia de corte que la contracción, torcedura, resistencia a la abrasión, facilidad para pintar, apariencia y otras propiedades difieren de acuerdo a la dirección de los anillo de la sección



En el aspecto de estabilidad dimensional es el corte radial es superior al tangencial, una razón que cuando la madera seca y se contrae, esta contracción es mayor en la dirección tangencial.

Un corte tangencial con la dirección de los anillo casi paralela a su cara ancha se distorsiona en sus lados menores mientras que lo ancho permanece recto y solo se deforma un poco debido a la contracción radial

Para obtener la mayor cantidad de piezas en el corte radial es tronco tiene que rotarse frecuentemente lo cual aumenta el costo del aserrado, es importante alternar los cortes entre ambas partes del tronco para liberar progresivamente las tensiones presentes en el árbol y evitar distorsiones excesivas debido a concentración de esfuerzos,. Para usos específicos como pisos sujetos la abrasión se puede pedir el corte radial pero a un costo más alto.

#### Tamaños estándares

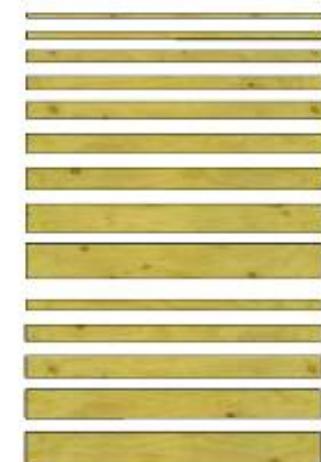
La longitud de las piezas de madera se especifica en dimensiones reales, mientras que el espesor o y el ancho (altura) se especifica en dimensiones nominales las cuales son un poco menores que las reales

La longitud de las piezas de madera para construcción se consigue generalmente en múltiplos de 60cm (2 pies) de 1.80 a 7.20 m

Los anchos de los elementos estructurales varían de 5 a 40cm (2 a 16") en tamaño nominal, mientras que los espesores varían de 5 a 11.2cm (2 a 16") en tamaño nominal en incrementos de 5cm (2").

Las dimensiones reales de las secciones comerciales son un poco menores debido al corte y el cepillado y a la contracción por secado.

Nominal Dimensions	Actual Dimensions
1" x 2"	3/4" x 1 1/2"
1" x 3"	3/4" x 2 1/2"
1" x 4"	3/4" x 3 1/2"
1" x 5"	3/4" x 4 1/2"
1" x 6"	3/4" x 5 1/2"
1" x 7"	3/4" x 6 1/4"
1" x 8"	3/4" x 7 1/4"
1" x 10"	3/4" x 9 1/4"
1" x 12"	3/4" x 11 1/4"
2" x 4"	1 1/2" x 3 1/2"
2" x 6"	1 1/2" x 5 1/2"
2" x 8"	1 1/2" x 7 1/4"
2" x 10"	1 1/2" x 9 1/4"
2" x 12"	1 1/2" x 11 1/4"



### 6.3. Clasificación de la madera

La madera aserrada de un tronco sin importar la especie y el tamaño, es sumamente a variable en propiedades mecánicas. Las piezas suelen diferir en resistencia hasta 10 veces

Por simplicidad y economía las piezas de maderas con propiedades mecánicas similares se agrupan en categorías o clases, las cuales se caracterizan por uno más criterios de selección y una serie de propiedades para diseño estructural

Existen 2 métodos para evaluar y clasificar la madera

- La clasificación visual
- La clasificación mecánica

La clasificación visual se basa en la premisa de que las propiedades mecánicas de la madera estructural son diferentes a las de especímenes pequeños libres de defectos. Estos defectos se pueden identificar y clasificar a través de la inspección visual

Características típicas: nudos, dirección del grano, rajaduras, deterioro, densidad, duramen, albura y torceduras. El encargado de la clasificación visual examina la pieza y luego le asigna un grado. La clasificación mecánica se evalúa mediante un equipo, utilizando un ensayo no destructivo.

Seguido de una clasificación visual para evaluar ciertas características que el equipo no puede evaluar adecuadamente, evaluaciones:

Clasificación y predicción de la resistencia a través de las propiedades determinadas con el equipo y la evaluación visual

Asignar propiedades de diseño con base en la predicción de resistencia

Control de calidad que asegure que las propiedades asignadas cumplen con la clasificación realizada

El modo más común para la clasificación mecánica es el módulo de elasticidad E, el tamaño de los nudos en los bordes en combinación con E

Los grados comunes de clasificación

En USA son No. 1, No. 2, No. 3, Mientras que las propiedades mecánicas se obtienen de tablas. En Europa se clasifica de acuerdo a clases CXX o DXX C (coníferas) D (latifoliadas). El número XX representa la resistencia de referencia (sin factores de reducción) la flexión en MPa (N/mm<sup>2</sup>)

Las maderas del grupo andino también han sido clasificadas en A,B,C. Finalmente, las piezas de madera se estampan con el grado estructural. Nótese que el grado aplica para la pieza completa (si se modifica (cortándola en 2) el grado puede variar).

En Costa Rica no existe todavía un sistema de clasificación estructural, aunque en 1983 se clasificó varias especies nacionales en 3 grados (G1,G2, G3)

Tabla 2-1. Tamaños estándares de madera aserrada (referencias 1 y 4).

Tipo de sección	Espesor			Ancho		
	Nominal [pulg.]	Mínimo cepillada [cm] Seca	Mínimo cepillada [cm] Verde	Nominal [pulg.]	Mínimo cepillada [cm] Seca	Mínimo cepillada [cm] Verde
<i>Tablas</i>	3/4	1.6	1.7	2	3.8	4.0
	1	1.9	2.0	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	38.7	39.4
<i>Estructural</i>	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
				14	33.7	34.3
				16	38.7	39.4
<i>Grandes dimensiones</i>	≥ 5	- 1.3 cm	+ 1.3 cm	≥ 5	- 1.3 cm	+ 1.3 cm





## 6.4. Madera Laminada



La MLE o “glulam” es un producto industrializado y clasificado que está compuesto por 2 o más láminas de madera estructural unidas por medio de adhesivos con el grano de las láminas paralelo a su longitud.

El espesor máximo de las láminas de 5cm y son hechas con secciones estándar de 2.5 o 5cm. El tamaño de la madera se limita a las capacidades de la planta productora y al sistema de transporte.

### Ventajas:

Tamaño Cualquier tamaño es técnicamente posible, elementos de 30 a 40m de largo y peralte de 2m han sido construidos

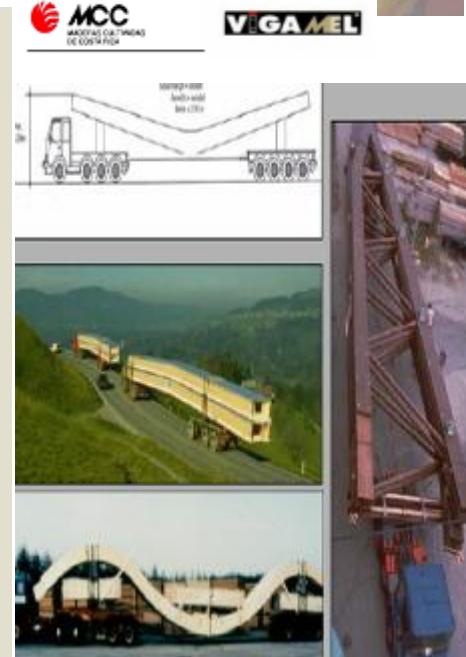
Diversidad de forma Se puede obtener una variedad de formas como vigas de sección variable, vigas curvas, arcos, marcos rígidos. Pala MLE con curvaturas moderadas se usan lámina de 2.5cm de espesor. Se pueden grandes curvaturas con láminas de 5cm y curvaturas pequeñas con láminas de 1.3cm. El radio de curvatura se limita entre 100 y 125 veces el espesor de la lámina

Mayor resistencia Las láminas son escogidas de tal manera que un miembro pueda ser de gran tamaño y prácticamente libre de defectos. Estos pueden ser localizados en las partes donde causen menor daño o esparcidos lo largo de su longitud. Mientras que se puede usar madera de mayor grado en los puntos críticos

Libre de rajaduras y torceduras Las láminas individuales secan uniformemente, esto impide efectos causados por el secado tales como rajaduras y torceduras. Además en el miembro armado, las láminas no pueden deformarse en forma independiente al estar restringidas.

Producción Se puede dividir en 4 actividades

1. Preparación de las láminas (secado y clasificación)
2. Uniones por los extremos (uniones por cabeza)
3. Pega de láminas
4. Acabados



En flexión la MLE es más efectiva cuando se carga de manera que las caras de las láminas son paralelas al eje neutro. La MLE se utiliza para miembros en tensión y compresión. Las láminas internas de miembros anchos también pueden consistir en 2 piezas lado a lado.

Las láminas de mayor espesor (5cm) y de longitudes de 1.5 a 5m se secan a un Ch máximo de 15%. Luego se cepillan y se clasifican. Los extremos de las láminas se cortan para preparar su unión. Las láminas se unen por sus extremos por medio de uniones dentadas (finger joints) la cual tiene un longitud típica de 2.8 cm para formar una lámina continua. Para producir estas uniones los extremos de las láminas se cortan y se presan, después de haber aplicado el adhesivo se cortan en las longitudes requeridas y se almacenan al menos por 8 horas. Las láminas se colocan sobre otra formando la sección requerida y se prensan alrededor de 6 horas a una temperatura de 20°C y humedad relativa de 65%. Finalmente los elementos se cepillan en los cantos para remover los residuos de adhesivo.



Collage de Imágenes de proyectos en madera laminada para ejemplificar sus usos y aplicaciones por Viviana Paniagua



## 6.5. Madera Estructural Compuesta.



La madera estructural compuesta se inventó en países desarrollados para sustituir la madera aserrada, debido a la dificultad de obtener la de los bosques.

La madera estructural compuesta SCL por sus siglas en inglés Structural Composite Lumber, consiste en piezas pequeñas de madera encolada para producir tamaños similares a los de la madera aserrada.



Tipos de SCL: Se clasifican por el material y la orientación con respecto a las fibras. Los tipos más comunes son:

**LVL** "Laminated Veneer Lumber" madera compuesta de chapas laminadas y encoladas

**PSL** "Parallel Strand Lumber" madera laminada de tiras paralelas

**LSL** "Laminated Strand Lumber" madera lámina de tiras

**OSL** "Oriented Strand Lumber" madera de tiras orientadas

### LVL

Consiste en chapas de 2.5 a 5.5mm de espesor unidas con adhesivos para formar longitudes de 2.5 a 18m o más. Las chapas se clasifican en forma similar a las utilizadas para la madera contrachapada y una clasificación adicional en ensayos de ultrasonido. La uniones laterales entre las chapas deben ser alternas y pueden ser extremo con extremo, dentado o inclinadas, La chapas se colocan paralelas entre si

### PSL

Es similar al LVL pero se utilizan tiras en lugar de chapas orientadas paralelas a la longitud del elemento. La dimensión más pequeña de las tiras es menor que 6.4mm y el promedio de su longitud es al menos 150 veces mayor que la dimensión menor. Se produce con chapas de 3mm de espesor que se transforman en tiras utilizando desechos de maderas contrachapadas o LVL.

### LSL y OSL

Estos productos son una extensión de OSB se utilizan tiras de 30cm de longitud, mayores que los comúnmente utilizados para OSB

### Aplicaciones

La madera estructural compuesta tiene la ventaja de reducir los defectos puesto que los dispersa dentro de las chapas o tiras. El LSL y el OSB tienen valores de resistencia menores que el LVL y el PSL pero como se producen de material de desechos son más económicos, La madera estructural compuesta se utiliza para aplicaciones similares a las de la madera aserrada. Se utiliza extensivamente en las de las vigas I prefabricadas



Imágenes tomadas de:

<http://www.trada.co.uk/techinfo/library/view/31810A6B-E601-475E-B5BF-ADEF8FF9D598/Innovation+in+structural+timber/index.html>

## 6.6. Madera contrachapada o “Plywood”



La madera contrachapada es un panel (lámina o tablero) con un espesor considerablemente menor que el ancho o altura, generalmente cuadrado o rectangular) construido con chapas (“plies”) pegadas a presión mediante un adhesivo. Se construye con un número impar de capas con la dirección del grano de las capas perpendicular a las caras adyacentes.

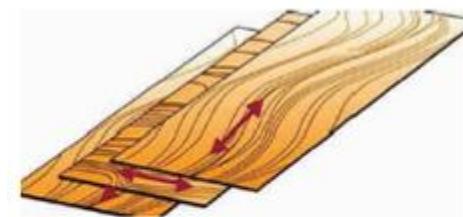


Figura 1 - 81: Número impar de chapas, la orientación de las fibras es perpendicular entre las chapas.

A las capas exteriores se les llama cara frontal o posterior. A las capas interiores se les llama capas centrales, tripas o almas. El espesor de los tableros generalmente varía de 7 a 18mm, la chapas varían en número, espesor, especie y grado de madera.

Las capas exteriores e impares tiene la dirección del grano paralela a la longitud del panel. El alternado de la dirección del grano le da estabilidad al tablero a lo largo del ancho. La construcción laminada distribuye los defectos, reduciendo rajaduras que se presentan debido a conectores y al secado.

### Propiedades Físicas:

Generalmente la madera contrachapada es más densa que la madera con la cual fue hecha, debido al porcentaje de adhesivo y la compresión que experimenta durante el prensado y encolado. El contenido de Humedad de equilibrio ( $CH_e$ ) de la madera contrachapada es menor que el de la madera aserrada debido a que el adhesivo impide la introducción de cierta cantidad de humedad. La contracción y expansión es aproximadamente 0.03% por cada 1% en el contenido de humedad en el plano del panel, bastante menor que el de la madera aserrada. En el plano perpendicular, la contracción y expansión son similares a los de la madera. La madera contrachapada es más propensa al flujo plástico debido al adhesivo.

### Propiedades estructurales:

Se ven afectadas por los siguientes parámetros

Factores geométricos número y espesor de capas (composición)

Materiales (especie y CH)

Cargas (tipos de esfuerzo, dirección el esfuerzo relacionado con la dirección del grano de la capa exterior, duración de la carga)

### Flexión perpendicular al plano

Debido a que las capas de la madera contrachapada están colocadas en diferentes direcciones, la madera contrachapada es más resistente a la flexión cuando el esfuerzo es paralelo a las fibras de las caras exteriores. Se puede diferenciar entonces 2 propiedades  $F_{bII}$  y  $F_{bT}$  siempre  $F_{bII} > F_{bT}$

### Flexión paralela al plano

Un caso común es cuando se utiliza como almas en vigas I o cajón. Cuando un elemento de madera contrachapada está sometido a flexión paralela, ocurre un esfuerzo cortante a lo largo el espesor (“panel shear”)

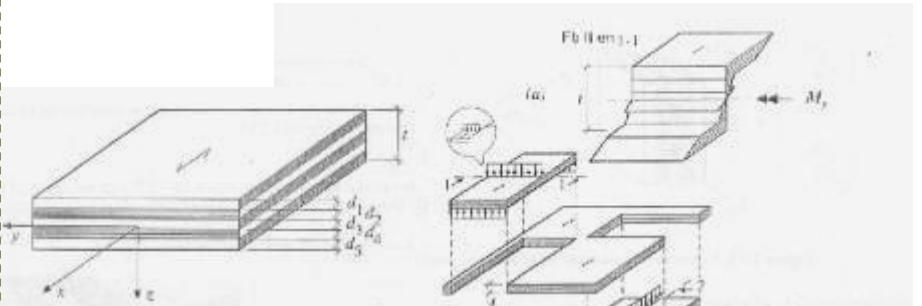


Figura 2-14. Madera contrachapada (“plywood”) [2].

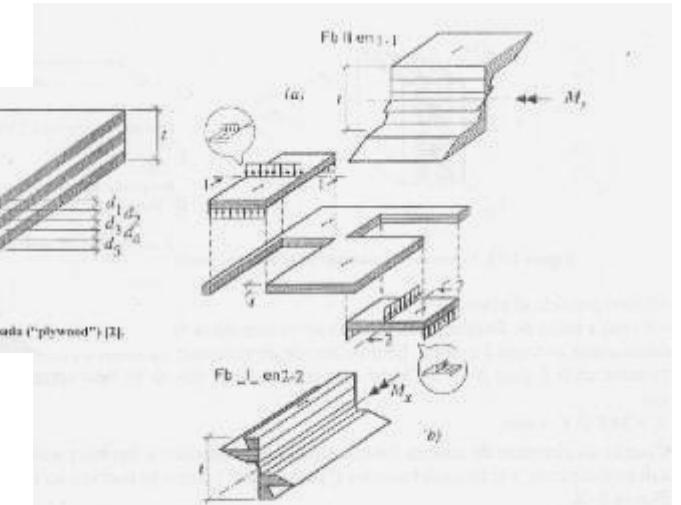


Figura 2-15. Esfuerzos de flexión perpendicular en la madera contrachapada [2].

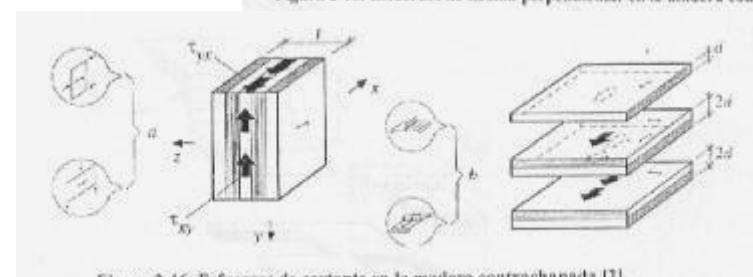


Figura 2-16. Esfuerzos de cortante en la madera contrachapada [2].



## 6.7. Tableros de OBS y partículas

Es un panel estructural hecho de titas o hojuelas delgadas de madera unidos con resinas resistentes al agua por medio de la aplicación de calor y presión. Este producto se usa exhaustivamente en techos, paredes y pisos en USA.

Se desarrollo para sustituir madera contrachapada de menor categoría

La producción de OSB se puede dividir en las siguientes etapas

- Empapar los troncos en estanques
- Remover la corteza de los troncos
- Producir las tiras mediante discos especiales, los cuales cortan la madera en tiras de 114-152x12.7x0.6-1.7mm
- Sacado de tiras
- Aplicación de resinas
- Formación de láminas
- Acabados finales (recortar tamaño requerido)

Estos nacieron de la necesidad de desechar residuos del cepillado, del aserrío y otros residuos homogéneos producidos por la industria maderera.

Los tablero de partículas se producen reduciendo material en partículas pequeñas, aplicándoles adhesivos y consolidando una lámina suelta con calor y presión en un producto tipo panel. Generalmente se hacen en 3 capas. Las caras del tablero consisten de partículas finas, mientras que la capas interna está hecha de material más grueso. De esta manera se obtiene un capa externa fácil de laminar pintar o encapar. Se utilizan para interiores de muebles a los cuales se les adhiere una lámina delgada de otro material con propósitos decorativos, se pueden utilizar en sistemas de entrepisos escaleras y otros.



## 6.8. Tableros de fibras

Incluyen tableros duros, tableros de fibras de densidad media y tableros aislantes. Una de las diferencias entre los tableros de partículas y los de fibras está en el tamaño del material que los compone.

La materia prima que se utiliza para la fabricación de estos tableros consiste en material del raleo de plantaciones, despuntes, costillas, desperdicios de la elaboración de chapas, material de desecho de la cepilladora y otros residuos de la industria maderera.

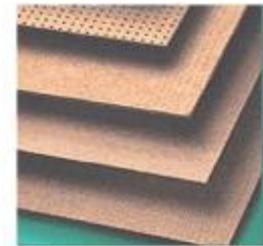


Figura 6 - 69 : Tablero de fibra HDF.

La materia prima convertida en astillas se somete a vapor de agua bajo presión alta para suavizar la lignina. Una vez suavizadas pasan a un molino o refinador, donde son reducidas a fibras. En este momento se puede utilizar 2 métodos diferentes: consolidado en húmedo o en seco

En el consolidado en húmedo la masa fibrosa se mezcla con agua caliente para formar una pulpa y se puede agregar adhesivos si se requiere para el uso final de tableros. El agua se va drenando mediante succión o exprimido a presión. Conforme el tablero se va consolidado, se corta a la longitud requerida para pasar luego a la etapa de prensado final en caliente.

En el consolidado en seco, el desfibrado mecánico de las astillas se hace con estas relativamente secas, a las cuales se les adiciona un adhesivo tipo fenólico. Las fibras se depositan en una faja transportadora tipo malla, por medio de una corriente de aire se acomodan mediante vibraciones mecánicas para consolidado el tablero. Luego pasa a la etapa prensado final en caliente.

La densidad del tablero duro varía entre 500 y 1400 kg/m<sup>3</sup> y el de densidad media varía entre 500 y 800 kg/m<sup>3</sup>. Se producen generalmente en espesores de 9, 11 y 12 mm y en tamaños de 1.22 x 2.44m. En costa Rica los tableros duros y de densidad media se han utilizado en la elaboración de muebles, ensamble de artefactos eléctricos, divisiones de oficinas, puertas de interiores, cielos rasos, etc.

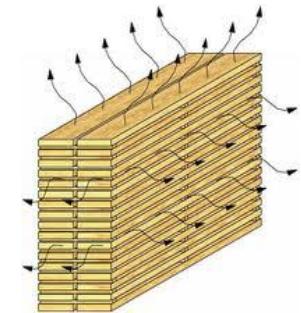
Tabla 2-3. Propiedades de la madera contrachapada y OSB [4].

Propiedad	Madera contrachapada	OSB	Unidades
$\epsilon$ [%]	0.15	0.15	[%]
$\alpha$ [ $\text{cm}/\text{cm}^2\text{C}$ ]	$6.1 \times 10^{-5}$	$6.1 \times 10^{-5}$	$[\text{cm}/\text{cm}^2\text{C}]$
$E_c$	20.7 - 48.3	20.7 - 27.6	[GPa]
$E_s$	6.39 - 13.1	4.83 - 8.27	[GPa]
$F_s$	10.3 - 27.6	6.9 - 10.3	[MPa]
$F_c$	20.7 - 34.5	10.3 - 17.2	[MPa]
$F_b$	4.1 - 7.6	6.9 - 10.3	[MPa]
$G_s$	0.47 - 0.76	1.24 - 2.00	[GPa]
$F_r$	1.7 - 2.1	1.38 - 2.1	[MPa]
$G_r$	0.14 - 0.21	0.14 - 0.34	[GPa]

## 6.9. Secado y preservación de la madera

### Ventajas de la madera seca:

- Se reduce el peso y por ende el costo de transporte y manipulación
- Se reduce los problemas relacionados con las contracciones
- Incrementa las propiedades mecánicas
- Las uniones son más fuertes
- La pintura, el barnizado y otros acabados se aplican y se mantiene de manera más eficiente
- Generalmente, la madera debe secarse antes de encolarse
- Para el tratamiento con preservantes generalmente es necesario secarlas



El proceso de secado requiere controlar ciertos factores para que tenga éxito. Son: la temperatura óptima o adecuada, humedad relativa y condiciones de circulación de aire. La estrategia usual es secar tan rápido como lo permitan las especies particulares, el espesor de la pieza y los requerimientos del producto final, sin dañar la madera. El secado lento podría no ser económico y generar manchas en la madera.

### Sacado al aire

El propósito es evaporar la mayor cantidad de agua posible antes del uso final o del secado al horno. Generalmente se extiende hasta un CH del 20-25%. Luego se lleva al horno de secado si se requiere. La ventaja principal es que reduce los costos de energía y aumenta la capacidad de secado al horno.

Dentro de las desventajas se encuentran, que el secado no es controlado. Depende de la época del año (condiciones climáticas). Por ejemplo en climas calientes, el aire seco puede provocar grietas excesivas y rajaduras en los extremos de la pieza, mientras que en climas húmedos y con poca circulación de aire puede provocar manchas. Además el tiempo de secado puede ser muy largo pudiendo variar entre 30 y 300 días.

Para mejorar lo anterior se pueden usar ventiladores que fuerzan la circulación de aire a través de un apilamiento de madera bajo techo y a veces se utilizan cantidades pequeñas de calor para reducir la humedad relativa y aumentar la temperatura.

Se puede mejorar aún más el secado proveyendo control de temperatura, humedad relativa y circulación de aire en un compartimiento completamente cerrado. Las condiciones típicas para este secado son 27 a 28°C y 65 a 85% de humedad relativa

### Secado en Horno

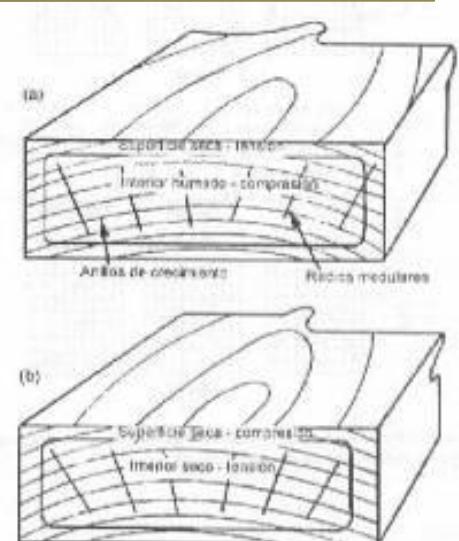
En este caso las temperaturas son altas y la circulación de aire es más rápida lo cual incrementa la velocidad de secado considerablemente. Los programas de los hornos se desarrollan para controlar la temperatura y la humedad relativa de acuerdo con el CH y la situación de esfuerzos en la madera, lo cual evita los defectos debido a la contracción por secado.

### Mecanismo de secado:

El agua en la madera se mueve de zonas de contenido de humedad alta a baja (difusión) por lo que las superficies de las piezas deben estar más secas que el interior.

El secado se puede dividir en 2 fases: El movimiento del agua del interior hacia la superficie y evaporación del agua de la superficie. Generalmente las especies más livianas secan más rápido debido a que contienen más lumenes por unidad de volumen y la humedad se mueve más rápido a través de ellos.

La velocidad a la cual se mueve la humedad depende del al humedad relativa del aire que la rodea, de la pendiente del gradiente de humedad dentro de la madera y de la temperatura de la madera. Si la humedad relativa es baja, aumenta la evaporación de agua de la superficie, lo cual provoca que el agua dentro de la madera fluya más rápido y se estimula la difusión. Sin embargo si la humedad relativa es muy baja en las etapas tempranas de secado, se puede generar contracción excesiva. La temperatura alta acelera el movimiento de humedad del interior de la superficie<sup>13</sup>



<sup>13</sup> Adaptado de González Beltrán Guillermo "Diseño de Estructuras de Madera" 2008

## Esfuerzos en el secado:

En el sacado inicial las fibras exteriores se contraen porque alcanzan un CH<PSF. Sin embargo las fibras interiores no se han empezado a secar y restringen que las exteriores se contraigan. Consecuentemente, las fibras exteriores se tensionan y las interiores se comprimen.

Cuando el secado de las fibras exteriores es muy rápido, se estresan más allá de su límite elástico y se secan en una condición expandida permanente sin alcanzar la contracción total. Lo anterior puede causar grietas en la superficie. Con el progreso del secado, las fibras interiores tratan de contraerse. Sin embargo las fibras exteriores quedan en compresión y las interiores en tensión.

## Hornos de Secado:

Consisten en compartimientos aislados térmicamente y diseñados para cargarse con la madera manualmente o mediante vehículos máquinas. En la mayoría de los hornos la madera se mantiene estacionaria durante le sacado. La temperatura y la humedad relativa generalmente se controlan automáticamente y varían de acuerdo a un programa determinado, y cambian conforme la madera se va secando.

## Defectos por secado:

### Fractura o colapso:

Las grietas superficiales ocurren temprano en el secado al sobrepasar los esfuerzos de tensión en las fibras exteriores.

### Grietas

También pueden ocurrir grietas en los extremos por el movimiento rápido de humedad longitudinalmente que pude prevenir pintando los extremos de las piezas.. El colapso es una distorsión de las paredes. Un colapso menos severo puede ser una contracción excesiva del espesor.

### Apanalamiento

Se conoce como un apanalamiento de las grietas internas de la madera, que ocurren en la etapa final del secado cuando las fibras están en tensión. Cuando el CH es alto en las partes internas y la temperatura se ha mantenido muy alta por un periodo largo

### Alabeo

Se debe a las diferencias entre la contracción radial, tangencial y longitudinal. Se incrementa debido al grano irregular o distorsionado, presencia de maderas anormales como juveniles o de reacción.

### Decoloración

Los hongos producen manchas azules en la albura este tipo no causa reducción en la resistencia mecánica de la madera. También existen decoloraciones por cambios químicos que producen colores desde rosados, azules y amarillos hasta grises y cafés rojizos<sup>14</sup>

**TABLA RESUMEN DEFECTOS MAS COMUNES EN LA MADERA**



ALABEADO: comba de la cara del tablero en sentido longitudinal.



ALABEADO: comba de la cara del tablero en sentido longitudinal.



ARQUEAMIENTO: comba del canto, conocido también como corona.



NUDO o AGUJERO DE NUDO: un nudo apretado, por regla general, no es problemático. Un nudo suelto o muerto, rodeado de un anillo oscuro, puede desprenderse o puede haber dejado ya un agujero.



HENDIDURA: grieta que atraviesa toda la pieza de madera, generalmente en los extremos.



RETORCIMIENTO: el tablero está combado por muchos lugares.



GRIETA EN CABECERA: grieta paralela a los anillos de crecimiento anuales que no atraviesa toda la madera.



RAJADURA: separación de las fibras entre los anillos de crecimiento, que frecuentemente se extiende a lo largo de la cara del tablero y a veces por debajo de su superficie.



CANTO REDONDEADO: falta de madera o corteza no recortada a lo largo del canto o las esquinas de la pieza.

<sup>14</sup> González Beltrán Guillermo "Diseño de Estructuras de Madera" 2008

## 6.10. Preservantes utilizados actualmente para el tratamiento de la madera

“Predisposición a la descomposición”.

Debido al origen orgánico de la madera, la pudrición y el ataque de insectos puede ocurrir cuando confluyen cuatro condiciones: temperatura favorable (entre 15 y 30 grados centígrados); presencia de oxígeno; contenido de humedad superior al 20%; alimento (fibra de madera).<sup>4,5</sup> No es común que estas condiciones combinadas se den en ambientes interiores de una vivienda (pisos, paredes, revestimientos, cielo rasos, escaleras, marcos, puertas, ventanas, vigas, etc.). Hongos y esporas solo aparecen cuando hay defectos constructivos, como techos con goteras, aislamientos deficientes, roturas en las cañerías, humedad ascendente por capilaridad, etc.



En todo caso también existen modernas técnicas de preservación, tanto en su vertiente xilófaga como abiótica, que incluyen preservantes de origen orgánico no tóxicos que hacen de la madera un material incombustible. No debe olvidarse que los productos inorgánicos también necesitan de tratamiento para su conservación: es necesario proteger contra la corrosión al acero y al hierro con pinturas especiales, y nadie discute esta necesidad.<sup>10</sup> Adicionalmente, estudios realizados en Europa indican que, si bien la preservación de la madera incrementa su costo en alrededor de un 25%, considerando en forma muy conservadora un incremento en su vida útil de entre 3 y 5 años, se obtienen ahorros anuales que fluctúan entre un 44 y un 80%. De esta forma la madera, por razón de su tratamiento protector, pasa de ser una importante materia prima perecedera a ser un material más económico y de una larga vida de servicio.

Con excepción del duramen de unas pocas especies, tales como caoba, cedro, pochote guachipelín y madero negro de los bosques naturales de nuestro país, que actualmente son escasas y costosas y teca (plantación) las demás tiene una relativa baja durabilidad, es decir es atacada por hongos e insectos que las destruyen en poco tiempo por lo que es necesario impregnarlas con preservantes.

Para ello se han utilizado sustancias químicas con propiedades fungicidas e insecticidas y así lograr extender la vida útil de los elementos constructivos.

Los preservantes que se han usado mayormente han sido: creosota, pentaclorofenol, y sales de cobre, cromo y arsénico (CCA). Estos se utilizaron en puentes, postes de electrificación y de cercas, pilotes de muelles, etc.

Actualmente por consideraciones sanitarias el pentaclorofenol y el arsénico y CCA se ha visto restringido en el ambiente domiciliario, sin embargo aun se recomienda para usos industriales donde las personas y los animales domésticos, no entre en contacto directo con la madera tratada.

Tabla 2-4. Algunos preservantes utilizados actualmente para el tratamiento de la madera [4].

Preservante	Composición	Solvente	Olor	Corrosión	Resistencia al lavado	Color madera tratada	Precio	Toxicidad para mamíferos	Años en mercado
ACQ (B, C, D)	CuO (57%), amonio o amina cuaternaria (33%)	Agua	Olor que desaparece	Mayor o igual que CCA. No contacto con Al	Alta	Café verdoso, a café	Mayor que CCA	Alta. Menor que CCA	Reciente
Boratos inorgánicos	10% -15 % (DOT) en agua. Octaboratos, tetraboratos, pentaboratos.	Agua	Sin olor	No-corrosivo	Baja	Incoloro	Menor que CCA	Baja	1-70
Boratos orgánicos	Aminopoliborato (10% B) Y Glicol/borato	Agua	Olor que desaparece	No-corrosivo	Baja	Amarillo pálido	Igual que CCA	Baja a moderada	Reciente
CBA-A CA-B	Cu (49%), H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (49%), tebuconazolo (2%) Cu (96%), tebuconazolo (4%)	Agua	Poco o sin olor	Mayor o igual que CCA. No contacto con Al	Alta	Café verdoso	Mayor que CCA	Alta. Menor que CCA	Reciente

Tabla 2-6. Madera compuesta y preservantes [6].

Madera estructural encolada y tableros	Métodos de tratamiento	Preservantes utilizados	En investigación
Madera laminada y encolada (Glulam)	1. Tratamiento de las láminas a presión 2. Tratamiento de la madera laminada y encolada.	1. CCA, CA-B, ACQ 2. Penta, creosota, Cu-Naftenoato, Cu-8, CCA, Cu-azol, ACQ.	2. Boratos con solventes orgánicos apropiados.
LVL	1. Tratamiento de chapas verdes. 2. Tratamiento de chapas secas. 3. Preservante mezclado con el adhesivo.  4. Tratamiento sin presión después de manufactura. 5. Tratamiento a presión después de manufactura.	3. Propiconazol, tebuconazol (fungicidas) permetrina, deltametrina (insecticidas).  4. Boratos y solventes orgánicos (glicol-boratos) 5. Solventes de petróleo livianos con fungicidas e insecticidas. Penta, Cu-8	1. Fenol-formaldehido.  2. Propiconazol, tebuconazol, permetrina, deltametrina
PSL	1. Tratamiento de tiras verdes. 2. Tratamiento de tiras secas. 3. Preservante mezclado con el adhesivo.  4. Tratamiento sin presión después de manufactura. 5. Tratamiento a presión después de manufactura.	3. Propiconazol, tebuconazol (fungicidas) permetrina, deltametrina (insecticidas)  5. Penta, creosota, Cu-Naftenoato, Cu-8, CCA, Cu-azol, ACQ, . Solventes de petróleo livianos con fungicidas e insecticidas.	1. Fenol-formaldehido.  2. Propiconazol, tebuconazol, permetrina, deltametrina  4. Boratos y solventes orgánicos (glicol-boratos)
LSL	1. Mezclado con las tiras.  2. Tratamiento sin presión después de manufactura. 3. Tratamiento a presión después de manufactura	1. Borato de Zinc.  3. Formulaciones de insecticidas (permetrinas, clorpirifos) y fungicidas (IPBC, propiconazol, tebuconazol) en solventes orgánicos livianos .	1. Fenol-formaldehido, borato de calcio, y otros compuestos de boro, complejos de cobre y mezclas de fungicidas e insecticidas orgánicos. 2. Boratos y solventes orgánicos (glicol-boratos)
Secciones I	1. Ensambladas con componentes pretratados. 2. Tratamiento después de manufactura.	1. Combinación de tratamientos descritos 2. Solventes ligeros de hidrocarburos con fungicidas e insecticidas orgánicos (permetrinas, clorpirifos)	2. Otros insecticidas orgánicos.
Madera contrachapada de coníferas	1. Preservante aplicado a las chapas verdes. 2. Preservante aplicado a las chapas secas. 3. Preservante mezclado con el adhesivo.  4. Tratamiento sin presión después de manufactura. 5. Tratamiento a presión después de manufactura.	3. Propiconazol, tebuconazol (fungicidas) permetrina, deltametrina (insecticidas).  4. Boratos y solventes orgánicos (glicol-boratos) 5. CCA, CA-B, ACQ, DOT, solventes de petróleo livianos con fungicidas e insecticidas.	1. Fenol-formaldehido  2. Propiconazol, tebuconazol, permetrina, deltametrina.
OSB	1. Tratamiento de tiras verdes. 2. Mezclado con las tiras.  3. Tratamiento sin presión después de manufactura. 4. Tratamiento a presión después de manufactura.	1. Cobre  2. Borato de zinc, complejos de cobre, insecticidas, fenol-formaldehido.  4. Solventes ligeros de hidrocarburos con fungicidas e insecticidas orgánicos (permetrinas, clorpirifos).	1. Fenol-formaldehido.  2. Borato de calcio y otros compuestos de boro, complejos de cobre y mezclas de insecticidas y fungicidas orgánicos. 3. Glicol-boratos
Tableros de partículas	1. Mezclado con las partículas.	Insecticidas orgánicos y fungicidas.	
Tableros de fibras	1. Mezclado con fibras secas.	Borato de zinc y ácido bórico.	

Nota: IPBC = 3-iodo2-propinil-butil carbamato.

## Nuevas formulaciones ACQ

Es acuoso soluble, previene el ataque de hongos e insectos, existe 4 formulaciones A, B, C y D. Los ingredientes básicos son CuO (62-71%) y amonio cuaternario (quat) (29-38%). El vehículo es amoníaco o etanolamina, quat es cloruro de didecidimetalamonio (DDAC) o el cloruro de aquildimetalbenzilamonio (ADBAC). Este deja una superficie de color verdoso, limpia y pintable. Se puede utilizar para preservar madera aserrada, para parques, postes de cerca y electrificación, pilotes en contacto con el suelo, agua dulce y salada, entablados, decks y tejas de madera

## Boratos

El DOT (octoborato disódico tetrahidratado, es una alternativa de baja toxicidad, previene el ataque de hongos e insectos,. Han sido probado y comprobados por más de 70 años en construcciones residencias y comerciales, no confieren ningún color ni olor. Debe utilizarse en estructuras que no estén en contacto en el suelo y protegidas de la lluvia, porque el boro no se fija a la madera. Las aplicaciones típicas son: madera estructural de uso interno o externo bajo cubierta, marcos de puertas, cielorrasos, cerchas, clavadores vigas y columnas

## Azol de Cobre

Es acuoso soluble, previene el ataque de hongos e insectos,. El más utilizado es el CA-B compuesto por cobre en un 96.1% y tebuconazol 2%, este le da un color verdoso a la madera, con poco o sin olor. Deja la madera limpia y pintable después de que se ha secado. Se utiliza para el tratamiento de molduras, tejas de madera paredes externas e internas, madera contrachapada, madera estructural, postes de cerca y el electrificación, pilotes en contacto con el suelo, agua dulce y salada y cubiertas de barcos.

En Costa Rica un país tropical el ataque de hongos e insectos, incluso en interiores puede causar graves daños. Los códigos de un estado tropical como Hawái requieren que toda la madera sea tratada, que encarece los elementos estructurales pero se compensa por el buen desempeño y una mayor economía global. Para la madera tratada con Boratos se recomienda que se despache de la fábrica con el tratamiento y una base de pintura o sellador, una vez instalada es conveniente darle 2 manos de pintura o barniz.

## 7. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

### 7.1. Contenido de Humedad

La presencia de agua en la madera es un hecho conocido, ésta es indispensable para la vida de las plantas. Se localiza en los lúmenes celulares, en la pared celular y en otros espacios que pueden presentarse en la madera. La cantidad de agua existente en la madera puede variar mucho según la especie, tipo (albura o duramen) y la edad.



#### Conceptos:

Contenido de humedad o CH: Cantidad de agua incluida en la madera, expresada en %

Estado verde: Contenido de humedad sobre el punto de saturación de las fibras

Estado anhidro: Condición en la cual se ha eliminado la humedad hasta (masa constante)

PSF Se define como el punto en el que se ha perdido toda el agua libre, varía entre 25 y 35%, 30 es el promedio que se utiliza si se desconoce el verdadero PSF. Es importante en la ingeniería porque bajo este punto se presentan

#### La madera contiene agua bajo tres formas:

Aqua libre: Es la que está en los espacios vacíos de las células (lúmenes), va desde un contenido de humedad máximo hasta el PSF

Aqua de saturación o higroscópica: Es la que se encuentra en las paredes celulares, adherida químicamente (puentes de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals). Cuando ya ha perdido el agua libre sale con lentitud, hasta llegar a un estado de equilibrio con la humedad relativa de la atmósfera. Requiere de más energía para ser removida.

Aqua de constitución: Es la que se encuentra como parte integral de la estructura molecular de la madera

#### Contenido de Humedad de Equilibrio:

Es la relación entre el contenido de humedad de equilibrio que alcanza la madera con respecto a la humedad ambiental, a temperatura constante, puede ser representada por medio de curvas

$$CH = \frac{\text{masa agua}}{\text{masa anhidra}}$$

En los árboles el CH varía entre 30 y más de 200% de la masa sólida (mo), en maderas confieras el CH de la albura es mayor q el del duramen, en latifoliadas esto depende de la especie.

La madera puede presentarse en 3 estados dependiendo de su CH

- Madera verde  $CH > PSF$
- Madera seca  $0 < CH < PSF$
- Madera anhidra  $CH = 0$

#### Métodos de determinación del Contenido de Humedad

Para CH entre 6 y 28% existen medidores eléctricos los cuales son simples y rápidos de utilizar. La precisión es de  $\pm 2\%$ . Unos se basan la dependencia de la resistividad y la humedad entre 2 electrodos insertados en una pieza de madera y otros en la dependencia de las propiedades dieléctricas y la humedad en un campo eléctrico creado por 2 electrodos descansando sobre la superficie.

$$H = ((m_1 - m_2) / m_2) \times 100$$

$m_1$ =masa en gramos de la probeta antes del secado  
 $m_2$ =masa en gramos de la probeta después del secado

#### Método gravimétrico.

Se corta una probeta de un largo de 3 a 4 cm en la dirección de las fibras y se pesa. La probeta se seca en una estufa a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 24 horas y se pesa nuevamente ( $P_0$ ). Finalmente se calcula el porcentaje del contenido de agua con la relación 2.

Se repite hasta masa constante (diferencia entre dos pesadas a intervalo de 2 a 4 h es  $<0.5\%$  de la masa de la probeta)

#### Xilohigrómetro

Es un instrumento que mide la resistencia eléctrica de la madera mediante electrodos en forma de agujas sensoras montadas en el extremo de un martillo y que se clavan con un golpe en la madera. Para utilizarlo bien, es conveniente conocer el principio de su operación y sus limitaciones. Por ejemplo se uso entre CH de 5 a 28% aprox.

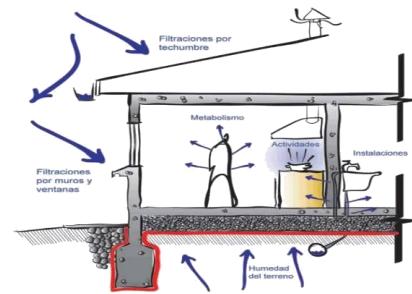


#### Tipos de Humedades

1. Humedad de construcción.
2. Humedad proveniente del suelo.
3. Humedades accidentales y originadas por el uso de la construcción.
4. Humedad de lluvia.
5. Humedad de condensación.

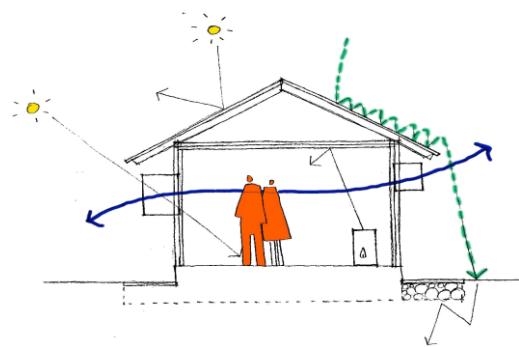
## Daños que acarrea la humedad

- Deterioro estético de terminaciones, pinturas, papeles, enchapes, molduras pisos, puertas y ventanas.
- Deterioro estructural, corrosiones, erosiones, etc.
- Disminución de la aislación térmica.
- Aumentos de los gastos de calefacción.
- Ambientes insanos que atentan contra la salud de sus moradores y sus consecuencias.
- Inconfort térmico.
- Mayores gastos de mantención.
- Desvalorización de la propiedad.
- Menor vida útil del edificio.



## Tipos de Humedades

1. Humedad de construcción.
2. Humedad proveniente del suelo.
3. Humedades accidentales y originadas por el uso de la construcción.
4. Humedad de lluvia.
5. Humedad de condensación.



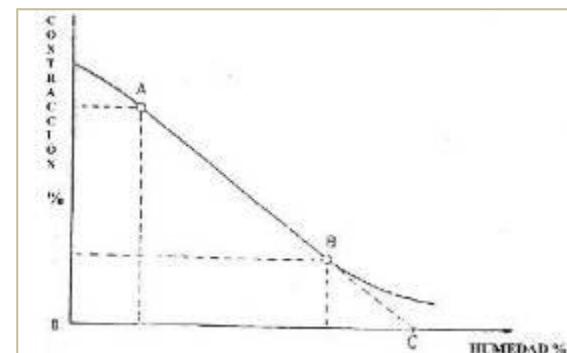
## Medidas de protección:

- Diseño
- Solución de materiales
- Ejecución adecuada
- Uso y mantención

## 7.2. Cambios dimensionales

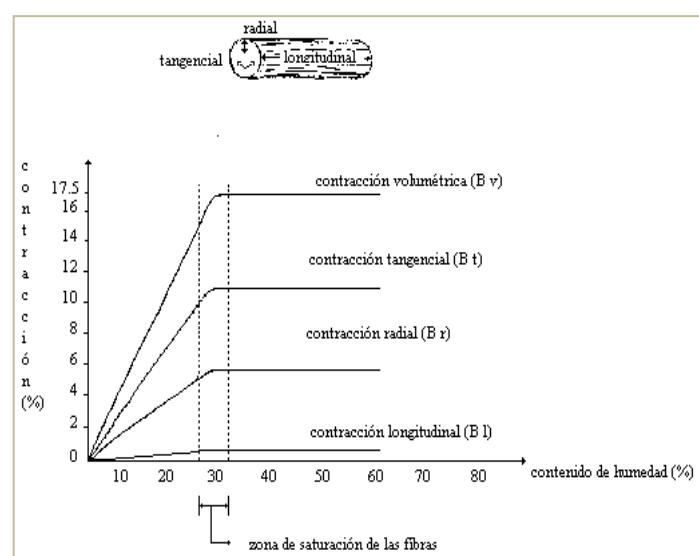
### "Inestabilidad dimensional".

Por ser un material higroscópico, que se hincha cuando absorbe agua y se contrae cuando la pierde si el contenido de humedad de la madera no corresponde con la humedad de equilibrio higroscópico del lugar donde se va a utilizar, la madera se puede deformar (cambios en su forma y color, grietas, rajaduras y deformaciones, y ataque de hongos e insectos). Este problema también está perfectamente solucionado con el correcto secado de la madera, ya sea a base de aire natural o por métodos especiales. El secado de la madera aporta las siguientes ventajas: la estabiliza en forma y dimensiones; aumenta considerablemente su resistencia mecánica; mejora sus propiedades como aislante térmico, acústico y eléctrico; reduce su peso, favoreciendo su transporte y manipulación; y aumenta notablemente su resistencia biológica, especialmente contra la pudrición y manchas.



La madera es dimensionalmente estable cuando el CH>PSF. La madera cambia de dimensión cuando intercambia humedad de la pared celular, se producen como consecuencia de este intercambio, variaciones en las dimensiones de la madera, las que son conocidas como contracción o hinchamiento. Gana o pierde humedad debajo de ese punto. Se contrae al perder agua de las paredes celulares y se expande cuando absorbe.

La mayor contracción de la madera se presenta en la dirección de los anillos de crecimiento (tangencial), aproximadamente la mitad en la dirección radial y solo una pequeña parte en la dirección longitudinal.





Para fines prácticos, la expansión volumétrica se puede asumir como equivalente al volumen de agua absorbido por las paredes celulares. Se ve afectada por factores, tales como la densidad, generalmente a mayor sea estar mayor será la contracción.

El tamaño y la forma de una pieza puede afectar la contracción así como la velocidad de secado. La madera juvenil y de reacción puede presentar excesivas contracciones en la dirección longitudinal. Esto se debe a que las fibrillas de la capa S2 se encuentran orientadas en un ángulo mayor que el de la madera normal. La contracción  $\epsilon$  de la madera puede expresarse como porcentaje tomando como referencia la dimensión inicial

### Cálculo del cambio dimensional

$$\epsilon = \frac{d_f - d_i}{d_i} * 100 \text{ (%)}$$

$d_i$ = dimensión inicial  
 $d_f$ = dimensión final

$$C = \frac{\text{cambio dimensional}}{\text{dimensión inicial}}$$

$$C = \frac{d_i - d_f}{d_i} * 100$$

Si la madera se expande la ecuación dará un valor positivo, si se contrae, negativo.

Sin embargo en el secado de grandes piezas, la superficie seca primero, cuando la superficie llega a estar bajo el PSF se contrae. Por otro lado el interior de la pieza sigue húmedo y no se contrae. Por lo tanto, la contracción puede empezar antes que el promedio de humedad de toda la pieza este por debajo del PSF. Si no se conoce la relación CH –  $\epsilon$  pero sí la contracción total de la condición de verde hasta seca  $\epsilon_0$  la contracción  $\epsilon$  para un CH se puede determinar como

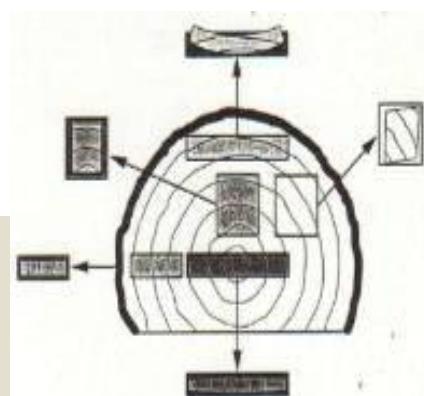
$$\epsilon = \frac{\epsilon_0 (\text{PSF}-\text{CH})}{\text{PSF}} * 100 \text{ (%)}$$

Las contracciones en sentido tangencial, radial y longitudinal, pueden denominarse  $\epsilon_T$ ,  $\epsilon_R$  y  $\epsilon_L$  respectivamente. La contracción volumétrica puede llamarse  $\epsilon_V$ . Como  $\epsilon_L$  es pequeña entonces

$$\epsilon_V = \epsilon_T + \epsilon_R$$

y como generalmente  $\epsilon_T = 2\epsilon_R$  entonces,

$$\epsilon_V = 1.5 \epsilon_T$$



Cuando la madera es restringida a expandirse (como en las uniones apernadas) la adsorción de agua induce esfuerzos internos. Debido a la naturaleza viscoelástica plástica de la madera, estos esfuerzos se relajarán eventualmente y ocurrirán cambios dimensionales irreversibles.

Cuando la madera regresa a su CH original, sus dimensiones se habrán contraído y la unión podrá haberse aflojado y haber perdido capacidad. Por lo tanto es importante tener acceso a este tipo de detalles constructivos que puedan necesitar ajustes. Para minimizar los problemas de cambios dimensionales, la madera debe ser utilizada a un CH, lo más cercano al CHe correspondiente a las condiciones ambientales prevalecientes.

Los valores de contracción  $\epsilon_0$  pueden determinarse experimentalmente midiendo las dimensiones iniciales de la muestra en el estado verde así como su CH y luego secando al horno a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  y medir sus dimensiones finales. En este caso de la contracción volumétrica, se puede utilizar el método de inmersión para medir los respectivos volúmenes.

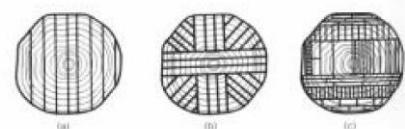
### 7.3. Movimiento por la forma de cortar la madera

#### Causas de los fenómenos de movimiento:

Contracción desigual durante el secado

Reparto desigual durante secado tensiones producidas durante secado (comportamiento visco elástico) Cada especie tiene diferentes coeficientes de contracción longitudinal, tangencial y radial

Técnicas de corte:

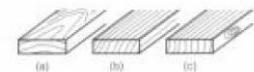


#### Factores que influyen sobre los valores en los cortes anatómicos de la madera:

a) Una restricción en la contracción en sentido radial debido a la disposición perpendicular de las células radiales.

b) La presencia alternada de bandas de madera temprana de baja densidad y madera tardía de alta densidad.

c) La contracción tangencial es 1.5 a 3 veces mayor que la contracción radial y la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera.



## 7.4. Densidad

Es la propiedad física más importante de la madera estructural. La mayoría de las propiedades mecánicas se correlacionan positivamente con la densidad, así como con la capacidad máxima de carga de las uniones

### Conceptos relacionados con la Densidad

#### Densidad de Referencia

Relación entre la masa y el volumen de la probeta, determinados ambos a un mismo CH.

Anhidra: estado anhidro, se designa por  $d_0$

Normal: estado 12%, se designa por  $d_{12}$  en g/cm<sup>3</sup>

#### Densidad básica

Relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta en estado verde (> PSF)

#### Densidad nominal

Se define como la relación entre la masa de la probeta en el estado anhidro y el volumen de la probeta al contenido de humedad del ensayo (generalmente 12%). Se designa por  $d_{12}$  o  $d_{0H}$ , según el CH. Su unidad es en g/cm<sup>3</sup>.

### Métodos de determinación de la densidad:

#### Medición directa

Pesando la madera en una balanza y recogiendo las dimensiones en espesor, ancho y largo de la madera, para poder calcular con ellas su volumen

#### Inmersión en agua o mercurio

Cuando la madera no tiene una forma regular

#### Cálculo de la densidad

$$\rho = m/V \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

m= masa en kg.

v= volumen en m<sup>3</sup>

La masa de la madera es la suma de la parte sólida más la masa del agua. El volumen es constante cuando está en el estado verde, disminuye cuando CH< PSF y vuelve a ser constante cuando ha alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Por lo general, la densidad de una muestra de madera se obtiene de la relación de la masa a cierto CH y su V a ese mismo CH

$$\rho = \frac{m_{CH}}{V_{CH}} \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

La densidad de la materia que constituye la madera, es decir la madera sólida, sin cavidades celulares, ni ningún espacio vacío, es aproximadamente 1500 kg/m<sup>3</sup>con variaciones no significativas entre especies. Por lo tanto, la densidad de madera depende de su porosidad, definida como la fracción del volumen de las cavidades. Considerando que la madera estructural tiene valores de densidad  $\rho_{12}$  que varían entre 300 y 550 kg/m<sup>3</sup>, se obtiene valores de porosidad de 0.80 a 0.63.

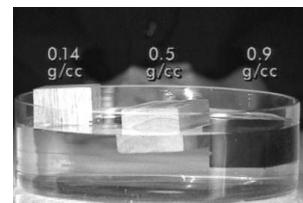
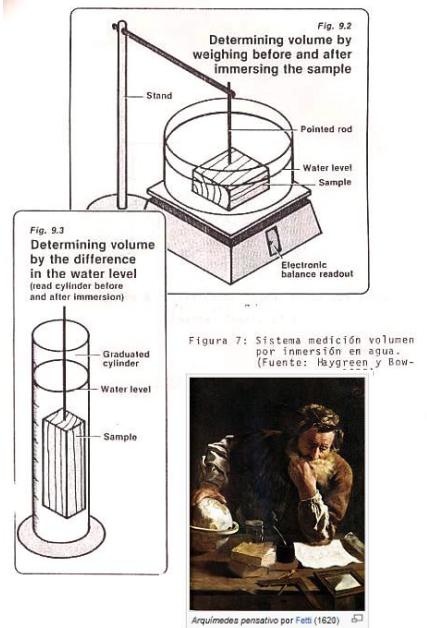
## 7.5. Gravedad Específica

Para estandarizar comparaciones de especie o productos estimaciones del peso del producto, la gravedad específica se utiliza como una base de referencia estándar en vez de densidad.

La definición tradicional de gravedad específica es la razón entre la densidad de la madera y la densidad de agua a cierta temperatura (generalmente 5°C a la cual la densidad del agua es 1000 kg/m<sup>3</sup>)

Para reducir confusiones por CH, la gravedad específica de madera se basa usualmente en peso seco al horno ( $m_0$ ) y el volumen a cierto CH Las bases para determinar la gravedad específica generalmente se basa en peso seco al horno y el volumen verde, seco al horno o a un CH = 12%.

Se conoce también como el peso específico básico, se utiliza para caracterizar a las especies por su determinación en el laboratorio y se define como:



## 7.6. Cálculo de la Gravedad Específica

$$Gb = \frac{m_0}{\rho_{\text{agua}} V_v}$$

$m_0$  = masa (peso) seca la horno

$\rho_{\text{agua}}$  = densidad del agua

$V_v$  = volumen verde

Conociendo la Gb básica de la madera, la Gb a cualquier otro CH puede ser aproximada.

$$\alpha = \frac{\text{PSF} - \text{CH}}{\text{PSF}}$$

La densidad se puede calcular como

$$\rho_{\text{CH}} = \frac{1000G_{\text{CH}}(1 + \alpha \text{CH})}{100} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

## 7.7. Propiedades Térmicas

### Generalidades de las propiedades térmicas

El coeficiente de expansión térmica lineal es el incremento en longitud por unidad de longitud como consecuencia de del incremento de temperatura de 1 °C. La madera se expande al calentarse y se contrae al enfriarse.

El coeficiente de expansión térmica de la madera seca difiere de acuerdo con la dirección estructural de las fibras. En la dirección paralela al grano parece ser independiente de la gravedad específica y especie y se han obtenido valores entre  $3.1 \times 10^{-6}$  / °C.

En la dirección transversal (tangencial o radial), el coeficiente es proporcional a la gravedad específica y se puede aproximar con las siguientes ecuaciones para un rango de gravedad específica anhidra de 0.1 a 0.8

### Expansión térmica

En caso que la madera a cierto CH se caliente, tenderá a expandirse debido a la expansión térmica y a contraerse debido a la perdida de humedad. Usualmente el cambio dimensional neto, será negativo (contracción) a menos que la madera este muy seca CH 3 o 4%

En general el coeficiente de expansión térmica lineal de la madera en la dirección longitudinal resulta ser 1/10 y 1/3 del correspondiente a los metales comunes, vidrio y concreto. Los valores correspondiente a la expansión de la madera en la dirección transversal, aunque mayor que el de la dirección longitudinal, es usualmente menor que el de otros materiales estructurales.

Otra propiedad térmica importante es la conductividad, la cual mide la razón de transferencia de calor a través de una unidad de espesor de un material sujeto a una diferencia de temperatura.

La madera a 12% de CH tiene una conductividad térmica entre 0.1 y 1.4W /m°C, correspondiendo los valores menores a las maderas más livianas y los más altos a las más pesadas. Es bastante menor comparada con 216 para aluminio, 45 para acero, 0.9 para concreto, 1 para vidrio y 0.036 para lana mineral.

La madera es por lo tanto un material aislante de calor por excelencia debido a su naturaleza porosa. La conductividad térmica de la madera aumenta al aumentar su densidad, el CH, temperatura o contenido de extractivo. La conductividad en el sentido longitudinal es de 1.5 a 2.8 veces mayor que en el sentido transversal (radial o tangencial).

La madera es mal conductor del calor, debido a la presencia de aire en su interior.

Esta propiedad varía según: la dirección de las fibras, densidad, CH, presencia de extractivos y proporción de madera tardía. A mayor densidad mayor conducción térmica





## 7.8. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de madera varía poco con el voltaje aplicado y se duplica para un aumento de temperatura e 10°C. La conductividad eléctrica o su reciproco resistividad varía con el CH, especialmente bajo PSF. Desde CH= hasta PSF la conductividad eléctrica incrementa de 10 a 10 13 veces.

La resistividad varía 10 14 a 10 16 ohmios para CH=0 y de  $10^3$  a 10 4 ohmios para CH = PSF. La conductividad paralela a las fibras es el doble de la conductividad en sentido transversal.

Entre la tangencial y radial existe una diferencia de 10% siendo radial mayor que tangencial. La resistividad de la madera se utiliza en medidores de humedad eléctricos para determinar el CH de la madera

La madera es uno de los materiales considerados como aislante de la corriente eléctrica, depende del CH, densidad, presencia de sustancias electrolíticas, dirección de las fibras (es mayor en sentido perpendicular a las fibras)

En el estado seco (a 9% de humedad y 20 °C) la madera es un muy buen aislante eléctrico con una resistencia eléctrica aproximada de 1.000 millones de ohm.

En cambio, a 30% de humedad la resistencia eléctrica es de 200 mil ohm, y a 80% de humedad la resistencia eléctrica de la madera es de 11 mil ohms.

## 7.9. Propiedades acústicas

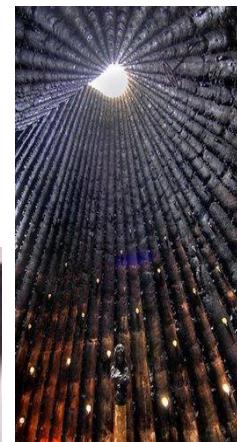
### Transición de sonido

La madera es menos efectiva en bloquear la transmisión del sonido que otros materiales estructurales, ya que esta propiedad depende el peso del material y la madera es generalmente más liviana que otros materiales estructurales

La madera se usa en fabricación de instrumentos musicales, por su conducción de ondas sonoras, ya que es un medio elástico.

En esta propiedad influyen: densidad y dimensión de las piezas.

Además la madera debe ser homogénea, de grano recto y libre de defectos para que se transmita o absorba el sonido



Brother Klaus Field Chapel Wachendorf, Eifel, Germany

## 8. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

### 8.1. Generalidades de las propiedades mecánicas

La madera es un material orto trópico, exhibe propiedades mecánicas diferentes e independientes en las direcciones de tres ejes perpendiculares longitudinal L, radial R y tangencial T. Las propiedades R y T, se tratan como un grupo llamado "perpendicular al grano", mientras que en la dirección L se les llama "paralelas al grano".

### 8.2. Simbología Utilizada para las propiedades mecánicas

F: esfuerzo (MPa)  
E: módulo de elasticidad (MPa)  
G: módulo de cortante (MPa)  
v: módulo de Poisson  
 $\epsilon$ : deformación unitaria  
 $\Delta$  o  $\delta$ : deflexión (mm)

#### Subíndices

c: compresión  
t: tensión  
v: cortante  
b: flexión  
II: paralelo al grano (cuando no se especifica, se entiende II)  
 $\perp$ : perpendicular al grano  
R: dirección radial  
T: dirección tangencial  
L: dirección longitudinal

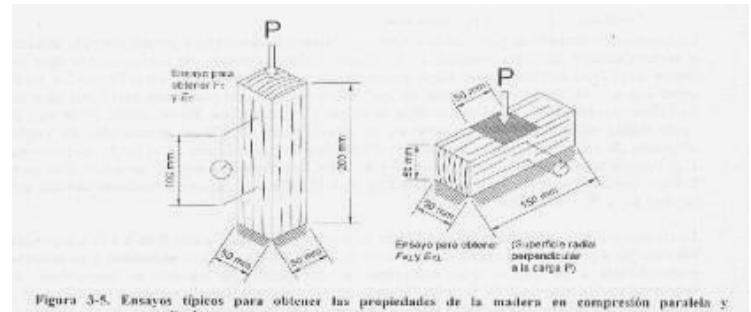


Figura 3-5. Eslabones típicos para obtener las propiedades de la madera en compresión paralela y perpendicular.

### 8.3. Compresión Paralela y Perpendicular

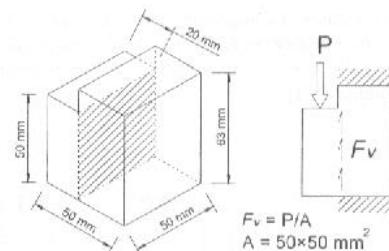
La compresión paralela al grano de la madera se obtiene al someter una probeta libre de defectos y suficientemente corta, la longitud de la probeta menor debe ser menor que 11), para evitar el pandeo local, a compresión paralela de la fibras. Las fibras ceden hasta un esfuerzo máximo  $F_c$ . El modo de falla se da por pandeo de una fila de fibras.

### 8.4. Tensión Paralela y Perpendicular

Cuando especímenes pequeños libres de defectos son sometidos a tensión paralela se obtiene una curva esfuerzo deformación ( $F_t$ - $\epsilon_t$ )

El esfuerzo  $F_t$  es aproximadamente el doble de  $F_c$ . La curva  $F_t$ - $\epsilon_t$  es lineal hasta la falla, la cual es repentina y frágil. Valores típicos de  $F_t$  varían entre 50 y 150 MPa. La resistencia más baja de la madera es en tensión perpendicular al grano  $F_{t\perp}$ . Es alrededor del 2 al 5% de  $F_t$ . Dependiendo si es en la dirección radial o tangencial,. Valores típicos varían entre 1 y 6 MPa y generalmente no se considera en el diseño estructural. De hecho estos esfuerzos deben evitarse o mantenerse reducidos.

Es importante identificar las áreas en una estructura en donde ocurren estos esfuerzos para mejorar su diseño y reducir su magnitud. Para obtener los valores de  $F_t$ ,  $E_t$  y  $F_{t\perp}$ , se realizan los ensayos mostrados en la figura



Ensayo típico para obtener las propiedades de la madera en cortante paralelo [1].

### 8.5. Cortante

En estructuras de madera, el esfuerzo cortante ocurre cuando los elementos están sometidos a flexión. La menor resistencia al cortante en la madera se presenta paralela al grano. Perpendicularmente al grano, la resistencia es 3-4 veces mayor y en algunas maderas es mayor en la dirección radial que en la tangencial. Valores típicos de cortante paralelo  $F_v$  varían entre 5 y 15 MPa. Para determinar el cortante paralelo al grano de una muestra libre de defectos, se utiliza la probeta

### 8.6. Flexión

Como la madera tiene una resistencia mayor a la tensión que a la compresión, la madera libre de defectos sometida a flexión falla primero en compresión y se incrementan las deformaciones en la zona comprimida. El eje neutro se desplaza hacia la zona en tensión y las deformaciones totales aumentan considerablemente. Finalmente la pieza falla en tensión.

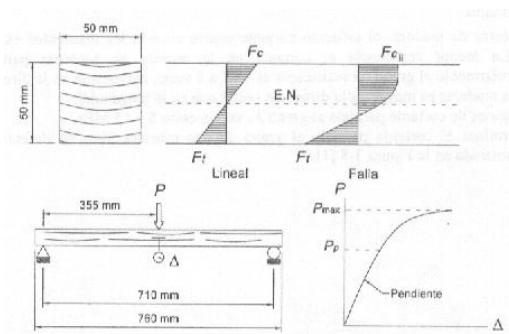


Figura 3-9. Comportamiento de la madera en flexión y ensayo típico de flexión.

El valor obtenido para la flexión. Conocido también como módulo de ruptura MOR se calcula con la fórmula  $M_c / I$  introduciendo el momento máximo causado por la carga última  $P_{max}$ . Por lo tanto  $F_b$  no es el valor del esfuerzo de las fibras extremas en la falla y  $F_c < F_b < F_t$ . Como  $F_b$  es el valor más representativo, es el que se utiliza para comparar la resistencia a la flexión de las diferentes especies y también para calcular los esfuerzos de diseño. El ensayo es el siguiente:

De este ensayo se determina  $P_p$ ,  $P_{max}$  y  $F_b$ . El esfuerzo límite proporcional  $P_p$  es aproximadamente 60% de  $P_{max}$ .  $E_b$  se calcula con la fórmula teórica de deflexión en el centro del claro y en el eje neutro de la probeta y la pendiente en la parte lineal de la curva  $P-\Delta$ .

Valores típicos de  $F_b$  varían entre 40 y 10 MPa mientras que los valores de  $E_b$  varían entre 5000 y 2000 MPa y no toma en cuenta la deflexión causada por el cortante. Para obtener el valor real de  $E$ ,  $E_b$  se puede aumentar en un 10% aproximadamente ya que depende de la relación entre la longitud y la altura de la viga así como del módulo de rigidez  $G$

## 8.7. Propiedades elásticas

El comportamiento de la madera es elástico, puede ser descrito por la ley de Hooke ( $T_{ij} = C_{ij} \epsilon_{ij}$ ) cuando las siguientes restricciones se cumplen:

Sólo se consideran deformaciones pequeñas, el material se mantiene a temperatura constante, el material es homogéneo y su densidad es uniforme.

No hay acoplamiento entre componentes de esfuerzo. Cuando se aplica un esfuerzo normal  $\sigma_i$  dirigido en una de las tres direcciones, ocurrirán deformaciones en las otras dos direcciones debido al efecto de Poisson. Sin embargo un esfuerzo cortante  $T_{ij}$  solo producirá una deformación en ese plano  $ij$ . Lo anterior reduce a 12 constantes la matriz  $C_{ij}$ .

## 8.8. Factores que afectan las propiedades

### Duración de la carga (flujo plástico “creep”)

El flujo plástico o “creep” representa el incremento de la deformación con el tiempo bajo una acción aplicada constantemente. Es un aspecto particular del comportamiento mecánicos de un material. La madera se puede considerar como inmaterial viscoelástico y la deformación debida al flujo plástico empieza luego de la deformación instantánea  $\Delta_i$ . Por ejemplo una viga apoyada simplemente y sometida a una carga uniforme  $w$  se deformará  $\Delta_i$  al aumentar la carga de  $w=0$  a  $w$  en un tiempo corto (5 min.). Si la carga  $w$  se mantiene constante en el tiempo  $\Delta_f$  debido al flujo plástico y al descargar la viga se recuperará parcial o totalmente dependiendo de si ha sobrepasado el límite proporcional.

## 8.9. Defectos

Existen algunas características en la madera que han sido adquiridas o desarrolladas por el árbol durante su crecimiento y por afectar el comportamiento o aspecto de madera se les llama defectos de crecimiento. Los principales son: nudos, inclinación del grano, médula excéntrica, madera juvenil y otros como fallas de compresión, perforaciones y rajaduras

### Nudos

Un nudo es una porción de rama que se ha incorporado en el tronco del árbol. La influencia de los nudos en las propiedades mecánicas se debe a la interrupción de continuidad y el cambio de la dirección de las fibras asociado con el nudo. La influencia de los nudos depende de su tamaño, localización, forma y solidez, inclinación local del grano y tipo de esfuerzo al cual está sometido el elemento. Los nudos se pueden clasificar en ajustados (vivos) y sueltos (muertos).

Los nudos sueltos y huecos causan menor desviación del grano que los ajustados.

La mayoría de propiedades mecánicas son menores en secciones que contienen nudos que en secciones libres de defectos porque la madera desplazada por el nudo y las fibras alrededor del nudo se distorsionan causando una inclinación del grano. La discontinuidad de la fibra produce concentración de esfuerzos, por lo cual se forman grietas alrededor del nudo debido al secado.

Los nudos tienen un efecto mayor en tensión axial que en columnas cortas y los efectos de flexión son un poco menores que los de tensión axial. Por lo tanto en una viga simplemente apoyada, un nudo en la zona inferior tendrá mayor influencia en la resistencia de la viga que un nudo en la zona superior. En la siguiente figura se muestra el efecto de un nudo en los esfuerzos, el cual causa esfuerzos perpendiculares al grano.

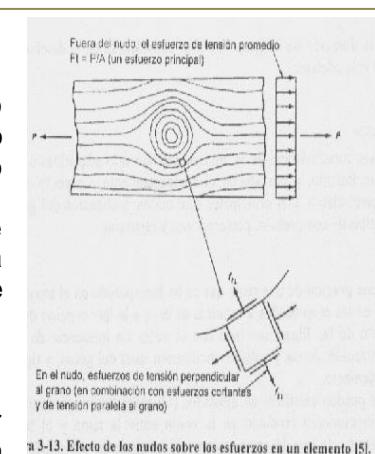


Tabla 3-2. Reducción de los esfuerzos debido a la inclinación del grano.

Pendiente ( $m$ )	$F_b$ [%]	$F_c$ [%]
0	100	100
1/25	96	100
1/20	93	100
1/15	89	100
1/10	81	99
1/5	55	93

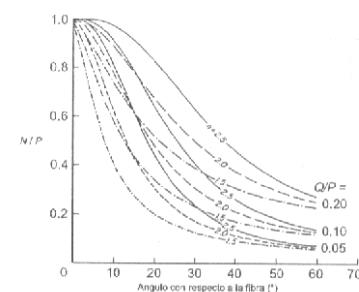


Figura 3-14. Efecto del ángulo con respecto a la fibra en las propiedades mecánicas de madera libre de defectos de acuerdo con la ecuación 3-17 [3].

## Inclinación del grano

Cuando la dirección de las fibras no es paralela a la longitud de una pieza de madera, se dice que tiene inclinación o desviación del grano o fibra.

Dos formas importantes son las desviaciones espiral y diagonal.. Algunas veces estos se pueden apreciar a simple vista y en otras se utilizan instrumentos con una aguja que sigue la dirección del grano en la pieza

Tabla 3-3. Valores de  $n$  de acuerdo con la relación  $Q/P$ .

Propiedad	$n$	$Q/P$
$F_t$	1.5-2	0.04-0.07
$F_c$	2-2.5	0.03-0.40
$F_b$	1.5-2	0.04-0.10
$E$	2	0.04-0.12

### Fórmula para determinar el ángulo neto de inclinación del grano “N”

El grano espiral y diagonal puede combinarse y puede producir una inclinación del grano más complicada. Para determinar el ángulo neto del grano  $\theta$  las pendientes de las dos caras contiguas de una pieza deben ser medidas y combinadas de manera que:

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2} \quad \text{Donde } m \text{ es la pendiente neta y } m_1, m_2 \text{ las pendientes de cada superficie. Ciertas propiedades mecánicas entre direcciones paralelas y perpendiculares al grano pueden ser aproximadas}$$

### Formula Modificada de Hankinson

Donde  $N$  es la propiedad a un ángulo  $\theta$  con respecto a la dirección de la fibra  $Q$  es la resistencia perpendicular al grano  $P$  es la resistencia paralela al grano y  $n$  una constante determinada empíricamente.

### Médula excéntrica

La médula excéntrica o madera de reacción se produce en árboles que han crecido en condiciones adversas como dependientes fuertes o vientos en un solo sentido causando un crecimiento asimétrico. En maderas coníferas, se produce madera de compresión y en latifoliadas, de tensión.

Muchas propiedades de la madera de reacción difieren de la madera normal. Por ej la  $G_b$  de la madera de compresión es de 30 a 40 % veces mayor que la madera normal. Debido a que la madera de compresión tiene mayor proporción de leño tardío, es un poco más oscura que la normal-

La madera de tensión es más difícil de detectar que la madera de compresión, generalmente se encuentra asociada a madera difícil de cepillar como consecuencia de las células gelatinosas típicas de la madera de tensión, las cuales se rompen durante el cepillado obteniéndose una superficie de grano rizado. La madera de reacción en estado verde puede ser más resistente que la normal, pero si se compara con una madera norma a igual  $G_b$  es definitivamente menos resistente excepto en compresión paralela al grano.

### Madera juvenil

Es aquella producida cerca de la médula del árbol. Para maderas coníferas, se define como la madera de 5 a 20 anillo de la médula, dependiendo de la especie. Esta Madera tiene propiedades físicas y anatómicas diferentes a las de la madera madura.

Generalmente exhibe menor resistencia y rigidez y mucho mayor contracción longitudinal debido a que las paredes celulares son relativamente cortas y delgadas y existe un ángulo mayor entre las microfibrillas de la capa  $S_2$  con respecto al eje longitudinal. Para árboles de crecimiento rápido con un gran producción de ,madera juvenil, el duramen puede tener diferentes características de resistencia que la albura.

Otros defectos como fallas de compresión, perforaciones y rajaduras

Las fallas de compresión son causadas por flexión excesiva en árboles debida al viento o a la nieve, tala de árboles a lo largo de troncos, irregularidades en el suelo o mal manejo de troncos o de madera aserrada. A veces estas fallas son visibles aunque diminutas, los más difíciles solo pueden ser detectados con un microscopio.

Las piezas con fallas de compresión pueden ser hasta tres veces menor que  $F_t$  Hasta pequeñas falla pueden reducir seriamente la resistencia.

## 8.10. Resumen de las propiedades mecánicas de la madera

Tabla 3-4. Algunas propiedades mecánicas de la madera.

Propiedad	Valores típicos [MPa]	Coefficiente de variación (%)
$F_t$	25-60	20
$E_b$	5000-20000	20
$F_c$	50-150	25
$F_{c1}$	2-20	30
$F_b$	40-140	15
$F_i$	5-15	15
$G$	500-1200	-

## 9. DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERA

Esta sección tiene como fin introducir al lector en el tema de las estructuras en madera, mediante un compendio de los temas más importantes para el análisis y diseño estructural de la madera. Presenta las ecuaciones más recientes utilizadas por los códigos internacionales actuales, ya que a la fecha en Costa Rica se está gestionando la primera normativa en el tema por INTECO Instituto de normas técnicas de Costa Rica, para que salga publicada en un nuevo código sísmico.

### 9.1. Metodologías de diseño de estructuras en madera

**ESFUERZOS DE DISEÑO:** Para el diseño de estructuras de madera se dispone de 2 metodologías principales:

**1-ASD** (allowable stress design) o esfuerzos admisibles en la cual se compara la demanda (acciones) sin factorizar con el esfuerzo admisible, esfuerzo reducido por un factor de seguridad), de manera que:  $F_d \leq F_{adm}$

**2-LRFD** (Load and Resistance Factor Design) o diseño con factores de carga y asistencia en el cual, se compara la demanda factorizada o carga última con la resistencia nominal ajustada.

$$R_u \leq \lambda \Phi R'$$

La tendencia actual es usar LRFD. Considerando que muchas veces la demanda tiene un incertidumbre alta en cuanto a los cálculos de las acciones y en su probabilidad de ocurrencia. Por otro lado, actualmente las propiedades de los materiales se consideran con incertidumbres cada vez más bajas.

### 9.2. Propiedades por conocer para diseñar en madera

Generalmente, para diseñar estructuras de madera se necesita conocer las siguientes propiedades

**E:** módulo de elasticidad

**E<sub>min</sub>:** módulo de elasticidad mínimo

**F<sub>b</sub>:** esfuerzo a flexión

**F<sub>c</sub>:** esfuerzo a la compresión

**F<sub>c⊥</sub>:** esfuerzo a la compresión perpendicular al grano

**F<sub>v</sub>:** esfuerzo a cortante

**F<sub>t</sub>:** esfuerzo a tensión



Los valores de estos esfuerzos están influenciados por varios factores que deben ser tomados en cuenta. En acero por ejemplo la variabilidad es pequeña mientras que para la madera, la variabilidad y la calidad (tipo, tamaño, defectos, densidad) afectan considerablemente su resistencia.

Como se mencionó anteriormente, existen dos opciones para obtener estos esfuerzos:

1-Utilizando factores de seguridad muy altos, lo cual no es razonable.

2-Obtener esfuerzos de diseño basados en análisis estadísticos con variables implicadas, que es la opción más racional

### 9.3. Valores de diseño característicos (base o de referencia)

Cuando se empezó a diseñar con madera, los valores de esfuerzos admisibles se basan en ensayos de especímenes pequeños libres de defectos, generalmente de 2 x 2 "(5 x 5cm) o de 1 x 1" (2.5 x 2.5cm) de sección transversal. Estos esfuerzos se modificaban luego considerando condiciones de uso y los defectos que se presentan en elementos estructurales reales. A finales de los años 70 se decide ensayar 70 000 elementos de tamaño real y dimensiones variables obtenido de aserraderos de USA y Canadá. En el laboratorio de productos forestales de USA. Luego de una extensiva investigación se publican valores de esfuerzo de diseño para varias secciones estándar de madera. Estos nuevos valores reducen los efectos de ciertos factores (factores tamaño) con respecto a los valores que se obtienen con la metodología estándar de especímenes pequeños libre de defectos.



Imagen de publicaciones de interés en el tema de diseño y cálculo de estructuras en madera.

## 9.4. Valores de ajuste

Una vez que se obtiene el valor base o de referencia (generalmente representa algún percentil de distribución de los resultados,

por Ej. El 5to percentil para tomar en cuenta la variabilidad natural del material) estos debe ajustarse por vario factores de reducción, los cuales pueden agruparse en factores de servicio, factores geométrico, factores adicionales, factores para paneles, factores para la madera redonda y pilote y factores para conexiones

Tabla 4-1. Factores de ajuste por contenido de humedad  $C_M$  de acuerdo con la aplicación y el tipo de esfuerzo.  
Adaptada de la referencia 1.

Aplicación	$F_b$	$F_t$	$F_c$	$F_{c\perp}$	$F_r$	$E / E_{ref}$
Madera aserrada	0.85 <sup>(1)</sup>	1.0	0.97	0.67	0.8 <sup>(2)</sup>	0.9
Madera aserrada de grandes dimensiones	1.0	1.0	1.0	0.97	0.91	1.0
Madera laminada y encolada	0.8	0.8	0.875	0.53	0.73	0.835
Vigas I prefabricadas, madera contrachapada y otros productos encolados	Siempre se deben utilizar a un CH ≤ 16% si menos que el productor indique lo contrario.					
Conexiones	Ver Tabla 4-2					

(1). Cuando  $(F_t)(C_M) \leq 8 \text{ MPa}$ ,  $C_M = 1.0$ .  
(2). Cuando  $(F_t)(C_M) \leq 5 \text{ MPa}$ ,  $C_M = 1.0$ .

## 9.5. Factores de Servicio:

### 1. Factor de humedad $CH$ o $C_M$ (por sus siglas en inglés):

Cuando el  $CH$  de servicio de una estructura de madera aserrada es mayor que 19%, se debe ajustar el valor del esfuerzo. Para productos encolados, este límite se reduce al 16% del CH. La siguiente tabla muestra un resumen del factor  $C_M$  dependiendo de la aplicación según el NDS 2005

### 2. Factor de temperatura $C_t$

Los valores de referencia deben ajustarse por el factor de temperatura  $C_t$  indicados en la tabla 4-3 y de acuerdo a la exposición esperada.

### 3. Tratamiento con retardante de fuego Crt o preservante Cpt:

Cuando la madera se impregna con preservantes o retardadores del fuego, los valores de referencia deben ajustarse por el factor de tratamiento con retardante de fuego Crt o preservante Cpt. Este factor debe ser indicado por el proveedor.

### 4. Factor de tamaño CF:

Las propiedades mecánicas de la madera varían de acuerdo al tamaño o geometría del elemento esforzado. Lo anterior se ha explicado con la teoría del "eslabón más débil" en materiales frágiles.

## Conclusiones

- La teoría del eslabón más débil se puede aplicar al caso de tensión paralela, tensión perpendicular y cortante, sin embargo, para compresión y flexión y teoría es debatible.
- La teoría no se ha verificado para todas las especies. Por Ej. Los pinos suelen no tener los nudos localizados en forma aleatoria
- Para madera clasificada visualmente, los tamaños de los defectos aumentan conforme aumenta el tamaño del elemento. El material cambia con el tamaño lo cual puede enmascarar el efecto el tamaño puro.
- En ensayos con relaciones L/d estos efectos no se pueden identificar separadamente.
- Debido a lo expuesto anteriormente se utiliza para diseño el tamaño  $C_f$ , el cual considera el efecto del tamaño para  $F_b$ ,  $F_t$  y  $F_c$ .
- El factor del tamaño  $C_f$ , se establece para cada clasificación estructura particular. Por Ej. NDS-2005 proporciona los valores de  $C_f$ , para la clasificación y especies de madera.

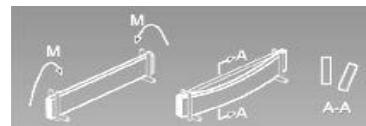
## 9.6. Elementos en flexión

### Secciones rectangulares

Usualmente los elementos de madera, sometidos a flexión son de sección rectangular, aunque existe variedad de secciones que serán analizadas más adelante. Los elementos de madera más comunes sometidos a flexión son la vigas, viguetas, entablado y clavadores.

En el diseño de elementos de madera sometido a flexión se debe considerar 4 requisitos para asegurarse que la sección determinada sea adecuada:

- 1-Capacidad a flexión
- 2-Capacidad a cortante
- 3-Deflexiones
- 4-Aplastamiento en apoyos y cargas concentradas



Inestabilidad lateral torsional en vigas

## 1. Capacidad a flexión

Si las dimensiones y las condiciones de soporte de una viga son adecuadas para prevenir inestabilidad, las deflexiones ocurren solo en el plano de la carga, los factores que más afectan la inestabilidad en las vigas son:

1. La longitud sin soporte lateral de la parte sometida a compresión ( $l_{ef}$ )
2. El módulo de rigidez lateral ( $EI_z$ )
3. El módulo de rigidez torsional ( $GJ$ )
4. Las restricciones en los apoyos

## 2. Capacidad a cortante



## 3. Deflexiones

Las deflexiones excesivas en miembros estructurales pueden causar daños tales como:

Vidrios rotos, repellos agrietados, afectar la buena apariencia,

También el factor humano debe considerarse, la gente no se siente confortable al caminar por un piso deformado por más resistente que este sea.

Como los elementos estructurales de madera en general sufren el efecto de flujo plástico "creep" La deflexión inmediata debida a cargas e larga duración debe incrementarse suponiendo que las cargas temporales son de corta duración,



Vigas y cargas	Diagrama de momento	$m$	Diagrama equivalente
$(M \leftarrow M)$		1,00	
$M$		0,57	
$M$		0,43	
$F$		0,74	
$q$		0,88	
$L/4 \downarrow F \uparrow L/4$		0,96	
$F$		0,69	
$F$		0,59	
$q$		0,39	

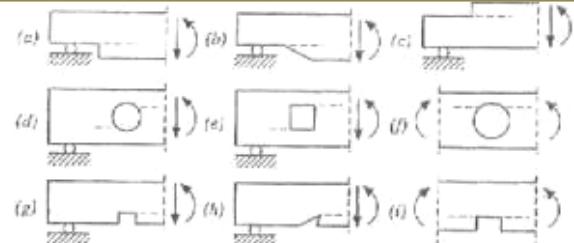
Figura 4-2. Factores  $m$  para obtener momentos uniformes equivalentes.



Figura 4-4. Área de apoyo para una viga [10].

## 4. Aplastamiento en apoyos o cargas concentradas

En casos en que los extremos de una viga están apoyados directamente sobre sus soportes (que pueden ser otro miembro de madera, pared de mampostería, elementos de acero, etc.) La viga estará esforzada perpendicularmente al plano (aplastamiento como se muestra en la Fig. 4-4) Este tipo de falla produce aplastamiento de las fibras pero no el colapso por lo que no se considera una falla seria.



Cortes y agujeros en vigas. Las líneas punteadas muestran los posibles patrones.

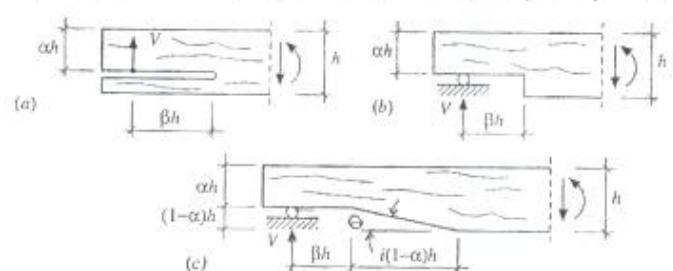


Figura 4-7. Valores de  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $i$  [5].

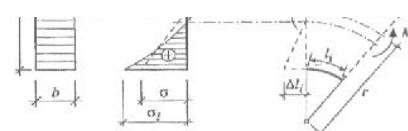


Figura 4-11. Distribución de esfuerzos en la sección de un elemento curvo [5].

Debido a la resistencia limitada del material, este esfuerzo no se acerca a infinito y debido a la falla local del material, la distribución de esfuerzos en el instante en que se inicia la grieta resulta tal y como se indica en la Fig. 4-6 mediante la línea punteada.

Para reducir el riesgo de fractura causada por el secado alrededor de un corte o agujero, se recomienda pintar las superficies para limitar la transferencia de humedad. En climas de humedad relativa variable es recomendable evitar los cortes y los agujeros.

Desde el punto de vista ingenieril, el cálculo de la magnitud de la carga que causa la fractura es lo que más interesa. Como fue discutido anteriormente, para casos de concentración de esfuerzos muy altos, se necesita un enfoque diferente al criterio convencional de esfuerzos. Uno de estos puede ser por métodos de energía. Por ejemplo la liberación de energía cuando la grieta se propaga. Este enfoque se conoce como análisis mecánico elástico-lineal de fractura.

La Fig. 4-9 presenta recomendaciones de refuerzo para vigas con cortes:

Debe ser evitado puesto que el perno debe ser ajustado por la contracción (como consecuencia de los cambios de CH) y flujo plástico

Incrementa rigidez pero puede causar agrietamiento si mamadera se seca

Empezará a actuar cuando la viga se agriete

Madera contrachapada encolada y clavada funciona de manera apropiada

y (f) igual que (d) con fibra de vidrio

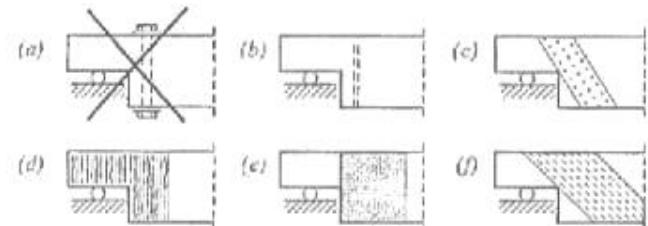


Figura 4-9. Métodos de refuerzo para vigas con cortes [5].

## 10.2. Elementos curvos y de sección variable.

Las vigas de MLE pueden ser de sección variable, curva o para cumplir requerimientos arquitectónicos, proveer techos inclinados y obtener espacio máximo interior entre otros. Los elementos más comunes con las características mencionadas se muestran en la Fig. 4-10

### Elementos Curvos

La fig 4-11 muestra un segmento de un elemento curvo con la distribución de esfuerzos en la sección cuando se aplica un momento constante.

Las fibras inferiores son más cortas que las superiores. De acuerdo con la ley de Hooke  $\sigma_i > \sigma_0$ . Se puede determinar que la distribución de esfuerzos es como se muestra en la figura con el eje neutro un poco debajo de  $h/2$  para diseño, este esfuerzo se aproxima mediante una constante que modifica el esfuerzo de una viga recta  $M/S$  y depende de la relación  $h/r$  donde  $r$  es el radio de la curvatura

## 10.3. Elementos en compresión, flexo compresión, flexo tensión torsión.

### Compresión axial

Los elementos estructuralmente comúnmente sujetos a compresión axial (compresión paralela al grano) son las columnas y los miembros de una armadura. También los pilotes y los postes son otros elementos estructurales sometidos a compresión axial. Para propósitos de diseño se puede definir una columna como un miembro estructural cuyas cargas principales son la compresión axial.

Cuando una columna esbelta se carga a compresión axial tiende a deformarse lateralmente, ósea, se pandea.

Los factores que influyen en la resistencia mecánica de las columnas son el área transversal, longitud, condiciones de apoyo y sus propiedades de resistencia y rigidez. Los primeros factores pueden ser influenciados para el diseño, Los últimos depende de la especie de madera y su calidad. Otros factores que afectan la resistencia mecánica del elemento son imperfecciones geométricas y las intrínsecas del material, los que son tomados en cuenta mediante factores de seguridad.

Modos de pandeo						
Valor $K_c$ teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recomendación de $K_c$ en condiciones ideales aproximadas para diseño	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.4
Simbología de condición de apoyo en los extremos						

4-16. Valores de  $K_c$  para diferentes modos de pandeo (adaptada de la referencia 3)

La resistencia de los miembros esbeltos depende de su módulo de rigidez  $EI$ .

Existen 2 formas de diseñar un miembro sometido compresión axial.

Análisis de segundo orden (equilibrio de las fuerzas considerarse la forma deformada del miembro)

Curvas de pandeo, las cuales toman en cuenta la reducción de resistencia de una columna real comparada con una columna infinitamente rígida en flexión.

La reducción en la capacidad depende de la razón de esbeltez  $r_e$

#### 10.4. Elementos estructurales de secciones compuestas

##### Vigas I, Vigas Cajón, encoladas

Estas secciones están compuestas por los siguientes elementos: almas, alas y uniones encoladas entre las almas y las alas, ver Fig. 4-17

Las alas están hechas de madera estructural con uniones dentadas (finger joints) o de MLE. La función de las alas es la de tomar los esfuerzos causados por la flexión o fuerzas axiales.

Las almas están hechas de varios tipos de tableros, tales como: madera contrachapada, tableros de fibra, partículas, etc. Su función principal es la de tomar los esfuerzos de cortante.

Para vigas largas, puede ser necesario contar con uniones en el alma, si las uniones en regiones donde el cortante es bajo, se puede hacer una unión de extremo a extremo. De otras manera, estas uniones debe reforzar con placas de madera contrachapas o material similar colado o encolado al alma. En los apoyos, también es necesario reforzar el alma.

Generalmente, estas secciones se producen industrialmente para poder realizar una manufactura mas controlada de las uniones y monitorear los movimientos ocasionados por los cambios en el CH.

Las ventajas de estas secciones son:

- Tiene una alta capacidad y rigidez con respecto a su peso
- Se pueden usar para claros largos (5-8m) en donde es más difícil obtener secciones sólidas o estas son muy caras
- Debido a su gran peralte hay suficiente espacio para acomodar diferentes tipos de equipo técnico.

Por otro lado, se debe tener sumo cuidado entre el transporte y manipuleo. También los elementos deben mantenerse en condiciones secas durante la construcción

Para asegurar que un elemento de sección compuesta "I" o "cajón" es estructuralmente adecuado, se debe verificar los siguientes modos de falla:

##### Cortante en el alma

- Transferencia de cortante en las placas que unen las almas longitudinalmente
- Flexión de placas mencionadas en b
- Cortante en la unión ala-alma
- Flexión de la viga compuesta
- Tensión y compresión de las alas
- Compresión perpendicular al grano de las alas bajo rigidizadores
- Cortante del alma en la interfase con el rigidizador
- Estabilidad lateral de la viga

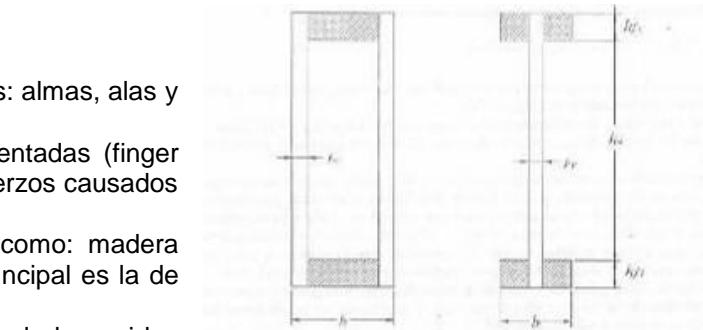


Figura 4-17. Ejemplo de vigas "cajón" y vigas "I" encoladas (adaptada de la referencia [1]).

##### VIGA H

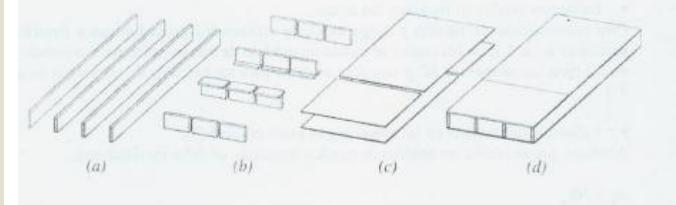


Figura 4-18.

#### 10.5. Paneles de ala delgada

Los paneles de ala delgada ("stressed skin panels") consisten en almas en la dirección longitudinal del elemento, unidas con láminas delgadas e uno o ambos lados (Fig. 4-18). En la mayoría de los casos, las almas son de madera aserrada mientras que las láminas (alas) pueden estar conformadas de madera contrachapada, OSB, de tableros de fibras o de partículas. La conexión puede ser encolada o mecánica, con conectores tales como clavos, grapas y tornillos. La aplicación de estos paneles puede ser como elementos en flexión para entrepisos o techos o como elementos en compresión, flexión y cortante para paredes. Este tipo de panel actual como un elemento estructural compuesto.

Dimensiones típicas: Las dimensiones de estos paneles están limitadas principalmente por su transporte y erección.

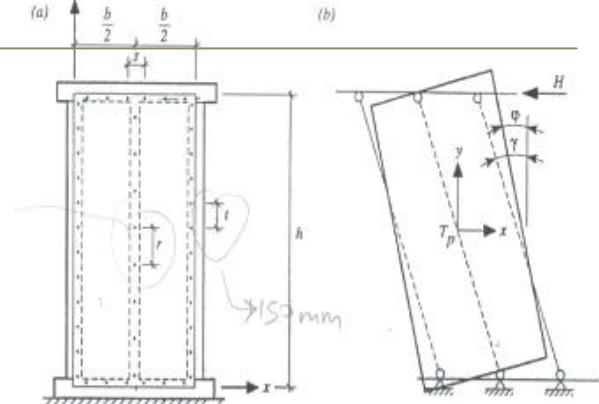


Figura 4-22. Análisis elástico de un muro de corte [5].

Los paneles que se utilizan para paredes tiene una altura típica de 2.5 m y hasta 1, m de longitud. Los anchos de los paneles para entrepisos y techos varían entre 1.25 y 1.5 m y corresponden a la dimensión de la lámina para mayor economía. En madera aserrada, las longitudes varían entre 5 y 6 m

**Alas** Se utilizan espesores entre 10 y 18mm. Si se utiliza madera contrachapada, la dirección del grano de la capa exterior puede ser perpendicular o paralela a la longitud de las almas. Si es perpendicular, el espaciamiento de las almas puede ser mayor pero se necesitan más conexiones en los extremos de las alas y la resistencia y rigidez en el panel compuesto es menor q cuando la dirección es paralela a las almas

**Almas** Pueden ser de madera aserrada, MLE, panel a base de madera o vigas I prefabricadas. El ancho de las almas de madera aserrada varía entre 38 y 80 mm y la altura entre e0 y 200 mm. Para entrepisos el ancho varía entre 30 y 63 cm y para mayor eficiencia debe seleccionarse de acuerdo con el tamaño de las láminas que conforman las alas, Ancho efectivo del ala  $b_{ef}$  Debido a deformaciones por cortante, los esfuerzos normales en le plano central de las áreas sin soporte no se distribuyen uniformemente (Fig. 4-19)

Entre mayor sean las razones  $b_{ef}/L$  y  $E/G$  menor es el ancho efectivo del ala,  
 $b_{ef}$  es el espaciamiento de las almas

$L$  es la longitud libre del panel

$E$  es el módulo de cortante de las alas

$b_{ef}$  el ancho efectivo del ala, se define como el ancho de una ala idealizada, en la cual el esfuerzo normal de acuerdo a la teoría elemental de viga es igual al esfuerzo máximo del ala según el comportamiento real que toma en cuenta deformaciones por cortante en las alas.

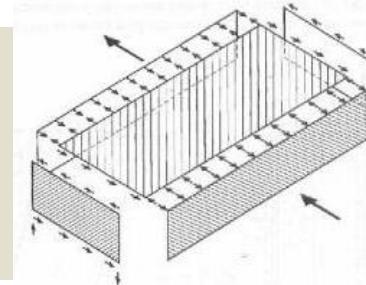


Fig. 4-19. Transferencia de fuerzas horizontales por medio de diafragmas y muros [8].

## 10.6. Muros de corte y Diafragmas

Un edificio además de estar sometido a cargas verticales, también lo puede estar a cargas horizontales como viento y sismo, para transferirlas a la fundación, se pueden usar muros de corte y diafragmas (Fig. 4-21). Las paredes se asumen articuladas entre el techo y la fundación y por lo tanto, la mitad de la carga horizontal es transmitida por el diafragma. El diafragma es soportado por las paredes paralelas a la carga, las cuales transmiten la carga a la fundación por flexión y cortante

### Muros de corte

Generalmente los muros de corte en construcción con madera están formados por “pies derechos” (elementos verticales), espaciados a ciertos intervalos, formando un marco con un elemento horizontal superior e inferior. El marco se hace rígido uniendo un panel estructural (tableros de madera contrachapada, de fibras, de partículas, OSB, etc.). En uno de los del marco por medio de clavos o tornillos. EL comportamiento de esas paredes ante cargas horizontales se puede analizar como un diafragma en voladizo y una carga concentrada en el elemento horizontal superior. Las uniones se consideran articuladas. Por lo tanto el desplazamiento es resistido por el panel y los conectoresFactores que afectan la capacidad de estos muros:

- Conexión entre pies derechos y fundación. El muro desarrollara su capacidad máxima si los pies derechos están empotrados a la fundación
- Cargas verticales: entre mayor sea la carga vertical aplicada al muro, mayor será su capacidad lateral. Habrá un punto óptimo de carga vertical y lateral
- Capacidad de los pies derechos ante carga axial
- Capacidad de los conectores (unión panel-marco). Usualmente esta capacidad controla la rigidez y la capacidad del muro.
- Capacidad de panel en cortante

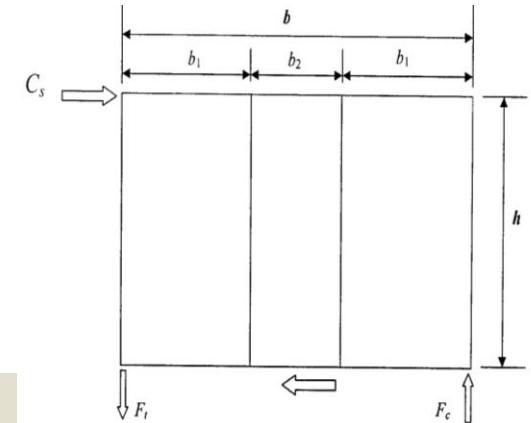


Figura 4-23. Transferencia de fuerzas en un muro de corte con varas tableros

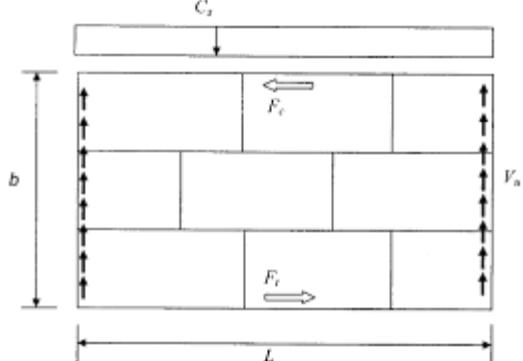


Figura 4-24. Transferencia de fuerzas en un diafragma (adaptada de la referencia 5).

La capacidad máxima de una pared construida por varias unidades de muros, se puede calcular sumando la capacidad de cada unidad. Los muros con puertas y ventanas no se deben considerar en el cálculo al menos que se diseñe específicamente para transmitir fuerzas.

El análisis elástico del muro de corte puede realizarse considerando el muro de corte de la Figura 4-22 y las siguientes suposiciones:

- Los conectores tienen un comportamiento elástico-lineal
- Las uniones se consideran articuladas (goznes)
- Los pies derechos están fijos a la fundación
- Los elementos del marco y el panel son infinitamente rígidos en flexión y la deformación aparece únicamente en el plano de la carga.

## Diafragmas

Los sistemas constructivos como entrepisos, cielos y techos pueden ser utilizados para transmitir fuerzas horizontales a las paredes soportantes. En estructuras de madera, estos sistemas consisten en vigas (o viguetas) sobre las cuales se clavan o atornillan tableros de madera.

Los diafragmas actúan como vigas cortas ( $L/b < 6$ ) soportadas por las vigas coronas (colectores)

Los diafragmas actúan como el alma de una viga I, resistiendo el cortante mientras que las cuerdas actúan como las alas, resistiendo el momento aplicado. La Fig. 4-24 ilustra el comportamiento principal

Por lo tanto, las cuerdas deber ser diseñadas para resistir las fuerzas de tensión o compresión<sup>15</sup>

Description	Structural system	Sketch	Span $l$ (m)	Depth of beam	Distance between beams	Roof pitch ( $\alpha$ ) <sup>a</sup>
Trusses	triangular-shaped truss		7.5 to 30	$h \geq \frac{l}{10}$	4 to 10 m	12 to 30°
			7.5 to 20	$h_n \geq \frac{l}{10}$	4 to 10 m	12 to 30°
	trapezoid-shaped truss		7.5 to 30	$h \geq \frac{l}{12}$	4 to 10 m	3 to 8°
			7.5 to 30	$h_n \geq \frac{l}{12}$	4 to 10 m	3 to 8°
	parallel-chord truss		7.5 to 60	$h \geq \frac{l}{12} - \frac{l}{15}$	4 to 10 m	-
			7.5 to 60	$h \geq \frac{l}{12} - \frac{l}{15}$	4 to 10 m	-
			7.5 to 60	$h \geq \frac{l}{12} - \frac{l}{15}$	4 to 10 m	-
Trussed frames	three-hinged frame		structural timber frame 15 to 30	$\frac{l}{12}$	structural timber frame: $e=4$ to 6 m	20°
					wide-span frame: $e=6$ to 10 m	-
	three-hinged frame single-sided		10 to 20	$\frac{l}{12}$	$e=4$ to 6 m	3 to 8°
					structural timber frame: $e=4$ to 6 m	3 to 8°
	two-hinged frame		structural timber frame 15 to 40	$\frac{l}{12}$	structural timber frame: $e=4$ to 6 m	3 to 8°
					wide-span frame: $e=6$ to 10 m	-
Box beams	box beams with web panels (parallel cross-section)		nailed: up to 20 glued: up to 40	up to 1.5 m	5 to 7.5 m	-
	box beams with web panels (dual-pitched roof beams with a horizontal bottom chord)		nailed: up to 20 glued up to 40	up to 1.5 m	5 to 7.5 m	3 to 8°
	box beams made of glulam		up to 40	up to 1.5 m	5 to 7.5 m	-
Glulam beams	single-bay beams		10 to 35	$\frac{l}{17}$	5 to 7.5 m	-
	single-span beams with dual-pitched roof form		10 to 35	$\frac{l}{18} / \frac{l}{30}$	5 to 7.5 m	3 to 8°
	single-span beams with dual-pitched roof form, underside folded upwards		10 to 35	$\frac{l}{16} / \frac{l}{30}$	5 to 7.5 m	max. 12°
	single-bay beams: mono-pitched form		10 to 35	$\frac{l}{18} / \frac{l}{25}$	5 to 7.5 m	8 to 12°
Grid of beams made of glulam	grid of beams made of glulam		up to 25	$\frac{l}{18} / \frac{l}{25}$ of the shorter span	-	-

<sup>15</sup> González Beltrán Guillermo "Diseño de Estructuras de Madera" 2008



## 11. Software para diseño y cálculo

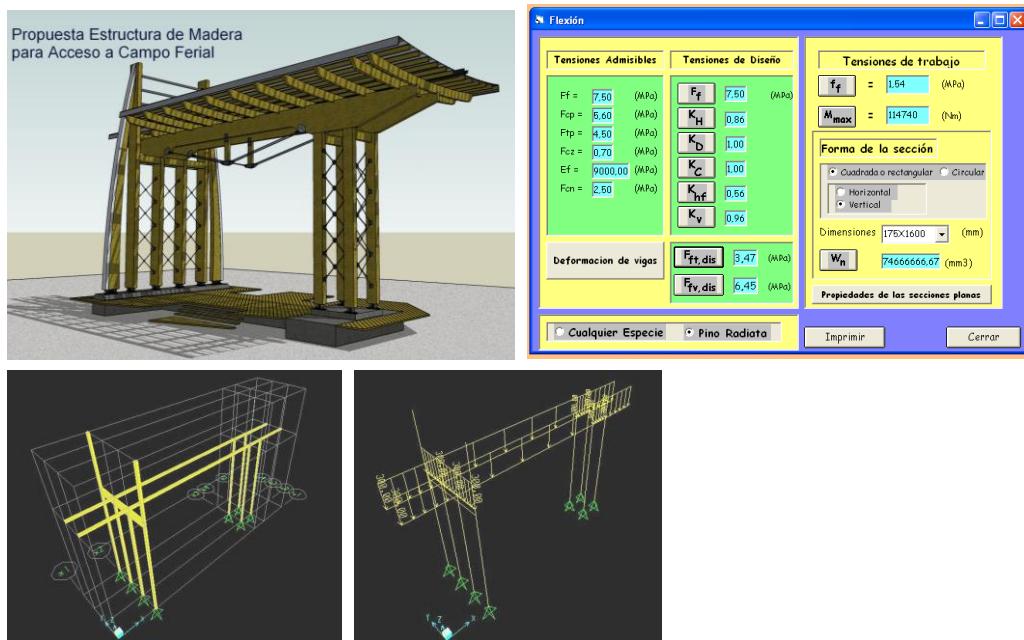
A continuación se mencionaran algunas herramientas útiles en el proceso de diseño y cálculo estructuras

### 11.1. AVWIN 98

Es un software se usa para el Calculo Estructuras de todo Tipo en español. Por lo cual es muy utilizado por bastantes ingenieros y arquitectos.

Existe desde los 80s pero sigue siendo útil

Ejemplos de aplicación en el Módulo de Diseño y Cálculo del MCM de la U Bío Bío en Chile



### 11.2. RAM Advanse,

Es un programa de análisis y diseño estructural de RAM Internacional que es una empresa con más de 12 años de experiencia

RAM Advanse, un sistema de herramientas de ingeniería estructural para el análisis y diseño de casi todo tipo de estructura o componente de la misma, que incluye sofisticadas herramientas de diseño que le ayudan en sus requerimientos diarios de diseño y análisis.

Este programa le brinda flexibilidad incomparable para el diseño y análisis de diferentes tipos de estructuras 2D ó 3D contenido elementos lineales y placas.

Los tipos de análisis disponibles son: Análisis de primer Orden (Lineal), de segundo Orden (P-Delta) y Dinámico (Análisis Sísmico).

Adicionalmente RAM Advanse le permite diseñar estructuras de acero (tanto para perfiles laminados en caliente como para doblados en frío), madera (madera aserrada o madera encolada) y hormigón armado, bajo las normas AISC, BS, AISI, NDS y ACI respectivamente.

El diseño de zapatas aisladas o combinadas de hormigón armado también se encuentra disponible, además del diseño de vigas, columnas de hormigón armado, muros de contención (de mampostería u hormigón), junto con un módulo específico para el diseño de vigas continuas, además de los módulos de muros basculantes, de corte, de mampostería o cerchas. Adicionalmente RAM Advanse puede trabajar con RAM Connection, que es una herramienta poderosa que permite un diseño rápido de conexiones de acero dentro o fuera de RAM Advanse, Staad.Pro, RAM Structural System y ProSteel(SDNF).

## 12. UNIONES

### 12.1. Tipos de Uniones

Las uniones más comunes en la madera estructural son las hechas con adhesivos y las metálicas. Las primeras se consideran rígidas, debido a que generalmente la madera es más débil que la conexión (por ejemplo, la tensión perpendicular al grano es menor en la madera que en el adhesivo, por lo que la falla se dará en la madera) aunque depende del tipo de carga.

Las uniones mecánicas más comunes son:

Clavos

Tornillos

Pernos

Placas de acero

Placas multiclavos



### 12.2. Clavos

Son los conectores más comunes para componentes como diafragmas, muros de corte y armaduras. Son producidos en diversas formas y materiales.

Algunas formas son las de sección redonda, cuadrada, deformada, helicoidal y anular. Los tamaños varían de 2.8 a 8mm de diámetro y de 40 a 200mm de longitud.

Pueden ser instalados mediante equipos neumáticos o con martillo. A veces es necesario pretaladrar antes de instalar el clavo para evitar rajaduras o por la densidad de madera. En estos casos el diámetro no debe de ser mayor que 80% del diámetro del clavo.

Las ventajas del pretaladrado son:

- La capacidad lateral de la junta se incrementa
- Los espaciamientos mínimos pueden ser reducidos obteniéndose una junta más compacta
- Se reduce el deslizamiento del clavo
- Sin embargo el pretaladrado es costoso y el área del miembro se reduce

#### Consideraciones

Los clavos pueden transmitir tanto carga axial (extracción)

Son más efectivos cuando se usan a los lados de los miembros que en los extremos

Tienen mayor capacidad de carga lateral que ante extracción

La resistencia a la extracción en el extremo de un miembro es prácticamente nula

Para incrementar la capacidad a la extracción se usan clavos helicoidales o anulares

La mayoría de condiciones que afectan a los clavos son muy similares en el caso de "las grapas"

Existen engrapadoras neumáticas portátiles

### 12.3. Tornillos:

Existen los tornillos comunes y los "tirafondo": los comunes tienen la cabeza plana o redonda, mientras que los tirafondo en forma de tuerca. Los de cabeza plana se prefieren por apariencia o estética y los de redonda aumentan la capacidad de aplastamiento.

Las partes de un tornillo son:

- cabeza
- tallo
- rosca
- raíz

Generalmente el diámetro de la raíz es 2/3 el diámetro del tallo. Para tornillos de diámetro mayor de 5mm se requiere pretaladrar la madera 70% para coníferas y 80% para latifoliadas. Los diámetros de los tornillos varían de 2.8 a 9.5mm, las longitudes de 12 a 75mm. Los tirafondo los diámetros tienen 5 a 25mm y 25 a 40mm de longitud. Los tornillos tienen la misma función que los clavos, pero son mucho más resistentes ante cargas de extracción. Los tornillos tirafondo se utilizan particularmente cuando es difícil enroscar un perno o cuando una tuerca en la superficie del miembro es objetable. La longitud de la parte con la rosca es aproximadamente 60% de la longitud del tornillo. Los agujeros pretaladrados para tornillos tirafondo deben ser igual al diámetro del tallo a lo largo de la longitud sin rosca.

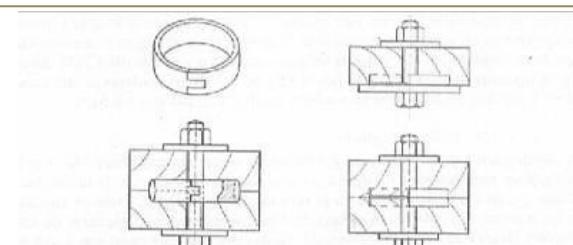


Figura 5-4. Anillos partidos (izquierda) y placas (derecha) conectores [3].

los y las placas se forman de aleación de aluminio, hierro o acero con diámetro de 60 a 260 mm. La precisión en el pretaladrado y la ranura es esencial para el funcionamiento de estos tipos de conectores.

po es la placa con "dientes" ("toothed plates") la cual varía de 38 a 165 mm. Los anillos y las placas con "dientes" se usan de forma sencilla para transferir la carga directamente entre las superficies de los miembros. Estas uniones se ensamblan usualmente en el sitio. Por otro lado, las placas con "dientes simples" se usan para uniones acero-madera o madera-madera. Ellas se prefabrican y sólo los pernos se instalan en el sitio. En estos conectores la fuerza se transmite por el perno en cortante causado por el área aplastada de las placas del conector.

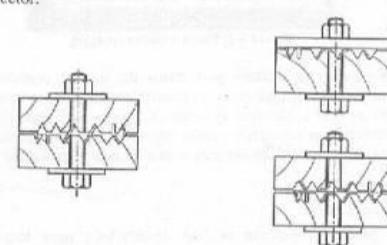


Figura 5-5. Conexiones de placa con "dientes" similar al anillo conector [3].

En la longitud con rosca varia de

- 45 a 70% del diámetro del tallo en maderas de baja densidad ( $G_0 \leq 0.5$ )
- 60 a 75% en maderas de densidad moderada ( $G_0 \leq 0.6$ )
- 65 a 85% en maderas de alta densidad ( $G_0 \geq 0.6$ )

## 12.4. Pernos y clavijas (pines)

Las clavijas son barras cilíndricas y esbeltas de acero con superficie lisa. Los agujeros pretaladrados no deben ser mayores que el diámetro de la clavija

Los pernos son clavijas con cabeza y tuerca en el otro extremo con rosca, ellos se ajustan de manera que los miembros queden bien unidos, si fuera necesario, debe ajustarse de nuevo cuando la madera alcance el  $CH_e$ . Generalmente, los agujeros de los pernos son 1mm mayores que el diámetro del perno. Las arandelas deben tener un diámetro 3 veces mayor que el del perno y un espesor de 30% el diámetro del perno.

Los pernos y clavijas se utilizan para transmitir fuerzas considerables axiales y de cortante o una combinación de ambas. Los diámetros de los pernos varían de 12 a 30 mm. Generalmente los pernos y clavijas se usan en 2 o múltiples planos de corte. Para asegurar su rendimiento, se requieren ciertos espesores mínimos de la madera unida. Para miembros externos, el espesor debe ser mayor que 30mm y para miembros internos, mayor que 40mm.

## 12.5. Placas conectadoras

Se han desarrollado varios tipos de placas conectadoras para incrementar el área de aplastamiento de la madera utilizando anillos o placas alrededor de los pernos que mantienen dos miembros unidos. Los conectores transmiten la mayoría de los esfuerzos de unión, mientras que los pernos impiden el desplazamiento lateral ademas de contribuir con la transmisión de la carga.

Los anillos y las placas se forman de aleación de aluminio, hierro o acero, con diámetros que varían de 60 a 260 mm. La precisión en el pretaladrado y la ranura es esencial para el funcionamiento de estos tipos de conectores

Otro tipo es la placa con "dientes" ("thoothed plates") la cual varía de 38 a 165 mm en diámetro. Los anillos y las placas con dientes, se usan de forma similar ya que ambas transfieren la carga directamente entre las superficies de los miembros en contacto. Estas uniones se ensamblan usualmente en el sitio. Por otro lado, las placas de corte y las placas con "dientes simples" se usan para uniones acero-madera o madera-madera. Se prefabrican y solo los pernos se instalan en el sitio. En estos conectores, la carga se transmite por el perno en cortante causado por el área aplastada de las placas centrales del conector.

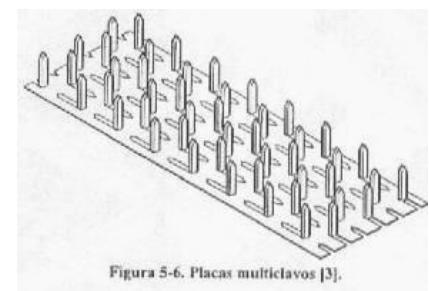
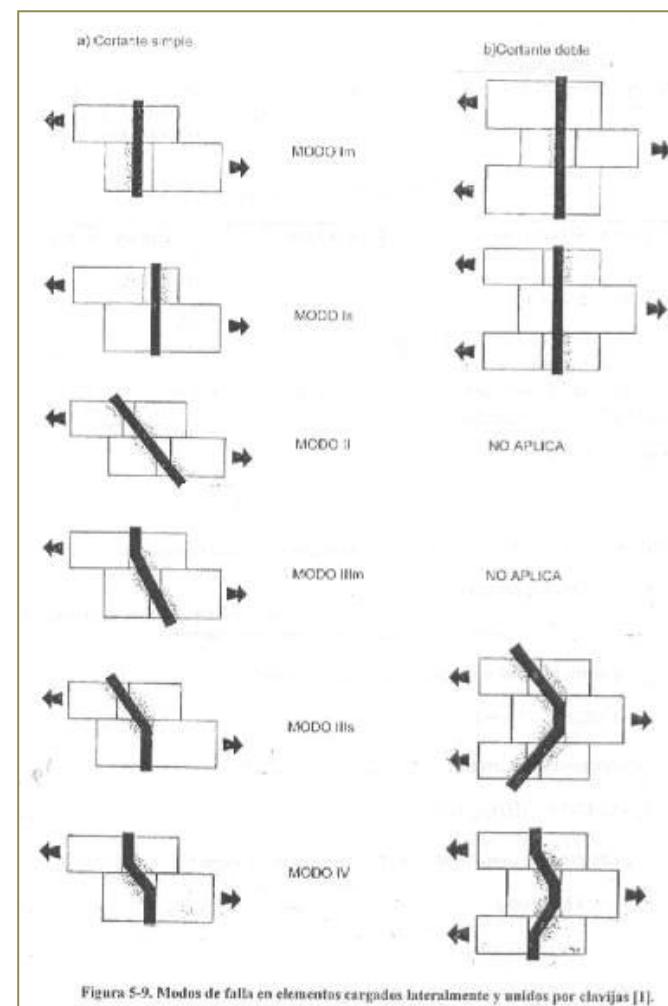


Figura 5-6. Placas multiclavos [3].

## 12.6. Placas multiclavos

Las placas multiclavos son conectores hechos de acero galvanizado, las cuales tienen proyecciones integrales dobladas en dirección perpendicular a la base de la placa. Se utilizan para unir dos o más piezas de madera del mismo espesor en mismo plano. Los espesores de las placas varían de 0.9 a 2.5 mm. Estos conectores son comúnmente usados en armaduras (cerchas livianas) y conexiones entre miembros en el mismo plano. Varias formas de placa multiclavos han sido desarrolladas con variedad de arreglos, longitudes y formas de clavo.



## 12.7. Teoría de uniones

Anteriormente los esfuerzos de trabajo para las uniones mecánicas se determinaba empíricamente con pruebas de laboratorio. Debido a la cantidad de posibilidades que se pueden presentar en la práctica, este método es ineficiente. Actualmente existen técnicas para calcular la capacidad de estas conexiones conociendo las propiedades del material y la geometría de la unión

Las ecuaciones fueron desarrolladas por Johanssen en 1949 y se ha corroborado mediante pruebas de laboratorio.

Figura 5-9. Modos de falla en elementos cargados lateralmente y unidos por clavijas [1].

## Propiedades del material

La propiedad más importante es el esfuerzo de aplastamiento  $F_e$ , el cual se obtiene mediante la siguiente fórmula

$$F_e = \frac{F_{\max}}{Dt}, \text{ donde}$$

$D$ = diámetro de la clavija  $t$ = espesor de la madera

Otra propiedad importante es el momento plástico  $M_{yb}$  de la sección de la clavija o del esfuerzo en flexión  $F_{yb}$ , para secciones circulares:

$$F_{yb} = \frac{6M_{yb}}{D^3}$$

$D$  = es el diámetro de la sección circular

## Las ecuaciones de Johanssen y los modos de falla

Para la derivación de Johanssen, la clavija y la madera se idealizan como materiales completamente plásticos. Esta suposición simplifica el análisis y la diferencia es pequeña en cuanto al resultado final.

## Uniones con clavos



De acuerdo con los modos de falla presentados anteriormente, debe calcularse el menor de los valores ( $Z_{min}$ ) dados en las ecuaciones. Adicionalmente, este valor debe amplificarse por un factor 3.3 y reducirse por el factor de reducción

dado en la siguiente  
Se debe cumplir que

$$Z_u \leq \lambda \phi_z Z'$$

Donde  $\phi_z = 0.65$  y  $Z'$  es el valor de  $Z$  modificado por los factores aplicables

### Esfuerzo de aplastamiento:

Es conveniente obtener el esfuerzo de aplastamiento mediante pruebas experimentales, si no es posible, se puede calcularlo mediante las siguientes fórmulas.

### Esfuerzo de fluencia $F_{yb}$ :

El esfuerzo de fluencia también es conveniente obtenerlo mediante pruebas experimentales y varía de acuerdo con el tamaño del clavo. Para clavos con un esfuerzo de fluencia del acero  $F_y=6120$  Kg/cm<sup>3</sup> El Eurocódigo 5 recomienda:

$$F_{yb} = 1080D^{-0.4} \text{ [MPa]}$$

Para clavos cuadrados:

$$F_{yb} = 1620b^{-0.4} \text{ [MPa]}$$

Donde  $D$  es el diámetro en mm. y  $b$  el lado en mm.

En el NDS 2005 se utilizan los siguientes valores de  $F_{yb}$  para clavos

Tabla 5-1. Factor de reducción  $R_d$  para  $Z$  (adaptada de la referencia 1).

Tamaño del conector	Modo de falla	Reducción ( $R_d$ )
$D \leq 4.3$ mm		2.2
$4.3 \text{ mm} < D < 6.4$ mm		$0.38D + 0.56$
$6.4 \text{ mm} \leq D \leq 25.4$ mm	I <sub>m</sub> , I <sub>s</sub>	$4K_\theta$
	II	$3.6K_\theta$
	III <sub>m</sub> , III <sub>s</sub> , IV	$3.2K_\theta$

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta / 90)$$

$\theta$  = ángulo máximo entre la fuerza y dirección del grano ( $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ )

$D$  = diámetro del conector en mm.

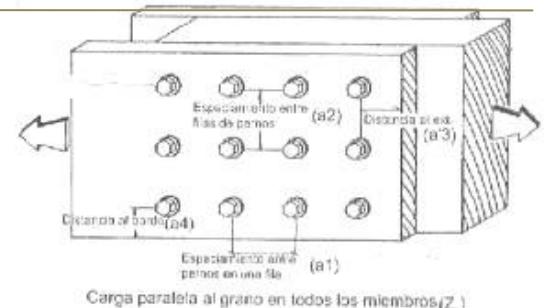
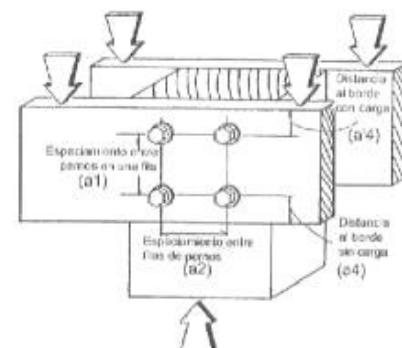


Figura 5-10. Espaciamientos entre conectores con carga paralela al grano en todos los miembros [1].



Carga perpendicular al grano en el miembro único y carga paralela al grano en el miembro principal ( $Z_u$ )

Figura 5-11. Espaciamientos para conectores con carga paralela al grano en el miembro principal y perpendicular al grano en el miembro unido [1].

$a_1$ : distancia entre clavijas paralela al grano.

$a_2$ : distancia entre clavijas perpendicular al grano.

$a_3$ : distancia al extremo.

$a_4$ : distancia al extremo cargado (compresión).

$a_4'$ : distancia al borde.

$a_4''$ : distancia al borde cargado (compresión).

Tabla 5-2. Esfuerzo de fluencia de flexión en clavos [1].

Diámetro del clavo	$F_{yb}$ [MPa]
$2.5 \text{ mm} \leq D \leq 3.6 \text{ mm}$	690
$3.6 \text{ mm} < D \leq 4.5 \text{ mm}$	620
$4.5 \text{ mm} < D \leq 6.0 \text{ mm}$	550
$6.0 \text{ mm} < D \leq 6.9 \text{ mm}$	480

## Especificaciones para diseño de clavos

Los agujeros pretaladrados no deben exceder:

0.90 para  $G0 > 0.60$  y 0.75D para  $G0 \leq 0.60$

Profundidad de penetración p: p debe ser mayor o igual que 10D

Z se debe modificar por el factor Cd si  $6D \leq p \leq 10D$  para lo cual  $Cd = p/10D$  y si  $p \geq 10D$  entonces  $Cd = 1.0$

Para clavos en la cara extrema (cabeza) del miembro Z, se debe multiplicar por el factor Ceg=0.67

Para clavos lanceros ("toe nail") Z se debe multiplicar por el factor Ctn=0.83

Para clavos utilizados en diafragmas, Z se debe multiplicar por el factor de diafragma Cdi=1.1

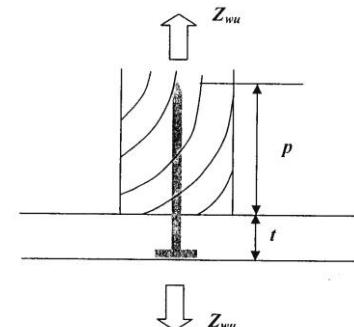


Figura 5-13. Parámetros para la resistencia a la extracción de clavos.

Clavos cargados axialmente:

La resistencia de los clavos cargados axialmente es relativamente pequeña y se obtiene cuando el clavo es introducido a los lados de la pieza. La resistencia axial se considera nula cuando los clavos son cargados axialmente en la cara del miembro. Los clavos helicoidales y anulares tienen mayor resistencia ante carga axial que los comunes y son menos afectados por los cambios de humedad

Pueden ocurrir 3 modos de falla:

Falla el clavo con tensión (casi nunca ocurre)

El clavo es extraído con el miembro unido

El miembro unido atraviesa la cabeza del clavo (no ocurre cuando la cabeza del clavo es dos veces mayor que el diámetro del clavo)

## Uniones con pernos



### Resistencia lateral

Al igual que las uniones con clavos se debe cumplir que:

$$Z_u \leq \lambda \theta Z'$$

Para este caso se calcula el valor mínimo de ( $Z_{min}$ ) de los modos de falla de las ecuaciones anteriores y se

aplica el factor de reducción  $R_d$  para ajustar el valor para incluir los efectos de la inclinación del grano. Adicionalmente hay que agregar factor 3.3

### Esfuerzo de aplastamiento:

Para el caso de los pernos existe una diferencia significativa entre el esfuerzo de aplastamiento paralelo y perpendicular al grano. El esfuerzo de aplastamiento se puede calcular ecuaciones empíricas cuando no se haya obtenido mediante ensayos:

Tabla 5-5. Espaciamientos mínimos en uniones con pernos [5].

Espaciamiento	Requisito	Notas
$a_1$	$(4+3 \cos\theta )D$	Paralelo al grano
$a_2$	$4D$	Perpendicular al grano
$a_3'$	$7D$	$\geq 80 \text{ mm}$
$a_3$	$4D$	$60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$
$a_4'$	$(1+6 \sin\theta )D$	$\geq 4D (0^\circ < \theta < 60^\circ) \text{ o } (120^\circ < \theta < 180^\circ)$
$a_4$	$(2+2 \sin\theta )D$	$\geq 3D$
	$3D$	

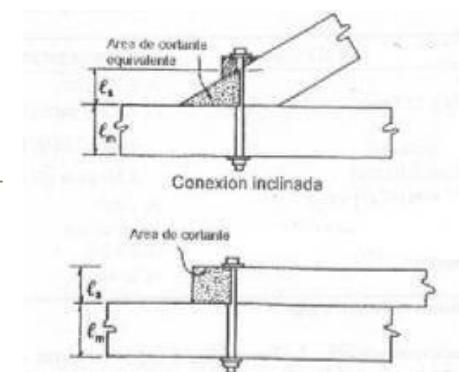


Figura 5-14. Área de cortante para uniones con pernos [1].

### Factores geométricos

Si el espacioamiento al extremo es igual o mayor que el especificado en la tabla 5-4 entonces  $C\Delta = 1.0$

Para las distancias  $a_3$  y  $a_3'$  si el valor es menor que el especificado en la tabla 5-4 pero mayor que el mínimo.  $C\Delta = \text{área de cortante} / \text{área de constante mínima}$

mínima para  $C\Delta = 1.0$

Para carga inclinada con respecto al perno. El área de cortante mínima corresponde a la mitad de cortante para  $C\Delta = 1.0$

### Pernos múltiples

En las conexiones empernadas, la carga no se distribuye uniformemente entre los pernos individuales.

Tabla 5-4. Espaciamientos mínimos en uniones con pernos [1].

Carga paralela al grano	Carga perpendicular al grano
$a_1 \geq 4D$	$a_1 \leq 127 \text{ mm}$
$a_2 \geq 1.5D \leq 127 \text{ mm}$	$a_2 \geq 2.5D \text{ para } (I/D) \leq 2 \text{ o } \geq (5I+10D)/8 \text{ para } 2 < I/D < 6$
$a_3 \geq 4D$	$\geq 5D \text{ para } (I/D) \geq 6$
$a_3' \geq 7D \text{ (coníferas)}$	
$a_3' \geq 5D \text{ (latifoliadas)}$	
$a_4 \geq 1.5D \text{ para } (I/D) \leq 6 \text{ o } \geq 1.5D \text{ o } 0.5 a_2 \text{ para } (I/D) > 6$	$a_3 \geq 4D$
$a_4' \text{ no aplica}$	$a_3' \text{ no aplica}$
	$a_4 \geq 1.5D$
	$a_4' \geq 4D$

Nota:  $I$  es el menor entre  $I_m/D$  o  $I_s/D$

Los espaciamientos mínimos del Eurocódigo 5 [5] se muestran en la Tabla 5-5. Estos espaciamientos incluyen el ángulo entre la dirección de la carga y el grano.

El Eurocódigo 5 asume que después de 6 pernos en línea, cada perno extra tomará 2/3 de la carga máxima que puede tomar. Para n pernos en línea, el número efectivo de pernos es:

$$n_{ef} = n + \frac{2}{3}(n - 6)$$

El NDS 2005 propone un método más complicado, se basa en calcular un factor  $C_g$  y debe hacerse en una hoja de cálculo

### Resistencia axial

Para la resistencia axial de los pernos, debe verificarse que el perno no falle por tensión de aplastamiento bajo la arandela otro dispositivo de fijación.

La resistencia axial de los pernos se calcula con la misma ecuación que para los clavos

Resistencia al aplastamiento con la formula anteriormente dada

Carga axial y lateral con la misma que para los clavos ecuación

$$\frac{Z_u \cos \alpha}{\lambda \phi_z Z'} + \frac{Z_u \operatorname{sen} \alpha}{\lambda \phi_z Z_w} \leq 1.0$$

### Uniones con tornillos

#### Resistencia lateral

En principio un tornillo del mismo diámetro que un clavo, tendrá una capacidad menor ante carga lateral debido a que el tornillo tiene un momento de fluencia inferior en la parte con rosca. Para diámetros menores que 8mm (tornillos comunes) se aplica la misma teoría que la de los clavos utilizando el diámetro de la raíz  $D_r$  en vez de D, mientras que para diámetros mayores que 8 mm (tornillo tira fondo) se aplica la teoría de los pernos. Lo anterior es debido a que no hay diferencia entre la capacidad lateral si la carga es perpendicular o paralela al grano en diámetros pequeños

#### Carga axial

Los tornillos son sumamente efectivos ante cargas axiales o de extracción. Su capacidad se determina mediante pruebas de laboratorio. También hay relaciones empíricas(NDS 2005)

### Especificaciones para tornillo tira fondo

Los agujeros para el tallo deben tener el mismo diámetro del tallo y la longitud sin rosca del tallo. Los agujeros para la parte con rosca deben ser de 65 a 85% del diámetro del tallo cuando  $G_0 > 0.6$ , 60 a 75% cuando  $0.5 < G_0 \leq 0.6$  y de 40 a 70% cuando  $G_0 \leq 0.5$ . La longitud de estos agujeros debe ser por lo menos la longitud de la parte con rosca.

No se requiere agujeros para diámetros menores o iguales que 9.5mm. Si  $G_0 \leq 0.5$  y la carga principal es de extracción

La penetración mínima del tornillo en el miembro debe ser 4D. Los espaciamientos mínimos son los de la tabla

Cuando se carga axialmente de la cara extrema se debe usar factor  $C_{eg} = 0.75$

### Especificaciones para diseño de tornillos

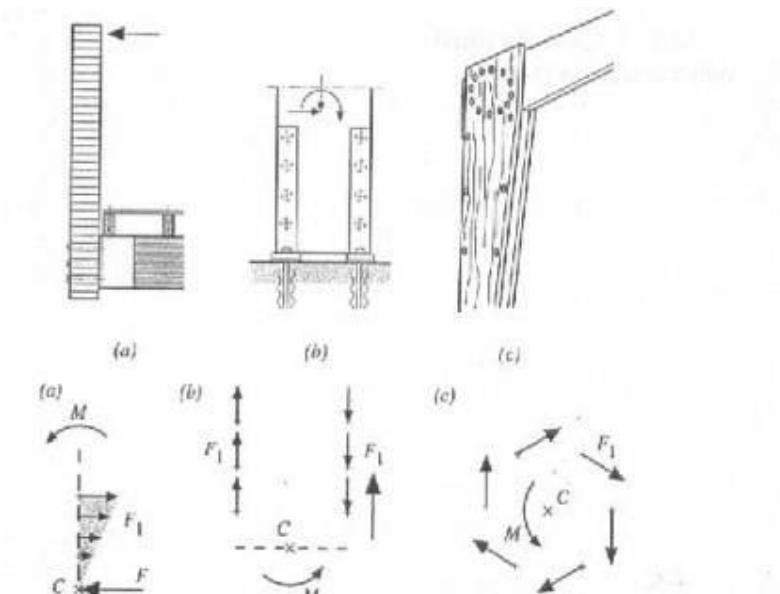
Para tornillos cargados axialmente, los agujeros deben ser aproximadamente 90% del diámetro de la raíz del tornillo para  $G_0 \leq 0.6$  y 70% para  $0.5 < G_0 \leq 0.5$  no se necesitan agujeros pretaladrados

Para tornillos cargados lateralmente cuando  $G_0 > 0.6$ , los agujeros mencionados anteriormente se reducen a 7/8 de ese valor.

La penetración mínima del tornillo en miembro principal debe ser 6D

Los espaciamientos mínimos son los mismos que los que se especifican para clavos

No deben utilizarse n la cara extrema de un elemento



Diferentes configuraciones de uniones momento-resistentes con sus respectivos diagramas de fuerzas [3].

### 12.8. Uniones momento resistentes

En estructuras de madera las uniones se diseñan para transmitir las fuerzas a través de los conectores en la dirección de la carga. Generalmente, estas uniones se consideran articulaciones debido a la concentración de conectores en un área pequeña la cual limita el brazo de palanca.

Sin embargo el desarrollo de la madera laminada y otros materiales derivados ofrecen otras posibilidades.

Las uniones momento resistentes pueden tener tres tipos de configuración. En estos casos, dependiendo del centro de rotación C, las fuerzas de extracción  $Z_w$  o laterales  $Z$  equilibran el momento aplicado. En el ultimo caso de la figura, los



conectores se diseñan para transmitir las fuerzas y el momento obtenido mediante análisis estructural. Para el cálculo de estas uniones, el análisis global de la estructura y local de la unión debe tomarse en cuenta. La rigidez de la unión puede afectar la distribución de esfuerzos y deformaciones.

### Influencia estructural de las uniones momento resistente

Generalmente las uniones entre miembros se asumen totalmente rígidas o articuladas. Como los esfuerzos de aplastamiento producen grandes deformaciones, se debe incluir en el modelo la rigidez de la unión.

### Comportamiento local de la unión:

El comportamiento de la unión depende del módulo de deslizamiento de los conectores en la dirección de la carga así como de la geometría de unión.

Existen dos tipos de uniones:

Miembros paralelos y miembros perpendiculares.

Si se considera que los miembros son rígidos, la rotación de la unión depende del desplazamiento rotacional de los conectores

González Beltrán, Guillermo. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Civil Departamento de estructuras y geotecnia "Diseño de estructuras de Madera" abril 2008

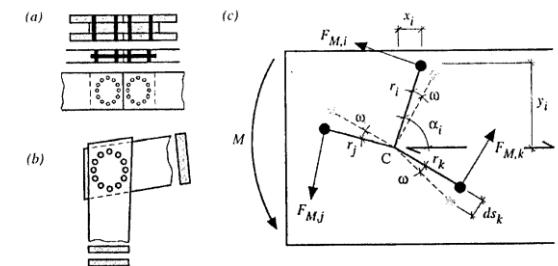


Figura 5-18. Tipos de uniones momento-resistentes.

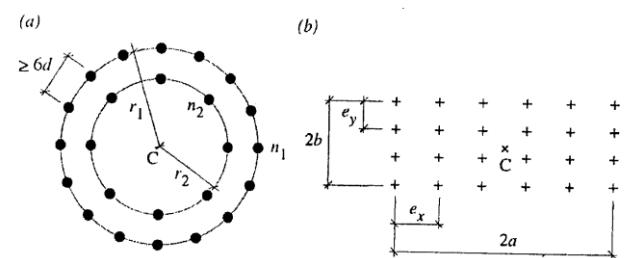


Figura 5-19. Ejemplos de configuraciones de uniones momento-resistentes.



## 13. PROTECCIÓN PREVENTIVA DE LA MADERA

### 13.1. Agentes atmosféricos degradadores de la madera

#### -Temperatura

La temperatura puede tener efectos, reversibles e irreversibles en madera. En general las propiedades mecánicas de la madera disminuyen al calentarse y aumentan al enfriarse. A un CH constante y temperatura por debajo de 150°C las propiedades mecánicas varían linealmente con la temperatura aproximada.

Los efectos irreversibles causados por la temperatura se deben a la degradación de la madera lo que resulta en pérdida de peso y resistencia. Esta última depende de CH medio, calentamiento, temperatura, tiempo de exposición, especie y tamaño de la pieza.

-Radiación (Luz UV) decoloración por cambios en la molécula de lignina

-Humedad (Lluvia, vapor) inestabilidad dimensional, tensiones, produce hongos que atraen insectos

-Roce o viento

-Calor Acelera las reacciones

### 13.2. Agentes biológicos- degradadores de la madera

#### Termitas o comejenes

Son similares a las hormigas en tamaño, apariencia y hábito de vivir en colonias. Se clasifican en subterráneas y de madera seca. En USA las subterráneas son las más dañinas.



Estas necesitan cierta humedad. En Costa Rica la aparición de "hormigas voladoras", conocida como "abuelitas" es indicación de que una colonia de hormigas subterráneas puede estar cerca y causando daños serios. Generalmente entran desde el suelo después de que la estructura ha sido construida.

La presencia de estos insectos puede ser identificada por túneles que parecen tubos de tierra que ellas construyen para alcanzar la madera., estas termitas hacen galerías en la madera paralelas al grano que casi nunca se ven en la superficie, es conveniente hacer una prueba insertando un cuchillo si se tiene sospechas. Las precauciones en general también son efectivas contra la degradación. Las termitas de madera seca o se multiplican tan rápido, sin embargo el hecho de que vivan en madera sin humedad las convierte en una seria amenaza en los que están presentes.

Escarabajos (polilla o barrenillos) Los más comunes que atacan la madera son los que dejan polvo. En Costa Rica se conocen como polillas o barrenillos, pertenecen la género Lyctus Bostrichidae y Anobiidae Algunos atacan tanto coníferas como latifoliadas y tanto verdes como secas. El daño se puede identificar por los orificios hechos en la superficie de la madera, por lo adultos alados cuando emergen y el polvo fino cae de la madera

Hormigas Carpinteras Son blancas, negras o cafés. Se reconocen por su tamaño, que es mucho mayor al de otras hormigas. Estas usan la madera más como para protección que para comida, prefiere la madera suave o la degradada. Las precauciones son generalmente similares a las efectivas contra las termitas.

Taladradores Marinos Madera que se expone al contacto con agua marina y en la desembocadura de los ríos en aguas salobres (muelles, atracaderos, tajamares, pilotes etc.) puede ser atacada por moluscos y crustáceos. Entre los moluscos vermiformes (forma de gusano) están los remedos representados por los Teredo y Bankia. Pocas especies son resistentes a los teredos. Otros Moluscos destructores son los Foladinos representados por el género Martesia, los cuales son bivalvos que parecen pequeñas almejas. Los crustáceos son organismos que producen grandes daños en la madera que se encuentra en contacto con el agua de mar se conoce por el nombre común de "broma de mar" y están representados por la Limnoria

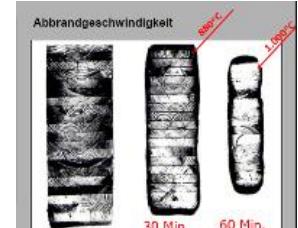
### 13.3. Agentes externos –degradadores de la madera

#### Fuego

Las estadísticas demuestran que la mayoría de los incendios se inician en elementos combustibles contenidos en la construcción siniestrada (muebles, alfombras, cortinas, papeles, sustancias inflamables, etc.), o por corto circuitos. Una vez iniciado el incendio tiene importancia relativa si algún elemento es poco o muy inflamable. Lo que sí tiene importancia es la existencia de elementos de construcción que al quemarse despidan gases tóxicos.<sup>13</sup>



La madera, si bien es combustible, no es inflamable.<sup>13</sup> Debido a su estructura celular y muy baja conductividad del calor resiste el desarrollo del fuego; la posibilidad de que arda depende de su distancia al foco de fuego y de que sea alcanzada directamente por las llamas. No ocurre lo mismo con el hierro, el cual por efecto del calor colapsa. Otro tanto sucede con el hormigón superados los 500°C de temperatura. Por ejemplo, en una construcción de paredes de mampostería y techo de madera éste arderá por lo general recién cuando todo el local esté en llamas. La estructura de madera, al encenderse, pierde de medio a un milímetro por minuto de



espesor o altura, dependiendo del tipo de madera, por carbonización de las caras expuestas al fuego. Solo basta recordar lo que dura un leño en carbonizarse en una fogata. El calor comienza a evaporar la humedad intercelular de la madera y, mientras ello ocurre, aumenta la resistencia de la misma, contribuyendo a compensar la reducción de la sección. Este proceso de carbonización genera además cenizas que retardan la acción del fuego. Cuando la temperatura alcanza los 400 a 500°C la madera arde, sin dejar de carbonizarse. Es común que al concluir el incendio la estructura de madera carbonizada quede en pie, debiendo ser demolida por los bomberos. Estos conocen muy bien el proceso de un incendio, y sólo en circunstancias extremas se exponen a permanecer bajo estructuras de hierro u hormigón mientras combaten el incendio.

Otro aspecto a considerar es que la madera posee un coeficiente de dilatación térmica muy bajo (0,000004 mm/°C), por lo que los empujes por calentamiento en apoyos y empotramientos son mínimos, evitándose los colapsos por esta razón.

También existen agentes ignífugos de distinto tipo (por acción superficial; por intumescencia; por evaporación de agua; por interferencia de la combustión), que no representan problemas para la salud ni emiten gases tóxicos durante el siniestro. La madera tratada con retardantes de fuego puede soportar cargas de diseño por un largo periodo de tiempo, permitiendo el abandono de los ocupantes y brindando un tiempo adicional para combatir el incendio. Los químicos impregnados reaccionan a temperaturas ligeramente por debajo del punto de ignición de la madera, emitiendo vapores no combustibles y produciendo un carbón sobre la superficie de la madera que sirve de aislante. Este carbón inhibe la ignición y reduce la expansión de las llamas, la cantidad de humo y los vapores tóxicos que son emitidos por el fuego (ASTM-D 2898).

Fournier Zepeda Rolando, Perspectivas del mercado de la construcción para la madera de reforestación.

### Compuestos químicos

Las soluciones químicas afectan las propiedades mecánicas, dependiendo del tipo de químico. Los líquidos no expansibles como el petróleo tienen un efecto apreciable. Las propiedades disminuyen con el agua, el alcohol y otros líquidos orgánicos que expanden la madera aunque no la degraden químicamente.

La perdida de las propiedades se recupera cuando se remueve el líquido que causa la expansión. Las soluciones que descomponen la madera por Hidrólisis u Oxidación, tiene un efecto permanente en su resistencia.

#### Resumen:

Algunas especies son muy resistentes al ataque de minerales diluidos y ácidos orgánicos.

Los ácidos oxidantes como el ácido nítrico degradan más la madera que los ácidos no oxidantes.

Las soluciones alcalinas son más destructivas que las ácidas.

Las maderas latifoliadas son más susceptibles al ataque de ácidos y alcalinos que las coníferas.

El duramen es menos susceptible al ataque de ácidos y alcalinos que la albura.

### 13.4. Clases de riesgo

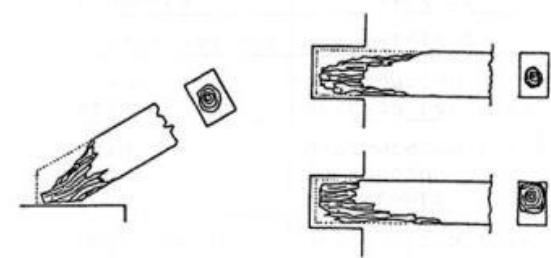
Tomado de artículo-Protección Preventiva Francisco Arriaga 2001

Tabla 1. Tabla Clases de Riesgo y Tratamientos (de la Norma UNE EN 33)

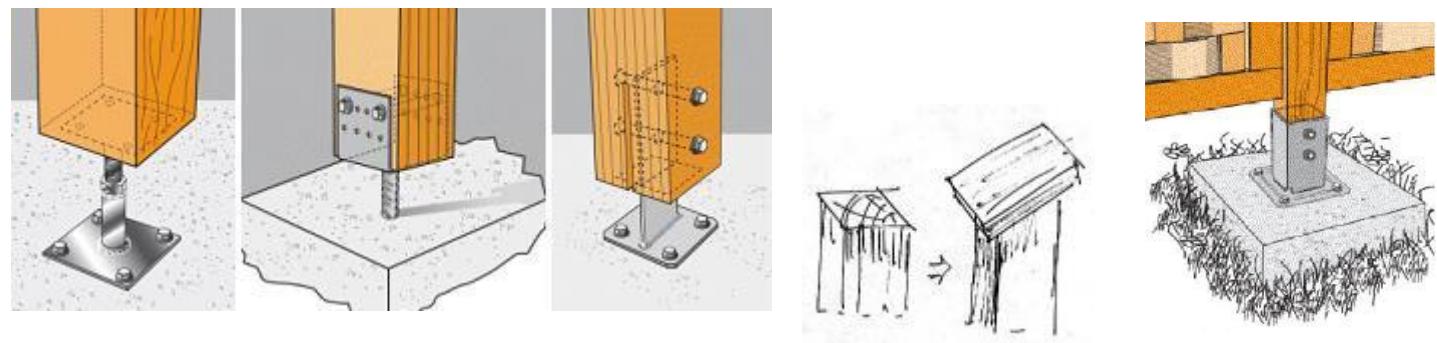
CLASE DE RIESGO	Exposición humidificación	TIPO DE PROTECCIÓN	PRODUCTO	CANTIDAD	MÉTODO DE APLICACIÓN
TRATAMIENTO					
1 Sin contacto con el suelo Bajo cubierta.	NINGUNA	No necesaria	-	-	-
		Recomendable Superficial	Orgánicos Hidrodispersables Productos mixtos - Hidrosolubles	80-120 ml/m <sup>2</sup> 80-120 ml/m <sup>2</sup> 50 gr/m <sup>2</sup> 3,5 kg/m <sup>3</sup>	
2 Sin contacto con el suelo Bajo cubierta	OCASIONAL	Superficial			Pincelado Pulverización Inmersión
		Recomendable Media	Orgánicos Hidrodispersables Productos mixtos - Hidrosolubles	250 ml/m <sup>2</sup> 250 ml/m <sup>2</sup> -	Pinc / Pulv / Imm Pinc / Pulv / Imm
3 Sin contacto con el suelo Al exterior	FRECUENTE	Media	Productos mixtos - Hidrosolubles Productos Doble Vacío	3,5-10 Kg/m <sup>3</sup> 5 - 15 Kg/m <sup>3</sup>	Inmers. / Autoc. Autoclave
		Recomendable Profunda Hidrosolubles.	Productos mixtos - Hidrosolubles Productos Doble Vacío	3,5-14 Kg/m <sup>3</sup> 25 Kg/m <sup>3</sup>	Autoclave
4 En contacto con el suelo o con el agua dulce	PERMANENTE	Profunda Creosota	-		
			Productos mixtos - Hidrosolubles	8 - 15 Kg/m <sup>3</sup>	Autoclave
5 En agua salada	PERMANENTE	Profunda Hidrosolubles		8 - 15 Kg/m <sup>3</sup>	Autoclave

### 13.5. Protección por Diseño medidas de tipo constructivo y de saneamiento

Acumulaciones de agua y suciedad: La madera, por la disposición longitudinal de sus vasos, tiene una capacidad de intercambio de sustancias mucho más elevada por sus testas que por ninguno de sus lados y cantos. Así ocurre, por ejemplo, que si dejamos un pilar en contacto directo con el suelo, el agua que se pueda acumular alrededor de su base, es muy fácilmente absorbida por capilaridad con lo cual fomentamos un foco de pudrición bastante importante.

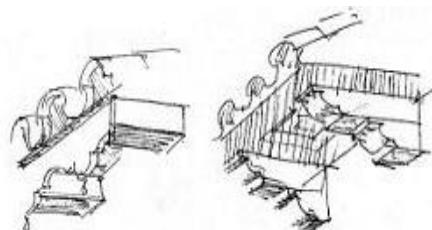


De ahí el procurar elevar todos los apoyos del suelo y proteger las áreas expuestas



Un error bastante común es el de introducir el pilar en una caja que evita el desplazamiento lateral pero que acumula el agua que escurre del pilar. Esta agua es absorbida por testa y comienza una pudrición que se revela cuando ésta sale de la caja y ya es muy peligroso el grado de pudrición.

También en aleros es importante resguardar las testas (o extremos) de los pares del contacto directo con el sol y las inclemencias. Éstos han de sobresalir más de 60 cm para proteger los paramentos verticales.



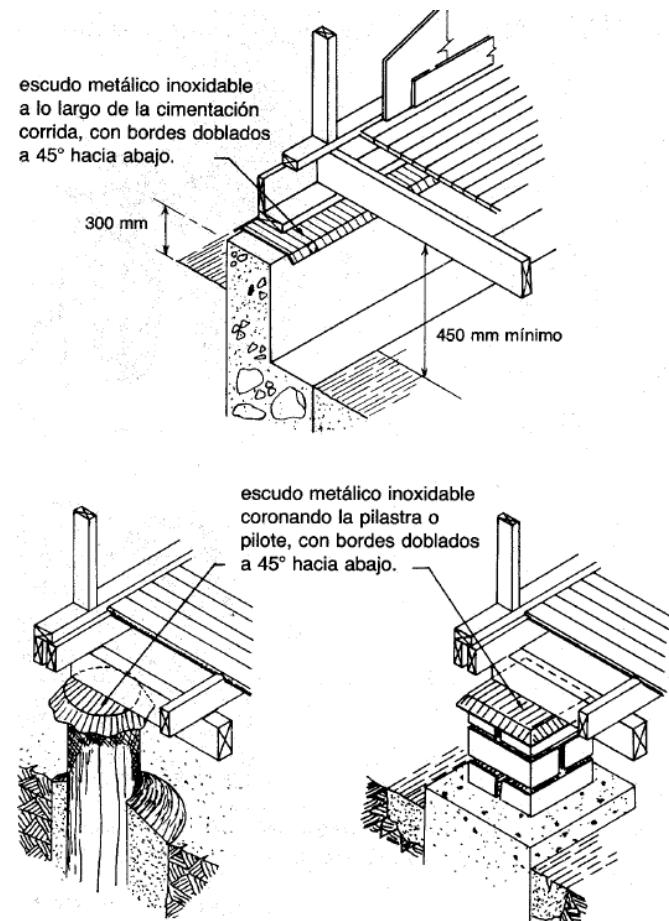
En general cualquier acumulación de agua tarde o temprano es absorbida por la madera si no se evapora o desagua. Por esto es muy importante mantener

todas las uniones bien ventiladas para que las humidificaciones sean ocasionales y en los casos que no sea posible, facilitar con inclinaciones el desagüe de la misma.

También es recomendable alejar la madera del suelo de 30 a 50 cm para evitar las salpicaduras de la lluvia.

Tendremos que ser más meticulosos con todas estas medidas en las zonas más castigadas por el sol, ya que son las que más van a deteriorarse. En las zonas no expuestas al sol, la madera se conserva mejor.

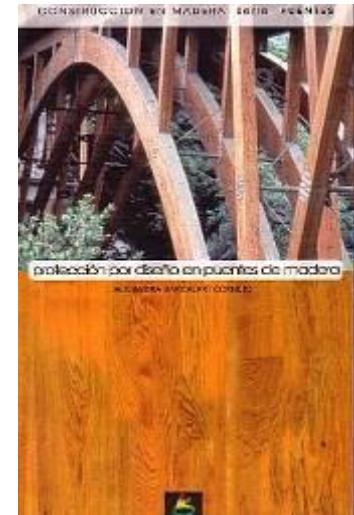
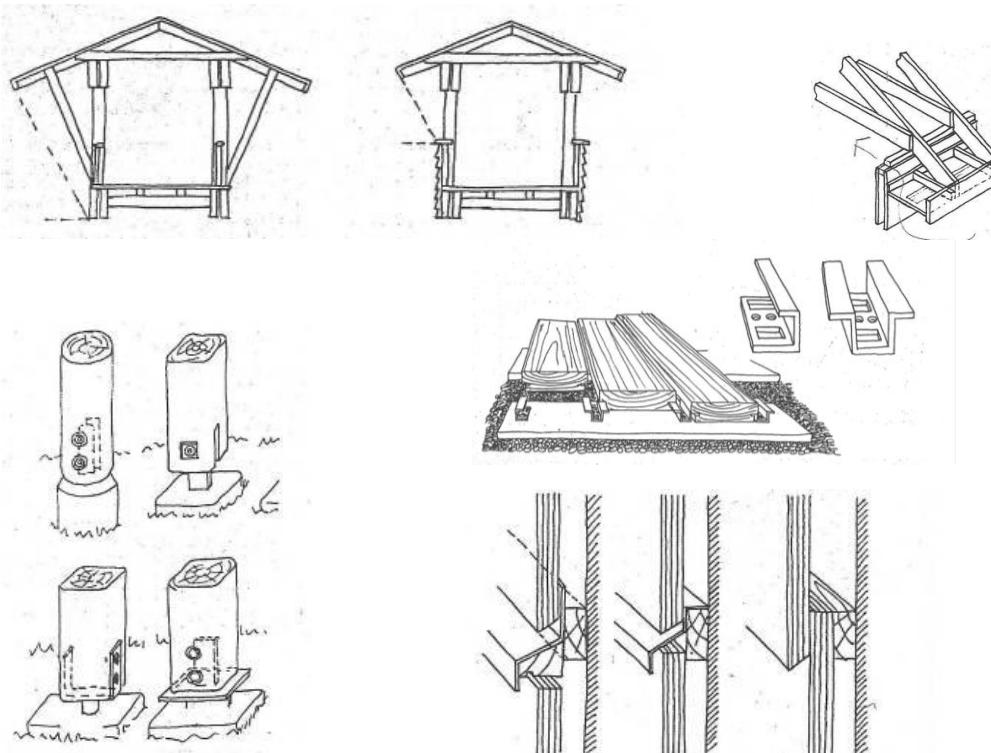
Luego la protección de las fachadas y entarimados con sombras, bien por aleros, árboles, porches, etc. retrasará el deterioro de éstas.



### 13.6. Protección pasiva

Imágenes de detalles constructivos, que proveen protección por diseño o protección pasiva

Grandes aleros, ventilación cruzada, que permita que la madera se seca una vez que se ha humedecido. protección contra la acumulación de agua y humedad en los cimientos, canaletas que recogen el agua en los decks y elementos metálicos que recogen el agua en las paredes tipo sidding



### 13.7. Protección superficial decorativa

#### Soluciones.

- Dependen del agente
- Screen o pantallas que absorban la luz
- (Absorben la luz como la lignina, tienen antioxidantes)
- Repelentes a la humedad
- Roce productos de dureza

#### Productos

##### Filmógenos y no filmógenos

PINTURAS Y BARNICES diferentes cantidades de pigmento, con filmógenos (se transforman de líquido a sólidos haciendo un film)



IMPREGNANTES superficiales, no forman películas, son mas opacos

LASURES son productos híbridos Ej. Xilamon, xiladecon

Bases de los productos: polímeros, aceites, resinas, taninos, mezclas

Considerar el esquema de pintado que recomienda el fabricante (por etapas)

### 13.8. Preservantes de la madera disponibles en Costa Rica

**PRESERVANTES DE MADERA**

Muestra de algunos productos que hay en el mercado para proteger la madera.

Requisitos y Propiedades :

- Alta toxicidad a los organismos destructores.
- Permanencia en la madera tratada esta va en relación con la cantidad de preservante medida en Kg/m<sup>3</sup> depositado en la madera.
- Habilidad para penetrar profundamente. En general se debe especificar albura total o 2 cms de penetración como óptimo.
- No corrosivo a los metales que están en contacto con ella.
- Baja peligrosidad para la elaboración, o trabajar en la planta de tratamiento con personal bien entrenado y profesional.
- Amigables con personas y medio ambiente. Hoy día en Costa Rica está prohibido el uso de creosota, pentaclorofenol, así como preservantes que contengan arsénico y cromo en su formulación.

**Preservadores**

**Tipos:**

- Oleosos - Creosota.
- Oleosolubles - Piretroides.
- Hidrosolubles - CCA.

**Usos:**

- Piezas redondas.
- Piezas de escuadria.

**Clases:**

- Domésticos.
- Profesionales.
- Industriales.
- Curativos difusivos para elementos en servicio

Insecticida piretróide aditivo para madera atacada por insectos

Preservante para madera bajo techo uso en sitio de construcción.

Preservante para madera en exteriores para uso en construcción directamente

Preservantes de uso Industrial

Intensificación del Holmanite CK-10  
Por el bien del ambiente  
Sin arsénico, sin cromo!

### 14. APPLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

Hay pocos lugares del mundo en donde el clima permita que la vida se desarrolle sin la protección de los elementos atmosféricos; una de las principales razones de la existencia de los edificios, es la necesidad de mejores condiciones ambientales" Bumberry 1983



El conocimiento de las estrategias pasivas se tiene desde siglos A.C.  
Cuál es nuestro aporte?

#### 14.1. El desconocimiento de sus características físico-mecánicas.

Nuestros ingenieros, arquitectos y constructores por lo general conocen poco acerca del adecuado manejo, propiedades, comportamiento y ventajas estructurales y decorativas de la madera. A esto se suman prácticas forestales, de procesamiento, secado, preservación, manipulación y almacenamiento inadecuadas, que afectan la calidad de la madera, principalmente la de plantación, desestimulando su uso. Ambas circunstancias propician el fácil expediente de buscar las cualidades deseadas en las maderas del bosque natural, estimulando la deforestación indiscriminada.

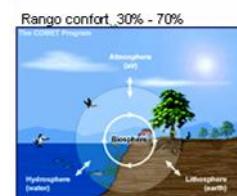
Fournier Zepeda Rolando, Perspectivas del mercado de la construcción para la madera de reforestación.

#### 14.2. Confort Térmico

Estado de satisfacción de la persona con el medio ambiente térmico. Equilibrio dinámico en el intercambio térmico entre el cuerpo y su medio ambiente

##### Variables

- Temperatura de las paredes
- Temperatura del Aire
- Velocidad del Aire
- Humedad Ambiental
- Actividad física
- Vestuario



Humedad relativa



Velocidad del aire

### Causas del gasto energético

Desconocimiento sobre la importancia del aislamiento térmico.

Carencia de una reglamentación en materia del aislamiento térmico, de las edificaciones. A pesar de que en Costa Rica esta sea probablemente necesaria solo en alguna zonas del país

### 14.3. "Mecanismos de transferencia de calor"



#### Conducción:

El calor se moviliza a través del cuerpo sólido por simple interacción molecular.



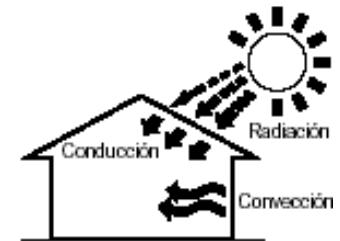
#### Convección

El calor se moviliza entre una superficie y un fluido en movimiento y en contacto



#### Radiación

El calor se transmite mediante ondas electromagnéticas desde la superficie de todos los cuerpos y producto de su estado de temperatura.



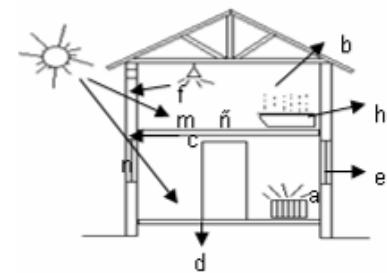
### 14.4. Balance térmico de una vivienda

#### Conductividad térmica de los materiales

Capacidad del material para conducir calor por conducción. Propiedad específica del material que se mide en forma experimental

Los factores que la determinan son:

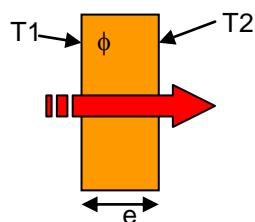
- la humedad
- la temperatura media del material
- la densidad fundamentalmente.



#### Formulas relacionadas con el balance térmico

Valor  $\lambda$  (W/m°C)

$$\phi = \frac{\lambda}{e} (T_2 - T_1) \text{ [watt]}$$



BALANCE:  $\sum \text{GANANCIA} - \sum \text{PERDIDAS} = 0$  ( $T=18^\circ\text{C}$ )

TENDENCIA NATURAL

$\sum \text{GANANCIA} - \sum \text{PERDIDAS} < 0$  (Déficit de invierno)

$\sum \text{GANANCIA} - \sum \text{PERDIDAS} > 0$  (Déficit de verano)

### 14.5. Transmitancia térmica de elementos constructivos

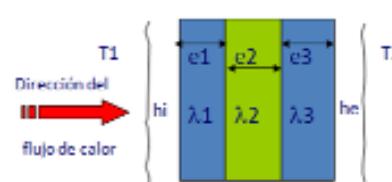
Capacidad del elemento constructivo para transmitir calor entre sus caras.

Propiedad del elemento que constituye su poder aislante.

Determinado por calidad térmica de los materiales, espesores, diseño constructivo y la resistencia térmica de las capas de aire adheridas al elemento ( $1/h_i$  y  $1/h_e$ ).

#### Valor U

Valores U (W/m²°C)	Clasificación
$U \leq 0.5$	Muy buena Aislación térmica
$0.5 < U \leq 1.0$	Buena Aislación térmica
$1.0 < U \leq 1.5$	Aceptable Aislación térmica
$1.5 < U \leq 2.0$	Regular Aislación térmica
$U > 2.0$	Mala Aislación térmica



$$T_1 > T_2$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{h_e}}$$

## Valores de referencia de los valores de conductividad de los materiales

CLASIFICACION	MATERIAL	DENSIDAD ( g / cm <sup>3</sup> )	( W / m °C )
BUENOS AISLANTES (0.024 – 0.12)	Aire quieto a 0°C	0.0012	0.024
	Poliuretano espumas	0.030	0.029
	Aire quieto a 100°C	0.0012	0.031
	Poliestireno expandido	0.018	0.037
	Lana de vidrio	0.080	0.037
	Panel de viruta de madera	0.130	0.043
	Panel de viruta de aglomerada	0.400	0.087
AISLANTES MEDIANOS (0.12 – 0.50)	Pino insignie	0.410	0.113
	Tablero de madera aglomerada	0.600	0.135
	Hormigón liviano	0.70	0.151
	Hormigón liviano	0.72	0.197
	Yeso	0.70	0.255
	Panel de viruta aglomerada	1.10	0.417
MALOS AISLANTES (0.50 – 2.0)	Ladrillo chonchón	1.50	0.464
	Ladrillo hecho a máquina	1.70	0.464
	Plástico vinílico	1.70	0.58
	Aqua ( líquida ) a 0°C	1.00	0.59
	Hormigón corriente	2.30	1.04
CONDUCTORES Mayores 2.0	Vidrio ventana		1.22
	Mortero revestimiento	1.70	1.40
	Hormigón armado	2.40	1.62
HIERRO	Hierro	7.78	58
ALUMINIO	Aluminio	2.70	201
COPRO	Cobre	8.93	385

## Valores de referencia transmitancias térmicas de elementos constructivos (Para 21°C de T° ambiente interior y 5°C T° ambiente exterior)

Muro de hormigón liviano ( $\lambda=0.43\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ , $\rho=2400\text{kg/m}^3$ ) e=20cm U=3.51 (W/m <sup>2</sup> °C) Peso=480 (Kg/m <sup>2</sup> ) T superficial=14.2°C	Estructura de pino 2x4" revest.int. tablero aglomerado 12mm, revest ext pino, sin aislación U= 1.34 (W/m <sup>2</sup> °C) Peso=40 (Kg/m <sup>2</sup> ) T superficial=18.4°C
Tabique de madera sin aislación, con una cara de papel aluminio. U = 1.06 (W/m <sup>2</sup> °C) Peso=40 (Kg/m <sup>2</sup> ) T superficial=20.1°C	Tabique de madera con 5cm aislación, con una cara de papel aluminio. U = 0.42 (W/m <sup>2</sup> °C) Peso=40 (Kg/m <sup>2</sup> ) T superficial=20.1°C
Ventana de vidrio simple U = 5.9 (W/m <sup>2</sup> °C) T superficial=6.6°C	Ventana de vidrio doble con espacio de gas en interior. U = 3.7 (W/m <sup>2</sup> °C) T superficial=13.9°C
Losa de hormigón armado e=10cm, ( $\lambda=0.43\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ , $\rho=1200\text{kg/m}^3$ ) U = 5.07 (W/m <sup>2</sup> °C) T superficial=13.7°C	Losa de hormigón armado e=15cm, ( $\lambda=0.43\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ , $\rho=1200\text{kg/m}^3$ ) U = 4.43 (W/m <sup>2</sup> °C) T superficial=14.6°C

## 14.6. Coeficiente volumétrico de pérdida térmica

Capacidad para intercambiar calor con el medio externo. Caras de la eficiencia energética de la construcción.

Factores de los cuales depende: características termo aislantes de los materiales y elementos del edificio forma y relación superficie envolvente/ volumen, orientación, ventilaciones y permeabilidad al aire de elementos y del edificio en su conjunto

VALOR G (W/ m<sup>3</sup> °C)

$$G = \sum \text{Pérdidas por transmisión} + \sum \text{Pérdidas por ventilación}$$

Volumen encerrado por el edificio

VALOR	CLASIFICACION
G < 1.0	MUY BUENA AISLACIÓN
1.0 < G < 1.8	BUENA
1.8 < G < 2.7	ACEPTABLE
2.7 < G < 3.8	REGULAR
G > 3.8	MALA

### Criterios de diseño:

Aspectos básicos

¿Qué elementos requieren aislamiento térmico?

¿Cuánto aislamiento utilizar?

¿En qué posición debe ir la capa de material aislante?

¿Qué tipo de aislamiento?

En cual cara? interior

Factores:

- Conductividad térmica
- Costo
- Facilidad de colocación
- Durabilidad
- Capacidad para resistir daño físico
- Comportamiento al fuego
- Resistencia al paso del vapor.
- El factor depende del caso en particular



## 14.7. Ventilación

¿Por qué ventilar?

Evacuar olores indeseables

Evacuar Co<sub>2</sub>

Evacuar la humedad del aire

Aportar oxígeno

### Conceptos relacionados con la ventilación

- Ventilación (efecto voluntario)

- Infiltración (efecto involuntario)

### Ventilación:

Asegura la renovación sanitaria del aire necesario para la salud de los ocupantes Puede ser de tipo natural o forzada

### Infiltración:

Ingreso indeseado de aire, debido a diferencias de presión y/o temperatura entre el ambiente exterior e interior de las viviendas

### Pérdidas térmicas por ventilación

$$Q_v = 0.34 n v [w / k]$$

Cambios de aire normalizados a 50 Pa

País	Mínimos	Máximos
Bélgica	1.0	3.0
Canadá	1.5	1.5
Holanda	1.2	6.5
Italia	1.0	3.2
Noruega	1.5	4.0

### Infiltración de Aire a través de:

#### Las aberturas

1. Característica de las aberturas

2. Presión debido a los efectos de:

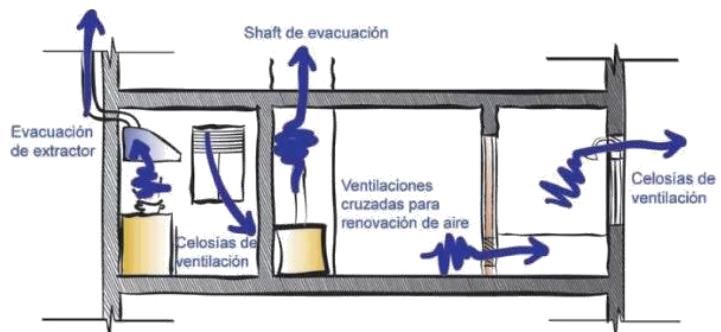
- Temperatura
- Viento

3. La interacción con otras aberturas del edificio

#### La envolvente

Depende de:

- permeabilidad al aire de puertas y ventanas.
- Permeabilidad al aire de la cáscara del edificio



### Necesidades de ventilación

Aplicación	m <sup>3</sup> /h por persona	m <sup>3</sup> /h por m <sup>2</sup> sup
Departamento oficinas	25	-
Hall Banco	13	-
Bar	42	-
Salas de Consejo	50	-
Grandes Almacenes	10	-
Cocina privada	-	9
Cocina Restaurant	-	36
Garaje	-	72
Baño Privado	-	18
Hospital Sala Común	25	40

### Modelización Ecuación de Flujo

$$Q = C \Delta P^n$$

Q : Flujo de aire infiltrado, m<sup>3</sup>/s.

ΔP : Presión diferencial, Pa.

C y n : Coeficiente y exp. de flujo.

### Área de Infiltración del Edificio L

$$L = C \Delta P^{(n-1/2)} (d / 2)^{1/2}$$

donde

L: área de infiltración, m<sup>2</sup>.

d: Densidad del aire a la temperatura interior de la vivienda, Kg./m<sup>3</sup>.

### Coeficiente de Infiltración Ln

$$\text{donde } Ln = 1000 L_{4Pa} / A (H / H_0)^{0.3}$$

Ln: Coeficiente de infiltración normalizado.

H<sub>0</sub>: Altura de referencia de viviendas de 1 piso = 2.5m.

H : Altura de la vivienda.

L<sub>4pa</sub>: Área de infiltración a 4Pa de presión diferencial, m<sup>2</sup>.

A: Área de planta de la casa, m<sup>2</sup>.



## 15. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MADERA

Los sistemas estructurales desarrollados para viviendas de madera se dividen en dos grandes grupos según el largo de los elementos estructurales y las distancias o luces entre los apoyos:

- Estructuras de luces menores
- Estructuras de luces mayores

### 15.1. Estructuras de luces mayores

#### Sistemas Planares

Están compuestos por vigas, cerchas, marcos y arcos

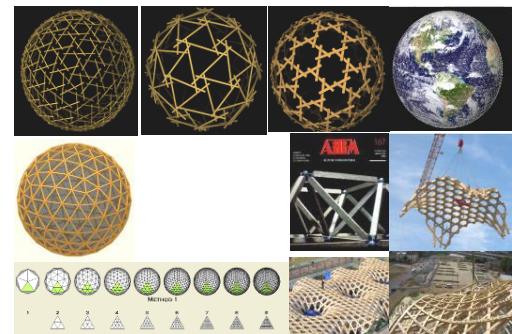
#### Sistemas espaciales Laminares

Están compuestos por plegadas, cáscaras, bóvedas, cúpulas, hipérbolas y estructuras colgantes

#### Sistemas espaciales de Entramados

Están compuestos por reticulados espaciales, geodésicas y lamelas

B ESTRUCTURAS MAYORES		
B.1 SISTEMAS PLANARES	B.1.1 VIGAS	
	B.1.2 CERCHAS	
	B.1.3 MARCOS	
	B.1.4 ARCOS	
B.2 SISTEMAS ESPACIALES LAMINARES	B.2.1 PLEGADAS	
	B.2.2 CÁSCARAS	
	B.2.2.1 BOVEDAS	
	B.2.2.2 CÚPULAS	
	B.2.2.3 HIPÉRBOLAS	
	B.2.3 COLGADAS	
	B.3 SISTEMAS ESPACIALES DE ENTRAMADO	
B.3.1 RETICULADOS ESPACIALES	B.3.1.1 GEODESICAS	
	B.3.1.2 LAMELAS	
	B.3.1.3 ARQUETAS	



Ilustraciones de sistemas constructivos con estructuras de luces mayores, construidos en Chile. Fotos tomadas por Arq. Viviana Paniagua  
1.Packing de Greenvic  
2.Bodegas de Vino

- 3.Collage de modelos disponibles en la galleria de co

#### “Sistemas Estructurales Básicos”

El proceso de diseño como acto racional es capaz de prever las consecuencias de las acciones incluidas dentro de los planes de construcción, de una determinada obra, exige que se conozcan los análisis de los distintos sistemas de clasificación de las estructuras, su denominación (la general y de los componentes), la geometrización, y su respuesta mecánica al ser sometida a distintos esfuerzos.

#### CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES

1. **Sistema de Forma Activa:** Estructuras que trabajan a tracción o compresión simples, tales como los cables y arcos.
2. **Sistemas de Vector Activo:** Estructuras en estados simultáneos de esfuerzos de tracción y compresión, tales como las cerchas planas y espaciales. También conocidas como lineales. Llamados también sección activa
3. **Sistemas de Masa Activa:** Estructuras que trabajan a flexión, tales como las vigas, dinteles, pilares y pórticos.
4. **Sistemas de Superficie Activa:** Estructuras en estado de tensión superficial, tales como las placas, membranas y cáscaras (Orozco, 1999).

## 15.2. Estructuras de luces menores

Se subdividen en:

- Estructuras macizas
- Estructuras de placa
- Estructuras de entramados

### Estructuras macizas:

Sistema constructivo que por su aspecto de arquitectura, solución estructural y constructiva, es particularmente diferente. Su presentación es de una connotación de pesadez y gran rigidez por la forma en que se disponen los elementos que lo constituyen, en este caso rollizo o basa.

Estructuralmente no corresponde a una solución eficaz, ya que por la disposición de las piezas, éstas son solicitadas perpendicularmente a la fibra, o sea en la dirección en la cual la resistencia es menor.

Sin embargo, el disponer de esta forma el material facilita el montaje de los diferentes elementos que conforman la estructura de la vivienda.

Otra ventaja que ofrece es la buena aislación térmica, garantizada por la masa de la madera, pero presenta problemas en la variabilidad dimensional por efecto de los cambios climáticos, los que afectan en gran medida los rasgos de ventanas y puertas, como también las instalaciones sanitarias.

Hoy el avance de la industria ha permitido mejorar el sistema de construcción maciza, introduciendo nuevos diseños, aprovechando los aspectos de aislación, facilitando y mejorando los aspectos estructurales y los de montaje de la construcción.

### Estructuras de placas:

La necesidad de reducir los plazos en la construcción y de mejorar y garantizar la calidad de terminación del producto, ha conducido a que gran parte de los elementos que conforman la estructura de la vivienda sean fabricados y armados en industrias especializadas o en talleres de las propias empresas constructoras y cuya aplicación se ha ido acentuando en la medida que aumenta la mecanización de los procesos constructivos.

La gran fortaleza que ofrece este sistema constructivo es el fácil desarme de los elementos estructurales que conforman la vivienda, por lo que las soluciones de las uniones como pernos, piezas de madera, clavos y perfiles de acero deben ser de fácil acceso y simple mecanismo.

El armado de estos paneles está regido por la estructuración de construcciones de diafragmas, donde los paneles se disponen de forma que se arriostren y se obtenga la rigidez necesaria para la estructura.

### Estructuras de entramados:

Son aquellos cuyos elementos estructurales básicos se conforman por vigas, pilares o columnas, postes y pie derecho.

Según la manera de transmitir las cargas al suelo de fundación podemos distinguir los sistemas:

a) De poste y viga, aquellos en que las cargas son transmitidas por las vigas que trasladan a los postes y estos a las fundaciones.

b) De paneles soportantes, aquellos en que las cargas de la techumbre y entrepisos son transmitidas a la fundación a través de los paneles.

#### Sistema poste- viga

Utilizado principalmente cuando se deben salvar luces mayores a las normales en una vivienda de dos pisos, pudiendo dejar plantas libres de grandes áreas. Utiliza pilares o postes, los cuales están empotrados en su base y se encargan de recibir los esfuerzos de la estructura de

la vivienda a través de las vigas maestras ancladas a estos, sobre las cuales descansan las viguetas que conformarán la plataforma del primer piso o del entrepiso.

#### Sistema de paneles soportantes

En el sistema de paneles soportantes se destacan:

- Sistema continuo
- Sistema plataforma



## Sistema Continuo

Los pies derechos que conforman los tabiques estructurales perimetrales e interiores son continuos, es decir, tienen la altura de los dos pisos (comienzan sobre la fundación y terminan en la solera de amarre superior que servirá de apoyo para la estructura de techumbre).

Con este sistema constructivo considera fijar la estructura de plataforma del primer piso y de entrepiso directamente a los pies derechos de los tabiques estructurales.

Las vigas del primer piso se fijan al pie derecho por el costado de éste y se apoyan sobre la solera inferior del piso. Las vigas del entrepiso también se fijan a los pies derechos por el costado y se apoyan sobre una viga, la cual está encastrada y clavada a los pies derechos. Esta disposición permite conformar un marco cuyas uniones tienen cierto grado de empotramiento.

La secuencia constructiva tiene la virtud de colocar la estructura de la techumbre y su cubierta después de colocados los pie derecho, lo que genera un recinto protegido para trabajar en casi todas las etapas del proceso constructivo y terminaciones.

En la práctica este sistema no permite ser prefabricado, además, los largos que requieren los pie derecho no están estandarizados, por lo que es un sistema que ha sido desechado en los últimos años.

## Sistema de plataforma

Es el método más utilizado en la construcción de viviendas con estructura en madera.

Su principal ventaja es que cada piso (primer y segundo nivel) permite las construcciones independientes de los tabiques soportantes y auto soportantes, a la vez de proveer de una plataforma o superficie de trabajo sobre la cual se pueden armar y levantar.

Paralelamente a la materialización de dicha plataforma de primer piso de hormigón o madera, se pueden prefabricar externamente los tabiques para ser erguidos a mano o mediante sistemas auxiliares mecánicos simples.

El entramado horizontal de la plataforma está dispuesto de tal manera que coincide, en general, con la modulación de los pie derecho de los tabiques, conformando una estructura interrelacionada.

Por otra parte, requiere de un elemento estructural que funcione como una placa arriostrante, en reemplazo del tradicional entablado, conocido como "Sistema Americano".

En la actualidad, se cuenta con dos tipos de placas arriostrantes: el contrachapado estructural y la placa de OSB (Oriented Strand Board), los que ayudarán en la resistencia de la plataforma y sobre los cuales se fijarán las soleras de los tabiques del piso superior, además de recibir la solución de pavimento que indique el proyecto.

Imágenes tomadas de Ejercicios de Diseño, Estudiantes Alejandro González Colombia. Gonzalo Hernández Chile, Viviana Paniagua Costa Rica

Módulo II Sistemas Constructivos en madera MCM Magíster en Construcción en Madera U Bío Bío Chile 2009



MAGÍSTER EN CONSTRUCCIÓN EN MADERA

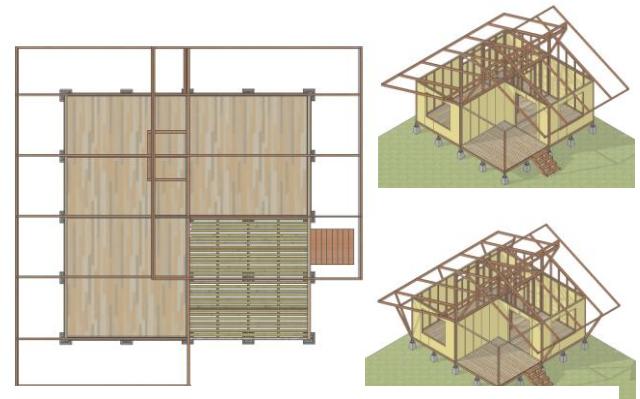
Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño \ Departamento de Ciencias de la Construcción

## Módulo 2: SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

"CABAÑA PARA TURISMO DE MONTAÑA  
CERRO CHIRRIPÓ – COSTA RICA"



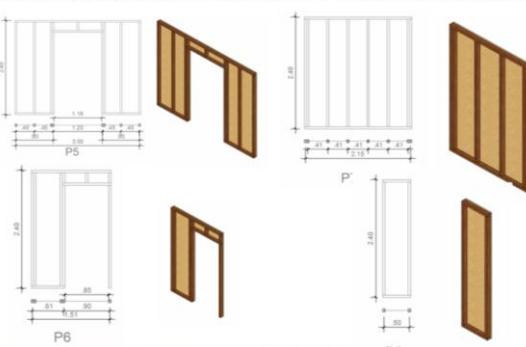
Alejandro González - Gonzalo Hernández.-Viviana Paniagua H.



PROCESO CONSTRUCTIVO



PREFABRICACIÓN DE PANELES Y OTROS ELEMENTOS



Roof structure systems possible in timber construction, with their different methods of transferring loads

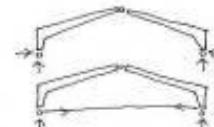
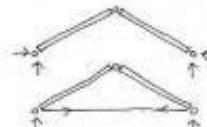
Load transferred by:

1 Beam

2 Members

3 Frame

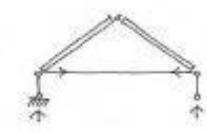
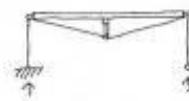
forces at bearing points  
under vertical loads



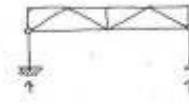
predominantly  
subject to compression stress



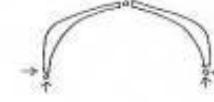
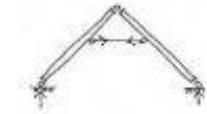
predominantly  
subject to tensile stress



predominantly  
subject to tensile  
and compression stresses



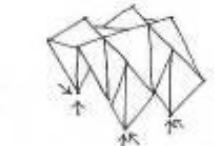
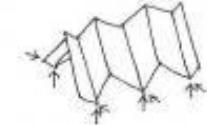
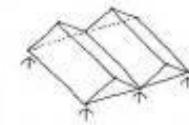
predominantly subject to:  
bending



arranged radially



made up of surfaces  
put together



1. Vigas
2. Miembros
3. Marcos

Imagen tomada de: Wolfgang Ruske *Timber construction for trade, Industry and administration* 2004 Birkhäuser-publisher for architecture, Basel Switzerland, -Boston, Berlin [www.birkhauser.ch](http://www.birkhauser.ch)

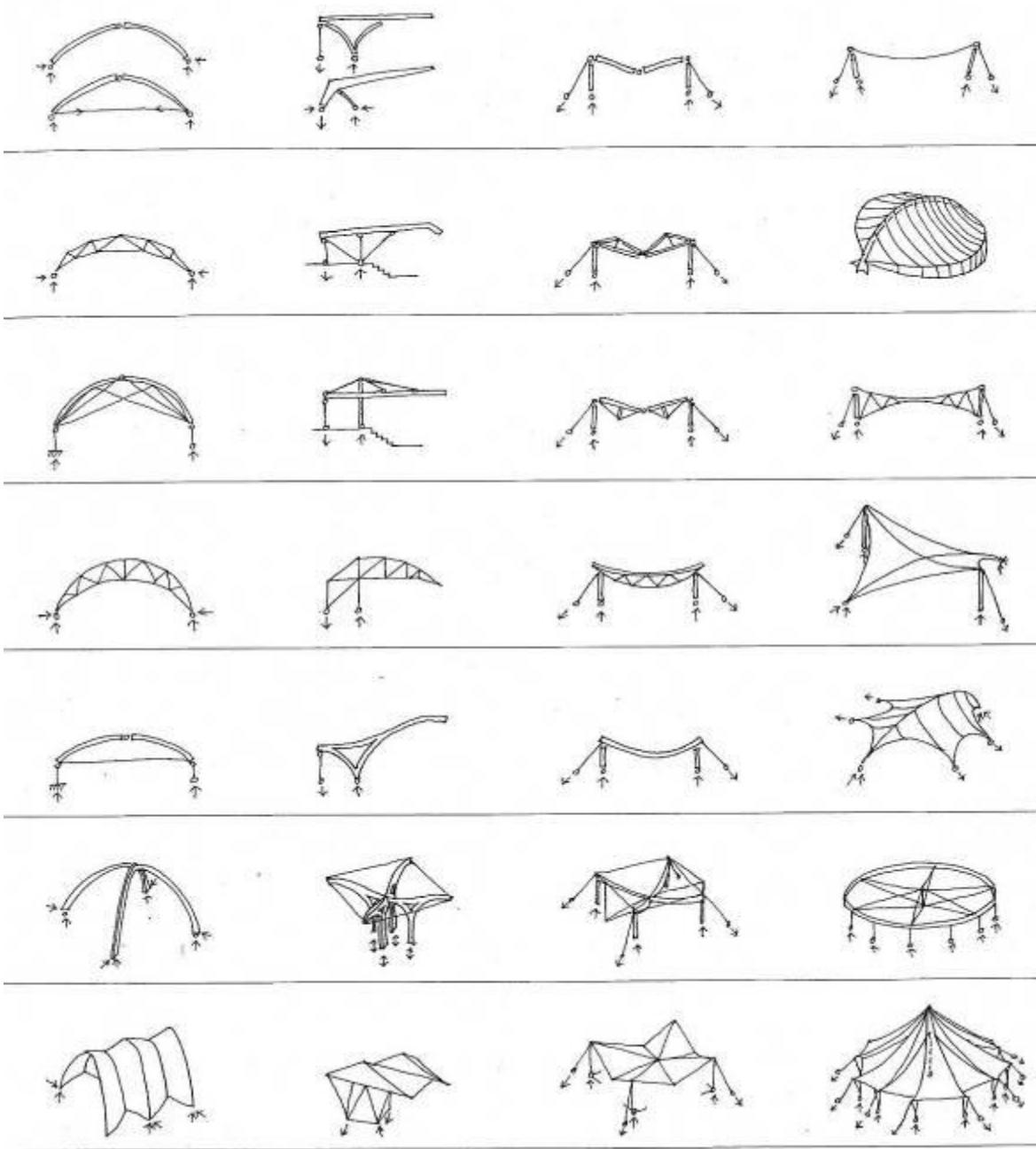


4 Arches

5 Cantilever arm (based on 1-4)

6 Hanging systems (based on 1-4)

7 Suspension systems

**4. Arcos****5. Voladizos (basados en 1-4)****6. Colgantes (basados en 1-4)****7. Sistemas suspendidos**

## 16. ARQUITECTURA Y MADERA

### 16.1. Los materiales desde el punto de vista de la construcción biológica

Si bien el concreto y la mampostería son materiales de altas prestaciones técnicas (resistencia y durabilidad), desde el punto de vista de la bioconstrucción y la bioarquitectura (“casa sana”) son de los materiales más controvertidos debido, en parte, a la toxicidad de algunas de las sustancias que se desprenden en su fraguado, a los altos niveles de radiactividad que emiten cuando se emplean gravas y arenas cristalinas (cuárcicas y silíceas),<sup>16</sup> a distorsiones que el metal produce en el campo eléctrico natural, a que conducen relativamente bien el calor y dan sensación de frío<sup>17</sup>, entre otros.

Los edificios construidos con armazón de hierro o abundante concreto armado pueden provocar en sus moradores agudos problemas de estrés, depresiones y una cierta desvitalización por el efecto conocido como Caja Faraday.<sup>18</sup>

Todos estos y otros efectos son conocidos internacionalmente como “el síndrome del edificio enfermo”. Los sistemas pesados de mampostería de concreto presentan una serie de problemas en un país tan húmedo, arcilloso y laderoso como Costa Rica: obliga a costosos movimientos de tierra, es necesario alterar las condiciones naturales del terreno, dificulta la construcción en terrenos de arcillas expansivas, se vuelven cíclicos los daños por inundaciones, propicia la generación de focos de humedad interna por filtraciones y ascenso capilar, dañando bienes y propiciando la aparición de asma, alergias y otras enfermedades respiratorias. Costa Rica tiene uno de los índices de incidencia más elevados a nivel mundial en este tipo de trastornos; es necesario investigar más acerca de sus orígenes. Por tanto, no es tan simple afirmar que nuestras casas de mampostería son “muy sanas”; hay que demostrarlo. Hay mucho por hacer en nuestro país en este campo.

Requerimientos de energía para la producción de materiales de construcción

Material	KWh/Ton	KWh/m <sup>3</sup>
Hormigón 1:3:6	273	600
Hormigón 1:2:4	360	800
Cemento	2.200	2.860
Mortero	277	400
Acero	13.200	103.000
Aluminio	27.000	75.600
Madera local secada al aire	200	110
Madera verde	200	220
Plásticos	45.000	47.000

Fuente: Pat Borer, Centre for Alternative Technology.

Desde el punto de vista ambiental el concreto tiene importantes efectos en sus etapas de extracción de la materia prima (uso de energía, erosión y alteración del suelo, degradación de la calidad del agua y del aire); y de producción (consumo de combustibles fósiles en el quemado del clínker, contaminación del agua, emisiones de CO<sub>2</sub> que causan efecto invernadero, de NO<sub>x</sub> que causa “smog” y lluvia ácida, de SO<sub>2</sub> que causa acidificación, y de partículas que causan problemas respiratorios y de visibilidad).

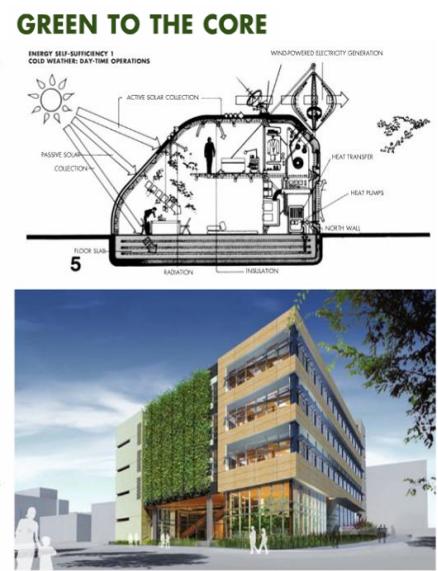
El acero consume gran cantidad de energías fósiles en las etapas de extracción, transporte de la materia prima y producción, que requiere de altos hornos. La fundición del metal produce un rango completo de emisiones dañinas para el ambiente, tales como óxidos de sulfuro de la reducción mineral, y fluoruros.

El uso de fuentes energéticas y sus emisiones son parte esencial del inventario ecológico. Sin energía ninguna materia prima se explota, transporta, procesa o construye. El uso de energía a nivel mundial es tan grande que la solución debe ser reducir significativamente su consumo. La utilización de energía está ligada a la contaminación ambiental.

Los análisis de ciclo de vida (LCA) pretenden establecer los efectos ambientales de los materiales, elementos, componentes y sistemas de construcción, considerando desde la extracción de la materia prima, hasta la producción, uso, demolición, reciclamiento y disposición del producto al finalizar su vida útil.

El Método de Energía Incorporada es una medida de valoración del impacto ambiental de un material durante su producción, desde la extracción y transporte de la materia prima, importada o no, hasta el último paso de fabricación, considerando también la energía utilizada durante la construcción y vida útil de la obra. En materia ecológica el aspecto energético es el de mayor peso. La producción de una tonelada de madera demanda 580 kw/h, la de Aluminio 126 veces más; acero, 24 veces más; vidrio, 14 veces más; productos sintéticos, 6 veces más; cemento, 5 veces más; ladrillos, 4 veces más.<sup>1</sup> Se puede afirmar que, por lo general, los materiales de construcción naturales, como la madera, son óptimos desde el punto de vista eco armónico.

Fournier Zepeda Rolando, Perspectivas del mercado de la construcción para la madera de reforestación



## 16.2. Espacios, Formas, Funciones

Vivienda, ambiente y salud

El acceso a una vivienda segura y sana es primordial para el bienestar psicológico, físico, social y económico de las personas. La vivienda debe reunir una serie de condiciones que generen un ambiente que haga que sus ocupantes disfruten de estar en ella, sintiéndose cómodos y confortables.

Muchos de los problemas funcionales de un edificio son producto de procesos de diseño y construcción que no han considerado al edificio como un sistema integral.

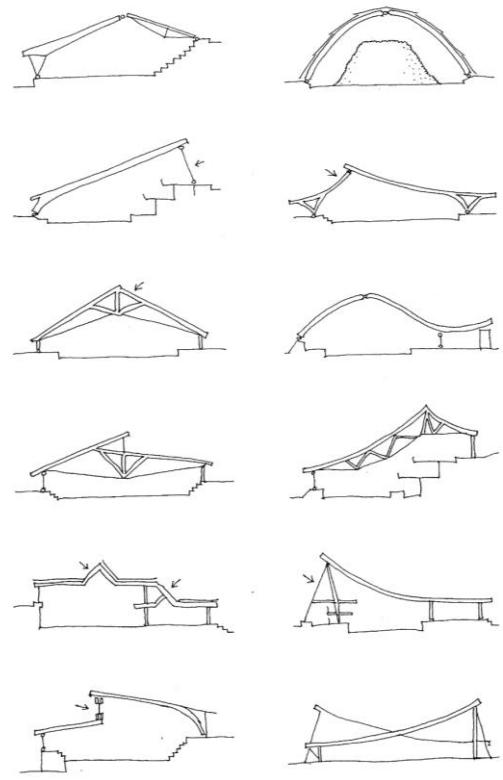
Con el objeto de lograr condiciones de vida satisfactorias en cuanto a salud y bienestar, a la hora de diseñar y construir una vivienda deben tomarse en cuenta aspectos como el sitio y las condiciones ambientales, además de los aspectos económicos, sociales, estructurales, funcionales y operacionales.

Muchas veces, por diferentes razones, a estos aspectos no se les da la importancia que merecen, dando como resultado viviendas en las que sus habitantes se quejan de malestares debidos a la exposición a altas temperaturas, mal olor, problemas de higiene ocasionados por la humedad interna, falta de ventilación, problemas de salud debidos a la influencia tanto de las zonas geopatógenas del sitio como de los materiales utilizados.

En los países desarrollados hay una preocupación creciente acerca de estos problemas, y se aplican estrictas regulaciones para sitios de trabajo y viviendas relacionadas con límites de temperatura, ventilación, emanación de sustancias químicas de los materiales, entre otros. En Costa Rica, a pesar de contar con la misma problemática, estos conceptos casi no se aplican.

Con la expresión de "síndrome del edificio enfermo", se conocen los efectos físicos y mentales de vivir y trabajar en ambientes interiores insanos: iluminación escasa, aire viciado y caliente, uso de materiales tóxicos así como otros materiales sintéticos, que añaden tensión a nuestra salud y bienestar.

En los últimos años se ha difundido a nivel mundial una conciencia sobre aspectos ecológicos, un creciente interés por habitar espacios más naturales y llevar estilos de vida más sanos, por sanear el medio ambiente dañado, por formas de energía alternas, por paz y humanidad.



Fournier Zepeda Rolando, Perspectivas del mercado de la construcción para la madera de reforestación.

Imagen relacionada con la Conceptualización- Ejemplos de adaptación del sistema estructural en madera, a diversas situaciones de diseño, por adaptación al terreno, por función o por iluminación

Imagen tomada de: Wolfgang Ruske [Timber construction for trade](#), Industry and administration 2004 Birkhäuser-publisher for architecture, Basel Switzerland, -Boston, Berlin [www.birkhauser.ch](http://www.birkhauser.ch)

## 17. NORMATIVA PARA LA MADERA

### Normativa sobre protección de madera Normativa Código Sísmico

La NORMALIZACION es un factor clave del desarrollo industrial y económico del país, por ello el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, que es el Organismo Nacional de Normalización según la Ley 8279 del 2004, desarrolla a través de sus Comités Técnicos de Normalización (CTN) los documentos que, unificando los criterios a través del consenso, constituirán Normas Técnicas nacionales y les permitirán a los sectores productivo y de servicios competir en los mercados internacionales.

El tema INTE/CTN 06 SC 06

Vocabulario relacionado con la madera

Madera Aserrada para uso estructural

Para publicarlos en la nueva edición del código sísmico, actualmente la comisión se encuentra en la etapa de revisiones finales.

The screenshot shows the INTECO website's search interface. On the left, there's a sidebar with links like 'Centro de Información', 'Catálogo de Normas', 'Compendio de SGC', and 'Compendio de SySO'. The main search area has a search bar with 'Indique la información para realizar la búsqueda: (Código o texto)' and a dropdown menu set to 'madera'. Below the search bar, it says '10% de descuento en la compra de normas INTE a nuestros afiliados.' and a 'Buscar' button. To the right, there's a banner for 'Servicios' showing two people at a computer. Underneath, it says 'Centro de Información' and 'Se encontraron 2 documentos:' with a table showing two entries: 'INTE 29-01-02-1997' (TARIMAS PARA LA MANIPULACIÓN DE MADERAS - ESTÁNDARES TÉCNICOS DE CALIDAD DE TARIMAS DE MADERA.) and 'INTE-ISO 8336-2007' (LÁMINAS PLANAS DE FIBROCEMENTO.). At the bottom, there are logos for various organizations like ISO, IEC, CEN/TC 207, AENOR, and NFPA.

### Requerimientos técnicos necesarios en la fabricación de vigas laminadas

En nuestro país, la construcción con madera es poco regulada en cuanto a los productos que se comercializan, a pesar de que es uno de los materiales permitidos por ley para construir.

En el caso de las vigas laminadas de uso estructural, es necesario establecer requerimientos técnicos, con el fin de garantizar la seguridad de las construcciones con este tipo de producto y, por ende, la permanencia de este producto en el mercado nacional.

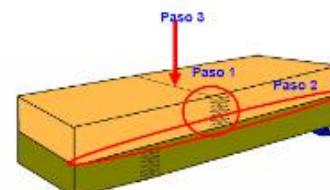
En países, como los Estados Unidos, existen entes reguladores en la fabricación y uso de este material, con el fin de garantizar la seguridad en las construcciones. Para la elaboración de las vigas, están establecidas las pruebas de control de calidad por medio de las normas ASTM (American Standard Testing Material) y para su utilización por medio del AITC (American Institute of Timber Construction).

Ambas entidades se encargan de establecer los requerimientos para la construcción civil con vigas laminadas estructurales, así como los parámetros de control de calidad de estos productos en las empresas dedicadas a su elaboración y utilización (ASTM, 1999; AITC, 1996)

En la utilización de las vigas laminadas, es preciso conocer que existen algunos criterios técnicos en la fabricación de este tipo de producto, los cuales tienen como meta final establecer criterios estructurales para su uso. Los criterios técnicos están divididos en dos partes: una primera parte consiste en recomendaciones en el control de calidad de fabricación de vigas laminadas y una segunda parte en el análisis de resistencia estructural, con el fin de establecer los valores de diseño.

### Recomendaciones para el control de calidad de vigas laminadas

Estas recomendaciones, actualmente existentes en el país, se encuentran disponibles en la Unidad de Comercialización de la Cámara Costarricense Forestal, se basaron en las normas utilizadas en los Estados Unidos y fueron tomadas del Manual de Inspección de Vigas Laminadas del AITC del año 1996 (AITC, 1996), Boletín Técnico No. 1512 de Laboratorio de Productos Forestales de ese país (Selvo, 1975) y los estándares ASTM D-2559, ASTM D-005 y ASTM D-198 (ASTM, 1999).



Tipos de ensayos a los que se somete una viga laminada para su análisis estructural.



El esfuerzo de diseño representa un valor de esfuerzo estimado que la pieza de madera podrá resistir sin sufrir ningún tipo de alteración permanente, aún cuando se deba soportar este esfuerzo bajo condiciones de duración de carga y humedad establecidas por el diseño (Lozano, 2004).

En el caso de vigas laminadas, en Costa Rica, donde no existe regulación para estos productos, una viga laminada proveniente de una empresa pueden ser muy diferente a otra, ya que en su fabricación intervienen muchos factores propios de cada empresa que afectan el producto, entre los que se encuentran la especie que se utiliza, el tipo de adhesivo utilizado, la máquina de elaboración de uniones dentadas (“finger joint”) y de prensado de las vigas, forma y dimensiones de las uniones y el recurso humano disponible en la empresa.

Para garantizar la calidad del producto en particular existen normas o procedimientos que evalúan todos estos factores y tienen como meta establecer los valores de diseño para el producto de cada empresa y que al final se brinde la información necesaria a los ingenieros y arquitectos, y sobre todo, que garantice la seguridad de las construcciones que emplean las vigas laminadas.

El análisis estructural, según la norma D-2559 de ASTM (American Standard Testing Material), de las vigas laminadas se basa en 3 pasos (Figura 2):

1. Establecer las calidades de las uniones dentadas en los extremos de las piezas de madera, se realiza por medio de ensayos de tensión.
2. Determinar la resistencia del adhesivo a los cambios de temperatura y de condiciones de humedad, a través de dos ensayos: la delaminación y el ensayo de resistencia al esfuerzo de cortante por cara.
3. Medir la resistencia a la flexión de la viga por medio de la aplicación de carga. laminada para su análisis estructural.

Las vigas laminadas estructurales: aspectos a considerar para su fabricación en Costa Rica Róger Moya Roque1 Guillermo González Trejos1



Imágenes ilustrativas de proyectos en Costa Rica - tomadas de grupo Xilo

## 18. CONCLUSIONES

El conocimiento de las ventajas de la madera nos permite desarrollar plenamente su uso y la conciencia de los factores que se identifican como debilidades a subsanar.

**«Very Wood!»**

Por lo anterior es necesario difundir información técnica de las diferentes especies, para que con dicho conocimiento después se pueda aplicar las mecánicas que permitan lograr el confort térmico, acústico, protección contra el fuego, la humedad y las plagas según la especies de madera que se esté utilizando y según el uso específico para el que se esté empleando.

En Costa Rica es bien conocido el uso de maderas de coníferas importadas de Estados Unidos y Chile (Douglas Fir, pino sureño y pino radiata) de excelentes propiedades, con las cuales también se ha comenzado a desarrollar el uso de la madera lamina, principalmente en la última década.

Sin embargo al ser Costa Rica un país donde abundan las especies tropicales también conocidas como "hardwood" o latifoliadas, es necesario que conozcamos la situación de las mismas. Y principalmente sus características técnicas, para su correcta utilización, en este caso particularmente el de los diversos usos interés en la construcción.

De la descripción técnica de las maderas de interés comercial en la construcción, se concluye que para el uso de la madera en general es fundamental considerar su:

**Secado:** trabajar toda la madera seca al horno, bajo estrictos controles que garanticen su estabilidad, según la temperatura y principalmente de la humedad del ambiente donde se va a colocar la "madera en servicio"

Peso: considerar la densidad de la madera en seco

**Estabilidad dimensional:** una vez que la madera está debidamente seca 18%, con las condiciones ambientales bajo las cuales será utilizada, mantiene sus dimensiones aún cuando se presenten cambios de humedad relativa y temperatura en el ambiente. Pero más aún se debe tomar en cuenta la anisotropía y la higroscopiedad de la madera en el diseño.

**Durabilidad:** si la madera se encuentra sobre el nivel del suelo (debidamente separada), protegida de la lluvia y la incidencia directa de los rayos solares, su durabilidad puede asegurarse por muchos años, porque así se incrementa su resistencia al ataque de hongos e insectos.

Por otro lado se debe enfatizar en el uso de madera únicamente certificada, debido a que hay maderas con excelentes propiedades pero que actualmente se encuentran vedadas.

Para el Diseño y cálculo de estructuras en madera es muy importante conocer las propiedades físicas y mecánicas del material, ya que la madera tiene un comportamiento muy particular, que debe ser bien conocido.

Se debe conocer las bases de cálculo y de las deformaciones. Es necesario, hacer comprobación de secciones utilizadas, de la inestabilidad en piezas de madera. Así como hacer comprobaciones singulares en piezas de madera laminada de sección variable o de directriz curva, pre-dimensionado, definición de las uniones, sean estas tradicionales, o con los diferentes elementos de fijación.

Es fundamental considerar la organización constructiva y estabilidad de toda la construcción, hacer la revisión de los detalles constructivos, de la resistencia al fuego y de la protección de la madera que se está proveyendo.

Si bien muchos de los aspectos anteriormente mencionados son muy técnicos, es necesario que el arquitecto interesado por la construcción en madera, se comprometa a la investigación y revisión rigurosa de todo ellos.

Se debe mencionar que las maderas seleccionadas para el presente estudio tienen potencial para la construcción civil, debido a su durabilidad natural, su peso o abundancia, y que estas no son útiles únicamente para mueblería y acabados como muchos costarricenses piensan.

Sin embargo resulta evidente, que es necesaria una mayor divulgación de las ventajas del material, y de la información técnica, para que tanto los clientes como los proyectistas puedan desarrollar más proyectos en madera.

Quedó en evidencia que es necesario investigar más en el tema, pues existen muchas otras maderas que también son de interés comercial y en la construcción, que tienen mucho potencial en el futuro.

Imagen ilustrativa para hacer mención al tour que se dio por el mundo de la madera



## 19. ANEXOS

### 19.1. Especies maderables comerciales en costa rica - usos en la construcción

#### ALMENDRO *Dypteryx panamensis* Pittier

Construcción Pesada, Pisos Industriales, Puentes, Durmientes y traviesas de ferrocarril, Postes de cerca, Construcciones marinas, Pilotaje

#### BOTARRAMA *Vochysia ferruginea* Mart.

Moderadamente liviana, Semidura Color café claro con veteado rosado, facil de trabajar, Ebanistería Tableros encapados, Formaletas, Marcos para ventanas, Tablillas

#### CAOBA *Swietenia Macrophylla* King

Moderadamente pesada, semidura, fácil de trabajar, Instrumentos musicales, Muebles finos, Ebanistería chapas y madera contrachapa plywood, Gabinetes, Construcción en general

#### CAOBILLA O CEDRO MACHO *Carapa Guianensis* Aubl.

Acabados, Carpintería y construcción en general, Muebles y trabajos en gabinetes, Chapa y contrachapado

#### CEDRO AMARGO *Cederla o Dorata* L

Liviana semidura, Muebles finos, Chapa madera y contrachapada plywood

#### CENIZARO o GENIZARO *Saman Saman jacq merril*

Dura de alta calidad, Muebles, Chapa madera y contrachapada plywood, Tablillas, Poste para cerca Construcción en general

#### CHANCHO BLANCO, MAYO o SAN JUAN *Bochysea Guatemalensis*

Beige, grano recto a ligeramente entrecruzado Blanca, suave y liviana, fácil de trabajar Carpintería Formaleta, Chapas para relleno, Construcción Interna

#### CIPRES *Cupressus Lusitánica* Mill

Buena calidad, amarillenta, jaspeada, con aroma agradables, moderadamente pesada y semidura, muy atractiva por el color, la presencia de nudos ,Carpintería en general, Construcción de muebles, Construcción interna y externa, Pisos, Paneles decorativos, Ebanistería, Pilotes , Postes para cerca y tendido eléctrico, Durmientes de ferrocarril , Tejas para techo

#### EUCALIPTO *Eucalyptus Saligna*

Moderadamente pesada, semidura, fácil de cortar y aserrar, Construcciones pesada, Muebles no finos, Pisos , Ebanistería , Carpintería en general, Puntales, Postes para cerca, teléfono y alumbrado, Construcción de interiores y exteriores, Contrachapados de poca resistencia, Pilotes, Construcciones livianas, Muebles, Piso de botes, Puertas y ventanas, Cerchas, cielo raso, Construcciones rusticas, Cercas

#### Eucalyptus Deglupta Blume

Liviana y semidura, Construcción liviana y pesada, Ebanisterías, Embarcaciones, Carpintería, Puertas y ventanas, Postes para cercas y pilotes, Tendidos eléctricos y telefónicos, Paneles de fibras de partículas, Madera aglomerada, Madera compensada

#### GAVILAN *Pentaclethra Macroloba* Willd

Moderadamente pesada y semidura, Se utiliza para madera de cuadro, Muebles, Gabinetes, Ebanistería menor Columnas, Vigas Cerchas, Pasos de escaleras

#### GUANACASTE *Enterolobium Cyclocarpum* Griseb

Moderadamente pesada y semidura Construcción en general, Puertas, muebles, Bateas, Chapas, madera contrachapado Construcción marina, Puentes no en contacto con agua, Postes y Cercas ,Gabinetes ,Ebanistería ,Durmientes de ferrocarril ,Vigas, Tablillas , Madera de forraje

#### JAUL- ALISO *Alnus Acuminata* Kunt

Moderadamente liviana y semidura, Carpintería , Ebanistería, Contrachapado, Muebles de corte recto, Instrumento música, Bastidores de ventanas , Alacenas, Puertas, Postes y cercas tratadas

#### LAUREL *Cordia Alliodora* R y P. Cham

Moderadamente liviana y semidura, Alta estabilidad y alra resistencia mecánica, Ebanisteria Cosntruccion en general , Tablillas, Marcos, Precintas, Rodapies, Media caña, Cuarto redondo, Reglas para plantilla, Entablados de puertas, Pisos Cielo rasos, Vigas muebles, Construcción de interiores y exteriores, Durmientes de ferrocarril , Puentes, Cubiertas de barco, Postes cerca, Contrachapados, Puertas, Ventanas, Instrumentos musicales

#### MELINA GMELINA *Gemelina arborea roxb*

Liviana y semidura, Carpintería en general, Contrachapada, Paneles para puertas, Armarios, Cubiertas de Barco, Partes posteriores y laterales de gavetas, Muebles, Postes para cercas de electricidad, Madera Laminada

#### PILON *Hyrtonima Alchorneoides* Fr. Allen

La madera es muy pesada y dura, Construcción pesada en general interna y externa, Madera Estructural para puentes, pisos, postes para cercas, durmientes de ferrocarril, Pilotaje, Construcción marina preservada

#### ROBLE BLANCO *Quercus Copetensis*

Alta resistencia, dureza y secado satisfactorio, Piezas de poco espesor, Elaboración de Parquet combinada con otras maderas de tonalidad oscura  
Piezas Encolados que requieren espesor pequeño, Tablillas

#### ROBLE COLORADO O ENCINO *Quercus Costarricensis* Liemb.

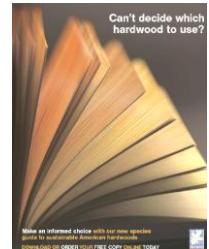
Pesa y dura, bonito jaspe, Excelentes calidad mecánica, Construcción limitada por agrietamiento y contracción durante I secado, Postes cerca, Durmientes de ferrocarril, Marcos de ventanas, Dimensiones preferibles no mayor de 25mm de espesor y 85mm de ancho, Construcción marina, Tablilla para cielo raso secado al horno y piezas delgadas,Parquet

#### SURA *Terminalia Oblonga* Ruiz y Pav.

Carpintería en general, Construcciones internas y pesadas, Traviesas de ferrocarril, Muebles, Gabinetes , Cercas, ,Pisos

#### TECA *Tectona Grandis* L.f.

Madera fina y dura, Buena durabilidad natural y estabilidad dimensional, Calidad visual, Carpintería, Muebles y gabinetes, Marcos para puertas, ventanas, Construcción marina en general, Construcciones internas y externas, Muebles, Durmientes de ferrocarril, Puentes , Pisos, Puertas, Madera contrachapada y torneada, Partes estructurales bajo el agua, Exteriores a la intemperie, Mueblería, Construcción de botes y barcos, Postes, Pisos , Pilotes, Marcos , Vigas exteriores, Construcción pesada





## 19.2. Muestrario de 12 especies de interés comercial en Costa Rica



Almendro: sección longitudinal (125X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Caobilla: sección longitudinal (130X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Cedro amargo: sección longitudinal (125X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Cenízaro: sección longitudinal (140X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Chancho blanco: sección longitudinal (127X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Eucalipto: sección longitudinal (130X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Eucalipto: sección longitudinal (110X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Gavilán: sección longitudinal (130X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Guanacaste: sección longitudinal (130X).  
Fotografía: Alex Fernández, CEDAA-INII.



Laurel: sección longitudinal (125X).  
Fotografía: Juan Carlos Fallas, SIEDIN.



Melina: sección longitudinal (150X).  
Fotografía: Juan Carlos Fallas, SIEDIN.



Teca: sección longitudinal (150X).  
Fotografía: Juan Carlos Fallas, SIEDIN.

### 19.3. Ilustraciones de usos de 12 especies de maderas de interés en la construcción en Costa Rica

#### 1. ALMENDRO

Imágenes de “La Casa de los libros” Obra del arquitecto inglés Gianni Botsford, en Cahuita, Limón. Consiste en 2 pabellones unidos por medio de un puente-deck en madera de cachá. La masa principal consiste en un estudio donde se alberga la biblioteca. De ahí que la primera impresión es de un gran volumen en zinc y madera de almendro, que en su exterior se muestra contemporáneo y dinámico, mientras que en el interior se percibe cálido y familiar. \*Adaptación revistasucasa.com. El texto completo se encuentra en la versión impresa.



Imagen a la derecha al medio. Terraza de madera de Almendro – Eddie Rojas Tomado de Suplemento informativo inmobiliario M2 Periódico La Nación sábado 7 julio de 2007.

Imagen a la izquierda al medio Casa en Buena Vista San Pablo Heredia Con pisos en almendro. Tomado de “Bienes raíces”

Imagen del centro abajo “Deck en la playa -Santa Teresa”

Imagen publicitaria de piso en almendro pulido y barnizado con poliuretano, Pisos de madera de tráfico alto, que se ven a partir de los 15m2 Pisos MIAMA210. proimpro.com

Abajo Imagen Casa en Quebradillas en Santa María de Dota (construida sobre pilares de madera de roble. Todo el suelo y cielo raso es de madera de almendro)



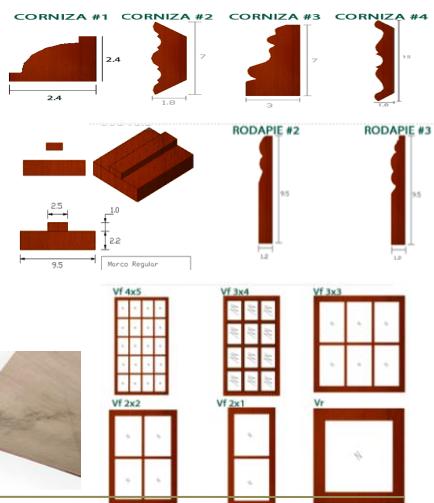
#### 2. CEDRO MACHO – CAOBILLA

Las puertas de tablero en caobilla son muy populares en Costa Rica. También se exportan principalmente por la empresa Masonite, que posee cerca de 8.000 ha de bosque en la costa caribeña de nuestro país con las que satisface el 47 por ciento de su demanda interna de caobilla (Carapaguianensis);

Depósito de molduras en “El Guadalupano” las molduras de caobilla son una de las más comercializadas en el país

La mueblería en Caobilla es considerable en C.R. y la utilización en Barandas (que es considerada barata)

También se hacen ventanas, marcos, rodapiés y cornisas. Como las que se muestran con fines ilustrativos, de la empresa MAPRO. De la Caobilla también se hace plywood como el mostrado en la imagen del centro. Alfajillas (piezas de 2x2) de madera de Caobilla, son comercializadas en múltiples depósitos de todo el país. Sin imagen



### 3. CEDRO AMARGO



Primera imagen tomada de: Kayele Mobiliario comercializadora muebles finos y exclusivos, hechos por ebanistas costarricenses, en madera de cedro amargo. Tomado de Feragular.

Imágenes al centro Casa en Escazú, con cielos de Cedro Amargo

Imagen a la derecha “Cielos de Cedro amargo” Tomado de Grecia real estate (casa en construcción)

Abajo: Guitarra de Concierto Corrales #505 Hecha el 04/07/06 Tapa sólida: Cedro del Oeste o Pino Rojo Canadiense Fondo y Fajas: Palisandro de la India Diapason: Ebano Puente: Palisandro de la India Mastil: Cedro Amargo de Costa Rica

A la par. Detalles de Puertas de Puertec

Otros proyectos: (sin imagen) El Hotel “Cortez amarillo” tiene un deck en cedro amargo y Municipalidad de Belén provincia de Heredia, mantiene sus vigas originales en esta madera. Sin imágenes

### 4. CENIZARO



1 y 2 Tomado de muebles “El Cenízaro”

3. “Casona de Santa Rosa” en Guanacaste en 1856 escenario de la batalla contra los filibusteros. Muchas de sus paredes son en Cenízaro. A la derecha detalle de deterioro de dicha madera.

### 5. CHANCHO BLANCO



**Lugar:**Colegio  
**Asentamiento El Paraíso**  
**Fecha:** Octubre 2003  
**Descripción:**  
Plántulas de Chancho  
Blanco o cebo (*Vochysia  
guatemalensis*) germinadas

A la izquierda “Casa Barrantes” Esta casa perteneció a la familia Barrantes Elizondo y fue construida en el año 1935, con maderas de la zona tales como Ira Rosa y Chancho Blanco. Declarada de Interés Histórico Arquitectónico, según Decreto Ejecutivo N° 26217-C, publicado en La Gaceta N° 156 del 14 de agosto de 1997

Al Centro. La primera casa construida en San Gerardo de Rivas a base de madera de cedro dulce y chancho blanco, en la década de los 50, pertenece a Leila Fonseca

Plántulas de Chancho en Sarapiquí, donde dicha especie es abundante.

Existe un área de conservación importante de “chancho Blanco” en Tortuguero en Limón. Sin imagen

## 6. y 7. EUCALIPTO



Cabaña en Eucalipto, de 36m<sup>2</sup> en San Ramón de Alajuela. Tomado de Bienes Raíces, casiticas.com

Sistema constructivo de “Xilo Log Homes”. (del Grupo Xilo) Se compone de troncos de madera (eucalipto) redondeados, secos y preservados.

Tomado de M2 Periódico La Nación

PLYCOR Plywood costarricense “tablero de plywood” elaborado en Eucalipto ( Eucalyptus Quadrangularis)

## 8. GAVILÁN



Imagen

1. Comercialización de Marcos de 1x4 de Gavilán,  
También se construyen tarimas. (sin imagen)

## 9. GUANACASTE



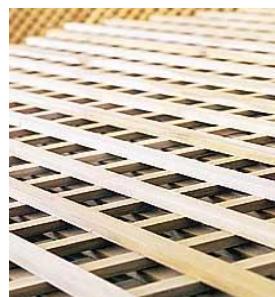
Esta madera que proviene del árbol Nacional de Costa Rica

Casona hacienda “El Jobo” Declarada e Incorporada al Patrimonio Histórico Arquitectónico de Costa Rica

Imagen de transporte de trozos de “Guanacaste”

Imagen del árbol de Guanacaste (Árbol Nacional de Costa Rica).

## 10. LAUREL



Petatillo de Laurel M2 Suplemento informativo La Nación “Un asunto cuadriculado” 2005

Esculturas escuela de Arte de la UNA Universidad Nacional

Puertas de Laurel, también son muy comunes las puertas para closets. Tomado de ferretería digital

## 11. MELINA



Fig. 2. Vigas laminadas (VIGAMEL®) producidas por Maderas Cultivadas de Costa Rica



La nueva bodega de materiales de Maderas Cultivadas de Costa Rica fue construida con melina.  
Tomado de Manual Técnico de Vigamel.

## 12. TECA



Tomado de Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de Tectona grandis. Georges Govaere, Isabel Carpio, Luis Cruz, Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica.

Muebles de Teca jessicafurnitures.

Hotel en playa “Manuel Antonio” Tomado de Propiedad de Costa Rica  
Hacienda Barú, refugio de vida silvestre Dominical Uvita CR

## 19.4. Recomendaciones para el uso de la madera en la construcción en Costa Rica

### Recomendaciones Generales

El hinchamiento y la contracción de la madera son considerados, para muchos campos de aplicación, como una desventaja. Esta aparente desventaja no puede constituir un detrimiento cuando se consideran las condiciones básicas para un uso adecuado:

- Utilizar la madera con el contenido de humedad que se espera sea su humedad de equilibrio promedio en su ambiente de uso.
- Calcular lo más exacto posible los probables cambios de dimensión que experimentará en uso y considerarlos en el diseño constructivo.
- Tener un especial cuidado en la protección de las cabezas y los bordes de las piezas de madera que se utilicen en exteriores.
- Seleccionar cuidadosamente la especie maderera adecuada para cada uso y exigencia.
- Las características y propiedades de las distintas especies son muy diferentes y una buena selección permite superar posibles problemas.

### Recomendaciones para el uso de la madera en la construcción con respecto a algunas regiones de Costa Rica

Con base en la información disponible, se promediaron valores observados de temperatura y humedad relativa de 5 años para obtener la variación con los meses en algunas ciudades del país, para las cuales se dispone de la información meteorológica.

Estos valores se muestran en la siguiente imagen.  
16

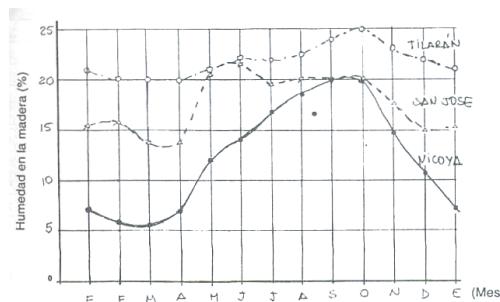


Fig. 2.3 Contenido de humedad en la madera para 3 ciudades representativas de las zonas climáticas en Costa Rica. En base a promedio de 5 años.

Humedad de la madera en varios ambientes de Temperatura u Humedad Relativa

Temperatura °C	Humedad relativa en %								
	60	65	70	75	80	85	90	95	98
-1	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21	24.3	26.9
4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21	24.3	26.9
10	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3	26.9
16	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1	26.8
21	11	12	13.1	14.4	16	17.9	20.5	23.9	26.6
27	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6	26.3
32	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3	26
38	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17	19.5	22.9	25.6
43	10	11	12	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4	25.2
49	9.7	10.6	11.7	12.9	14.4	16.2	18.6	22	24.7
54	9.4	10.3	11.3	12.5	14	15.8	18.2	21.5	24.2
60	9.1	10	11	12.1	13.6	15.3	17.7	21	23.7
66	8.8	9.7	10.6	11.8	13.1	14.9	17.2	20.4	23.1
71	8.5	9.3	10.3	11.4	12.7	14.4	16.7	19.9	22.5
77	8.2	9	9.9	11	12.3	14	16.2	19.3	21.9
82	7.8	8.6	9.5	10.5	11.8	13.5	15.7	18.7	21.3
88	7.5	8.2	9.1	10.1	11.4	13	15.1	18.1	20.7
93	7.1	7.8	8.7	9.7	10.9	12.5	14.6	17.5	20
99	6.7	7.4	8.3	9.2	10.4	12	14	16.9	19.3

Zona Geográfica	Color	Región	Estación anual		
			Mínimo	Máximo	Estación anual
Guanacaste, pacífico central	Verde	Guanacaste, pacífico central	13.2	15.4	época seca: invierno
Valle central, San José	Verde	Valle central, San José	17	24	de verano a invierno
Montañas a mas de 2500 msnm	Verde	Montañas a mas de 2500 msnm	20	26.9	todo el año
Caribe, Limón	Rojo	Caribe, Limón	19	25	época húmeda

## 19.5. Muestra de Proyectos de trascendencia Nacional

### Muestra de obras en madera Laminada Xilo

La mejor muestra del trabajo en Madera Laminada Xilo, la puede observar en el Proyecto Goal, de la FIFA y la Federación Costarricense de Fútbol en San Rafael de Alajuela, específicamente en la recta que comunica Santa Ana con San Antonio de Belén.

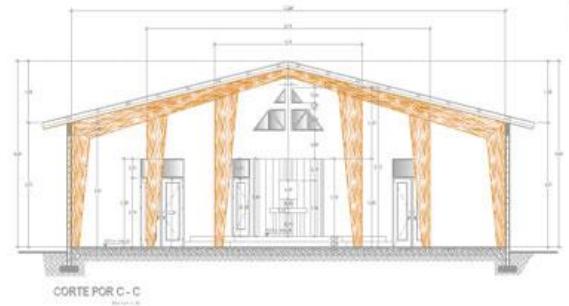
Allí encuentra más de 90 vigas estructurales instaladas bajo techo y a la intemperie, que forman parte de los edificios administrativos y el gimnasio de este proyecto.

La madera que se utiliza para la producción de estas vigas de Madera Laminada Xilo, se ha preservado previamente, bajo el método de Vacío Presión, con productos amigables con el ambiente, que brindan protección contra el ataque de insectos y la pudrición, permitiendo una aplicación casi sin fronteras.

Con la técnica de la Madera Laminada, a la resistencia de la madera, y la belleza de sus jaspes, se une la forma, propiciando diseños curvos y en flexión, capaces de satisfacer hasta los gustos más exigentes.

En pocos meses, también el hotel que complementa este innovador proyecto, se construirá utilizando estructuras de Madera Laminada.

Otros proyectos donde ya se han aplicado estructuras de este tipo, incluyen puentes peatonales y de tránsito liviano en el Hotel Four Season en el Golfo de Papagayo, así como en gran cantidad de fincas y quintas privadas, donde se utilizan vigas de Madera Laminada, en puentes peatonales, coberturas de piscinas y terrazas abiertas.



**Proyecto Capilla del Colegio de las Hermanas Franciscanas de la Purísima**  
La capilla del conjunto es una estructura en forma de rombo cuya diagonal mayor, es de 1364 cm. de largo y dos arcos menores, pero de la misma altura, para conferir una armonía volumétrica que lleva finalmente a centrar la atención en el altar. Los arcos de madera se componen de dos segmentos paralelos. Esto permitió la colocación de los elementos estructurales con muy poco equipo pesado. La colocación e izaje de los elementos que componen el arco, se hizo utilizando andamios y cuerdas en solo una semana

Lo liviano de la estructura y su descomposición en 8 segmentos, facilitó su instalación tomando en cuenta las condiciones difíciles del sitio de construcción.

Finalmente la colocación de la cubierta, independiente de las paredes, permite trabajar bajo techo desde el principio.

**Costo.**

El costo de ésta obra instalada (incluye: materiales, mano de obra, seguros, accesorios y transportes) fue de \$ 10.700.oo Los arcos se prefabricaron al 100%. En la planta de Xilolam ubicada en el Alto de Ochomogo, carretera a Cartago. La madera utilizada para el laminado fue el pino radiata, tratado con preservante sin cromo y sin arsénico. El adhesivo utilizado es de tipo estructural rígido.



Vista parcial de la instalaciones de proyecto Goal de la Fedefutbol en San Rafael de Alajuela.  
Observe las vigas de madera de 14 mt. de longitud.



Fig. 3 Muro de retención de suelos en Urbanización Vista Real en Santa Ana, Costa Rica.

## 19.6. Muestra de Proyectos de renombre Internacional

**Aplicaciones de la madera en la construcción de vigas de grandes luces.**

### Aeropuerto Barajas en Madrid 2007

En Marzo del 2007 se puso en uso la T3 del aeropuerto de Barajas en Madrid, obra mundialmente aclamada por su belleza y combinación de materiales como elementos tubulares de acero con tablas de madera natural en el cielorraso.

En Chile las construcciones con madera han alcanzado verdaderos niveles de exquisitez como puentes peatonales sobre autopistas de 4 vías como en Bio Bio o en Santiago.



### Downland Gridshell West Sussex, Inglaterra Arquitecto: Edward Cullinan Ingenieros: Buro Happold

Idea de una gridshell de madera con doble curvatura emerge en los primeros esquemas de Cullinan: con doble curvatura emerge en los primeros esquemas de Cullinan, Modelos computacionales realizados por los ingenieros de Buro Happold, cuyo objetivo es utilizar el mínimo de material a través de una estructura eficiente.



Los análisis comprueban que se pueden espaciar los elementos de la grilla cada 1m (en vez de cada 50 cm), reforzando las zonas más débiles.

#### Estrategias ambientales:

Ventilación natural en el taller necesita la asistencia de ventiladores

Acondicionamientos geotérmico con ducto de 600 mm. que enfriá el aire en verano y lo precalienta en invierno, con poco éxito en la práctica

Elemento de conexión realizada en conjunto por ingenieros, carpinteros y arquitectos, patentada como Holloway-Happold nodeclamp.

La etapa de especificaciones técnicas concentró la mayor parte de la agenda de sustentabilidad al buscar materiales locales, de bajo impacto ambiental y/o de mayor eficiencia



### Proyectos Tomados de CTT Centro de transferencia Tecnología de la Madera CORMA:

Proyectos seleccionados por ser considerados excelentes referencias visuales para ilustrar el Uso de la madera en la Construcción. Todos los proyectos ha continuación a ganado premios o menciones honoríficas.



Granja de Ovejas – 70 F Architecture

Arquitecto: ZDF Architects

Ubicación: Almere, Holanda

Cliente: Municipalidad de Almere

Presupuesto: € 160.000 Área Construida: 128 m<sup>2</sup>

Inicio de Proyecto: 2006 Proyecto Finalizado: 2008

<http://www.cttmaderas.cl/>

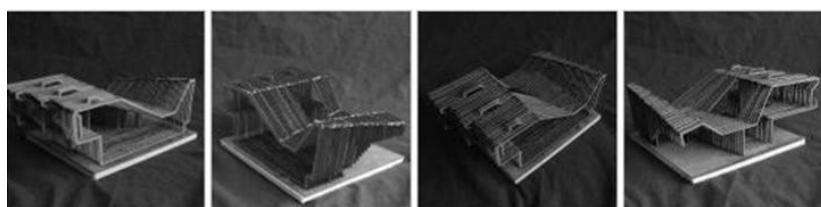
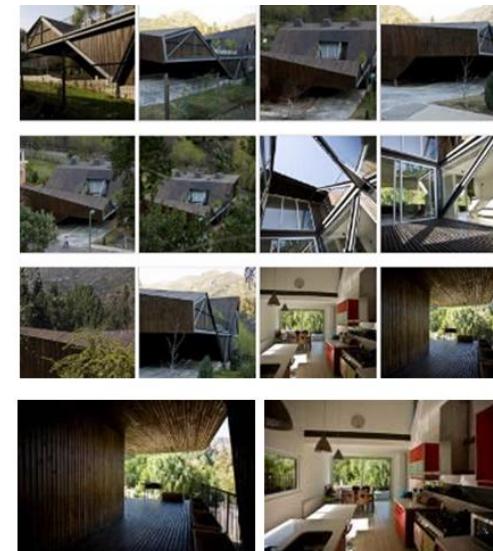
**Elegir mi paisaje**

Si pudiera elegir mi paisaje  
de cosas memorables, mi paisaje  
de otoño desolado,  
elegiría, robaría esta calle  
que es anterior a mí y a todos.  
Ella devuelve mi mirada inservible,  
la de hace apenas quince o veinte años  
cuando la casa verde envenenaba el cielo.  
Por eso es cruel dejarla recién atardecida  
con tantos balcones como nidos a solas  
y tantos pasos como nunca esperados.  
Aquí estarán siempre, aquí, los enemigos,  
los espías aleves de la soledad.  
Las piernas de mujer que arrastran a mis ojos  
lejos de la ecuación de dos incógnitas.  
Aquí hay pájaros, lluvia, alguna muerte,  
hojas secas, bocinas y nombres desolados,  
nubes que van creciendo en mi ventana  
mientras la humedad trae lamentos y moscas.  
Sin embargo existe también el pasado  
con sus súbitas rosas y modestos escándalos  
con sus duros sonidos de una ansiedad  
cualquiera  
y su insignificante comezón de recuerdos.  
Ah si pudiera elegir mi paisaje  
elegiría, robaría esta calle,  
esta calle recién atardecida  
en la que encarnizadamente revivo  
y de la que sé con estricta nostalgia  
el número y el nombre de sus setenta árboles.

Mario Benedetti



**Promotor:** Confederación Hidrográfica del Ebro }  
**Empresa Constructora:** Empresa de Transformación Agraria, S. A.  
**Autor del proyecto por Tragsatec:** Manuel Fonseca Gallego.  
**Equipo técnico de Tragsatec. Fase de proyecto de ejecución:**  
Gustavo de las Heras Izquierdo. Arquitecto  
Francisco Ávalos Gómez. Arquitecto Técnico  
Ejecución de estructura de madera laminada : Ensambla Madera  
Fotografía: Luís Prieto Sáenz de Tejada  
Fecha de proyecto: Junio de 2008  
Fecha de finalización de obra: Abril de 2009  
Presupuesto por administración: 117.822,20 €



**Arquitecta:** [Verónica Arcos](#)  
**Ubicación:** Santiago de Chile  
**Clientes:** Rodrigo Arcos, Alejandra Schmidt  
**Colaboradora:** Anna Pia Catalá, Architect, AADipl, MScAAD  
**Calculista:** José Manuel Morales  
**Diseño:** 2006-2007  
**Construcción:** 2007-2008  
**Área construida:** 220m<sup>2</sup>



**Catedral de Cristo de la Luz – SOM**

**Arquitectos**

categorías: Obras, Portada

Arquitectos: Skidmore, Owings & Merrill LLP

Ubicación: Oakland, California, USA

Ingeniería Estructural: Mark Sarkisian, PE, SE,

**Structural Engineering**

Año termino construcción: 2008

Área terreno: 2.50 acres

Área Construida: 20,996 m<sup>2</sup>

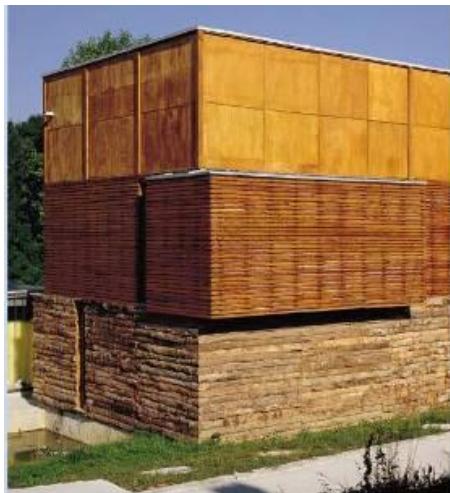


Imagen seleccionada para mostrar el Uso de la madera como generador de diversos volúmenes  
Tomada de ISSUU.com



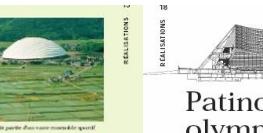
La columna exterior sirve de apoyo al voladizo, trabaja netamente a compresión y debido a su esbeltez posee tirantes que evitan el pandeo lateral de la misma

SISTEMA ESTRUCTURAL PLANAR  
CERCHA  
ACADEMIA DE FORMACIÓN (Herne – Sodingen)



## Proyectos tomados publicaciones francesas

**RÉALISATIONS**

**1** 
**La nef et le dôme.**  
Les œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**2** 
**Le complexe diffère à l'extérieur**  
une clôture boisée.  
  
**3** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**4** 
**Le complexe diffuse**  
la profondeur des œuvres  
expérientielles au dessus  
par la culture impériale.  
  

## Un dôme pour le sport dans le nord du Japon

**■ Dans le nord de l'archipel, l'architecte Toyo Ito imagine une vaste coupeole, dont la structure en bois constitue une proesse technologique pour un terrains couvert de base-ball, sport très populaire au Japon.**

**ORIGINE ET LUMIÈRE**  
Le projet des îles, dans lequel l'architecte d'origine suisse Toyo Ito (né en 1941) imagine la métropole des îles du nord japonais, offre un paysage de montagnes, de rivières et de lacs.

L'approche structurale innovante développée à Dôme est destinée à faire émerger une relation entre l'activité humaine et l'environnement naturel. Le concept de l'architecte est de créer un espace de jeu et de divertissement, tout en respectant la nature. Il a donc choisi de construire un dôme en bois, qui offre une surface de jeu de 22 000 m<sup>2</sup>. Tapis ou sol en bois, la surface en bois offre une sécurité supplémentaire pour les joueurs. Le dôme est également doté d'un système de drainage intelligent qui évite l'infiltration d'eau dans le terrain de jeu. Les matériaux utilisés sont durables et recyclables, ce qui contribue à la durabilité et à la durabilité du dôme.

Le dôme offre plusieurs fonctionnalités, dont le terrain de jeu couvert, une salle d'exposition, des espaces de restauration et de divertissement, ainsi que des salles de réunions et de conférences. Leur fonctionnalité par l'intégration de plusieurs éléments.

**5** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**6** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**7** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**8** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**9** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**10** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**11** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**12** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**13** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**14** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**15** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**16** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**17** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**18** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**19** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**20** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**21** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**22** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**23** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**24** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**25** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**26** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**27** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**28** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**29** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**30** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**31** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**32** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**33** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**34** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**35** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**36** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**37** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**38** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**39** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**40** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**41** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**42** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**43** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**44** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**45** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**46** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**47** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**48** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**49** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**50** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**51** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**52** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**53** 
**Le dôme offre des parties**  
des œuvres expérientielles  
cuisson des fruits-bois.  
  
**54** 

**REALISATIONS**

Le centre autoroute est le premier édifice de l'aire de repos de Caylar sur laquelle est édifiée la Maison de l'Élégant.

Une galerie semi-ouverte par des lames de red cedar sur un support en acier galvanisé assure la continuité visuelle entre les différents bâtiments et avec les aménagements paysagers.

dans la toiture deux pompes à chaleur. À l'image de l'habitat local, le bâtiment offre peu d'ouvertures sur l'extérieur; aussi, toutes les baies sont intégralement protégées par des persiennes coulissantes en red cedar. Les parties supérieures fixes des volets sont constituées de lames de bois ajourées horizontales, filtrant la forte luminosité estivale.

**COURONNEMENT EN BOIS**

Les quatre façades sont traitées en parement de pierre de Caen et enroulées par une couche de lames de bois ajourées horizontales qui filtre la lumière et protège l'édifice.





## Proyectos ilustrativos



Hugo Boss Competence Centre Coldrerio, Switzerland Architect: Matteo Thun & Partner, Milan, Italy



Alnwick Gardens, Visitor Centre Northumberland, UK Architect: Hopkins Architects, UK

Proyectos tomados publicaciones descargadas de issuu.com

C a s o s t e c n o l o g í a e n m a d e r a



C a s o s t e c n o l o g í a e n m a d e r a



C a s o s t e c n o l o g í a e n m a d e r a





## 19.7. Empresas Que Cuentan Con Madera Certificada

CB code	Categoría	Número	Empresa certificada	Valida del:	Fecha de expiración
SW	COC	001804	Aserradero WTI de Arenal S.A.	01 Mar 2006	28 Feb 2011
SW	FM/COC	000152	Brinkman & Asociados Reforestadores de Centro América, S.A. (BARCA, S.A.)	27 Jun 2006	26 Jun 2011
GFA	FM/COC	1261	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha	16 Jun 2005	15 Jun 2010
GFA	COC	001290	Compañía Maderera Sarapiquí	04 Jan 2006	03 Jan 2011
SW	COC	003200	Diamond Teak S.A.	20 May 2008	19 May 2013
SW	FM/COC	000172	ECO Capital S.A.	15 Nov 2001	14 Dec 2010
SW	FM/COC	000098	ECO DIRECTA S.A. / CASA CORAZÓN VERDE ECOLÓGICA S.A.	15 Nov 1999	14 Nov 2009
SW	COC	000637	ECO Timber S.A.	15 Nov 2001	14 Nov 2010
SW	FM/COC	001838	EcoGarant Nederlandse Bosbouw Groep S.A.	27 Mar 2006	26 Mar 2011
SW	FM/COC	000169	Expomaderas S.A.	15 Nov 2001	14 Nov 2011
SW	COC	002248	Fine Wood Export S.A.	16 Mar 2007	15 Mar 2012
SW	FM/COC	000006	Flor y Fauna SA	01 Apr 1995	31 Jul 2010
SW	FM/COC	035	Forestales de Costa Rica S.A. (FORECO)/Forestales y Cultivos S.A.	15 Mar 1998	14 Nov 2008
GFA	FM/COC	001402	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central–FUNDECOR	02 Mar 2007	01 Mar 2012
SW	FM/COC	001173	Hacienda Tres Cepas, S.A.	10 Mar 2004	09 Mar 2009
GFA	FM/COC	001468	Life Forestry Costa Rica S.A.	17 Jan 2008	16 Jan 2013
SGS	COC	0626	Maderas Cultivadas de Costa Rica	12 May 2006	11 May 2011
SW	FM/COC	002646	Maderas Preciosas Costa Rica S.A. / Multiservicios Forestales de Guanacaste S.A.	26 Sep 2007	25 Sep 2012
SW	FM/COC	000083	Maderas y Ferretería Buen Precio CBP S.A.	09 Jun 2006	08 Jun 2011
SCS	COC	00339	Maderin Eco S.A. Color Pencil Factory	07 Feb 2007	06 Feb 2012
SCS	COC	00338	Maderin Eco S.A. Sawmill	07 Feb 2007	06 Feb 2012
SCS	COC	00313	Masonite Costa Rica S.A.	01 Jul 2006	30 Jun 2011
GFA	FM/COC	001149	PanAmerican Woods	20 Jan 2005	19 Jan 2010
GFA	COC	1153	PanAmerican Woods Industry	10 Jul 2004	16 Dec 2009
GFA	FM/COC	1150	PG SA	10 Jul 2004	08 Oct 2008
SGS	FM/COC	003140	Planteak of Costa Rica SA	14 Mar 2007	13 Mar 2012
SW	FM/COC	000095	Reforestación Grupo Internacional, Sociedad Anónima (RGI)	25 Jan 2005	24 Jan 2010
SGS	FM/COC	0627	Reforestation Industrial Los Nacientes	12 May 2006	11 May 2011
GFA	FM/COC	1335	SEEV Plantaciones Holandesas S.A.	01 Feb 2007	31 Jan 2012
SCS	FM/COC	095N	Tecnoforest del Norte	16 Nov 2006	16 Nov 2011

Lista actualizada a setiembre del 2008, Fuente: Pagina WEB de Forest Stewardship Council (FSC), [www.fsc-info.org](http://www.fsc-info.org).







# GUÍA DE USO Y APLICACIONES DE LA MADERA EN LA ARQUITECTURA EN COSTA RICA

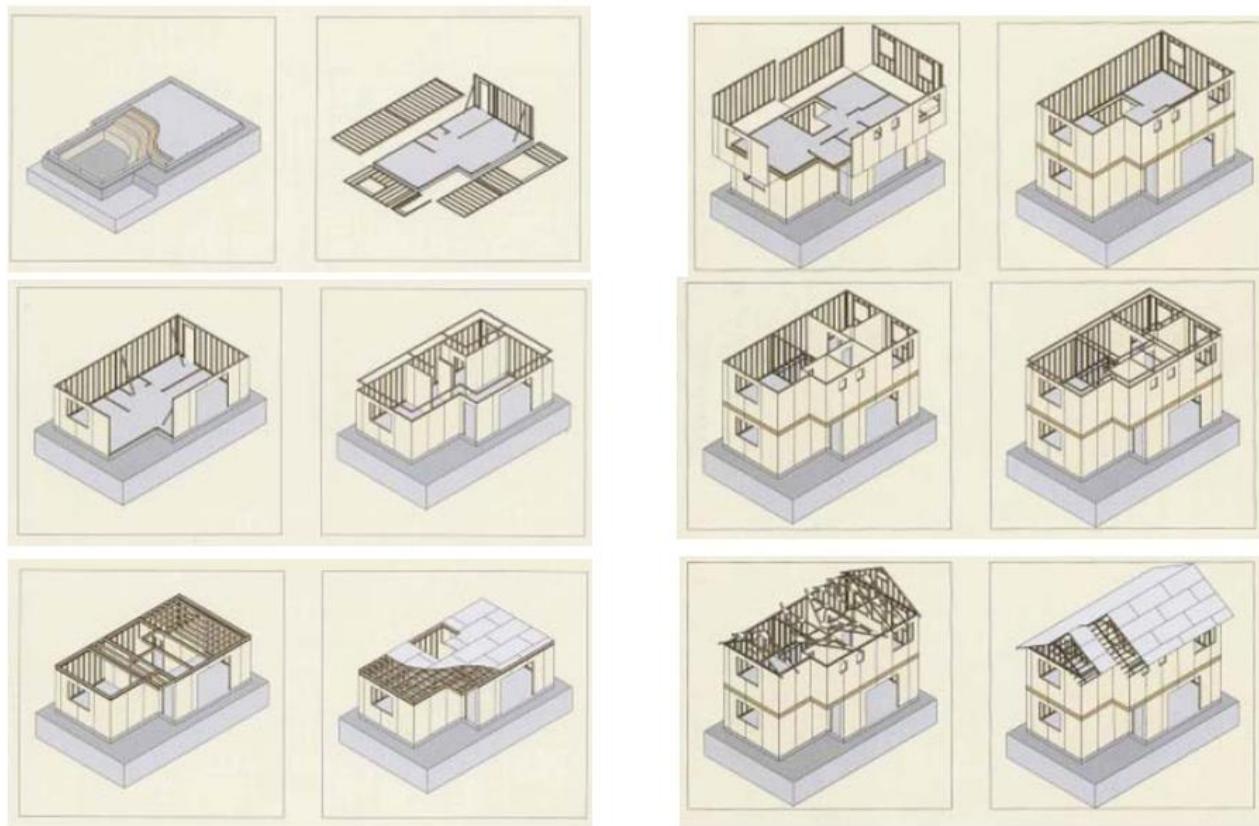
Nº	Parámetros	Fecha	Ejecuta			Cumple			Criterio de aceptación	Observaciones
			CG	SC	CL	SI	NO	NA		
1	Revisar el programa de inspección de piso de madera para establecer los puntos que aplican									
2	Revisar los planos del taller para verificar que los elementos cumplen con las especificaciones									
3	Verificar que los elementos entregados en sitio sean del tipo de madera y la calidad especificados y aprobados Almacenarlos adecuadamente. Protegerlos contra la humedad									
4	Revisar que el material no este combado ni tenga grietas Verificar la dirección del grano,									
5	Verificar que la madera tenga los tratamientos adecuados contra la humedad									
6	Revisar que los cortes, juntas y el trabajo realizado en el taller cumplan con las especificaciones.									
7	Verifiquelos pernos y clavos sean del tipo adecuado y se coloquen según se requieran. Evitar que se utilice una cantidad excesiva									
8	Revisar el acabado de los puntos en donde se colocan clavos o tornillos									
9	Revisar la longitud de los elementos y los empalmes. Verificar que cumplen con las especificaciones y tenga el acabado requerido. Evita un numero excesivo de empalmes									
10	Verificar que los accesorios de metal sean los requeridos y especificados. Revisar su adecuada instalación.									
11	Anclar adecuadamente los elementos a la estructura. Revisar los acabados									
12	Hacer los cortes y huecos necesarios para la instalación adecuada de los elementos según se requiera									
13	Lijar los elementos hasta conseguir superficies lisas. Dar acabado a los bordes según las especificaciones									
14	Verificar que se coloquen las visagras y cerraduras especificadas. Revisar los procedimientos de instalación									
15	Corregir la fracturas producto del clavado. Verificar que no queden marcas abolladuras									
16	Verificar el procedimiento para fijar los elementos al piso									
17	Revisar que las puertas estén instaladas adecuadamente con las tolerancias permitidas, de modo uniforme según lo requerido y lo especificado. Revisar que abran y cierren con facilidad. Evitar las puertas combadas									
18	Sellar, teñir y pintar los elementos y bordes de las puertas expuestas a la intemperie inmediatamente que se instalan									
19	Verificar que se cumpla con las separaciones necesarias entre umbral y puertas.									
20	Verificar que los elementos instalados por subcontratistas cumplan con las especificaciones									

Nº	Parámetros	Fecha	Ejecuta			Cumple			Criterio de aceptación	Observaciones
			CG	SC	CL	SI	NO	NA		
1	Revisar el programa de inspección general para establecer los puntos que aplican									
2	Revisar el programa de inspección de los acabados en madera para establecer los puntos que aplican									
3	Revisar el programa de inspección de pintura para establecer los puntos que aplican									
4	Verificar que se cumplan las condiciones requeridas para una instalación adecuada de los muebles. Revisar las superficies sobre las que se apoyarán los muebles, los elementos de anclajes y ajustes.									
5	Verificar las condiciones de humedad.									
6	Coordinar para que los muebles se entreguen durante la condiciones fase final de acabados cuando se cumpla con las necesarias para su portación									
7	Verificar que los muebles están fabricados con los materiales y las características acordadas y cuentas con los tratamientos y acabados especificados									
8	Verificar que los métodos de instalación, unión y fijación son los requeridos y adecuados. Revisar que no queden marcas, rayones y juntas abiertas o cualquier otro defecto.									
9	Revisar que las superficies tengan el acabado aprobado									
10	Limpiar adecuadamente									
11	Proteger las superficies según se requiera.									

Tomado de Fernández Morales. Roberto – Curso de inspección de obras. Listas de verificación.

## 19.9. Importancia de conocer el proceso constructivo en madera

### P r o c e s o C o n s t r u c t i v o



### D e t a l l e s - S o l u c i ó n d e l a s i n s t a l a c i ó n e s

MAS	HDSA	Arauco		Instalación Sanitaria	Detalles de Construcción
				Instalación sanitaria en estructura de madera	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respaldo y fijación cañerías Capillado 2 x 4 clavado a pies derechos. Usar sólo abrazaderas de cobre o de PVC</li> <li>Ventilación PVC 75 mm</li> <li>Desagüe B' PVC 40 mm</li> <li>Desagüe L' PVC 50 mm</li> <li>Ductos de PVC de 75 mm o más, deben ser proyectados paralelamente a vigas principales</li> <li>Viga principal MSO Estructural 2 x 8</li> <li>Descarga WC PVC 110</li> </ul>
<b>MSTA</b> 			<b>Vista general</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Ancho máximo de perforación para cañerías de A.P. en Pies Derechos de tabiques estructurales</li> </ul>
<b>H2.5 y HCP</b> 					<ul style="list-style-type: none"> <li>Altura máxima y ubicación perforación para cañerías de A.P. y alcantarillado en vigas de piso o entrepisos (Diámetros de tubería superior a 60 mm, deben ser dispuestos en forma paralela a las vigas principales)</li> </ul>
<b>LUS</b> 	<b>A35</b> 				
<b>STC</b> 					



## 19.10. Sistema de Construcción Habicon: un caso exitoso de incorporación de madera de reforestación en la construcción

Habicon es un sistema de construcción prefabricado integral, diseñado por el CIVCO bajo los conceptos de la coordinación modular abierta, concebido para el ensamblaje de viviendas y edificaciones livianas de una a cuatro plantas, funcionales, estéticas y de bajo costo.

Habicon consiste en una serie de elementos y componentes constructivos prefabricados, compatibles gracias a la congruencia modular entre ellos, que llegan a conformar, ya integrados, un cascarón tridimensional en el que su desempeño estructural combinado es más eficiente que si lo hicieran en forma independiente o simplemente articulada<sup>24</sup>.

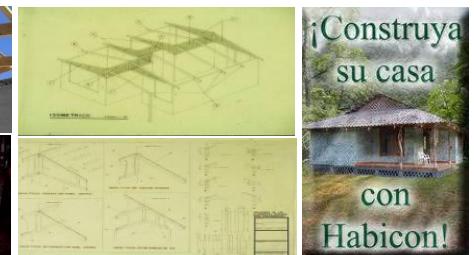
Habicon fue desarrollado en el CIVCO bajo el marco del Acuerdo Bilateral de Desarrollo Sostenible Costa Rica-Holanda<sup>25</sup>. El sistema está siendo patentado por el ITCR<sup>26</sup> y está disponible en el mercado.

Equipo y proceso de fabricación:

Los elementos y componentes constructivos prefabricados (paneles de piso y de pared, vigas y columnas de madera, conectores metálicos, cerchas de madera y tejas de microconcreto) se pueden producir, tanto a nivel industrial como en el sitio de construcción, mediante talleres móviles, empleando personal no calificado y equipo liviano de bajo costo desarrollado por el CIVCO<sup>27</sup>.

El sistema es de fácil y rápido ensamblaje, lo que lo hace ideal para pequeñas empresas constructoras o en procesos de autoconstrucción asistida.

Las mayores economías del sistema se logran en proyectos de construcción en serie.



Fotos del Sistema Habicon. Suministradas por Rolando Fournier

## 19.11. Productos de Tecnología en madera



Light timber ceilings for other carpenters.  
Die leichten Holzdecke für den anderen Zimmermann.  
Le planchers en bois légers pour les autres charpentiers.  
Il soffitto in legno leggero per i carpentieri in genere.

**easy**

### Lignatur

Muro de carga y panel de techo de madera de alta tecnología: Este sistema de origen Suizo con sede en la región de Appenzell, cerca de la frontera entre Alemania y Austria. Sus elementos se caracterizan por un muy rígido comportamiento estructural, su resistencia es comparable a la de un techo de hormigón.

Satisface al mismo tiempo la transmisión de cargas, protección contra incendios, la estética, que llenan el espacio sonoro de protección y absorben el sonido y también se encargan de la función térmica.

Se puede combinar con todos los sistemas actuales y prefabricados también son ideales para su uso en estructuras de hormigón y estructuras de acero



### Sistema de placas estructurales BBS

BBS es un material de construcción monolítico, estructura prefabricada maciza, compuesta por capas de madera encolada (contrachapado), que ofrece una gran cantidad de ventajas tanto estructurales como funcionales, por lo que su utilización para la construcción de todo tipo de edificaciones está en aumento.



## 19.12. Tecnología Honeycomb o panal

Por su poco peso y excelente resistencia es que se están usando millones de m<sup>2</sup> alrededor del mundo, por lo que parece va a continuar reemplazando a otros paneles o tableros tradicionales. Su nombre deriva de su estructura base, configuración que los chinos utilizaron desde hace mas de 2000 años

Estos paneles no solo se utilizan para hacer muebles, sino también para aislamiento térmico y asbosción de la energía acústica. Actualmente se han desarrollado principalmente en papel kraft



Honeycomb Technology:

**Less Is More**

Thanks to its light structure and transportability, honeycomb-panelled furniture could be the thing of the future. By Shiv Kumar Shet, business development manager, Binsay Manufacturing, India!

**D**ue to its light weight and strength, millions of square meters of paper honeycombs are being used all over the globe by furniture manufacturers today. For this reason, honeycomb technology will likely replace many other panel boards used in interior design and furniture manufacturing.

The name is derived from its resemblance to the hexagonal structure of the beehive. While it is believed that the Chinese used the honeycomb 2,000 years ago, the earliest recorded usage happened in 100 BC when it was used in military armors on Roman chariots.

So far, over 450 to 500 types of honeycombs have been tested and used. Honeycomb panels are not only lighter than other materials but also for thermal insulation, energy absorption, and radio frequency shielding. Honeycomb is normally made from thin flat materials, which may be metallic or non-metallic. Metallic flats are aluminum, stainless steel and titanium. These materials are often used non-metallic flats are Kraft paper, Nomex or Fiberglass.

In manufacturing, it is said that "less is more, because more productivity comes from less weight, lower shipping costs and less cost of labor". All the above factors make the people you need to move it. True enough, the most important feature of the honeycomb panel is its light weight.

#### Impact & Bending Strength

The honeycomb panel offers high strength-to-weight ratio and are thicker when compared to the regular man-made panels such as particleboard, MDF, and plywood. Among the strong

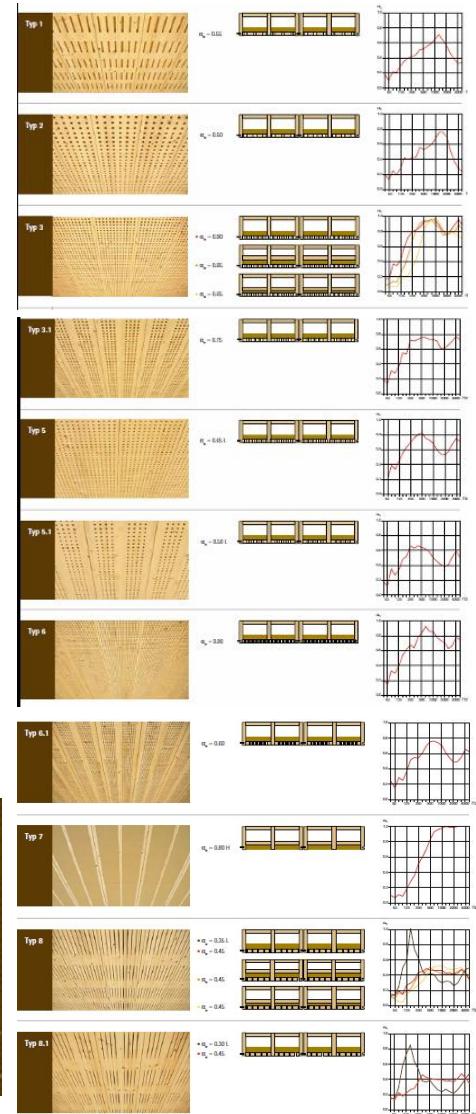
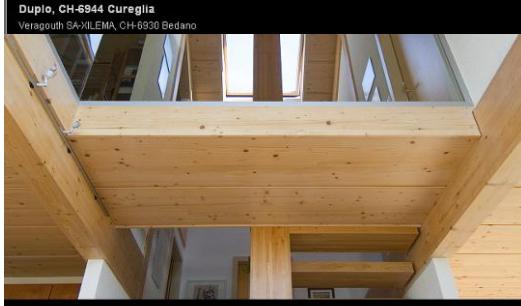
Table 1: Comparison of MOR and MOE of Panel Boards

Material Panel (Nominal thickness)	Modulus of Rupture (MOR) - (N/mm <sup>2</sup> )	Modulus of Elasticity (MOE) - (N/mm <sup>2</sup> )	Impact Bending (IBS) (kJ/mm <sup>2</sup> )
Honeycomb 8+36+8mm	0.92 (0.07)	505 (63)	4.79 (0.39)
Particleboard 16mm	14.62 (0.63)	2730 (227)	2.30 (0.08)
Particleboard 8mm	15.27 (0.47)	2741 (362)	1.20 (0.04)
Particleboard 2x8mm	14.31 (0.56)	2680 (325)	2.66 (0.06)

Mean values of 15 samples and standard deviation in parenthesis

## Otros productos para ilustrar aplicaciones de tecnología en madera

Raumakustik: es otra aplicación del sistema lignatur



## Concurso de Arquitectura CTT - Corma: Madera que Construye Futuro en Chile

■ Redacción M&M

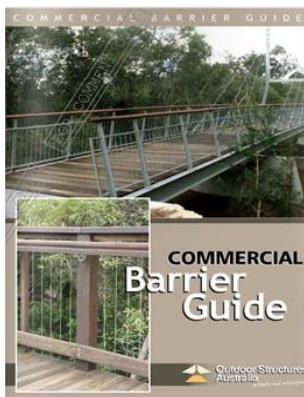
El Concurso de Arquitectura CTT - Corma, que se realiza anualmente en Chile, es hoy por hoy uno de los más destacados de América Latina. A través de sus cuatro versiones ha promovido la búsqueda de soluciones habitacionales a partir del uso y conocimiento de la madera en propiedad del ingenio y la creatividad estudiantil.



Primer lugar Concurso Corma – CTT 2009, Centro de Natación Cubierto y Club de Remo en Valdivia, Universidad de Santiago de Chile. Estudiantes: Rodrigo González Guerra, Matías Muñoz Ruiz, Nicolás Folch Muñoz.



## 19.13. Publicaciones en madera



**Building boost**  
Federal stimulus to jolt upswing in housing starts .. sooner than later

LEADING economic analysis firm Shapero is forecasting a rise of 21% in Australian housing starts in 2009.

The company says this will be the beginning of a four year upswing in residential building in Australia, 2009-2012, driven by the return in construction and development activity after the continuation of very low interest rates.

And the Housing Industry Association (HIA) also expects a rise in housing starts by the end of 2009, driven by the positive impact of low interest rates.

**The WORLD's LEADING manufacturer and supplier of TIMBER PRESERVATIVES**

Osmose Preservative Technology or mark

Visit: [www.osmose.com.au](http://www.osmose.com.au) or phone: 1800 088 809

Las anteriores portadas son una muestra de algunas de las publicaciones disponibles en ISSUU.com



## 20. GLOSARIOS

### GLOSARIO DE TÉRMINOS DE ANATOMÍA:



- Albura:** parte de la madera en la que el árbol contiene células vivas y materiales de reserva
- Anillo de Crecimiento:** una capa de crecimiento según se ve en el corte transversal.
- Apertura de la punteadura:** Orificio de la punteadura, se emplean para describir sus aberturas.
- Coalescente:** Abertura alargada muy angosta, se une a otras para formar estrías en la pared 2daria
- Extendida:** Abertura int. cuyo contorno visto de frente esta incluido en el contorno de la areola
- Incluida:** Abertura int. cuyo contorno visto de frente esta incluido en el contorno de la areola.
- Interna:** Orificio del canal de la punteadura que comunica con el lumen de la célula.
- Lenticular:** Abert. Alargada, apariencia vista de frente de un lente convexo visto de 2ble sección
- Cambium Vascular:** Capa de células activas en el proceso de división en xilema y floema
- Canal Resinífero:** Canal o conducto intercelular que contiene resina.
- Célula:** Cámaras o compartimientos que alguna vez ha contenido protoplasto. Constituye tejidos
- Corteza:** Tejidos fuera del cilindro xilemático, parte externa, muerta, “ritidoma”.
- Duramen:** Porción del cilindro central, capas internas del leño, en el árbol en crecimiento no contiene células vivas y los materiales de reserva han sido extraídos o convertidos en sustancias propias del duramen, es de color más oscuro q la albura o podría no ser distinguible.
- Elemento vascular:** Uno se los elementos vasculares de un vaso o poro
- Estratificado:** en relación con las células axiales y con los radios del leño cuando estos se encuentran en series horizontales en la superficie tangencial.
- Fibra:** cualquier célula larga del leño o de la corteza interna que no sea un vaso o un parénquima, se clasifican llamándoles fibras leñosas, xilmáticas, liberiana o floemáticas, el termino también se emplea en relación con los elementos del xilema.
- Fibra Libriforme:** Célula alargada comúnmente de pared gruesa y punteaduras simples.
- Fibra Septada:** fibra con paredes transversales delgadas que atraviesan su lumen . Sin ónimo Fibra leñosa tabicada.
- Fibrotraqueida:** Traqueida fibriforme, comúnmente de pared gruesa y lumen reducido, extremos puntiagudos y pares de punteaduras aéroladas con aperturas que varían desde lenticulares hasta alargadas y muy angostas.
- Floema:** tejido más importante de todas las plantas vasculares para la conducción de alimentos.
- Médula:** Parte central de los tallos, formada principalmente por tejido parenquimatoso o blando.
- Par de punteaduras:** 2 punteaduras complementarias de células adyacentes.
- Pared Celular:** membrana que circunscribe una célula, en las adultas esta constituida por varias superpuestas primaria, secundaria y terciaria.
- Parénquima:** Tejido constituido por una célula cuya forma es típicamente la de un ladrillo o isométrico y que presenta punteaduras simples.
- Parénquima Apotraqueal:** parénquima axial típicamente independiente a los poros o vasos. Tipos: terminas, difuso, bandeados, difuso en agregados y combinaciones de estos.
- Parénquima Paratraqueal:** parénquima axial asociado a los vasos o las traqueidas vasculares. Tipos: parénquima Paratraqueal escaso, vasicéntrico, aliforme, confluentes, y combinaciones de ellos.
- Perforación simple:** orificio único generalmente grande y mas o menos redondeado, en una placa de perforación.
- Poro:** Sección transversal de un vaso o una traqueida vascular
- Poro múltiple:** grupo de 2 o más poros dispuestos compactamente y achataos a lo largo de sus líneas de contacto, tl subdivisión le hace parecer subdivisiones de un solo poro, de acuerdo con la disposición en el leño se le denomina múltiple radial o tangencial.
- Poro solitario:** poro totalmente rodeado por elementos de otro tipo.
- Protoplasto:** masa de protoplasma que ocupa el espacio delimitado por una pared celular.
- Punteado:** término colectivo para las punteaduras o pares de punteaduras. Según su disposición se denomina alterno, opuesto, radiovascular o intervacular.
- Punteadura:** concavidad en la pared secundaria de una célula y que desemboca en el lumen.
- Radio:** agregado de células semejantes a una cinta y el cual se extiende Radialmente tanto al xilema como al floema.
- Radio heterogéneo:** tejido de los radios, en el cual, estos individualmente considerados están constituidos totalmente por células de 2 tipos horizontales o procumbentes y erectas o cuadradas.
- Radio homogéneo:** el radio esta constituido su totalidad por células horizontales o procumbentes.
- Radio fusionado:** grupo de radios xilemáticos pequeños y angostos, los cuales dan la impresión de ser un solo radio muy largo. Radio agregado parece ser uy ancho.
- Radio multiseriado:** Radios de 2 o más células de ancho, según se puede observar en sección tangencial.
- Radios leñosos:** Clasificación de Kribs. Según tipos de heterogéneos u homogéneos.
- Tílide:** excrecencia proviene de una célula parenquimática, que se introduce a través de la cavidad de una punteadura de la pared de un elemento vascular, obstruyendo parcial o totalmente su interior.
- Traqueida:** célula xilemática no perforada, que presenta punteaduras areoladas hacia los elementos congéneres.
- Traqueida vasicéntrica:** Traqueida corta, de forma irregular, se presenta en a inmediata proximidad de un vaso.
- Xilema:** el leño del árbol que comprende la albura y el duramen.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS DE QUÍMICA:

**Holocelulosa:** producto que esencialmente comprende el contenido total de polisacáridos de la madera (celulosa y hemicelulosa). Se prepara mediante la eliminación selectiva de extraíbles y lignina.

**Lignina:** Compuesto polimérico formado principalmente por unidades de fenilpropano unidas irregularmente, que actúa como agente cementante en las estructuras leñosas de las plantas superiores. Es una sustancia aromática y amorfa que cuya estructura química no ha sido determinada completamente.

**Extractos totales:** materiales solubles en neutros y generalmente no son considerados como parte esencial en la madera. Deben ser removidos antes de cualquier análisis químico (excepto cuando los lavado interfieran). El etanol-benceno se usa para extraer veras, grasas, resinas y gomas. El agua caliente para extraer taninos, azúcares, gomas almidones y colorantes.

**Cenizas:** residuo mineral que queda después de calcinar una muestra de papel o cartón a una temperatura específica, calculando con base en la masa de la muestra original seca.

**Solubles en Na OH 1%.** La solución álcali caliente extrae carbohidratos de bajo peso molecular (hemicelulosa, celulosa degradada en madera y pulpa)

**Solubles en agua fría:** el agua fría ( $23\pm2^{\circ}\text{C}$ ) remueve parte de los componentes extraños inorgánicos tales como: taninos, gomas, azúcares, y colorantes.

**Solubles en agua caliente:** remueve adicionalmente almidones.



## GLOSARIO DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

**D.A.P:** Diámetro de altura del pecho.

**Densidad verde:** Relación del peso verde entre el correspondiente volumen verde

**Densidad seca:** relación del peso seco al horno entre el correspondiente volumen seco al horno.

**Dureza en el extremo:** resistencia que opone la madera a ser penetrada por una esfera (método Janka)

**Contracciones:** reducciones de tamaño, lineal o volumétrica, al disminuir el CH por debajo del PSF.

**Contenido de humedad:** Es la relación expresada en % del peso del agua en una muestra de madera respecto a su peso anhidro en base seca o húmeda.

**Esfuerzo al límite de proporcionalidad:** determina los esfuerzos de diseño, ya que se determinan los esfuerzos permisibles y no los últimos en la metodología de diseño Debido al comportamiento poco predecible en la madera antes de la falla.

**Esfuerzos máximo en cortante paralelo:** Aquel estado de esfuerzos en el cual planos adyacentes a un miembro tienden a deslizarse uno sobre el otro.

**Módulo de elasticidad:** Es la pendiente del tramo lineal para la relación entre la carga y la deformación, generalmente calculado a partir de ensayos a flexión, pero se puede obtener ensayos de compresión paralela al grano.

**Módulo de Ruptura:** es la condición máxima de esfuerzo normal calculada para una sección sometida a momento flector último, suponiendo una distribución lineal de esfuerzos normales.

**P.E.B. peso específico básico:** s el resultado de dividir el peso anhidro (seco al horno a  $103^{\circ}\text{C}$ ) entre el volumen verde que tenía ese peso en condición verde y entre la densidad del agua.

**Resistencia a la compresión paralela al grano:** resistencia máxima que ofrece la madera con el grano paralelo a la dirección de los esfuerzos generados. Esta capacidad se obtiene para una razón de esbeltez correspondiente a columna corta.

**Trabajo al límite proporcional y trabajo a la máxima carga:** Son indicadores de la energía que puede absorber la madera la llegar a las esfuerzos al límite proporcional y carga máxima respectivamente.

**Flexión estática:** prueba que se realiza aplicando una carga lentamente creciente en uno ó más puntos intermedio de una probeta de madera no menor a 70cm de longitud efectiva entre apoyos. Relacionando las cargas aplicadas con las deformaciones correspondientes se puede obtener la resistencia al LP. MOR, MOE, M trabajo a la carga máxima al LP y el trabajo total.



Vía Los Robles  
Arquitecto, José Cruz Ovalle



San Alfonso del Mar  
Arquitecto, Luis Arrieta



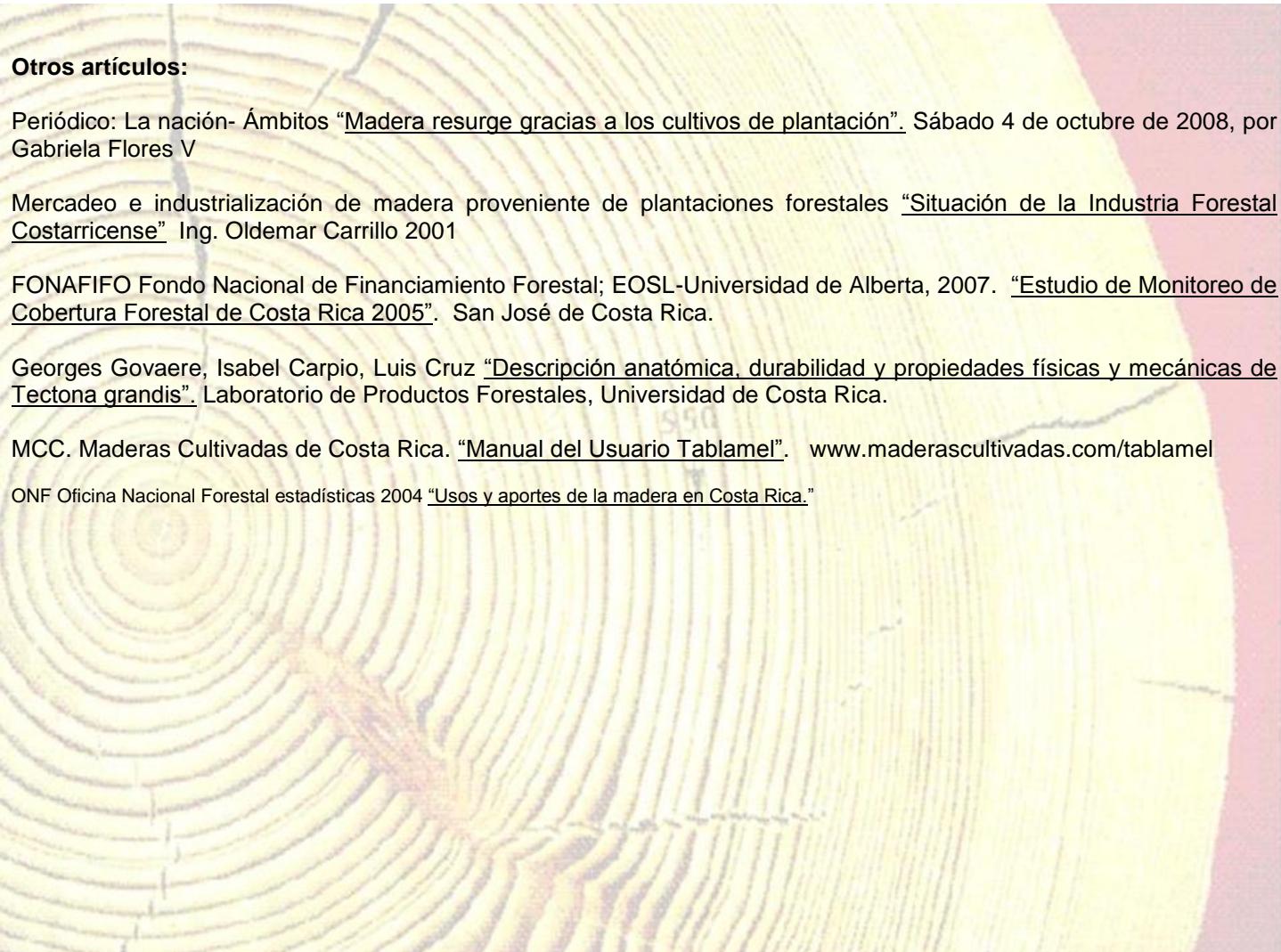
Paseo Peatonal Valparaíso  
Arquitecto, Ricardo Henríquez



Vía Pérez Cruz  
Arquitecto, José Cruz Ovalle

## 21. BIBILOGRAFÍA

- ASTM D 143-94 (2000) Standard Test Methods for small clear specimens of timber
- Blass H.J et al, 1995 Timber engineering step 1 Basis of design, material properties, structural components and joints First edition. Centrum, Hout, the Netherlands
- Carpio Malavassi, Isabel "Anatomía y Ultraestructura de 20 especies maderables de importancia comercial en Costa Rica" Laboratorio de productos forestales UCR - CONICIT
- Carpio Malavassi, Isabel "Maderas de Costa Rica 150 especie forestales" da Edición Editorial de la Universidad de Costa Rica 2003
- Fonseca Elizabeth "Historia de la Arquitectura en Costa Rica", Fundación Museos del Banco Central de Costa Rica 1998
- Forest Products Laboratory, 199 Wood Handbook' Wood as an engineering material Gen. Tech Rep FLP-GTR\_113. Madison, WI U.S Dp of agriculture, forest service, forest products laboratory
- González Beltrán Guillermo "Diseño de Estructuras de Madera" Material del curso Educación Continua, Escuela Ingeniería Civil UCR. 2008
- González Rodrigo, Beatriz, Ing. "Estudio para la Introducción del uso y aprovechamiento de la Madera en Construcciones ligeras de una Vivienda Unifamiliar". Madrid España 1999
- Hempel, Z Ricardo. Arq. "Sistemas de Construcción en Madera Sólida" Ediciones Universidad del Bío Bío Chile 2008
- Jiménez Madrigal Quirico, "Árboles maderables de Costa Rica en peligro de extinción" INBIO 1993
- Junta del acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1984 Manual de diseño para maderas del grupo andino 3ra edición preliminar y corregida, Lima Perú
- Linz. Bárbara Madera, Título original Holz-Wood-Bois, Tandem Verlag GmbH Edición 2009 [www.ullmann-publishing.com](http://www.ullmann-publishing.com)
- Peraza Sánchez, Fernando Protección Preventiva de la Madera. AITIM Madrid España 2002
- Rojas M Lorena, Carpio Isabel M, Muñoz Flor Fichas técnicas de 20 especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. 1er Edición 2005. Editorial de la Universidad de Costa Rica
- Stalnaker JJ Harris E. C "Structural design in wood" 2da edición Chapman and Hall, 1997
- Tuk Durán, Juan "Madera Diseño y Construcción" Colegio Federado Ingenieros y Arquitectos de CR, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos CR. 2da Edición 2010 <http://www.grupoxilo.com>
- Wolfgang Ruske Timber construction for trade, Industry and administration 2004 Birkhäuser-publisher for architecture, Basel Switzerland, -Boston, Berlin [www.birkhauser.ch](http://www.birkhauser.ch)



**Otros artículos:**

Periódico: La nación- Ámbitos “Madera resurge gracias a los cultivos de plantación”. Sábado 4 de octubre de 2008, por Gabriela Flores V

Mercadeo e industrialización de madera proveniente de plantaciones forestales “Situación de la Industria Forestal Costarricense” Ing. Oldemar Carrillo 2001

FONAFIFO Fondo Nacional de Financiamiento Forestal; EOSL-Universidad de Alberta, 2007. “Estudio de Monitoreo de Cobertura Forestal de Costa Rica 2005”. San José de Costa Rica.

Georges Govaere, Isabel Carpio, Luis Cruz “Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de Tectona grandis”. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica.

MCC. Maderas Cultivadas de Costa Rica. “Manual del Usuario Tablamel”. [www.maderascultivadas.com/tablame](http://www.maderascultivadas.com/tablame)

ONF Oficina Nacional Forestal estadísticas 2004 “Usos y aportes de la madera en Costa Rica.”