

DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERA SEGÚN LA NSR10

DANIEL FERNANDO TIQUE CAÑÓN

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

COMITÉ DE GRADO

BOGOTÁ

2016

DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERA SEGÚN LA NSR10

DANIEL FERNANDO TIQUE CAÑÓN

Monografía para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Ferney Peña

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE GRADO
BOGOTÁ
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del asesor

Firma del Par académico

Firma del jurado

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCION | 3 |
| 1. EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERA DESDE TIEMPOS REMOTOS Y HASTA LA ACTUALIDAD | 4 |
| 1.1 LOS PRIMEROS TIEMPOS | 4 |
| 1.2 PERIODO PALEOLÍTICO | 7 |
| 1.3 PERIODO NEOLÍTICO | 8 |
| 1.4 MÉXICO PREHISPÁNICO | 12 |
| 1.5 PERIODO CLÁSICO | 13 |
| 1.6 LOS ROMANOS | 15 |
| 1.7 LA EDAD MEDIA | 16 |
| 1.8 EL NORTE DE EUROPA | 18 |
| 1.9 EL RENACIMIENTO | 19 |
| 1.10 DEL RENACIMIENTO A LA ÉPOCA MODERNA | 20 |
| 1.11 ESTADO UNIDOS Y CANADÁ | 21 |
| 1.12 LA EVOLUCIÓN DE LOS PUENTES DE MADERA | 22 |
| 1.13 LA SERREZUELA | 26 |
| 1.13.1 Reconstrucción | 28 |
| 1.13.2 Una obra con grandes retos | 29 |
| 1.13.3 La Serrezuela resurge para el turismo | 32 |
| 1.14 ALEMANIA ES PIONERA EN ESTRUCTURAS DE MADERA | 33 |

| | |
|--|----|
| 2. APLICACIONES ESTRUCTURALES DE LA MADERA | 35 |
| 2.1 MADERA EN ROLLO ESTRUCTURAL O ROLLIZA | 45 |
| 2.1.1 Definición | 35 |
| 2.1.2 Aplicaciones | 36 |
| 2.1.3 Materiales | 36 |
| 2.1.4 Dimensiones | 36 |
| 2.2 MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL | 37 |
| 2.2.1 Definición | 37 |
| 2.2.2 Aplicaciones | 37 |
| 2.2.3 Materiales | 38 |
| 2.2.4 Dimensiones | 38 |
| 2.3 MADERA EMPALMADA ESTRUCTURAL | 38 |
| 2.3.1 Definición | 38 |
| 2.3.2 Aplicaciones | 39 |
| 2.3.3 Materiales | 39 |
| 2.3.4 Adhesivos | 39 |
| 2.3.5 Dimensiones | 39 |
| 2.4 MADERA ASERRADA ENCOLADA | 40 |
| 2.4.1 Definición | 40 |
| 2.4.2 Aplicaciones | 40 |
| 2.4.3 Materiales | 41 |
| 2.4.3.1 Madera | 41 |
| 2.4.3.2 Adhesivos | 41 |

| | |
|---|----|
| 2.4.5 Dimensiones | 41 |
| 2.5 MADERA LAMINADA ENCOLADA PARA USO ESTRUCTURAL | 42 |
| 2.5.1 Definición | 42 |
| 2.5.2 Aplicaciones | 42 |
| 2.5.3 Materiales | 43 |
| 2.5.3.1 Madera | 43 |
| 2.5.3.2 Adhesivo | 43 |
| 2.5.4 Dimensiones | 44 |
| 2.6 MADERA MICROLAMINADA | 44 |
| 2.6.1 Definición | 44 |
| 2.6.2 Aplicaciones | 45 |
| 2.6.3 Materiales | 45 |
| 2.6.4 Dimensiones | 46 |
| 2.8 PANELES CONTRALAMINADOS | 47 |
| 2.8.1 Definición | 47 |
| 2.8.2 Aplicaciones | 47 |
| 2.8.3 Materiales | 48 |
| 2.8.4 Dimensiones | 48 |
| 2.9 TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA | 49 |
| 2.9.1 Definición | 49 |
| 2.9.2 Aplicaciones | 49 |
| 2.9.3 Materiales | 50 |
| 2.9.4 Tipos y dimensiones | 50 |
| 2.9.4.1 Tableros de madera maciza | 50 |

| | |
|--|----|
| 2.9.4.2 Tableros contrachapados | 51 |
| 2.9.4.3 Tableros de partículas | 51 |
| 2.9.4.4 Tableros de partículas aglomeradas con cemento | 52 |
| 3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL | 53 |
| 3.1 VENTAJAS DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN | 54 |
| 3.2 DESVENTAJAS DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN | 55 |
| 4. TRATAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LA MADERA | 57 |
| 4.1 CLASES DE RIESGO | 57 |
| 4.2 TRATAMIENTO DE LA MADERA | 59 |
| 4.2.1 Generalidades | 59 |
| 4.3 TÉCNICAS DE TRATAMIENTO PREVENTIVO | 60 |
| 4.3.1 Técnicas sin presión | 60 |
| 4.3.1.1 Pulverización y pintado | 60 |
| 4.3.1.2 Inmersión y pintado | 61 |
| 4.3.1.3 Inmersión prolongada en frio | 61 |
| 4.3.1.4 Inmersión en caliente y frio | 61 |
| 4.3.1.5 Difusión | 62 |
| 4.3.2 Técnicas con presión | 62 |
| 4.3.2.1 Técnica de célula llena | 63 |
| 4.3.2.2 Técnica de célula vacía | 63 |
| 4.3.2.3 Técnicas de vacío – vacío | 63 |
| 4.4 IGNIFUGACIÓN | 63 |
| 4.4.1 Por acción mecánica | 64 |

| | |
|--|----|
| 4.4.2 Por modificación de la temperatura de descomposición | 64 |
| 4.4.3 Por formación de espuma | 64 |
| 4.4.4 Por carbonización de la madera | 65 |
| 5. PRINCIPALES ELEMENTOS DE UNIÓN | 65 |
| 5.1 UNIONES MECÁNICAS | 65 |
| 5.1.1 Clavos | 65 |
| 5.1.2 Tornillos | 66 |
| 5.1.3 pernos | 67 |
| 5.1.4 Conectores metálicos | 68 |
| 5.1.5 Placas metálicas dentadas | 69 |
| 5.2 UNIONES DE CONTACTO | 70 |
| 5.2.1 Finger-Joint | 70 |
| 5.2.2 Uniones mediante espigas | 70 |
| 5.2.3 Uniones con ensambles | 71 |
| 6. INMUNIZACIÓN Y SECADO DE LA MADERA | 72 |
| 6.1 SECADO | 72 |
| 6.1.1 Secado natural | 72 |
| 6.1.2 Secado artificial | 73 |
| 6.2 INMUNIZACIÓN DE LA MADERA | 74 |
| 7. NOCIONES BÁSICAS SOBRE ARMADURAS | 75 |
| 7.1 PARTES DE UNA ARMADURA | 75 |
| 7.2 TIPOS DE ARMADURAS | 76 |
| 7.2.1 Pendiente | 76 |
| 7.2.2 Elementos simples y compuestos | 77 |

| | |
|--|----|
| 7.2.3 Compuesta | 77 |
| 7.3 CRITERIOS DE DISEÑO | 78 |
| 7.3.1 Cargas | 78 |
| 7.3.2 Material | 78 |
| 7.3.3 Dimensiones mínimas | 78 |
| 8. ASPECTOS BÁSICOS DE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA BASADOS EN LA NSR10 | 79 |
| 8.1 REQUISITOS DE DISEÑO | 79 |
| 8.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA | 79 |
| 8.3 ESFUERZOS ADMISIBLES Y COEFICIENTES DE MODIFICACION | 81 |
| 8.3.1 Por duración de la carga (CD) | 81 |
| 8.3.2 Por contenido de humedad (Cm) | 82 |
| 8.3.3 Por temperatura (Ct) | 83 |
| 8.4 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN | 84 |
| 8.4.1 Deflexión | 84 |
| 8.4.2 Flexión | 86 |
| 8.4.2.1 Relación de esbeltez | 88 |
| 8.4.2.2 Momento resistente en sección rectangular | 89 |
| 8.4.3 Cortante | 90 |
| 8.4.3.1 Esfuerzo cortante paralelo a las fibras (fv) | 91 |
| 8.5 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL | 92 |
| 8.5.1 Elementos sometidos a tensión axial | 92 |
| 8.5.2 Elementos sometidos a compresión axial | 93 |
| 8.5.3 Clasificación de columnas | 93 |

| | |
|--|-----|
| 8.5.3 Longitud efectiva | 93 |
| 8.5.4 Relación de esbeltez (λ) | 95 |
| 8.5.4.1 Radio de giro | 97 |
| 8.5.5 Acortamiento de elementos a compresión | 97 |
| 8.6 UNIONES | 98 |
| 8.6.1 Esfuerzos de cortante | 98 |
| 8.6.1.1 La altura efectiva de miembros de conexión | 99 |
| 8.6.2 uniones con clavos sometidas a carga de extracción directa | 101 |
| 8.6.3 Uniones empernadas | 102 |
| 8.7 ARMADURAS | 106 |
| 8.7.1 General | 106 |
| 8.7.2 Análisis | 107 |
| 8.7.2.1 Dimensiones mínimas | 108 |
| 8.8 SISTEMAS ESTRUCTURALES | 109 |
| 8.8.1 Clasificación | 109 |
| 9. CONCLUSIONES | 113 |
| 10. BIBLIOGRAFIA | 116 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1: Clases de riesgo _____ | 58 |
| Tabla 2: Esfuerzos y módulos admisibles para ES _____ | 80 |
| Tabla 3: Coeficientes de modificación por duración de carga _____ | 81 |
| Tabla 4: Coeficientes de afectación por humedad _____ | 82 |
| Tabla 5: Coeficientes de afectación por temperatura _____ | 83 |
| Tabla 6: Deflexiones admisibles máximas _____ | 85 |
| Tabla 7: Factor de ajuste por forma _____ | 86 |
| Tabla 8: Factor de modificación C_{fu} por carga en cara ancha _____ | 87 |
| Tabla 9: Calculo de longitud efectiva (L_e) _____ | 88 |
| Tabla 10: Coeficientes de longitud efectiva de la columna (K_e) _____ | 94 |
| Tabla 11: Mayoración de los diámetros de las perforaciones _____ | 102 |
| Tabla 12: Dimensiones mínimas de arandelas _____ | 102 |
| Tabla 13: Cargas admisibles para uniones empernadas _____ | 104 |
| Tabla 14: Coeficiente de reducción por grupo _____ | 105 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|----------------|------|
| Figura 1_____ | 5 |
| Figura 2_____ | 6 |
| Figura 3_____ | 7 |
| Figura 4_____ | 8 |
| Figura 5_____ | 9 |
| Figura 6_____ | 10 |
| Figura 7_____ | 11 |
| Figura 8_____ | 11 |
| Figura 9_____ | 12 |
| Figura 10_____ | 13 |
| Figura 11_____ | 14 |
| Figura 12_____ | 15 |
| Figura 13_____ | 16 |
| Figura 14_____ | 17 |
| Figura 15_____ | 18 |
| Figura 16_____ | 19 |
| Figura 17_____ | 19 |
| Figura 18_____ | 21 |
| Figura 19_____ | 22 |
| Figura 20_____ | 23 |

| | |
|-----------|----|
| Figura 21 | 24 |
| Figura 22 | 25 |
| Figura 23 | 26 |
| Figura 24 | 29 |
| Figura 25 | 32 |
| Figura 26 | 33 |
| Figura 27 | 34 |
| Figura 28 | 35 |
| Figura 29 | 37 |
| Figura 30 | 38 |
| Figura 31 | 40 |
| Figura 32 | 42 |
| Figura 33 | 44 |
| Figura 34 | 47 |
| Figura 35 | 49 |
| Figura 36 | 66 |
| Figura 37 | 66 |
| Figura 38 | 67 |
| Figura 39 | 68 |
| Figura 40 | 69 |
| Figura 41 | 70 |
| Figura 42 | 71 |
| Figura 43 | 71 |
| Figura 44 | 72 |

| | |
|-----------|-----|
| Figura 45 | 73 |
| Figura 46 | 74 |
| Figura 47 | 75 |
| Figura 48 | 76 |
| Figura 49 | 77 |
| Figura 50 | 77 |
| Figura 51 | 90 |
| Figura 53 | 96 |
| Figura 54 | 99 |
| Figura 55 | 100 |
| Figura 56 | 101 |
| Figura 57 | 103 |
| Figura 58 | 106 |
| Figura 59 | 107 |
| Figura 60 | 109 |
| Figura 61 | 110 |
| Figura 62 | 111 |

DEDICATORIA

Quisiera dedicar este trabajo a mi familia quienes me ofrecen siempre su gran apoyo de manera incondicional, a mis profesores de la universidad Santo Tomas, en especial al asesor Ing. Ferney Peña y al par académico Ing. Jorge franco, porque gracias a ellos y a su constante apoyo se terminó de manera satisfactoria este proyecto titulado “Diseño de estructuras en madera según la nsr10”

RESUMEN

Este proyecto es de carácter introductorio al diseño de estructuras de madera, tiene un contenido teórico y técnico. En el contenido teórico se mostrara la historia del uso de las estructuras de madera desde tiempos muy remotos y hasta la actualidad, se abordará también temas que consideramos muy importantes como las aplicaciones estructurales de la madera, tratamiento y conservación de la madera, uniones, nociones básicas sobre armaduras, entre otros.

El contenido técnico se basa en la norma NSR10, titulo G, donde se encuentran muchos parámetros importantes de diseño para estructuras de madera, así como también propiedades mecánicas de la madera.

El proyecto tiene un marco investigativo global, por esta razón investigaremos de fuentes nacionales e internacionales. Lo que se quiere es mostrar a las personas que existen nuevas alternativas de construcción con elementos estructurales que cuentan con muchas ventajas y que nos permiten llevar una mejor calidad de vida.

INTRODUCCIÓN

Se pretende elaborar una recopilación de información teórica y técnica básica sobre las estructuras en madera a nivel global, que brinde un mejor conocimiento sobre este elemento estructural, siendo esto muy importante porque algunos profesionales como arquitectos e ingenieros desconocen muchas de las ventajas que puede traer el incluir la madera en las construcciones, esto conlleva en ocasiones a que se construyan estructuras muy costosas y que afectan el medio ambiente.

Se buscara información a nivel global sobre las estructuras de madera en diferentes países a nivel teórico, para saber cómo hemos avanzado en cuanto al diseño y la construcción de estas estructuras a través del tiempo, luego al final pasamos al nivel técnico donde pretendemos mostrar todas las propiedades importantes de la madera como elemento estructural basándonos sobre todo en la Nsr10.

Para la obtención de información de este proyecto se realizaran consultas en bibliotecas de algunas universidades que han investigado sobre el tema como lo son la universidad de los andes, la universidad nacional y la universidad javeriana. Se revisara también como fuente de información el internet y como manera complementaria se revisaran artículos tomados de las bases de datos de la universidad Santo Tomas que se relacionen con el tema estudiado.

1. EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERA DESDE TIEMPOS REMOTOS Y HASTA LA ACTUALIDAD

1.1 LOS PRIMEROS TIEMPOS

Las construcciones en madera debieron de empezar históricamente antes que las construcciones de piedra, ya que los nómadas en la prehistoria empezaban a construir estructuras más provisionales y rápidas donde guarecerse y preferían levantar chozas con paja y madera antes que levantar muros de piedra muy pesados.

Dada la relativamente escasa durabilidad de la madera no se han conservado restos de estos albergues. Sin embargo, existen testimonios que de una manera indirecta permiten reconstruir sus características generales. En algunos casos se han encontrado huellas de elementos de madera en los suelos que estaban empotrados: la madera ha desaparecido pero queda su impresión. En Ahrensbur (Holstein), Alemania, los arqueólogos han descubierto unos círculos de piedras que se supone fueron utilizados por cazadores de renos de la edad de Piedra para anclar las pieles con que cubrían los postes que formaban la estructura de sus viviendas. En la cueva de Mouthe (Dordogne), Francia, puede apreciarse un grabado de la misma época que muestra una choza aparentemente construida de postes y ramajes. Estas estructuras rudimentarias parecen derivar de las tiendas fácilmente desmontables y transportables que debieron ser las primeras viviendas de las tribus nómadas. Esto explica el predominio de las plantas circulares u ovaladas 1.

1. ROBLES, Francisco y ECHENIQUE, Ramón. Estructuras de madera. Ciudad de México: limusa, 1991.p.19

En la siguiente imagen podemos apreciar cómo fueron estas antiguas construcciones:

Fig. 1

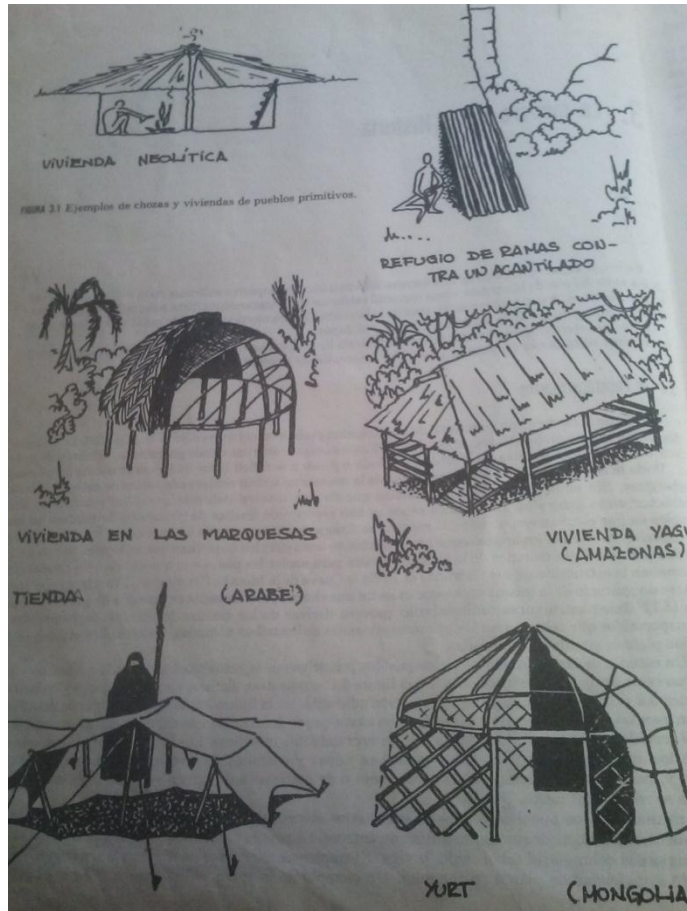


Fig. 1: Ejemplos de chozas y viviendas de pueblos primitivos, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

Las uniones son muy importantes porque estas nos permiten darle resistencia a las estructuras, en la siguiente imagen podemos ver algunos tipos de uniones muy comunes de la prehistoria:

Fig. 2

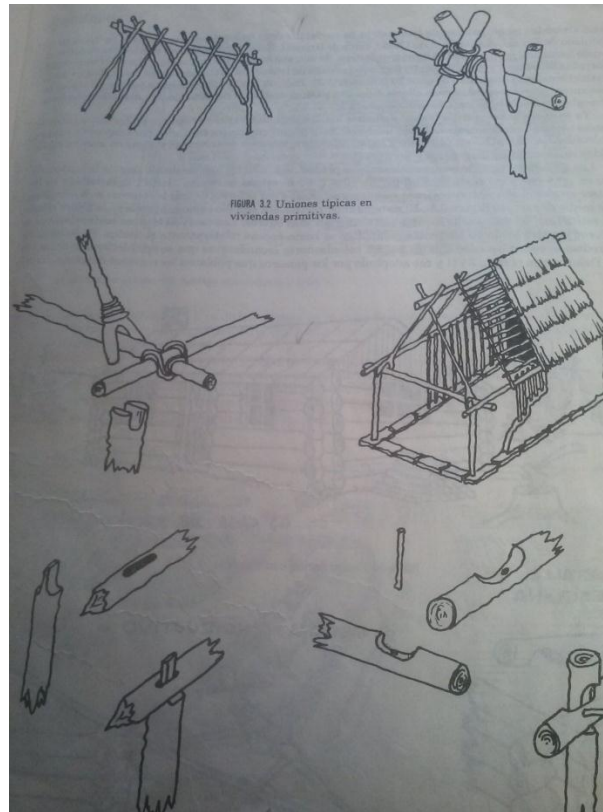


Fig. 2: Uniones típicas en viviendas primitivas, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

Estas uniones perduraron hasta que se inventaron los clavos, los pernos y las puntillas (uniones metálicas), se empezaron a utilizar herramientas metálicas para la construcción de las uniones, anteriormente solo se utilizaba el hacha y se carecía de algún tipo de unión metálica.

1.2 PERIODO PALEOLÍTICO

A medida que sus pueblos se volvían sedentarios sus construcciones adquirían características más permanentes. En lugar de ramaje se utilizaron troncos. La propia naturaleza indicaba el camino: el árbol vivo sugiere la columna; el árbol caído la viga. El empleo de elementos pesados para muros y techos condujo a viviendas de planta rectangular. Un ejemplo de la época paleolítica es el de las huellas de seis viviendas rectangulares, de tres metros de ancho por doce de longitud, descubiertas en Rusia en el poblado de Timonovka, sobre el río Desna, cerca de Briansk. Estas construcciones estaban hundidas en el suelo hasta una profundidad de tres metros. Se entraba en ellas por una rampa. Las paredes estaban forradas de troncos y el techo estaba formado también de troncos cubiertos con tierra. Se atribuye a estas estructuras una antigüedad de unos 20.000 años. Todavía hoy se construyen en Siberia viviendas semejantes muy apropiadas para climas fríos. Otros restos de construcciones paleolíticas han sido descubiertos en Vestonice, Checoslovaquia 2.

Fig. 3



Fig. 3: Construcción con troncos, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

2. ROBLES, Francisco y ECHENIQUE, Ramón. Estructuras de madera. Ciudad de México: limusa, 1991.p.19

1.3 PERIODO NEOLÍTICO

En el neolítico se encontraban establecidos los dos sistemas básicos utilizados en las estructuras de madera hasta prácticamente la época moderna: los edificios con muros formados por troncos de madera colocados horizontal o verticalmente y los edificios de armazones de columnas y vigas de madera rigidizados con elementos diagonales y horizontales 3.

El sistema de armazón, estaba conformado de postes y vigas, este sistema está cubierto por un ramaje y entre los postes se recubre con lodo como se muestra en la siguiente imagen:

Fig. 4

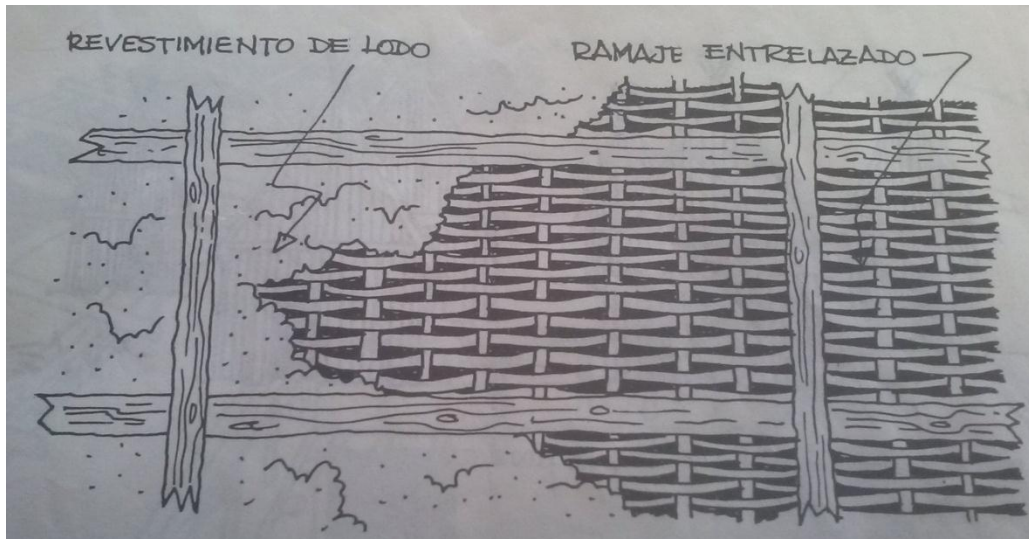


Fig. 4: Construcción con ramaje entrelazado y lodo, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

3. ROBLES, Francisco y ECHENIQUE, Ramón. Estructuras de madera. Ciudad de México: limusa, 1991.p.22

Fig. 5

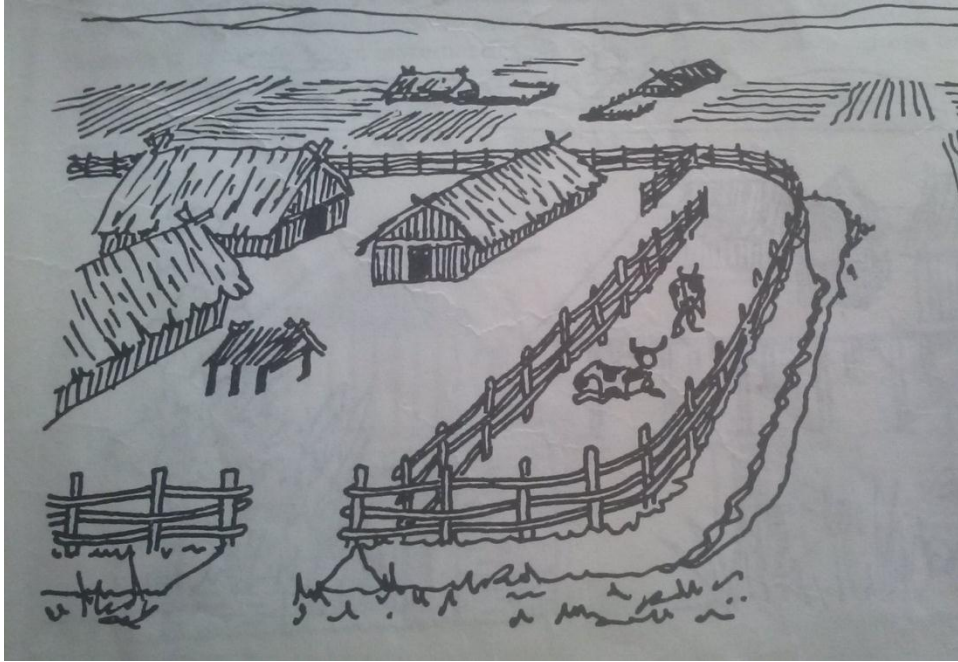


Fig. 5: Poblado neolítico de Koln-Lindenthal (4200 a. C), tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

En el periodo neolítico también se construyeron los palafitos, viviendas construidas en los lagos sobre estacas o postes. El ejemplo más conocido corresponde a los restos de una población descubiertos, en el lago Zurich, Suiza. Otro poblado lacustre fue Glastonbury, en Inglaterra. Huellas de estructuras semejantes existen también en Italia e Irlanda 4.

4. Ibid. p. 24

En la siguiente imagen podemos ver un poblado lacustre, estas son las llamadas construcciones palafíticas, se encuentran sobre todo en américa del sur y parte de África.

Fig. 6

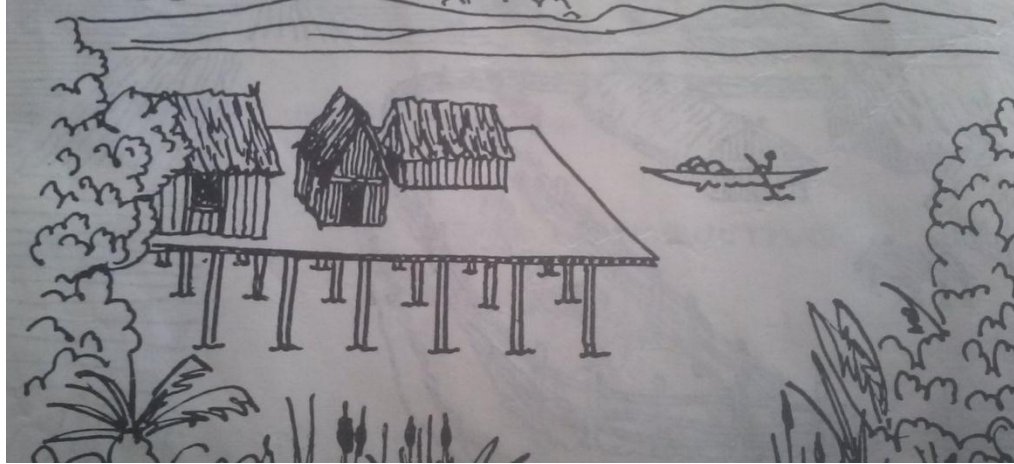


Fig. 6: Construcciones palafíticas, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

En las regiones mediterráneas y del cercano oriente, desde tiempos muy remotos era muy usual encontrar construcciones con un armazón de madera y recubierto de ladrillos por ejemplo, cuando no se utilizaba la madera para armazones de la edificación, entonces se utilizaba en el techo.

Fig. 7

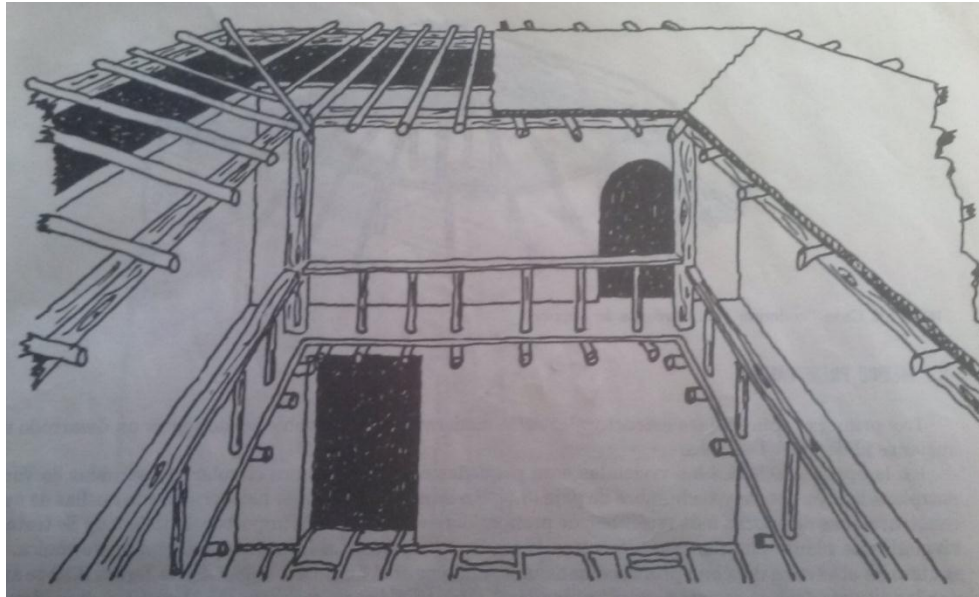


Fig. 7: Patio de una vivienda de Ur, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

Los sistemas de armazón de madera y rellenos de diversos materiales persistieron después del neolítico, durante largos siglos. Un ejemplo es el de las viviendas de los vikingos como las que se reproducen en la figura.

Fig. 8

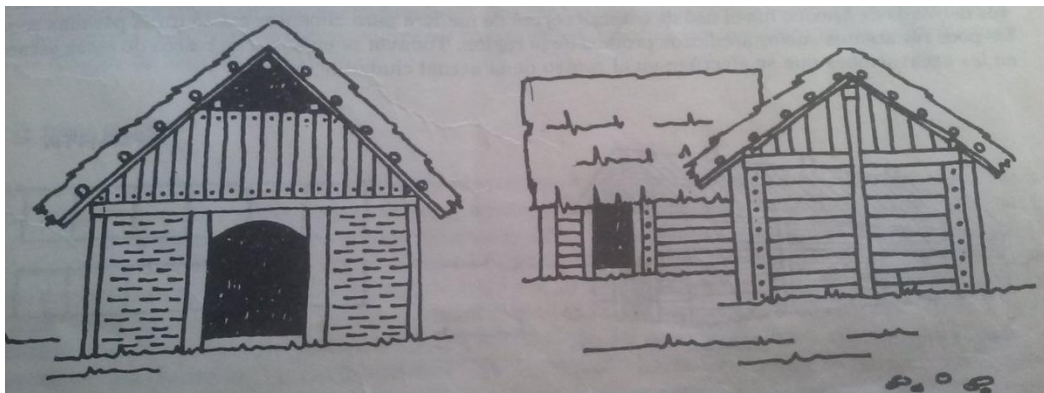


Fig. 8: Casas vikingas, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

1.4 MÉXICO PREHISPÁNICO

En México y en algunas regiones de Sur América las aplicaciones de la madera debieron de seguir un comportamiento similar.

En la época preclásica las viviendas eran pequeñas chozas de planta circular, construidas con varas entrelazadas con arcilla y techumbre de paja. En Sinaloa y Sonora se han encontrado huellas de unas construcciones más recientes, de proporciones relativamente importantes. Se trata de viviendas de planta circular de diámetros hasta de 12 metros. La forma era esencialmente cónica. Un agujero en el vértice del cono proporcionaba una salida para el humo del hogar.

Fig. 9

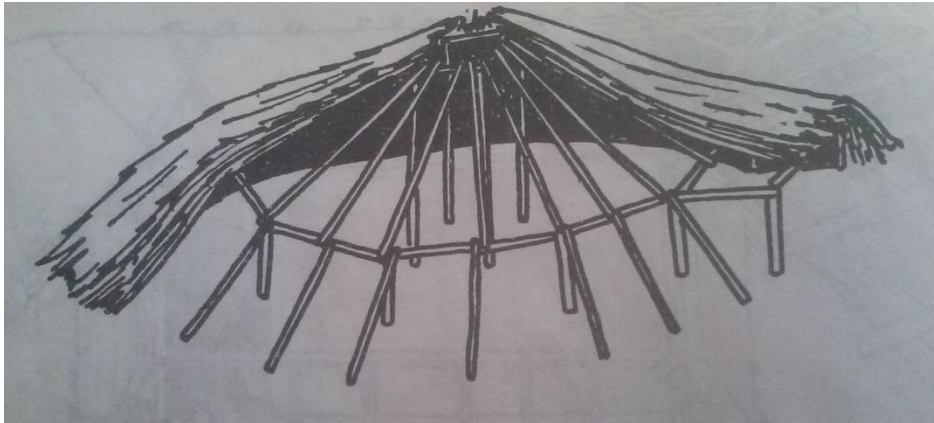


Fig. 9: Casa redonda del noroeste de México, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

Otro tipo de construcción con elementos de madera común en el noreste de México, más reciente, fue el de las “casas largas”, eran estructuras de planta rectangular que tenía un pasillo central y habitaciones laterales simétricamente ubicadas.

Fig. 10

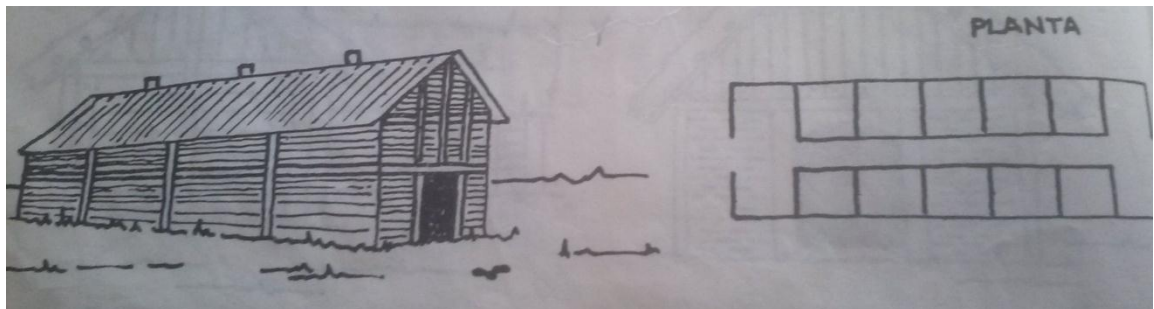


Fig. 10: Casa larga del noroeste de México, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

1.5 PERIODO CLÁSICO

Como en otras regiones, en los países mediterráneos los primeros edificios fueron de madera. Esto puede apreciarse en las características de las grandes estructuras de piedra de la edad de oro de Grecia que reflejaban los elementos constructivos propios de las estructuras de madera, esencialmente la columna y el dintel. Aunque la piedra era el material dominante en los muros de estos edificios, como en el Templo de Artemisa en Esparta (Siglo IX a de J.C) y el de Hera en Olimpia (640 a. de J.C), la madera siguió utilizándose para formar los techos, al igual que en las construcciones más antiguas, por su capacidad para salvar grandes claros ⁶.

6. Ibid. p. 29

Un ejemplo típico es el techo del arsenal de Pireo, cuyas especificaciones se han conservado hasta hoy grabadas en una losa de mármol, como se muestra en la siguiente imagen:

Fig. 11

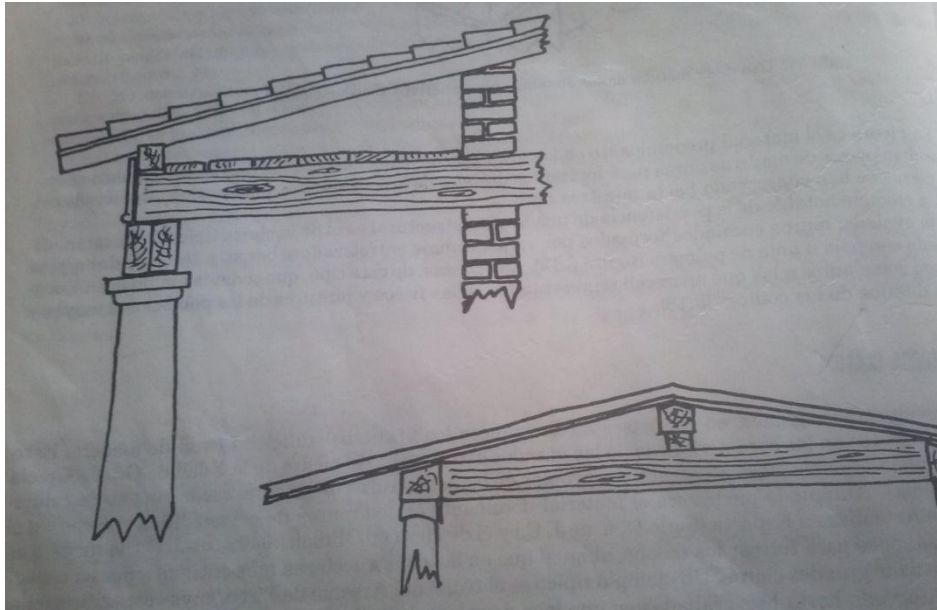


Fig. 11: Detalles del techo del arsenal de Pireo, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

1.6 LOS ROMANOS

En los romanos los usos estructurales de la madera comienzan a mostrar ciertos detalles más técnicos. En la época de Augusto, Vitruvio, en su tratado “De Architectura”, dio recomendaciones sobre las aplicaciones más convenientes de diferentes especies de árboles, el corte de la madera y su uso en la construcción.

La siguiente imagen es la estructura de techo de una casa Toscana vista de planta, como la concebía Vitruvio:

Fig. 12

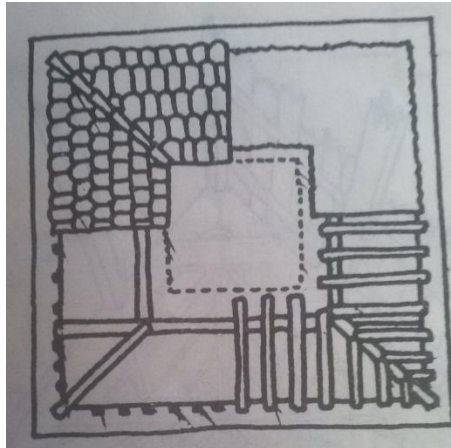


Fig. 12: Estructura del techo de una casa toscana (Vitruvio), tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

A los romanos les debemos el estudio técnico de la madera como elemento estructural, empezaron a utilizar la madera con un poco más de inteligencia haciendo armaduras para techos, como esta de una Basílica, salvando un claro de 23 m.

La siguiente imagen muestra las características de esta armadura:

Fig. 13

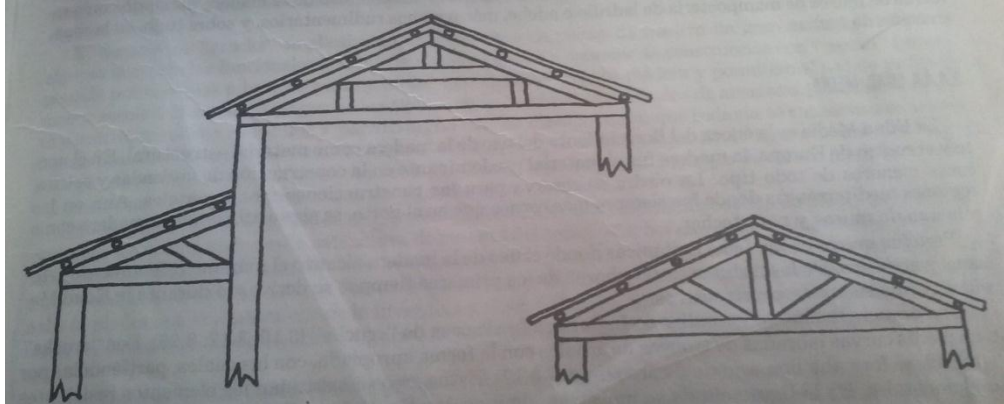


Fig.13: Techos romanos de madera típicos de basílicas, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

1.7 LA EDAD MEDIA

La edad media es la época del florecimiento del uso de la madera como material estructural. En el norte y en el centro de Europa, la madera fue el material predominante en la construcción de viviendas y estructuras menores de todo tipo. La piedra se reserva para las construcciones monumentales. Aun en las regiones mediterráneas donde fue siempre más escasa que en el norte, se sigue utilizando la madera como refuerzos de muros y para techar 7.

7. Ibid. p. 30

Pero fue quizás en las Islas Británicas donde el uso de la madera alcanzó el máximo refinamiento artesanal y artístico. De las rudimentarias chozas de los primeros tiempos se derivaron durante la Edad Media diversos sistemas constructivos 8.

Una primera modalidad peculiar de Inglaterra fue la casa de “crucks”. Según Echenique Ramón, nos presenta la siguiente definición: “Los “crucks” eran piezas curvas labradas de troncos de árboles de forma apropiada, con las cuales partiéndolas por la mitad, se formaba una especie de arco. Estos arcos constituían los elementos existentes fundamentales” 9.

En la siguiente imagen se muestran las características típicas de los “Crucks”, podemos apreciar las uniones que se utilizaban

Fig. 14

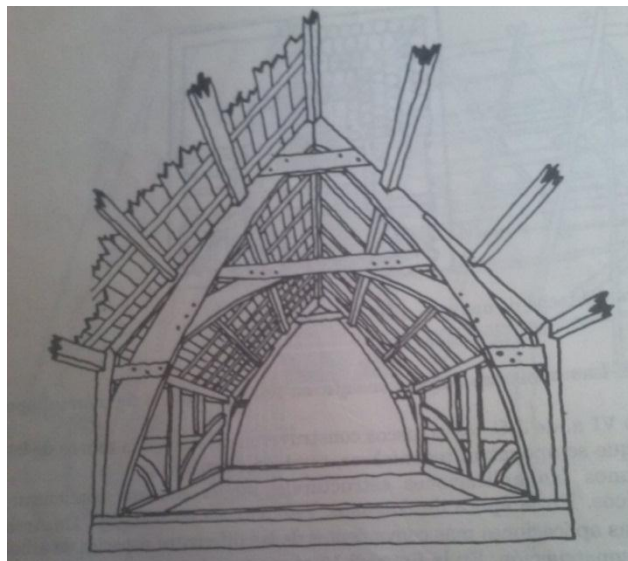


Fig. 14: Detalles de casas inglesas de “crucks”, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

8. Ibid. p. 31

9. Ibid. p. 32

1.8 EL NORTE DE EUROPA

En las Islas Británicas ya para la edad media había una gran escases de madera, esto hizo que su utilización se limitara, en las iglesias y palacios se utilizaba mampostería convencional para los muros y se dejaba la madera para los techos.

El sistema estructural de las iglesias escandinavas que predominó de los siglos XI a XIV, se basaba en el uso de piezas verticales de carga rigidizadas en su parte superior por elementos formando algún tipo de triangulación. Para encerrar el espacio se utilizaban tablas. Generalmente los postes se apoyaban sobre zapatas de piedras en lugar de estar hincados directamente al suelo, como en edificios de épocas anteriores, lo que favoreció su durabilidad. Todavía se conservan algunas iglesias de este tipo 10.

En la siguiente figura se muestran las características principales de las iglesias de postes (“staves”) escandinavas.

Fig. 15

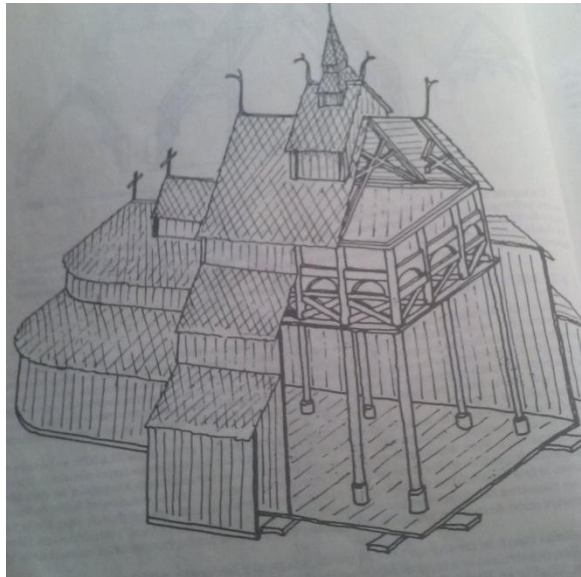


Fig. 15: Iglesia Noruega, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

10. Ibid. p. 33

Las iglesias rusas tenían una planta octagonal y sus cúpulas estaban compuestas por formas caprichosas. Los muros solían construirse con troncos horizontales. En la siguiente figura se puede ver una estructura típica.

Fig. 16

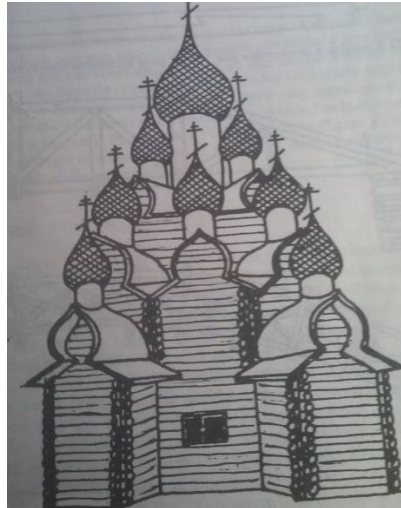


Fig. 16: Iglesia Rusa, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

1. 9 EL RENACIMIENTO

En los países europeos donde floreció el renacimiento, sobre todo en Italia y Francia, aunque la piedra fue el material preferido para muros, se utiliza mucho la madera para los techos, aquí empieza a tener una gran importancia la construcción de armaduras que salven grandes claros.

Fig. 17

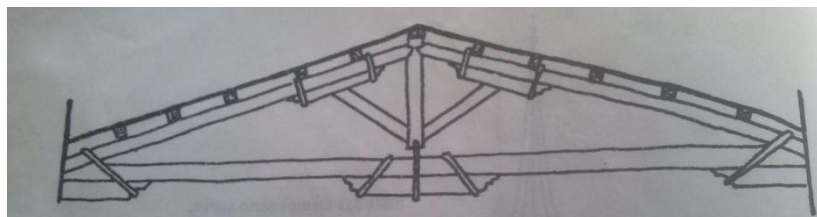


Fig. 17: Armadura, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

1.10 DEL RENACIMIENTO A LA ÉPOCA MODERNA

Las estructuras de madera hechas durante la época Clásica y el Renacimiento son notables, esencialmente si se considera lo limitado de los recursos tecnológicos con que contaban sus creadores.

En los siglos posteriores del renacimiento pueden observarse importantes cambios en el uso estructural de la madera. Con Galileo, Coulumb, Euler, Newton, Young, Hooke y otros se empieza a establecer los principios científicos para el análisis racional del comportamiento de los materiales y de las estructuras. En Francia el conde Buffon prueba cientos de vigas de madera para el ministro de Marina de Luis XV. En 1792, Belidor publica “la science des Ingenieiors”, el primer texto sobre ingeniería con una base científica. En su obra Belidor, fundándose en resultados experimentales, propone reglas para dimensionar vigas de madera 11.

Sin embargo, no es sino hasta el siglo XIX cuando se generaliza la aplicación de principios científicos al diseño de estructuras de maderas, con estos principios se construyen estructuras más esbeltas.

El siglo XIX se caracteriza por la mecanización de la producción industrial, en donde la construcción se ve muy afectada, los clavos se producen en masa y por supuesto a unos costos más baratos, esto hace que se puedan hacer mejores uniones, la sierra eléctrica va remplazando al hacha y esto hace que el proceso de aserrar madera se estandarice más.

No obstante todo este avance tecnológico, en el siglo XIX la madera pierde el papel predominante como material de construcción porque es remplazada por los nuevos materiales que se producen en masa como el ladrillo y el concreto, se le deja un papel menos estructural a la madera pero esto no quiere decir que desaparezca aún se encuentra en techos por ejemplo.

11. Ibid. p. 32

1.11 ESTADO UNIDOS Y CANADÁ

Mientras que en Europa, en general, a partir del Renacimiento, el uso de la madera tiende a decaer a medida que disminuyen los recursos naturales y aparecen nuevos materiales de construcción, en los Estados Unidos, la madera conserva considerable importancia hasta nuestros días, especialmente en la producción de viviendas 12.

En Estados Unidos más específicamente en Chicago se inició un sistema constructivo de “armazón de globo” (“balloon frame”), por su ligereza. El sistema que fue desarrollado alrededor de 1830, es una evolución de las casas de armazón (“frame houses”) de Nueva Inglaterra, en las que las piezas robustas de estas son sustituidas por piezas ligeras de sección estándar, unidas por clavos y dispuestas a distancias relativamente pequeñas.

En la siguiente imagen se puede ver las características de estas estructuras.

Fig. 18

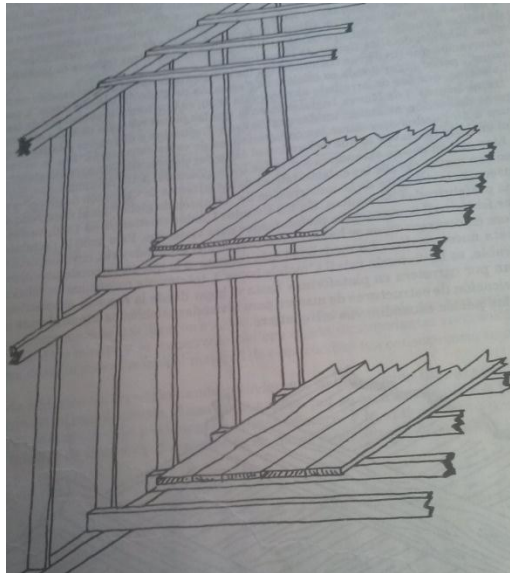


Fig. 18: Sistema “balloon frame”, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

12. Ibid. p. 39

1.12 LA EVOLUCIÓN DE LOS PUENTES DE MADERA

Desde períodos remotos los puentes han sido uno de los aspectos de la ingeniería estructural en que la madera ha encontrado aplicaciones más interesantes.

En la siguiente imagen se muestra la forma en que quizás evolucionaron, de forma intuitiva, las primeras armaduras para puentes.

Fig. 19

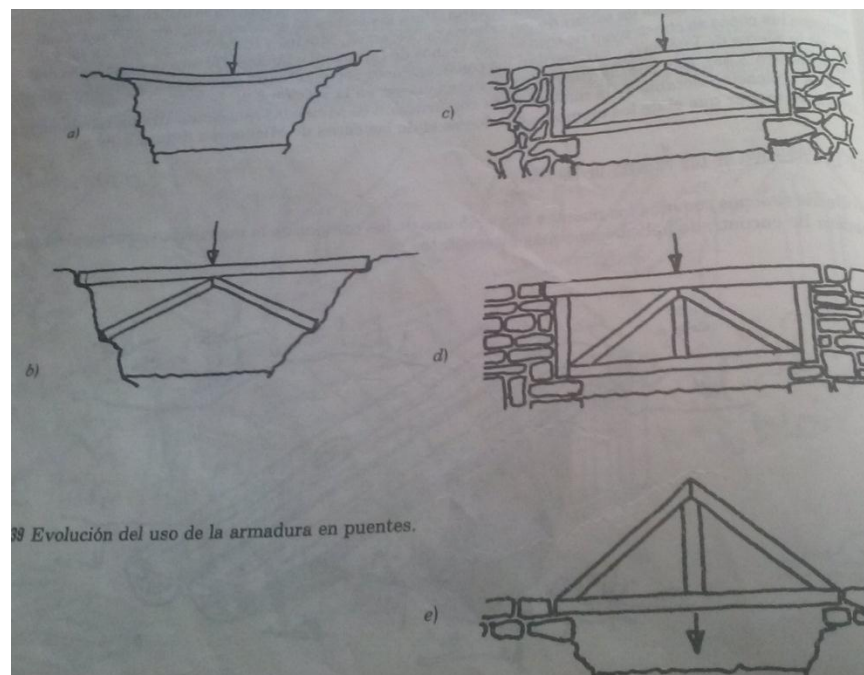


Fig. 19: Evolución del uso de armaduras en puentes, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

Los romanos construyeron importantes puentes en madera y cada vez iban perfeccionando su técnica salvando con el tiempo más claros. Uno muy importante es el puente sobre el Danubio construido por Trajano, las características generales de este puente pueden deducirse de un detalle grabado en la columna de Trajano. Apolodoro aprovecho el principio de la triangulación para formar armaduras de madera apoyados también sobre arcos de madera. El ancho de la calzada era de aproximadamente 6,6 metros y la longitud total del puente, unos 1200 metros dividido en 20 tramos. Las pilas sobre las que se apoyaba la estructura de madera eran de mampostería.

Fig. 20

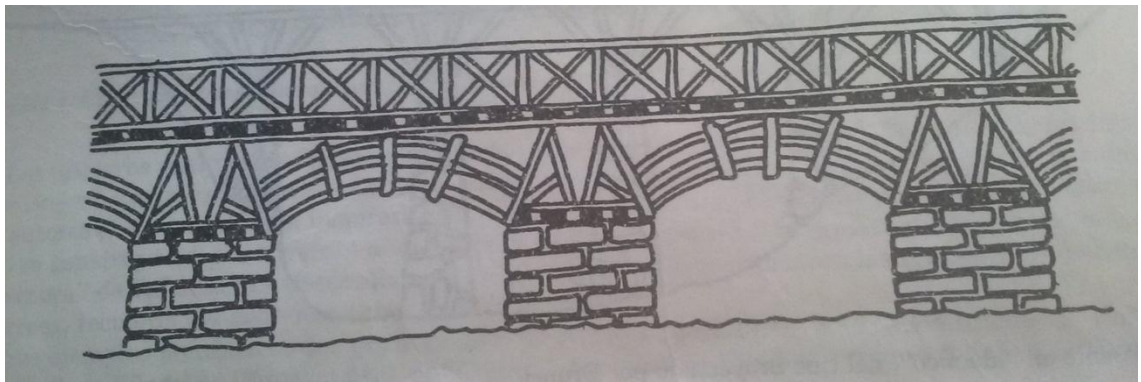


Fig. 20: Puente de Trajano sobre el Danubio, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

En los Estados Unidos por el contrario la madera, por su abundancia siguió siendo el material preferido para la construcción de puentes hasta bien entrado el siglo XIX.

Tres ejemplos notables de los puentes de esta primera época fueron el “puente permanente” en filadelfia, el “coloso” también en filadelfia y el “Waterford”.

Fig. 21

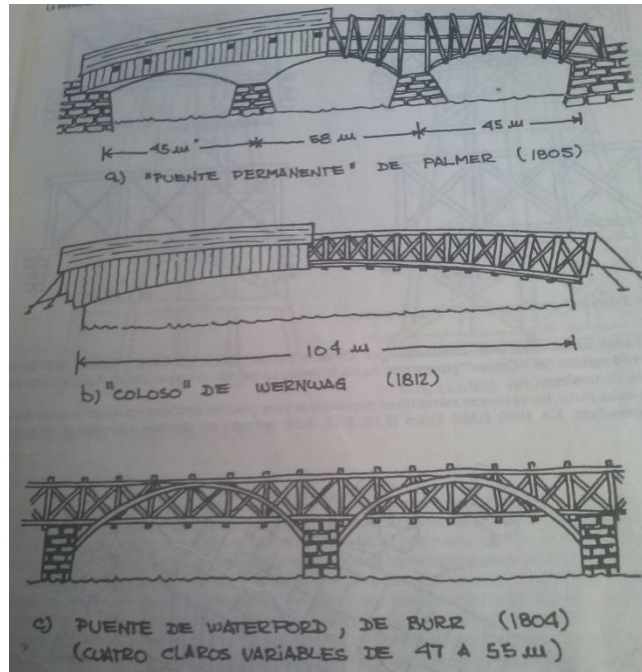


Fig. 21: Puentes americanos de arcos combinados con sistemas triangulados, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

Como se ha visto, las primeras estructuras importantes para puentes combinaron el principio del arco y la armadura. En 1820 Ithiel Town patentó un sistema estructural en que se prescindía del principio del arco, lo que eliminaba los empujes horizontales sobre los estribos. Consistía este sistema en una armadura formada por tabloncillos diagonales cruzados para el alma y piezas horizontales para la cuerda superior e inferior, constituyendo el conjunto una especie de celosía. Las armaduras de Town con que se llegó a salvar claros hasta de 60m. Fueron muy utilizadas en puentes sobre todo para ferrocarril 13.

Como los puentes Suizos del siglo XVII Los puentes de madera de los Estados unidos se protegían con techumbre y costados. Aun hoy en los Estados unidos del este siguen funcionando algunos puentes cubiertos como el ilustrado en la siguiente imagen

Fig. 22

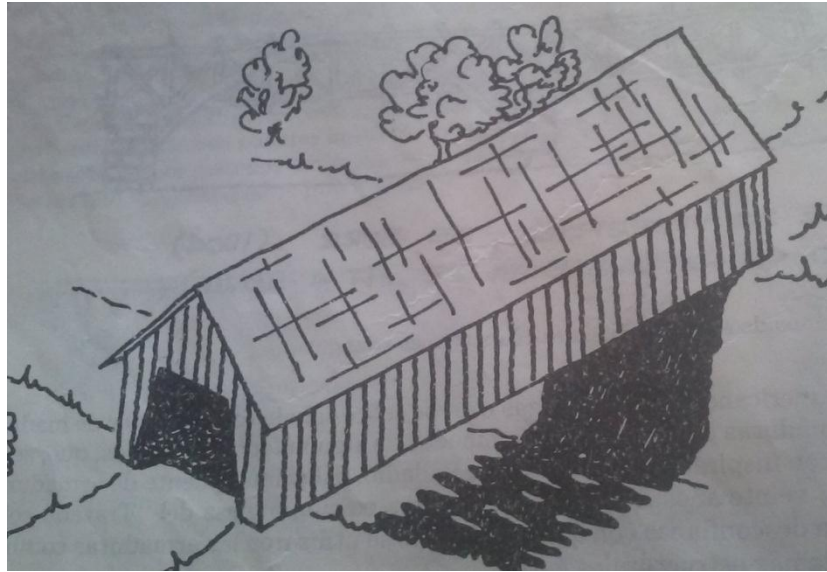


Fig. 22: Puente cubierto de madera, tomada de: Estructuras de madera, Francisco Robles y Ramón Echenique.

Por otro lado si de evolución se trata, nuestro país ha logrado poco a poco mejores técnicas sobre el manejo y construcción con elementos de madera un caso particular es la construcción del proyecto la Serrezuela en la ciudad de Cartagena, que ha sido un desafío para la arquitectura y la ingeniería.

1.13 LA SERREZUELA

“El renacer de un coloso”

Hace 43 años la emblemática plaza La Serrezuela de la ciudad de Cartagena cerró sus puertas y el tiempo se encargó de consumirla y hundirla en el olvido. Ahora, su futuro es promisorio gracias a un proyecto que busca restaurarla y la protagonista en la reconstrucción de este monumento nacional será la madera laminada 14.

Fig. 23



Fig. 23: La Serrezuela, tomada de: Revista mym.

14. CRUZ, Laura. La Serrezuela el renacer de un coloso. En: Revista mym. Vol.; 1. No 88 (Junio-Agosto. 2015); p. 22.

La Serrezuela es un ícono muy importante olvidado de la ciudad amurallada que resurgirá gracias a un proyecto de reconstrucción que le devolverá a este monumento nacional su estatus como uno de los lugares más atractivos de la ciudad.

Cuenta con una inversión estimada de 205 mil millones de pesos, la recuperación de La Serrezuela incluye la construcción de un complejo comercial a su alrededor de 29.500 metros cuadrados que albergará tiendas de lujo y restaurantes de primer nivel.

La Serrezuela será el proyecto más grande de madera laminada que se ha hecho hasta el momento en el país, se utilizara para su construcción quinientos metros cúbicos de madera, aproximadamente, solo para la estructura del monumento.

La iniciativa es posible gracias a un grupo de inversionistas –liderados por Aarón Cohen, dueño de la Constructora A. Cohen que gerencia este proyecto– quienes compraron el terreno en 2014 y que según él, no han escatimado en recursos para que La Serrezuela sea un espacio que cumpla con los más altos estándares de calidad. Este proyecto se diferencia de otros realizados en Colombia por los múltiples desafíos que presenta en términos de construcción y diseño, pues la totalidad de la materia prima será de alta tecnología y el equipo humano escogido para esta misión está conformado por destacadas firmas de ingeniería nacional y extranjera. Además del potencial económico que vieron los inversionistas, pues, en Cartagena no existe un lugar que una la cultura, el entretenimiento y el comercio de la forma en la que lo hará La Serrezuela, los cartageneros también impulsaron la reconstrucción de la plaza mediante una acción popular que obligaba a la familia Vélez Daníes –propietaria del inmueble y a la alcaldía de la ciudad– para que le dieran vida nuevamente a este espacio que, por su mal estado, había afectado la estética del centro histórico 15.

15. CRUZ, Laura. La Serrezuela el renacer de un coloso. En: Revista mym. Vol.; 1. No 88 (Junio-Agosto. 2015); p. 23.

Según la constructora A. Cohen este proyecto generará 200 empleos directos y más de 1000 indirectos.

1.13.1 Reconstrucción

La plaza tendrá la misma estructura de antaño, salvo dos modificaciones importantes: el tipo de madera estructural, que anteriormente era tropical y que se cambiará por madera laminada colada proveniente de bosques de reforestación de coníferas, y la otra reforma será el tipo de uniones que tendrá la futura estructura pues, antiguamente, se hacían ensambles en madera y las uniones eran acuñadas o clavadas, ahora se utilizarán uniones en acero diseñadas específicamente para utilizarlas en madera estructural 16.

En el diseño estructural los constructores han contemplado hacer cambios pequeños en los tamaños de algunas escaleras y pasadizos para poder cumplir con lo establecido en la norma actual de sismorresistencia NSR 2010, en las normas de seguridad y contra incendios.

El proyecto de La Serrezuela, se construirá con 18 mil metros cúbicos de concreto aproximadamente. Contará con un área aproximada de 9.000 metros cuadrados de locales comerciales, zona de comidas, y más 2.300 metros cuadrados de terrazas con miradores.

16. CRUZ, Laura. La Serrezuela el renacer de un coloso. En: Revista mym. Vol.; 1. No 88 (Junio-Agosto. 2015); p. 24.

Se quiere construir una plaza que tendrá un área de 2900 metros cuadrados con capacidad para albergar a 1900 personas y costará quince mil millones de pesos, aproximadamente.

Fig. 24



Fig. 24: La antigua entrada del circo teatro mantendrá sus características de antaño y la plaza tendrá pequeñas modificaciones para cumplir con las leyes de sismorresistencia y contra incendios vigentes en el país. El centro comercial será levantado desde cero, tomada de: Revista mym.

1.13.2 Una obra con grandes retos

Este gran proyecto presenta retos a nivel de construcción e ingeniería, uno de los más importantes tiene que ver con el terreno sobre el cual se va a construir, pues este debe someterse a los procesos de Dewatering y Waterproofing, los cuales controlarán los niveles de agua subterránea presentes en el terreno donde se encuentra ubicada La Serrezuela.

Para llevar a cabo este proceso, primero, los constructores harán la cimentación profunda que consiste en realizar una pantalla preexcavada en todo el perímetro del predio y pilotes desde el nivel del terreno. Luego, construirán la losa del piso uno sobre el terreno sin excavar para instalar, posteriormente, el sistema de Dewatering que empiece a abatir el nivel freático de agua y lo ubique por debajo del nivel de la losa de cimentación. Después, los encargados empezarán la excavación en seco del terreno hasta el nivel de la losa de cimentación, excavando bajo la losa del piso uno y construirán bajo la misma. Continuarán con la construcción de toda la estructura (columnas y demás losas aéreas) y, finalmente, cuando terminen de construir la estructura del edificio, desmontarán el sistema de Dewatering, y el nivel freático subirá el nivel bajo la losa de cimentación 17.

Es importante saber que es la primera vez que en Colombia se hace esta operación de Dewatering y Waterproofing para una construcción, de la cual está encomendada la empresa Ferrer, filial de la compañía D&F Group de España, ellos son reconocidos por la participación en la reconstrucción del Canal de Panamá. Realizar este proceso tendrá un valor estimado de 22 mil millones de pesos.

Otros de los desafíos de la obra están concentrados en la plaza de madera que, según Jorge Briceño, gerente de Arquitectura & Ingeniería, firma encargada del montaje de la plaza, se utilizarán cerca de quinientos metros cúbicos de madera laminada colada proveniente de bosques de reforestación de coníferas, solo para la estructura. Aunque todavía no se ha definido el proveedor, ni el tipo de pino que se empleará, Arquitectura & Ingeniería ya ha establecido contacto con un distribuidor francés para la madera laminada. Existen varias razones para que los responsables de la obra se inclinaran por utilizar madera importada: en primer lugar, señalan los ingenieros de Cohen, esta materia prima es 50% más barata que el producto nacional; incluso señalan, sumando el valor del envío la nacionalización del producto y demás impuestos, la madera francesa sigue siendo 30% más barata, y añaden que su calidad es superior a la madera que puede encontrarse en Colombia. En segundo lugar, explican, la madera francesa ya viene inmunizada lo que representa una ventaja en la medida que, la constructora no necesita buscar otro proveedor solo para la inmunización, como en el caso de comprar el material en Colombia 18.

17. Ibid. p. 25

18. Ibid. p. 26

Algunas de sus dimensiones ya están establecidas, las dimensiones de las columnas serán de 25 x 25 y medirán entre 15 y 18 metros de altura. Igualmente habrán columnas especiales de 40 x 1.0 metro que se instalarán en los exteriores y que ayudarán a soportar las cubiertas de la plaza. Por sus características, trasladar las vigas de madera hasta Cartagena será un reto significativo si se piensa que un container es mucho más pequeño.

En cuanto a las uniones que utilizarán en este caso serán de la marca italiana Rotho blass y poseen la particularidad de que están creadas, especialmente, para estructuras en madera. Esta empresa ofrece un abanico de posibilidades de tornillos y platinas metálicas que pueden ser tanto de acero galvanizado como incluso de acero inoxidable. Estas uniones de alta tecnología tienen un diámetro menor en comparación con la tornillería convencional, su instalación es más rápida y fácil y soportan mayores cargas.

Para los acabados de la madera también se usarán materiales de punta como barnices de la marca alemana Kora que tienen varios beneficios como protección contra los rayos UV, protección contra insectos, tienen color y lo más importante es que penetran los poros y no los tapan, es decir, no crean una película como lo hacen las lacas.

En el siguiente artículo de revista podemos ver más información sobre el proyecto de la Serrezuela:

1.13.3 La Serrezuela resurge para el turismo

Fig. 25



Fig. 25: La Serrezuela resurge para el turismo, tomada de: Revista zetta

El proyecto de la Serrezuela, uno de los más grandes del país, tendrá una inversión de \$200 mil millones para recuperar los 2.900 metros cuadrados de la plaza y destinar cerca de 9 mil metros cuadrados a locales comerciales, 2.300 metros cuadrados para terrazas con fuentes ornamentales y miradores, un área subterránea de 64 parqueaderos, en un proyecto que albergará eventos culturales y de entretenimiento para un aforo aproximado de 1.900 espectadores.

1.14 ALEMANIA ES PIONERA EN ESTRUCTURAS DE MADERA

En el siguiente artículo podemos ver como Alemania se consolida como pionera en la realización de estructuras de madera en la actualidad.

En Alemania existen algunos premios a la construcción en madera, este país es pionero en la construcción de madera con nuevas ideas arquitectónicas. El premio Rosenheimer 2012 es destinado a la valoración de la construcción de madera. Este año el premio fue dado al edificio de oficinas para el control de los impuestos en Garmisch-Partenkirchen, del arquitecto muniqués Reinhard Bauer.

Fig. 26



Fig. 26: oficinas para el control de los impuestos en Garmisch-Partenkirchen, tomada de: <http://arquiscopio.com/>

Una ventaja muy importante de la madera es que es un recurso natural renovable, los árboles se pueden cultivar y por ello se puede estar produciendo madera eternamente con una adecuada gestión de los bosques y selvas.

En Alemania, todo aquello que puede reciclarse con mayor facilidad tiene una nota positiva en la valoración constructiva. Finalmente, el diseño de la construcción y las instalaciones hasta en sus más mínimos detalles es algo que está procedimentado con rigor en Austria, Suiza y Alemania, caracterizando indeleblemente la arquitectura que allí se hace 19.

Fig. 27



Fig. 27: Acabados y detalles en madera, tomada de: <http://arquiscopio.com/>

19. ARQUISCOPIO “Construcciones alemanas en madera”. {En línea}. {02 Febrero de 2016} disponible en: (<http://arquiscopio.com/construcciones-alemanas-en-madera/>).

2. APLICACIONES ESTRUCTURALES DE LA MADERA

En este capítulo lo que se quiere es mostrar información básica sobre los productos de madera y derivados de la madera con aplicaciones estructurales más comunes, para servir de apoyo al constructor de una estructura de madera. Esta información básica incluye definición, aplicaciones, materiales y dimensiones.

2.1 MADERA EN ROLLO ESTRUCTURAL O ROLLIZA

Fig. 28



Fig. 28: madera en rollo estructural, tomada de: Manual CONFEMADERA

2.1.1 Definición

Piezas de madera constituidas por el tronco del árbol desramado, generalmente descortezado, con una sección sensiblemente circular para uso estructural.

2.1.2 Aplicaciones

Las aplicaciones estructurales más habituales son las siguientes:

- Viguetas.

- Construcciones de embarcaderos.

- Pilotes de cimentación.

- Cercados, empalizadas, postes de señalización y equipamiento de parques y jardines.

2.1.3 Materiales

Cualquier especie se puede utilizar como madera en rollo estructural si se conocen sus propiedades mecánicas, pero en la práctica el número de las más habituales es reducido.

Las principales especies utilizadas en la actualidad en estructuras de madera y que podrían utilizarse como madera en rollo son las siguientes:

- Pino silvestre.

- Roble.

2.1.4 Dimensiones

El diámetro de la madera en rollo abarca desde los 100 hasta los 350 mm, aproximadamente. La longitud puede llegar a un máximo de unos 18 m. Una limitación frecuente de la longitud a 14 m se debe a la introducida por la longitud de los autoclaves, empleados cuando la madera debe ser tratada en profundidad.

2.2 MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

Fig. 29



Fig. 29: madera aserrada estructural, tomada de: Manual CONFEMADERA

2.2.1 Definición

Piezas de madera aserrada de sección rectangular que han sido clasificadas estructuralmente por alguno de los procedimientos reconocidos en la normativa (clasificación visual o mecánica) 20.

2.2.2 Aplicaciones

La madera aserrada se usa esencialmente en estructuras de luces pequeñas (4 a 6 m) y medias (6 a 17 m) formando una estructura completa o como parte de ella en los sistemas mixtos formados por muros de fábrica con forjados y cubierta de madera.

20. CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESARIOS DE LA MADERA. Productos de madera para la construcción, documento de aplicación del código Técnico de la edificación. Primera Actualización. Madrid. CONFEMADERA, 2010.p. 9

2.2.3 Materiales

Las principales especies utilizadas en la actualidad en estructuras de madera y para madera aserrada estructural son las siguientes:

- Pino silvestre
- Roble

2.2.4 Dimensiones

Las dimensiones de las piezas de madera aserrada no están normalizadas en el ámbito europeo. Existen varios grupos de países que asierran con unas dimensiones estandarizadas, pero no existe una norma europea que establezca unas dimensiones comunes.

2.3 MADERA EMPALMADA ESTRUCTURAL

Fig. 30



Fig. 30: madera empalmada estructural, tomada de: Manual CONFEMADERA

2.3.1 Definición

Piezas rectas de sección rectangular obtenidas por el empalme de piezas de madera aserrada destinadas a un empleo estructural.

2.3.2 Aplicaciones

Las aplicaciones de este material son las mismas que las de la madera aserrada estructural, pero con la ventaja de que tiene longitudes notablemente mayores que la madera aserrada, tan sólo limitadas por las habituales de transporte, en el entorno de los 14 m.

2.3.3 Materiales

Puede utilizarse cualquier especie que presente compatibilidad para el encolado. Se consideran adecuadas las siguientes especies: Falso abeto, Pino silvestre y Cedro Rojo.

2.3.4 Adhesivos

En la actualidad el adhesivo más empleado es el de poliuretano y a veces la resorcina.

2.3.5 Dimensiones

En este momento en el mercado la longitud máxima de este producto es del orden de 14 m, aunque bajo pedido pueden encontrarse productos de hasta 16 m. El grueso máximo es de 120 mm y el ancho máximo de 240 mm.

2.4 MADERA ASERRADA ENCOLADA

Fig. 31

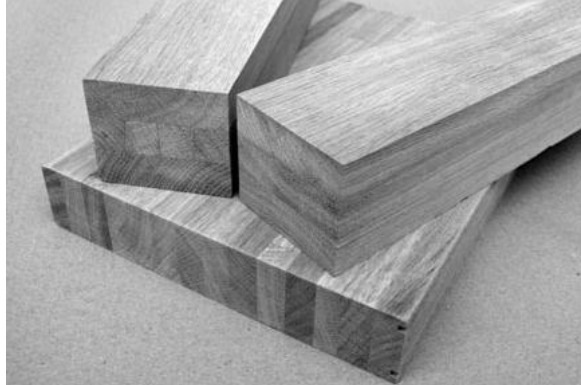


Fig. 31: madera aserrada encolada, tomada de: Manual CONFEMADERA

2.4.1 Definición

Perfiles estructurales de sección rectangular formada por el encolado de dos o tres láminas de madera, con un espesor superior a 45 mm y menor o igual a 85 mm, dispuestas en dirección paralela al eje de las láminas. Comercialmente se conocen con el nombre de dúos y tríos 21.

2.4.2 Aplicaciones

Este producto comparte los usos estructurales con la madera aserrada y laminada encolada en luces pequeñas y medias. Principalmente se emplea como vigas, viguetas, pares y correas en viviendas y edificios de luces reducidas.

21. CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESARIOS DE LA MADERA. Productos de madera para la construcción, documento de aplicación del código Técnico de la edificación. Primera Actualización. Madrid. CONFEMADERA, 2010.p. 24

2.4.3 Materiales

2.4.3.1 Madera

Especies: En principio puede utilizarse cualquier especie que sea apta para el encolado como las siguientes:

- Abeto o falso Abeto
- Pino silvestre
- Pino Oregón

2.4.3.2 Adhesivos

El adhesivo deberá ser capaz de producir uniones durables en las piezas encoladas destinadas a las respectivas clases de servicio. Los adhesivos más utilizados son las resinas de melanina y Poliuretano.

2.4.4 Dimensiones

La longitud máxima es de 18 m.

2.5 MADERA LAMINADA ENCOLADA PARA USO ESTRUCTURAL

Fig. 32



Fig. 32: Madera laminada encolada para uso estructural, tomada de: Manual CONFEMADERA

2.5.1 Definición

Son elementos estructurales formados por el encolado de láminas de madera en dirección paralela al eje de las láminas. Las láminas tendrán un espesor comprendido entre 6 y 45 mm.

2.5.2 Aplicaciones

La madera laminada encolada se utiliza como elemento estructural para la construcción. Las estructuras de madera laminada encolada resultan especialmente indicadas en las siguientes condiciones:

- Grandes luces libres en edificios de uso público, comercial o deportivo. Luces de 30 a 70 m.
- Luces moderadas (8 a 14 m) en construcciones mixtas de madera aserrada y laminada, para los elementos principales.
- Estructura de cubierta de peso propio reducido.

2.5.3 Materiales

2.5.3.1 Madera

Las maderas aptas para la fabricación de este producto serán las siguientes: falso Abeto, chopo y Cedro Rojo. Entre otras.

- Contenido de humedad

El contenido de humedad medio especificado de cada lámina depende de si la madera ha sido tratada o no con un producto protector.

- Madera no tratada: durante el armado deberá estar comprendido entre el 6 y el 15%. (Salvo especificaciones del fabricante del adhesivo)
- Madera tratada: durante el armado debe estar comprendido entre el 11 y 18%.

2.5.3.2 Adhesivos

El adhesivo deberá ser capaz de producir uniones durables en las piezas encoladas destinadas a las respectivas clases de servicio.

Los adhesivos más utilizados en la actualidad son los siguientes:

- Melamina-Urea-Formaldehído (MUF), de color translúcido y resistente a la humedad y al fuego.
- Resorcina-Fenol-Formaldehído (RPF), de color marrón oscuro, resistente a la humedad y al fuego. Permite tiempos de trabajo algo mayores que los adhesivos

2.5.4 Dimensiones

La gama de anchuras habituales es la siguiente: 80, 100, 110, 130, 140, 160, 180, 200 y 220 mm. Por lo general, la exigencia de resistencia al fuego de 30 minutos obliga a un ancho mínimo en madera de coníferas del orden de 90 a 100 mm. En cualquier caso esto deberá ser comprobado por el cálculo.

2.6 MADERA MICROLAMINADA

Fig. 33

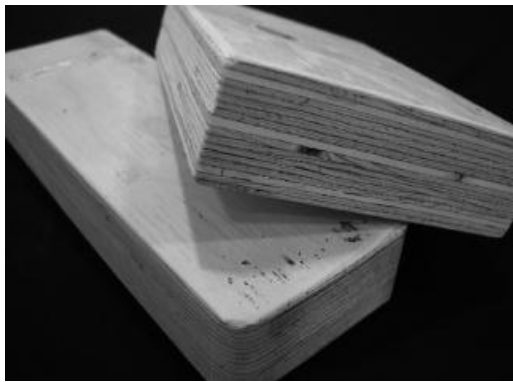


Fig. 33: Madera microlaminada, tomada de: Manual CONFEMADERA

2.6.1 Definición

Material compuesto por chapas de madera con la fibra orientada esencialmente en la misma dirección. No se excluye la presencia de chapas orientadas perpendicularmente. Generalmente se comercializa en forma de perfiles de sección rectangular con uso estructural 22.

22. CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESARIOS DE LA MADERA. Productos de madera para la construcción, documento de aplicación del código Técnico de la edificación. Primera Actualización. Madrid. CONFEMADERA, 2010.p. 37

2.6.2 Aplicaciones

Es un material específicamente diseñado para usos estructurales debido a la elevada resistencia, uniformidad de sus propiedades y a su poco peso. Las aplicaciones son las siguientes:

- Pares de cubierta.

- Vigas en construcción ligera.

- Pórticos triarticulados para construcciones agrícolas, industriales y deportivas con luces de 10 a 20 m.

- Cerchas y otros elementos estructurales

- Rehabilitación de estructuras de madera. Su elevada capacidad mecánica permite el refuerzo de piezas de madera mediante el adosado de piezas laterales o la constitución de sistemas mixtos con tableros de madera microlaminada en la cara superior.

2.6.3 Materiales

Para su fabricación se utilizan especies coníferas. En Finlandia el abeto y en Norteamérica Pino Oregón.

2.6.4 Dimensiones

La madera microlaminada fabricada en Europa se comercializa habitualmente con las siguientes dimensiones:

- Grosos: 21, 24, 27, 33, 36, 39, 45, 51, 57, 63, 69 y 75 mm.

- Anchuras: 200, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500 y 600 mm.

Estos son las anchuras estándares que son consecuencia del máximo aprovechamiento de la anchura de los paneles (1.800 y 2.500 mm).

- Longitud: a medida con un máximo de 23 m.

La madera microlaminada fabricada en Norteamérica se comercializa con las siguientes dimensiones:

- Grosos: 19 a 64 mm. Algún fabricante llega a 89 mm).

El más común en construcción es el de 45 mm.

- Anchuras: las más comunes en construcción son 241, 302, 356, 406 y 476 mm. También se comercializan los siguientes:

140, 184 y 610 mm. La anchura del panel en fábrica es de 610 y 1.220 mm.

- Longitud: hasta un máximo de 24 m. Son comunes los largos Sigüientes: 14,6 – 17 – 18,3 y 20,1 m.

2.8 PANELES CONTRALAMINADOS

Fig. 34

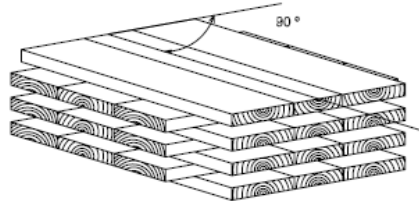


Fig. 34: Paneles contralaminados, tomada de: Manual CONFEMADERA

2.8.1 Definición

Panel formado por varias capas de madera aserrada encoladas entre sí o a veces unidas con clavos o espigas de madera, de forma que la orientación de las fibras de dos capas adyacentes es perpendicular entre sí. Cada una de las tablas que componen las capas del tablero ha debido ser clasificadas estructuralmente, bien mediante métodos visuales o mediante métodos automatizados (de máquina), con carácter previo a su encolado o fijación mecánica (clavijas). La estructura transversal del panel debe ser simétrica y estar compuesta por un mínimo de tres capas. Las tablas de cada capa pueden estar unidas longitudinalmente a tope o mediante empalme dentado. Estos paneles tienen uso estructural 23.

2.8.2 Aplicaciones

Se utilizan tanto en viviendas como en construcciones industriales de hasta 3 ó 4 alturas. Los sistemas constructivos con paneles estructurales son muy flexibles y permiten insertar sin dificultad puertas y ventanas, incluso durante y después de que la obra haya finalizado.

23. CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESARIOS DE LA MADERA. Productos de madera para la construcción, documento de aplicación del código Técnico de la edificación. Primera Actualización. Madrid. CONFEMADERA, 2010.p. 47

2.8.3 Materiales

Normalmente se utilizan tablas clasificadas de madera aserrada de coníferas de los géneros: píceas, pino y abeto

Los adhesivos más utilizados para encolar las tablas y las uniones dentadas entre tablas, son los de poliuretano o de urea formaldehído. Hay algún fabricante que utiliza espigas de madera en vez de adhesivo para unir las diferentes capas de tablas. Otros fabricantes, en vez de utilizar clavijas de madera, utilizan clavos de adherencia mejorada de aluminio.

2.8.4 Dimensiones

Los paneles contralaminados estructurales poseen un amplio rango dimensional, pero como dimensiones máximas de fabricación se pueden citar las siguientes: longitud, de entre 15 a 25 metros; anchura hasta 5 m y un espesor que puede llegar a los 600 mm, dependiendo de la configuración de capas y del espesor relativo de cada una de ellas.

El espesor de las piezas de madera utilizada en cada capa varía según el fabricante, pero es común el rango de 10 a 40 mm (siendo algunos espesores habituales: 13, 24, 26, 30, 34, 40, 45 y 50 mm). La tolerancia de espesor tras el cepillado suele ser $\pm 0,15$ mm.

El número de capas de madera utilizado habitualmente es impar y suele ser de: 3, 5, 7, 9, 13 y 15.

2.9 TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA

Fig. 35

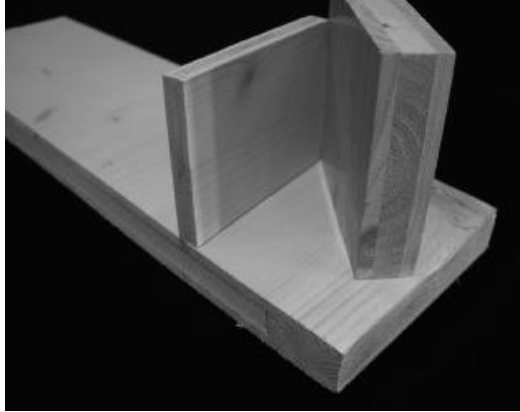


Fig. 35: Tableros estructurales derivados de la madera, tomada de: Manual CONFEMADERA

2.9.1 Definición

Los tableros son productos obtenidos mediante el encolado o aglomerado de listones, chapas, virutas, partículas o fibras de madera, caracterizados por tener una gran superficie y un reducido espesor 24.

2.9.2 Aplicaciones

Las aplicaciones más características de los tableros en la construcción se encuentran en su empleo como cerramiento en forjados de piso, cubiertas, muros y tabiques. Cumplen una misión estructural resistiendo las cargas perpendiculares a su plano y en algunos casos también actúan como diafragma para la estabilidad de la construcción resistiendo los esfuerzos cortantes debidos a acciones horizontales sobre la estructura.

24. CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESARIOS DE LA MADERA. Productos de madera para la construcción, documento de aplicación del código Técnico de la edificación. Primera Actualización. Madrid. CONFEMADERA, 2010.p. 51

2.9.3 Materiales

La madera se puede utilizar en diferentes formatos en función del tipo de tablero a fabricar, ya sea en forma de chapas (tableros contrachapados y tableros laminados), listones o piezas de madera (tableros de madera maciza), partículas de madera (tableros de partículas y tableros de virutas) o fibras (tableros de fibras).

Los adhesivos más utilizados son los de Urea Formol (para interiores), y Fenol formaldehído (para exteriores), aunque últimamente se están empezando a emplear los adhesivos de isocianato. Con el objeto de mejorar las prestaciones de los adhesivos se pueden añadir aditivos. Los más usuales son las ceras (para aumentar la repelencia a la humedad), los productos ignífugos (para mejorar el comportamiento frente al fuego), los productos insecticidas (para mejorar el comportamiento frente a los insectos xilófagos).

2.9.4 Tipos y dimensiones

Los tableros derivados de la madera que pueden utilizarse en aplicaciones estructurales son los que se mencionan a continuación:

2.9.4.1 Tableros de madera maciza

Están fabricados con tablas, tablillas o listones de madera que se unen entre sí por encolado, machihembrado o por un revestimiento de chapa encolada. Se denominan también por sus siglas en inglés SWP (Solid Wood Panel). Algunos tipos son para uso estructural. Se fabrican con una o varias capas (monocapa o multicapa).

Las dimensiones más habituales son las siguientes:

- Para los tableros monocapa (alistonados): longitud de 970, 1000, 1970 y 2000 mm; anchura de 500 mm y grueso de 22 y 27 mm.
- Para los multicapa la longitud y anchura más habituales son 2.050 x 500 mm; mientras que el espesor varía en función del tipo de tablero:
- Tricapa: 12, 16, 19, 22, 27, 32, 40, 50 y 60 mm.

- Multicapa: 35, 42, 50 y 52 mm.

Las especies más utilizadas son el Abeto (Píceas abies), Pino marítimo (Pinus pinaster), Pino radiata, Castaño, etc.

2.9.4.2 Tableros contrachapados

Están hechos mediante el encolado de chapas de madera de 2 a 3 mm de espesor. El número mínimo de chapas es 3, siendo siempre un número impar.

Las dimensiones más habituales son 1220x2440 mm, aunque pueden llegar a 1525x3050 mm. El espesor varía entre 1,5 y 40 mm, aunque las dimensiones más habituales se encuentran entre 8 y 25 mm.

Las especies más utilizadas son el Abeto, Pino silvestre, Pino marítimo), Pino radiata, Pino Oregón, Abedul, Pino amarillo del Sur.

2.9.4.3 Tableros de partículas

Tableros hechos con partículas de madera (astillas, partículas, aserrín, virutas y similares).

Las dimensiones son muy variables. La longitud varía desde 2050 hasta 4880 mm, la anchura de 1220 hasta 2500 mm y el espesor de 3 a 50 mm.

Las especies más utilizadas son el abeto, pino, haya, chopo, roble, castaño, etc.

2.9.4.4 Tableros de partículas aglomeradas con Cemento

Son los elaborados con partículas de madera u otras de naturaleza vegetal, aglomeradas con cemento mediante la aplicación de presión. El cemento utilizado puede ser el Pórtland Corriente Ordinario (tablero OPC – Ordinary Portland Cement).

Existen dos grandes familias de tableros de madera-cemento. Una corresponde a tableros ligeros, con una densidad del orden de los 600 kg/m³ que tienen propiedades adecuadas para el aislamiento o acondicionamiento acústico y térmico. La otra familia corresponde a los tableros pesados, con densidad del orden de los 1200 kg/m³ que pueden tener aplicaciones estructurales en encofrados perdidos y cerramiento de cubiertas o aplicaciones no estructurales como el revestimiento de fachadas o la base de suelos 25.

Las dimensiones varían según los fabricantes. Son frecuentes las siguientes dimensiones:

Longitud: 2600 y 3000 mm

Anchura: 1250 mm

Espesor: 8 a 40 mm

3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL

El uso de la madera en diferentes tipos de construcciones posee múltiples ventajas y desventajas. Por lo general, la madera es empleada como material de revestimiento, aislante o de decoración. Su utilización no abarca sólo viviendas, sino que también es adecuada para otro tipo de estructuras, como la infraestructura vial, teniendo como ejemplo los puentes de madera, que han demostrado ser una excelente alternativa a los puentes en acero. Otras obras incluyen un edificio de hasta 9 pisos, establecimientos comerciales, pabellones y polideportivos, aptos para la realización de cualquier actividad cultural.

Una ventaja muy importante de la madera en la construcción es que tiene la función de absorber y expulsar la humedad de las construcciones, regularizando así el ambiente interior. Las construcciones en madera, por sí solas, actúan como aislantes, al contrario de las que están fabricadas con otros materiales que a la vez, y en la mayoría de los casos, están complementadas con sustancias aislantes sintéticas suplementarias 26.

Otra ventaja bastante importante es que la madera tiene una relación resistencia-peso más favorable que el acero, y mucho más favorable que el concreto. Además hay quienes consideran que las estructuras de madera solo duran unos decenios, lo cual está muy lejos de la realidad, pues la madera es uno de los pocos materiales que envejecen naturalmente y este proceso puede incluso durar siglos.

Cabe resaltar que la madera es natural, biodegradable, reciclable, aislante y no tóxica. Su resistencia, dureza, manejabilidad, propiedades físicas y mecánicas, así como sus posibilidades decorativas, la convierten en un producto ideal para la ejecución de proyectos arquitectónicos vanguardistas.

26. SANCHEZ, Silvio "Ventajas y desventajas medioambientales de la madera en las construcciones". {En línea}. {02 Febrero de 2016} disponible en: (<http://www.ecosiglos.com/2013/06/ventajas-desventajas-medioambientales-de-la-madera-en-edificios.html>).

A nivel global, la sociedad solía explotar los recursos naturales de manera inconsciente, pero poco a poco las comunidades se han vuelto más conscientes de la necesidad de lograr un necesario equilibrio ecológico y no comprometer el futuro. Con esto en mente, y con el fin de valorar la importancia y los riesgos que tiene la madera en la construcción, es conveniente saber sus ventajas y sus desventajas, señaladas a continuación:

3.1 VENTAJAS DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN

- a. La madera es un material estructural ecológico ya que requiere menos energía para trabajarla y causa menor contaminación del agua y el aire comparada con otros materiales de construcción.
- b. La construcción en madera tiene grandes ventajas contra sismos. Prueba de esto han sido las múltiples estructuras que han resistido sin daños las más fuertes catástrofes naturales recientes. Una construcción de madera con un bajo peso en caso de un terremoto, cede ante la oscilación pero no se derrumba y hay menos riesgos de sufrir daños debido a un colapso que en construcciones del mismo tamaño hechas con acero y concreto.
- c. Debido al bajo peso que tiene la madera, se genera un ahorro económico sustancial en los procesos a los que se somete y en sus costos de transporte.
- d. La madera es un material aislante natural que ofrece un clima agradable debido a la inercia térmica que posee, ya sea en un clima frío, donde sus condiciones retienen el calor y mantienen un ambiente interior más cálido, o en ambientes calurosos, donde ofrece interiores más frescos.
- e. El tiempo empleado para realizar una casa de madera es menor que el empleado en una casa del mismo tamaño con un sistema de construcción tradicional.

- f. Se pueden hacer modificaciones o ampliaciones en la construcción sin necesidad de demoler y causar grandes molestias a sus usuarios
- g. Una vivienda de madera correctamente diseñada puede soportar un incendio en mayor medida que una casa tradicional.
- h. La madera es un material renovable, resultado de la captura de carbono y el desprendimiento de oxígeno en su estado natural.
- i. En el reciente auge de la construcción bioclimática, la cual busca reducir el consumo de energía y traer beneficios económicos, ecológicos y de confort para los usuarios, la madera encaja perfectamente como material constructivo.

Sin embargo, todo lo que existe tiene un lado bueno y un lado malo, por lo que es importante señalar también las desventajas del uso de madera en la construcción.

3.2 DESVENTAJAS DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN

- a. Muchas veces no se da un tratamiento preservador a la madera, por lo que queda propensa al ataque de agentes xilófagos y a la intemperie. Si bien la madera es resistente, es necesaria una adecuada protección de la madera ya que sin ella, la durabilidad de la construcción se puede ver perjudicada.
- b. Un edificio comercial o residencial pensado en madera se puede convertir en un problema cuando se busca grandes tamaños.
- c. La madera, al ser un material ortótropo, no posee los mismos módulos de resistencia mecánica en todas sus direcciones, sino que varían con relación a la dirección de sus fibras. Esto puede generar inestabilidad en la estructura si no se selecciona el tipo adecuado de madera.

- d. Los fabricantes de casas o construcciones de madera a nivel artesanal no están en posición de competir con aquellos que producen a nivel industrial.

- e. Es necesario realizar un diseño casi perfecto (que cobra más importancia que al usar otros materiales) para asegurar la resistencia del edificio ante diferentes condiciones ambientales, en constante cambio por factores bióticos y de intemperismo.

- f. El mantenimiento regular se vuelve una necesidad impetuosa.

- g. En algunos casos, la construcción requiere del trabajo en conjunto de varios gremios. Existe la necesidad de unir los trabajos de carpinteros, albañiles, cristaleros y pintores, lo que puede afectar el tiempo de la obra y el buen acabado final.

4. TRATAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LA MADERA

En este capítulo trataremos sobre la protección de la madera, que tiene como objetivo mejorar sus prestaciones incrementando su vida útil o de servicio. En la actualidad, la protección está basada esencialmente en el tratamiento de la madera con productos adecuados. No cabe duda de que la mejor protección consiste en impedir el ataque tanto biológico como físico del medio ambiente.

4.1 CLASES DE RIESGO

Las clases de riesgo son un concepto definido por las normas para intentar valorar el riesgo de ataque de agentes xilófagos, en función del lugar donde va a instalarse la madera. De acuerdo a la clase de riesgo en que se encuentra en cada caso, y considerando las medidas constructivas a adoptar y la especie forestal de que se trate, podrá elegirse el tratamiento químico adecuado a aplicar 27.

Las variables consideradas para la clasificación son el grado de humedad a que estará expuesta la madera durante su vida de servicio, el contacto con aguas dulces o saladas, su grado de exposición a la intemperie, etc.

27. ZANNI, Enrique. Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera. Córdoba: Brujas, 2004. p. 117.

De acuerdo a ellas se distribuyen en cinco grandes categorías:

Tabla. 1

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

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

4.2 TRATAMIENTOS DE LA MADERA

4.2.1 Generalidades

Para que un producto brinde la protección apropiada a una madera expuesta a degradarse, debe poder situarse en su óptima concentración en las áreas vulnerables.

Las variables para medir la eficiencia de un producto intrínsecamente protector son:

Penetración. Es la profundidad alcanzada por un protector en la madera tratada.

Retención. Es la cantidad de protector contenido por unidad de volumen realmente impregnado, o por unidad de superficie tratada en el caso de los tratamientos superficiales.

Distribución. Igualdad de retención en distintos sectores tratados.

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

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

4.3 TÉCNICAS DE TRATAMIENTO PREVENTIVO

Las técnicas habitualmente utilizadas antes de la puesta en obra de la madera, pueden clasificarse en dos grandes categorías:

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

4.3.2 Técnicas con presión: Corresponden a los tratamientos activos ya que se basan en métodos artificiales (fundamentalmente de vacío-presión), siendo controlable la cantidad de producto absorbida por la madera. Estos sistemas incluyen todos los métodos que utilizan el autoclave. Las técnicas más frecuentes son la de célula llena y célula vacía.

A continuación se efectúa una breve descripción de cada una de las técnicas sin presión:

4.3.1.1 Pulverización y pintado

Es el procedimiento más sencillo y que requiere una mínima inversión en equipos. Consiste simplemente en el extendido adecuado de un protector que penetra el sustrato por capilaridad, aunque para ello deben usarse productos de baja viscosidad.

La técnica del pincelado requiere que la madera este seca es decir que su contenido de humedad sea inferior al 18%.

4.3.1.2 Inmersión y pintado

También llamada inmersión sencilla, consiste en la inmersión de la madera en una solución del protector durante un tiempo corto no más de 10 minutos. El procedimiento es más efectivo que el anterior, aunque no mucho ya que el tiempo limita la penetración del producto.

4.3.1.3 Inmersión prolongada en frío

Esta técnica se emplea para soluciones oleosas poco viscosas y acuosas, y frecuentemente da resultados aceptables con madera seca al aire. La mayor parte de absorción tiene lugar durante el primer día de tratamiento, sin embargo la prolongación de la inmersión aumenta la penetración y la retención 28.

4.3.1.4 Inmersión en caliente y frío

Hasta ahora, este procedimiento parece ser el más eficaz dentro de las técnicas sin presión. Su efectividad puede atribuirse al pequeño vacío que se produce en el baño caliente, que origina primero la dilatación y luego la expulsión del aire contenido en las células. La inmersión inmediatamente posterior en el baño frío, ocasiona la contracción del aire residual.

28. ZANNI, Enrique. Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera. Córdoba: Brujas, 2004. p. 122.

4.3.1.5 Difusión

Este método se emplea sobre madera húmeda (contenido superior al 28%), una sal soluble aplicada con la concentración adecuada, penetra gradualmente por difusión a través de la propia agua existente en la madera.

4.3.2 TÉCNICAS DE PRESIÓN

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

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

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

4.3.2.1 Técnicas de célula llena: Conocida también como tratamiento Betehell, tiene como objetivo conseguir el máximo de retención del antiséptico en la madera tratada. Un vacío preliminar extrae, según su intensidad el mayor aire posible contenido en las células, el cual obstaculiza la penetración del protector al aplicar la presión. Este vacío preliminar es seguido inmediatamente por la inyección a presión del producto, que llena los espacios vacíos de la estructura de la madera. Dicha presión oscila entre 9 y 14 kg/cm² 29.

29. ZANNI, Enrique. Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera. Córdoba: Brujas, 2004. p. 123

4.3.2.2 Técnicas de célula vacía: En este tipo de técnica no queda protector en el lumen de la célula, ya que este fue expulsado por el aire de las células que fue previamente comprimido. El tratamiento comienza con la introducción en el autoclave del antiséptico a utilizar, seguido de un fuerte aumento de la presión 9 a 10 kg/cm², que coadyuva a que el producto penetre en la estructura celular. Luego se disminuye bruscamente la presión hasta lograr un vacío final que favorece la expulsión del protector contenido en el lumen, quedando solo así el producto retenido por la pared celular.

4.3.2.3 Técnicas de vacío-vacío: Es un tratamiento que consta de las siguientes operaciones: vacío previo para extraer parte del aire de la madera, continuando con la inyección del protector volviendo a la presión atmosférica o bien en algunos casos aplicando presiones reducidas (dos atmosferas como máximo) y vacío final con el objetivo de regular la retención del protector, que es siempre orgánico. De este modo se consigue un protector perimetral de la pared celular sin rellenar totalmente el lumen de las células. Este procedimiento se adapta bien a las necesidades de la madera de construcción, siendo una de los más utilizados junto con el de inmersión breve.

4.4 IGNIFUGACION

Tiene por objetivo impedir o retrasar la combustión, evitando los daños y riesgos producidos en un incendio. Es por eso que en realidad deberían denominarse “Retardadores de combustión”. A tal fin, la Ignifugación modifica en un sentido muy favorable su reacción al fuego, disminuyendo el nivel de combustibilidad e inflamabilidad de la madera mediante su tratamiento con diversos productos químicos o protegiéndola con otros materiales incombustibles que actúen de pantalla e impidan que el calor llegue hasta ella.

Pueden clasificarse en los siguientes grupos:

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

4.4.2 Por modificación de la temperatura de descomposición: Son los que basan su accionar en el aumento de la temperatura de descomposición por calor, de la madera ignifugada. Este aumento se puede conseguir a través de la higroscopicidad de los productos ignífugos utilizados, que absorben agua de la atmosfera y que posteriormente la liberan por efecto del calor junto con el agua de cristalización propia de esos productos 30.

4.4.3 Por formación de espuma: Están constituidos por sustancias que producen gases no combustibles que al mezclarse reduce la concentración de gases combustibles disminuyendo por consiguiente, la facilidad de ignición.

4.4.4 Por carbonización de la madera: Aumentan la carbonización del material a bajas temperaturas, incrementando así el aislamiento térmico de las capas internas para impedir o retardar su calentamiento.

30. ZANNI, Enrique. Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera. Córdoba: Brujas, 2004. p. 147

5. PRINCIPALES ELEMENTOS DE UNION

En una estructura de madera, existe una situación de intersección entre uno o más elementos, a los cuales llamamos nudos o uniones, para dar solución resistente a estas existen dos opciones:

- Uniones mecánicas
- Uniones de contacto

5.1 UNIONES MECÁNICAS

Sistema de unión mediante elementos metálicos que se insertan o atornillan en las piezas de madera, constituyendo así la unión o fijación.

5.1.1 Clavos

- Es uno de los elementos más simples de unión.
- Fabricado de alambre endurecido.
- Tipos: Vástago liso o estriado.
- Terminaciones en Galvanizado, barnizado o pulido.
- Herramienta: Martillo o pistola a presión

Fig. 36

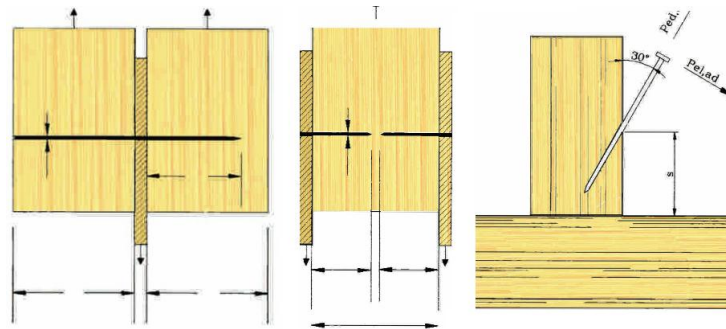


Fig. 36: Clavos, tomada de: Manual CORMA

5.1.2 Tornillos

- El tornillo es un elemento de fijación que neutraliza la fuerza de arranque.
- Fabricado de acero.
- Tipos: Cabeza plana, redonda u ovalada.
- Herramienta: Desatornillador manual o eléctrico.

Fig.37

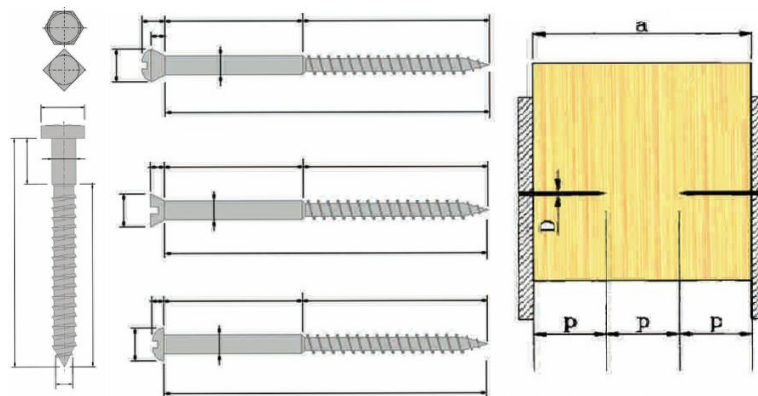


Fig. 37: Tornillos, tomada de: Manual CORMA

5.1.3 Pernos

- Es un elemento cilíndrico que atraviesa perpendicularmente los planos de unión.
- Fabricado de acero y hierro.
- Tipos: Cabeza hexagonal o cuadrada.
- Herramienta: Llaves manuales principalmente.

Fig. 38

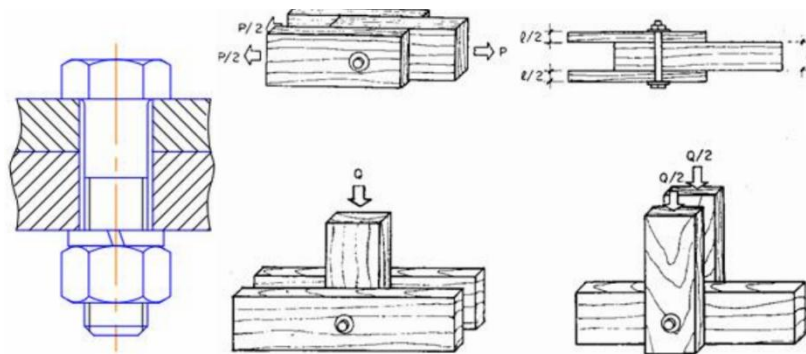


Fig. 38: Pernos, tomada de: Manual CORMA

5.1.4 Conectores metálicos

- Laminas con perforaciones para fijar de dos a tres elementos, en cualquier Angulo. Es una fijación con tornillos.
- Fabricados en distintos tipos de espesor de acero.
- Tipos: ángulos de 45° o 90°.

Fig. 39

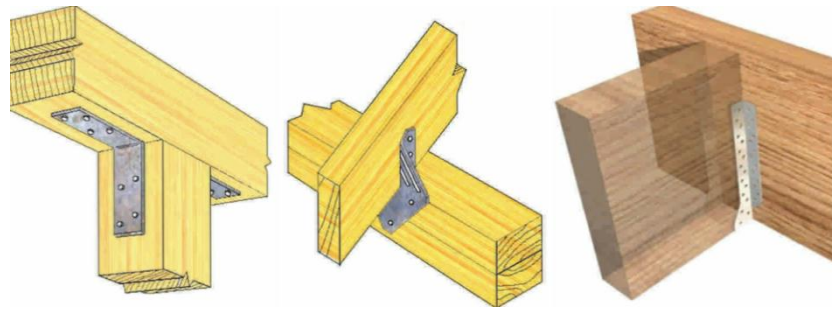


Fig. 39: Pernos, tomada de: Manual CORMA

5.1.5 Placas metálicas dentadas

Lámina metálica con un punzonado en forma de conector o clavos, conformando un sistema de dientes perpendiculares con respecto al plano 31.

- Fabricado de acero con tratamiento anticorrosivo.
- Tipos: Solamente planos

Fig. 40

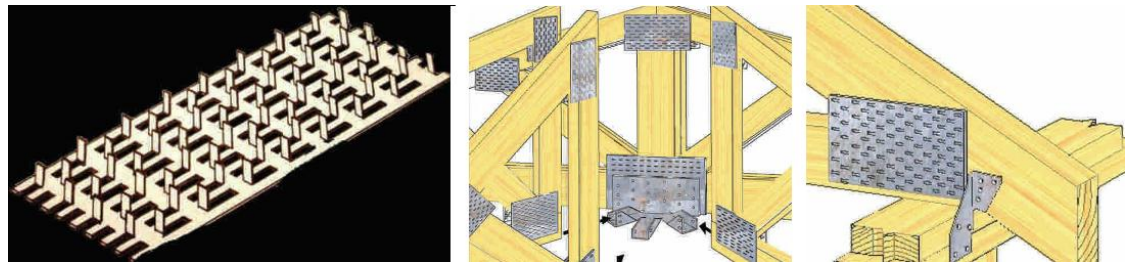


Fig. 40: Placas metálicas dentadas, tomada de: Manual CORMA

31. CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA. Uniones en la madera, centro de transferencia tecnológica. Primera Actualización. Santiago. CORMA, 2015.

5.2 UNIONES DE CONTACTO

Se conoce a estos sistemas por dar soluciones a las uniones, sin ocupar medios externos a la madera.

5.2.1 Finger-Joint

Es un sistema que se basa en realizar un dentado y contradentado a la madera trabajándola a compresión, logrando así la unión de dos piezas.

Fig. 41

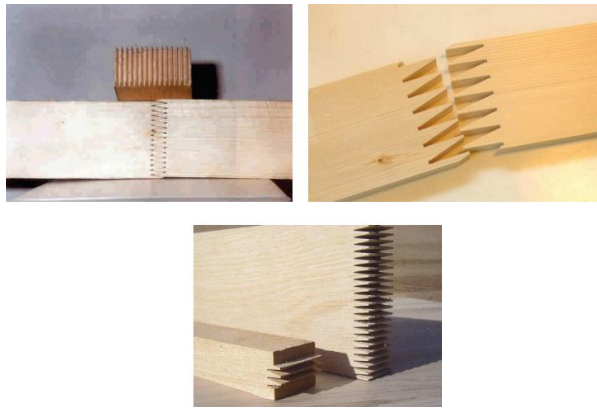


Fig. 41: Finger-joint, tomada de: Manual CORMA

5.2.2 Uniones mediante espigas

Este sistema consiste en realizar en ambas piezas, una perforación, para luego incorporar un elemento de unión con cola (espigas).

Fig. 42

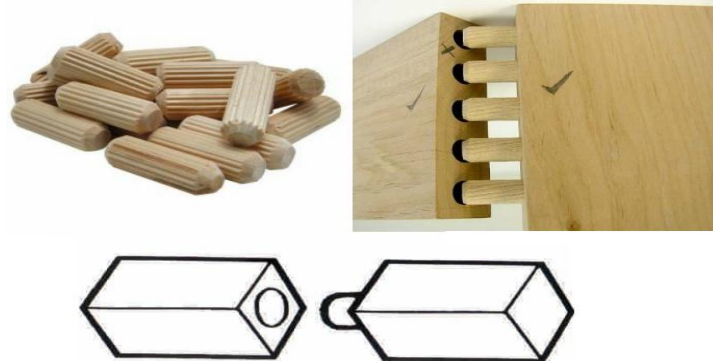


Fig. 42: Uniones mediante espigas, tomada de: Manual CORMA

5.2.3 Uniones con ensambles

Es un sistema muy utilizado por artesanos, conocido como macho y hembra o ensamble, el cual logra una unión limpia entre dos elementos.

Fig. 43



Fig. 43: Uniones con ensambles, tomada de: Manual CORMA

6. INMUNIZACIÓN Y SECADO DE LA MADERA

6.1 SECADO

Hay dos tipos de secado de la madera, el natural y el artificial:

6.1.1 Secado Natural

Es la manera más económica y fácil de implementar puesto que se realiza en patios de secado, consiste en apilar la madera de modo que el aire pueda circular entre ella. Las desventajas de este secado son: el largo tiempo que se requiere para el secado, los cambios climáticos, además la humedad final de la madera no es menor al 13 %³².

Fig. 44

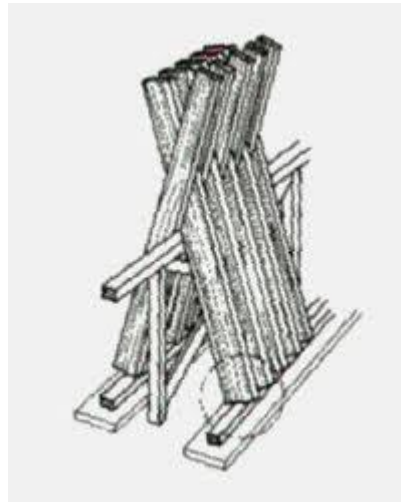


Fig. 44: Secado natural, tomada de:
johnfredyarangodavid.blogspot.com.co

32. FREDY ARANGO “Secado de la madera” {En línea}. {11 Abril de 2016} disponible en: (<http://johnfredyarangodavid.blogspot.com.co/2012/04/tipos-de-secado-de-la-madera.html>).

6.1.2 Secado artificial

Consiste en extraer el exceso de agua que hay en la madera, en cámaras de secado de aire forzado. La pérdida de agua ocasiona en la madera algunos efectos tales como rajaduras, torceduras, cambios dimensionales (contracciones) y arqueaduras entre otros. Por esta razón, al utilizar madera seca, el usuario tiene la certeza de que los problemas anteriores no se presentarán después de instalada la madera o terminada la obra. En general, el secado de la madera permite contar con una materia prima de mejor calidad, pues se tienen las siguientes ventajas:

- Mejora las propiedades físico-mecánicas de la madera.
- Mejora las características como aislante térmico, acústico y eléctrico.
- Aumenta considerablemente la resistencia mecánica.
- Se estabiliza dimensionalmente la madera.
- Se incrementa la resistencia natural de la madera contra la pudrición, manchas ocasionadas por hongos y ataques de otros organismos biológicos.
- Permite una mejor trabajabilidad (maquinado de la madera), dando como resultado, acabados de mayor calidad.
- Se reduce el peso de la madera, facilitando el transporte y manipulación de la misma.

Fig. 45



Fig. 45: Secado artificial, tomada de: MADERAS TÉCNICAS INMUNIZADAS

6.2 INMUNIZACIÓN DE LA MADERA

La madera, al igual que todos los materiales de origen biológico se constituye en alimento para algunos organismos, principalmente es atacada por tres tipos: Hongos (xilófagos y cromógenos), insectos y perforadores marinos.

La inmunización de la madera o su preservación consiste en impregnar la madera con sustancias químicas que impidan el ataque de dichos organismos, alargando así su vida útil.

Aplicamos el método a vacío-presión por el proceso Bethell o Célula Llena, el cual cumple con los propósitos de penetración y retención establecidas por las Normas Técnicas nacionales (ICONTEC). Al inmunizar con PRESION se utilizan equipos especializados para este propósito (autoclave, tanques, bombas, etc.) la mayoría de estos procedimientos garantizan la penetración total del inmunizante en la albura y los niveles de retención necesarios de acuerdo al uso de la madera 33.

Fig. 46



Fig. 46: Inmunización de la madera, tomada de: MADERAS TÉCNICAS INMUNIZADAS

33. MADERAS TÉCNICAS INMUNIZADAS “Secado e inmunización de la madera” {En línea}. {11 Abril de 2016} disponible en: (<http://www.maderastecnicasinmunizadas.com/secado-e-inmunizacion-de-la-madera>)

7. NOCIONES BÁSICAS SOBRE ARMADURAS

7.1 PARTES DE UNA ARMADURA

Fig. 47

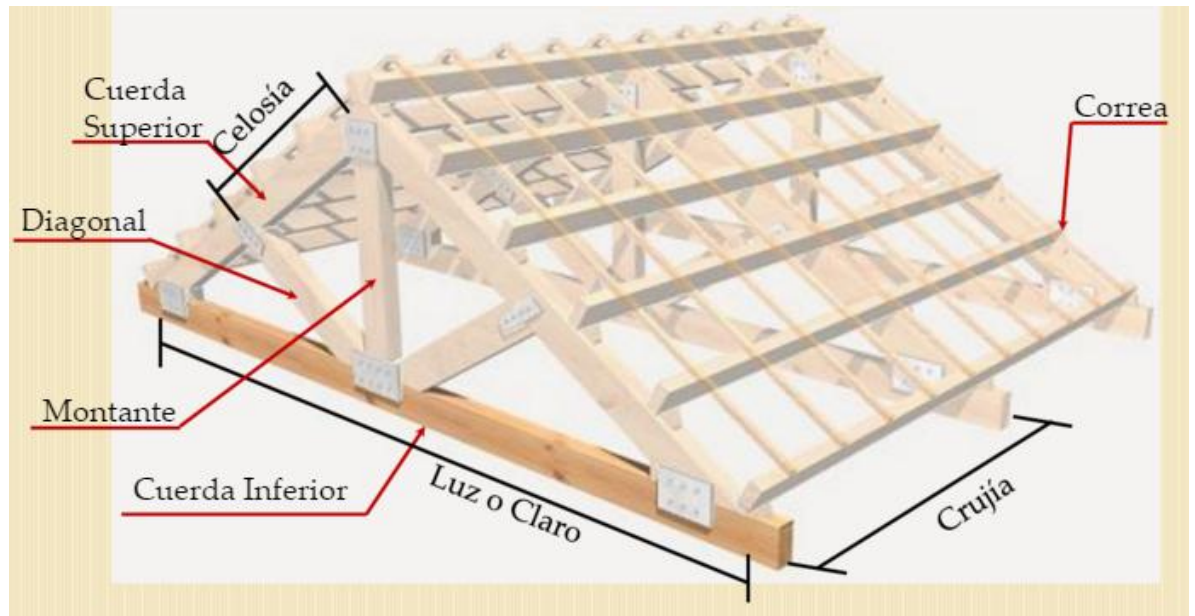


Fig. 47: Partes de una armadura, tomada de: DOCUMENTS, Diseño de armadura de madera

Crujía: Es una parte de la estructura del techo limitada por dos armaduras adyacentes.

Correa: Es una viga que va de armadura a armadura, y que trasmite las cargas debidas a nieve, viento y peso de la cubierta del techo.

Celosía: Es la parte que una armadura presenta entre dos nudos adyacentes de la cuerda superior.

Luz: Es la distancia entre los apoyos.

7.2 TIPOS DE ARMADURAS

Fig. 48

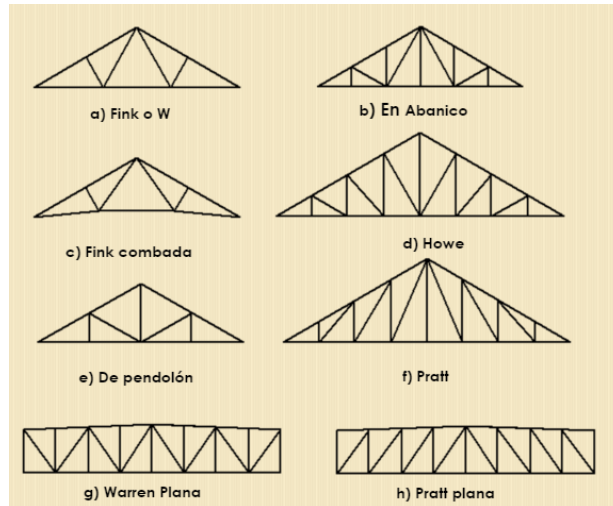


Fig. 48: Tipos de armaduras, tomada de: DOCUMENTS, Diseño de armadura de madera

7.2.1 Pendiente

Se define como la inclinación de sus aguas o sea el Angulo que forma la cuerda superior con la cuerda horizontal, se expresa como:

$$\frac{h}{L} = \text{Pendiente} = \frac{\text{Altura de la armadura}}{\text{Long. del tramo horizontal}}$$

- La pendiente más económica es de $\frac{1}{2}$
- Se debe procurar que la pendiente no sea excesivamente plana, debido a que es antieconómica.
- En zonas de vientos fuertes es conveniente usar pendientes pequeñas, implicando esto menores cargas horizontales.

7.2.2 Elementos simples y compuestos

Simple: cuerdas, diagonales y montantes van en un mismo plano. Esto las hace fáciles de armar y la unión de los nudos se debe efectuar por medio de placas metálicas perforadas o dentadas.

Fig. 49

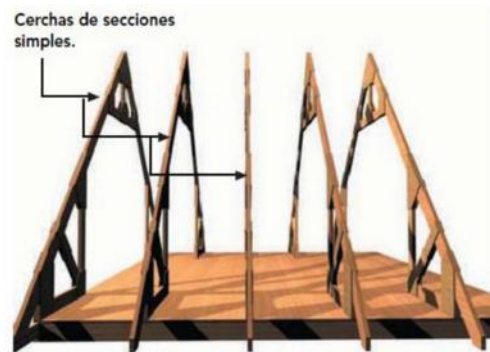


Fig. 49: Elementos simples y compuestos, tomada de: DOCUMENTS, Diseño de estructura de madera

7.2.3 Compuesta: tiene la particularidad de tener piezas adecuadamente interconectadas para funcionar como una unidad. El hecho de tener elementos dobles o triples da mayor rigidez y facilita la solución de nudos al coincidir los ejes neutros de los distintos elementos. Su unión se realiza por medio de clavos, pernos, pasadores o conectores, así como elementos mecánicos de unión.

Fig. 50

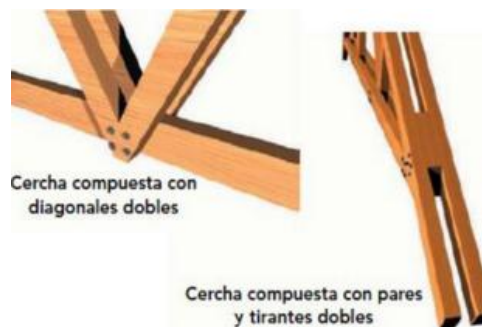


Fig. 50: Elementos simples y compuestos, tomada de: DOCUMENTS, Diseño de estructura de madera

7.3 CRITERIOS DE DISEÑO

7.3.1 Cargas

Las estructuras de madera deben diseñarse para soportar todas las cargas provenientes de:

- Peso propio y otras cargas permanentes o cargas muertas.
- Sobrecargas de servicio o cargas vivas, es decir, todas aquellas cargas que no forman parte del peso propio de la edificación pero que la estructura está destinada a recibir.
- Sobrecargas de sismos, vientos, nieve y temperatura.

7.3.2 Material

Es recomendable el uso de maderas del grupo C (blandas), debido a su baja densidad son fáciles de montar y liviana para su montaje (maderas de otros grupos pueden usarse también con ensambles o empernadas)

7.3.3 Dimensiones mínimas

Las secciones (escuadrías) de los elementos no deben ser menores a 4x6, 5 cm (2x3in) a menos que se utilicen elementos compuestos. Se recomienda que en el caso de usar placas (cartelas) de madera contra chapada, esta sea de un espesor no menor a 10mm 34.

34. DOCUMENTS “Diseño de armadura de madera” {En línea}. {14 Abril de 2016} disponible en: (<http://documents.mx/documents/diseno-de-armaduras-de-madera.html>)

8. ASPECTOS BÁSICOS DE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA BASADOS EN LA NSR10

8.1 REQUISITOS DE DISEÑO

Según G.2.1.2.1 “El diseño estructural deberá reflejar todas las posibles cargas actuantes sobre la estructura durante las etapas de construcción y servicio; además de las condiciones ambientales como humedad o temperatura que puedan generar cambios en las suposiciones de diseño, o que puedan afectar la integridad de otros componentes estructurales 35”

En ningún caso se pueden construir estructuras de madera cuando la temperatura a la cual van a estar sometidas excede 65°C.

8.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

- El diseño de estructuras de madera se hará por el método de los esfuerzos admisibles.
- La norma establece dos categorías de madera aserrada de uso estructural:
- la estructural selecta (ES), de mayor calidad, empleada en elementos portantes principales, como columnas, vigas maestras, vigas de amarre, cerchas, arcos, pórticos, viguetas de piso, dinteles, pies derechos de paneles portantes, voladizos, escaleras, cimbras y formaletas.
- Estructural Normal (EN), empleada únicamente y como segunda alternativa, en elementos portantes secundarios, como correas, cuchillos, contravientos, riostras, separadores, remates, pie-de-amigos, tacos, puntales y elementos temporales.
- La madera estructural selecta se clasifica en ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6, dependiendo del módulo de elasticidad, capacidad de resistencia a flexión y compresión. Siendo la ES1 de una mayor calidad.
- DB: Se denomina densidad básica, es el cociente entre la masa de la madera seca al horno y el volumen de la madera en estado verde.

35. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). Título G, Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá. NSR10, 2010. p. 27

Tabla G.2.2-1
Esfuerzos Admisibles, F_i , (MPa) C.H = 12%

| GRUPO | F_b Flexión | F_t Tensión | F_c Compresión | F_p Compresión \perp | F_v Cortante |
|-------|------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|
| ES1 | 29.5 | 21.0 | 23.0 | 6.0 | 2.0 |
| ES2 | 28.5 | 20.0 | 22.0 | 4.3 | 2.0 |
| ES3 | 23.0 | 17.0 | 19.0 | 3.8 | 1.6 |
| ES4 | 17.0 | 12.0 | 15.0 | 2.8 | 1.5 |
| ES5 | 15.0 | 11.0 | 13.0 | 2.0 | 1.1 |
| ES6 | 12.5 | 9.0 | 10.0 | 1.5 | 1.3 |

Tabla G.2.2-2
Módulos de Elasticidad Longitudinal, E_i , (MPa)
CH = 12%

| GRUPO | Módulo Promedio $E_{0.5}$ | Módulo 5° Percentil $E_{0.05}$ | Módulo Mínimo E_{min} |
|-------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| ES1 | 18 000 | 13 250 | 7 130 |
| ES2 | 18 000 | 13 250 | 7 130 |
| ES3 | 14 000 | 11 000 | 5 500 |
| ES4 | 12 500 | 10 000 | 5 000 |
| ES5 | 11 200 | 8 250 | 4 435 |
| ES6 | 9 000 | 6 500 | 3 564 |

Tabla. 2: Esfuerzos y módulos admisibles para ES, tomada de:
NSR10, Titulo G

- $E_{0.5}$ (Modulo promedio): Este módulo de elasticidad de material Se utiliza para el análisis y diseño de elementos estructurales.

- E_{min} (Modulo mínimo): Este módulo de elasticidad de material se utilizará para calcular los coeficientes de estabilidad de vigas (**CL**), y de columnas (**Cp**).

- $E_{0.05}$ (Modulo percentil): Este módulo de elasticidad de material, podrá utilizarse para deflexiones cuando las condiciones de servicio sean de alto riesgo o críticas.

8.3 ESFUERZOS ADMISIBLES Y COEFICIENTES DE MODIFICACION

Los esfuerzos admisibles pueden ser modificados por coeficientes. En el diseño estructural, debe considerarse las cargas y también se debe considerar algunas condiciones ambientales como son la humedad y la temperatura que pueden generar cambios en las suposiciones de diseño. Los más importantes coeficientes de modificación son:

C_D: Coeficiente de modificación por duración de la carga.

C_m: Coeficiente de modificación por contenido de humedad.

C_t: Coeficiente de modificación por temperatura

8.3.1 Por duración de la carga (C_D): Según G.2.2.31, “Cuando un elemento esté sometido a cargas de duración diferentes a la normal, 10 años los valores de la tabla 2 deberán multiplicarse por los valores de la tabla 3” 36

Tabla G 2.2-3
Por duración de la carga (C_D)

| Duración carga | Flexión F _b | Tensión F _t | Compresión F _c | Compresión ⊥ F _p | Cortante F _v | Típica carga de diseño |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Permanente | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 1.00 | 0.90 | muerta |
| Diez años | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | viva de ocupación |
| Dos meses | 1.15 | 1.15 | 1.15 | 1.00 | 1.15 | |
| 7 días | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 1.25 | construcción |
| Diez minutos | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.00 | 1.60 | viento y terremoto |
| Impacto | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 1.00 | 2.00 | Impacto |

Tabla. 3: Coeficientes de modificación por duración de carga, tomada de: NSR10, Título G

-Los incrementos anteriores no son acumulables. Cuando hay combinación de cargas, el dimensionamiento de los elementos debe hacerse para la condición más desfavorable.

36. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10).Título G, Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá. NSR10, 2010. p. 29

8.3.2 Por contenido de humedad (C_m): La madera pierde resistencia y rigidez, al aumentar su contenido de humedad. Los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las tablas 2 y 3 corresponden a madera seca $CH = 12\%$.

Cuando se deben hacer ajustes por efecto de humedad, se deberá utilizar los valores de la tabla 4

Tabla G.2.2-5
Coeficientes de afectación para esfuerzos F_i y módulos de elasticidad E_i

| Esfuerzos | | CH \leq 12 % | CH > 19% |
|--------------------------|------------|----------------------------------|--------------------|
| Flexión | F_b | 1.0 | 0.80 |
| Tensión | F_t | 1.0 | 0.80 |
| Compresión Paralela | F_c | 1.0 | 0.75 |
| Compresión perpendicular | F_p | 1.0 | 0.60 |
| Cortante | F_v | 1.0 | 0.85 |
| Módulos de elasticidad | $E_{0.5}$ | 1.0 | 0.85 |
| | $E_{0.05}$ | 1.0 | 0.85 |
| | E_{min} | 1.0 | 0.85 |

Tabla. 4: Coeficientes de afectación por humedad, tomada de: NSR10, Título G

- Para valores de CH, entre 12% y 19%, la reducción será proporcional.

8.3.3 Por temperatura (C_t): Según G.2.2.3.3, “Los valores de referencia deberán ser modificados por los factores de temperatura indicados en la tabla 5, Asimismo se aplicarán factores de modificación cuando los elementos estructurales estén permanentemente expuestos a elevadas temperaturas, dentro de los rangos indicados en la tabla 5”.37

Tabla G.2.2-6
Variación de las propiedades mecánicas por temperatura (C_t)

| Parámetros de diseño | Condiciones de servicio | °C _t | | |
|--|-------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| | | T ≤ 37.8°C | 37.8°C < T ≤ 51.7°C | 51.7°C < T ≤ 65°C |
| F _t , E _{0.5} , E _{0.05} , E _{min} | Húmedo o seco | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| F _b , F _v , F _c , F _{c⊥} | Seco | 1.0 | 0.8 | 0.7 |
| | Húmedo | 1.0 | 0.7 | 0.5 |

Tabla. 5: Coeficientes de afectación por temperatura, tomada de: NSR10, Título G

- Los anteriores valores se aplicaran a madera aserrada y madera laminada.

8.4 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN

En el diseño de elementos o miembros a flexión se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

- (a) Deflexión
- (b) Flexión
- (c) Cortante
- (d) Aplastamiento

8.4.1 Deflexión

-Las deflexiones en viga se deberán calcular con las fórmulas corrientes de la teoría elástica, considerando la deflexión por flexión y si es el caso, con el módulo de elasticidad **E_{0.5} (Promedio)**, corregido por cortante.

-Para el caso de vigas de una luz simplemente apoyadas y con carga uniforme, la fórmula es:

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{w \ell^4}{EI} \quad (\text{G.3.2-1})$$

Dónde:

Δ : Deflexión

w: Carga uniforme

E: Modulo de elasticidad promedio **E_{0.5}**

I: Inercia

L: Luz de diseño

Luz de diseño (L): Para elementos sometidos a flexión que estén simplemente apoyados, o en voladizo, la luz de diseño será considerada como la luz libre entre caras de soportes más la mitad de la longitud de apoyo requerida en cada extremo. Para el caso de vigas continuas, la luz de diseño será la distancia centro a centro de apoyos.

Las deflexiones máximas admisibles de las vigas de madera se limitaran a los valores de la siguiente tabla 6:

Tabla G.3.2-1
Deflexiones admisibles en vigas con Δ (mm)

| Tipo de Construcción | Cargas Vivas l/k^* | Viento o Granizo l/k^* | Cargas Totales l/k^* |
|---|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Elementos de techo/Cubierta | | | |
| Cubiertas inclinadas | Nota 1 | Nota 1 | Nota 1 |
| Cielorasos de pañete o yeso | $l/360$ | $l/360$ | $l/300$ |
| Otros cielos rasos | $l/300$ | $l/240$ | $l/240$ |
| Sin cielo raso | $l/300$ | $l/240$ | $l/240$ |
| Techos planos | Nota 1 | Nota 1 | $l/300$ |
| Elementos de entrepiso | $l/360$ | – | $l/300$ |
| Pisos rigidizados | | | $l/360$ |
| Muros exteriores y particiones interiores | | | |
| Con acabados frágiles | – | $l/240$ | – |
| Con acabados flexibles | – | $l/240$ | – |
| Edificaciones industriales | – | | $l/200$ |
| Edificaciones provisionales | | | (3) $l/160$ |
| Formaletas para concreto | | | (3) $l/360$ ó 3 mm |
| Forros para columnas - vigas | | | (3) $l/360$ ó 1.6 mm |

Tabla. 6: Deflexiones admisibles máximas, tomada de: NSR10, Título G

Dónde:

L: Luz de diseño del elemento a flexión.

K: Coeficiente de limitación de deflexiones.

8.4.2 Flexión

Los esfuerzos máximos de tensión y de compresión producidos por flexión (f_b), serán determinados para la sección de máximo momento. Estos no deberán exceder al máximo esfuerzo admisible en flexión, F_b , definido en la tabla 2, para el grupo de madera estructural especificado modificado por los coeficientes correspondientes.

Los coeficientes de modificación de los esfuerzos admisibles, particulares para flexión, son los indicados a continuación:

Coficiente de forma (CF): Según G.3.3.2.1 “Este coeficiente se refiere a consideraciones de la forma del elemento, tanto de ancho (b), como de alto (d), como de largo (L), de los elementos rectangulares sometidos a flexión, tensión o compresión paralela. Los valores de F_b , F_t , F_c , se multiplicarán por los valores de las tablas G.3.3-1 y G.3.3-2, tal como se indica a continuación”: 38

Tabla G 3.3-1
Factor de ajuste C_d , por medidas d y b , para F_b , F_t , F_c

| | (d) mm | F_b | | F_t |
|--|----------|--------|--------|-------|
| | | (b) mm | (b) mm | |
| | | 50 -75 | 100 | |
| Madera aserrada visualmente seleccionada como E.S. | 50 a 100 | 1.15 | 1.15 | 1.15 |
| | 127 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |
| | 150 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |
| | 203 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |
| | 254 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | 300 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Construcción normal E.N. | 50 a 100 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Tabla G 3.3-2
Factor de ajuste por longitud, C_ℓ , para F_t , F_c

| ℓ (m), longitud | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C_{ft} tensión, flexión | 1.00 | 0.94 | 0.90 | 0.87 | 0.84 | 0.82 | 0.80 | 0.78 |
| C_{fc} compresión | 1.00 | 0.97 | 0.95 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.89 |

Tabla. 7: Factor de ajuste por forma, tomada de: NSR10, Titulo G

Para uso en cara ancha (d), factor C_{fu} : Cuando un elemento de madera aserrada clasificada visualmente y con espesor entre 50 mm y 100 mm, es cargada en la cara ancha, como se muestra en la gráfica el esfuerzo admisible a flexión F deberá ser multiplicado por los valores del coeficiente C_{fu} , indicados en la tabla 8.

Tabla G.3.3-3
Coeficiente de modificación por flexión en el eje débil C_{fu}

| Lado ancho d mm | Espesor de la pieza b | |
|--------------------|-----------------------|--------|
| | 50 – 75 mm | 100 mm |
| 50-75 | 1.00 | - |
| 100 | 1.00 | 1.00 |
| 127 | 1.05 | 1.05 |
| 152 | 1.05 | 1.05 |
| 200 | 1.05 | 1.05 |
| 254 | 1.10 | 1.05 |

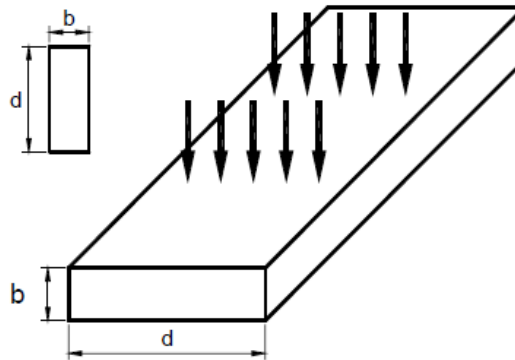


Tabla. 8: Factor de modificación C_{fu} por carga en cara ancha, tomada de: NSR10, Título G

8.4.2.1 Relación de esbeltez: El parámetro que mide la esbeltez de una viga rectangular, se calcula según la fórmula siguiente:

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}} \quad (\text{G.3.3-4})$$

En donde:

R_B : Parametro que mide la esbeltes de una viga y debera ser menor a 50

b : Ancho de la viga en mm

d : Altura de la viga en mm

ℓ_e : Longitud efectiva de la viga en mm

El cálculo de L_e se efectúa según la tabla 9

Longitud efectiva de vigas ℓ_e (mm)

| | Cantiliver (1) | Cuando $\ell_u/d < 7$ | | Cuando $\ell_u/d > 7$ |
|---|--|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| A | Carga uniforme repartida | $\ell_e = 1.33\ell_u$ | | $\ell_e = 0.90\ell_u + 3d$ |
| B | Carga concentrada en extremo libre | $\ell_e = 1.87\ell_u$ | | $\ell_e = 1.44\ell_u + 3d$ |
| | Viga de una sola luz (1,2) | Cuando $\ell_u/d < 7$ | | Cuando $\ell_u/d > 7$ |
| C | Carga uniformemente repartida | $\ell_e = 2.06\ell_u$ | | $\ell_e = 1.63\ell_u + 3d$ |
| D | Carga concentrada en el Centro sin soportes intermedio | $\ell_e = 1.80\ell_u$ | | $\ell_e = 1.3\ell_u + 3d$ |
| E | Carga concentrado en el centro con soportes laterales intermedios | | $\ell_e = 1.11\ell_u$ | |
| F | Dos carga concentrada en los tercios con soporte lateral a los tercios | | $\ell_e = 1.68\ell_u$ | |
| G | Tres cargas concentradas iguales y soportes laterales en $\ell/4$ | | $\ell_e = 1.54\ell_u$ | |
| H | Cuatro cargas concentradas y soportes laterales en $\ell/5$ | | $\ell_e = 1.68\ell_u$ | |
| I | Cinco cargas concentradas iguales y soportes laterales en $\ell/6$ | | $\ell_e = 1.73\ell_u$ | |
| J | Seis cargas concentradas iguales y soportes laterales en $\ell/7$ | | $\ell_e = 1.78\ell_u$ | |
| K | Siete o más cargas concentradas, regularmente distribuidas con soportes laterales en los puntos de aplicación. | | $\ell_e = 1.84\ell_u$ | |
| L | Momentos iguales en los extremos con soportes laterales extremos. | | $\ell_e = 1.84\ell_u$ | |

Tabla. 9: Calculo de longitud efectiva (L_e), tomada de: NSR10, Titulo G

-En donde L_u es la longitud entre soportes laterales de la viga.

8.4.2.2 Momento resistente en sección rectangular

El momento actuante sobre vigas rectangulares, no debe exceder el valor del momento resistente dado por la fórmula.

$$M \leq F_b' \frac{bd^2}{6} = F_b' S \quad (\text{G.3.3-7})$$

En donde:

M = momento actuante en N-mm

F_b' = esfuerzo admisible modificado a flexión en MPa

b , **d** = medidas de la sección rectangular mm

S = módulo de la sección en mm³

- El módulo de la sección según la mecánica de materiales se define como el cociente entre la inercia (I) y la distancia del centroide a la fibra más lejana de la sección transversal (y).

$$S = \frac{I}{y}$$

Para el caso de una sección circular tenemos que, con respecto a su eje centroidal:

$$I = \frac{1}{4} \pi R^4 = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$y = \frac{D}{2}$$

$$S = \frac{\pi D^3}{32}$$

Haciendo las correspondientes simplificaciones tenemos que el momento actuante sobre secciones circulares, no debe exceder el valor del momento resistente dado por la fórmula:

$$M \leq F_b' (0.7854R^3) \quad (\text{G.3.3-8})$$

Dónde:

R: Radio medido en la sección de momento máximo.

8.4.3 Cortante

Según G.3.4.1 “Los esfuerzos máximos de corte paralelo a las fibras serán calculados en secciones a una distancia del apoyo igual a la altura (d), de la viga, excepto en voladizos para los que los esfuerzos máximos serán evaluados en la cara del apoyo”.39

El máximo esfuerzo cortante paralelo a las fibras (f_v) se determinará teniendo en cuenta la distribución no uniforme de estos esfuerzos en la sección, no debiendo ser mayor que el esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, (F_v), definido en la tabla 2 para el grupo de madera estructural especificado, modificado por los factores correspondientes.

Fig. 51

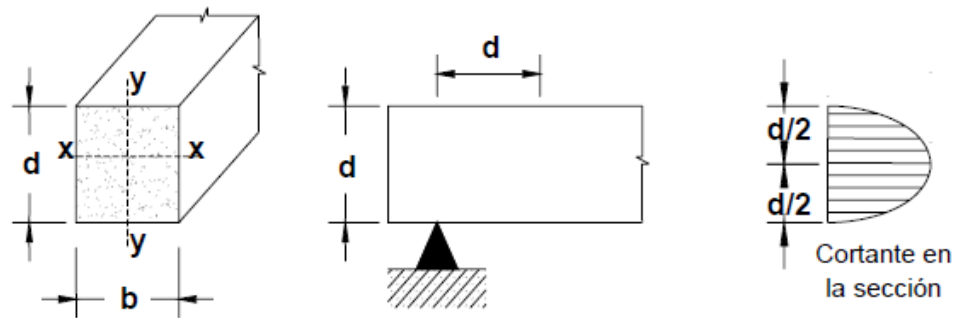


Fig. 51: Esfuerzo cortante en vigas, tomada de: NSR10, Título G

8.4.3.1 Esfuerzo cortante paralelo a las fibras (fv): En cualquier sección transversal del miembro a flexión, no excederá el valor del esfuerzo admisible modificado paralelo a las fibras para cortante (**Fv'**) y en vigas de sección rectangular y circular, se calculará por las fórmulas:

Sección Rectangular

$$f_v = \frac{3v}{2bd} \leq F_v' \quad (\text{G.3.4-1})$$

Sección Circular

$$f_v = \frac{4v}{3\pi R^2} \leq F_v' \quad (\text{G.3.4-2})$$

En donde

fv = esfuerzo cortante actuante, en MPa

Fv' = esfuerzo cortante admisible modificado en MPa

V = fuerza cortante vertical en la sección considerada, en N

b, d = dimensiones de la sección rectangular en mm.

R = radio de la sección circular en mm

- La fuerza cortante vertical en la sección considerada, se toma del diagrama de fuerza cortante.
- **Fv' = Fv * Cd * Cm * Ct**

En donde:

Cd: Coeficiente de modificación por duración de la carga.

Cm: Coeficiente de modificación por contenido de humedad.

Ct: Coeficiente de modificación por temperatura

Fv: Esfuerzo admisible por cortante (tomado de la tabla 2)

8.5 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL

Según G.4.1.1 “Serán diseñados a fuerza axial aquellos elementos solicitados en dirección coincidente con el eje longitudinal que pasa por el centroide de su sección transversal”. 40

Los esfuerzos actuantes, en tensión (**ft**) y en compresión (**fc**) , generados por fuerzas axiales no deberán exceder los esfuerzos admisibles , de tensión paralela al grano, (**Ft**) , y compresión paralela al grano, (**Fc**) , definidos en la tabla 2, para el grupo de madera especificado, afectado por los correspondientes coeficientes de modificación.

8.5.1 Elementos sometidos a tensión axial

El esfuerzo (**ft**) a carga axial de tensión (**T**) , no sobrepasará al esfuerzo admisible modificado a tensión Paralela a la fibra (**Ft'**) , según la siguiente fórmula:

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F_t' \quad (\text{G.4.2-1})$$

En donde:

ft = esfuerzo actuante a tensión paralela al grano, en MPa.

T = fuerza axial de tensión actuante en N.

An = área neta de la sección en mm².

Ft' = esfuerzo admisible modificado de tensión paralela al grano en MPa.

- Recordando que el área neta se obtiene al deducir del área bruta de la sección la proyección del área de todo el material removido por perforaciones, ranuras, entalladuras, cortes o por otros medios.

8.5.2 Elementos sometidos a compresión axial

El concepto de COLUMNA, se refiere a los elementos sometidos a cargas de compresión Paralela a la fibra, cualquiera que sea su localización estructural.

8.5.3 Clasificación de columnas: Esta norma clasifica las columnas de madera de la siguiente forma:

(a) Columnas simples sólidas: Conformadas por piezas únicas de madera o piezas de madera estructural laminada encolada.

(b) Columnas espaciadas: Conformadas a partir de dos o más piezas individuales separadas entre sí pero ensambladas, en los extremos y en puntos intermedios por pasadores, pernos, grapas, tornillos tirafondos, o clavos.

(c) Columnas armadas: Son las conformadas por varias piezas individuales macizas de madera, de similares características, unidas entre sí, por, pernos, tornillos, adhesivos o clavos.

8.5.3 Longitud efectiva: La longitud efectiva de una columna puede calcularse con la fórmula:

$$\ell_e = k_e \ell_u \quad (\text{G.4.3-1})$$

En donde:

Le = longitud efectiva en mm.

Ke = coeficiente de longitud efectiva, según lo determinado en la tabla 10.

Lu = longitud no soportada lateralmente de la columna en la dirección considerada en mm.

Tabla G.4.3-1
Coeficientes de longitud efectiva de columna k_e

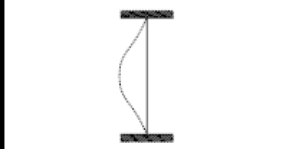
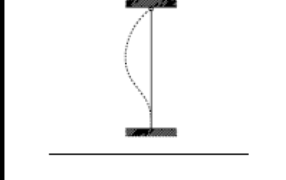

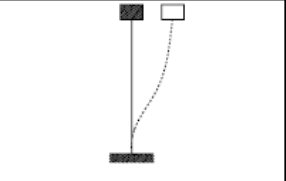

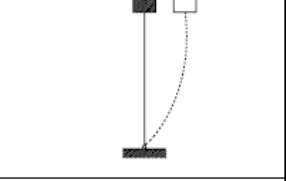
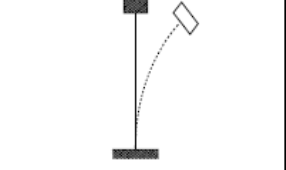
| Condición de los apoyos | Gráficos | k_{e1} | k_{e2} |
|--|--|----------|----------|
| Empotrados en ambos extremos ① |  | 0.50 | 0.65 |
| Impedido de desplazarse en ambos extremos y uno de ellos impedido de rotar ② |  | 0.70 | 0.85 |
| Articulado en ambos extremos ③ |  | 1.00 | 1.00 |
| Empotrado en un extremo y el otro impedido de rotar pero libre de desplazamiento ④ |  | 1.00 | 1.20 |
| Empotrado en un extremo y el otro parcialmente libre de rotar y libre de desplazamiento ⑤ |  | 1.50 | 1.50 |
| Articulado en un extremo y el otro impedido de rotar pero libre de desplazamiento ⑥ |  | 2.00 | 2.40 |
| Empotrado en un extremo y el otro libre de rotar y libre de desplazamiento ⑦ |  | 2.00 | 2.10 |

Tabla. 10: Coeficientes de longitud efectiva de la columna (K_e), tomada de: NSR10, Título G

K_{e1} : Teórico

K_{e2} : Recomendado cuando las condiciones ideales son aproximadas.

Para determinar la longitud no soportada lateralmente, tenemos lo siguiente:

La longitud sin apoyo lateral (o longitud no soportada) ℓ_u de una columna es la distancia libre entre apoyos laterales, como se ilustra en la siguiente figura:

Fig. 52

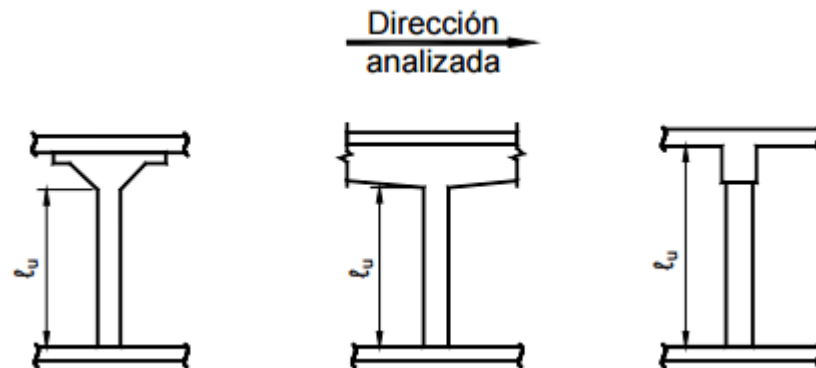


Fig. 52: Longitud sin apoyo lateral ℓ_u , tomada de: INTI, Efectos de la esbeltez.

8.5.4 Relación de esbeltez (λ): En el diseño de columnas de madera, se considera como medida de esbeltez la definida por la fórmula:

$$\lambda = \frac{\ell_e}{r\sqrt{12}} \quad (\text{G.4.3-2})$$

La fórmula se simplifica para las siguientes secciones transversales:
Fig. 53

Tabla G.4.3-2
Relación de esbeltez λ


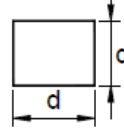
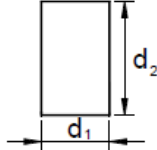
| Sección transversal |  |  |  | Cualquier sección |
|---------------------|---|--|---|-----------------------------|
| λ | $\frac{\ell_e}{0.866D}$ | $\frac{\ell_{e_{1,2}}}{d}$ | $\frac{\ell_{e_1}}{d_1} \frac{\ell_{e_2}}{d_2}$ | $\frac{\ell_e}{r\sqrt{12}}$ |

Fig. 53: Relación de esbeltez, tomada de: NSR10, Título G.

En donde:

λ = medida de esbeltez. Debe ser $\lambda \leq 50$, excepto durante la construcción
Que podrá ser $\lambda \leq 75$

L_e = longitud efectiva de la columna en la dirección considerada, en mm.

r = radio de giro de la sección, en mm

d_1, d_2 = dimensiones de la sección transversal en la dirección considerada, en mm.

D = diámetro de la sección circular, en mm

El cálculo se hará para las dos direcciones principales y se utilizará el λ mayor.

8.5.4.1 Radio de giro: Si se conocen las áreas y los momentos de inercia, los radios de giro son determinados apartir de las formulas:

$$Kx = \sqrt{\frac{Ix}{A}}$$
$$Ky = \sqrt{\frac{Iy}{A}}$$

8.5.5 Acortamiento de elementos a compresión

Los elementos a compresión axial, están sujetos a sufrir un acortamiento en su sentido longitudinal el cual será Calculado con la siguiente fórmula.

$$\Delta dc = \frac{P \ell_u}{A_n E'_{0.5}} \quad (\text{G.4.5-1})$$

En donde:

Δdc = acortamiento en el sentido paralelo a las fibras, en mm.

P = carga axial actuante en N.

ℓ_u = longitud no soportada de la columna en mm.

A_n = área neta de la sección de la columna en mm²

$E'_{0.5}$ = módulo de elasticidad **$E_{0.5}$** modificado paralelo a las fibras en MPa.

8.6 UNIONES

Elementos mecánicos de unión Según G.6.2.1 son aquellos que al quedar solicitados a esfuerzos cortantes, admiten desplazamientos relativos entre las piezas contactadas, que se originan por las deformaciones por aplastamiento que sufre la madera en la zona de contacto entre la madera y el medio de unión y adicionalmente, como en el caso de medios cilíndricos, por las deformaciones por flexión de los medios cilíndricos. Dependiendo de su posición en la unión, los elementos mecánicos pueden quedar solicitados en dirección axial 41.

8.6.1 Esfuerzos de cortante

En uniones solicitadas por fuerzas de cortante tales como pernos, tornillos pasantes, tornillos tirafondos o conectores de placa, se debe verificar que los esfuerzos de cortante inducidas en la madera por las fuerzas de corte V , no excedan los valores indicados.

- a) En uniones separadas del extremo de la pieza por una distancia superior o igual a 5 veces la altura de la misma.

$$f_v = \frac{3V'_r}{2bd_e} \leq F'_v \quad (\text{G.6.3-1})$$

- Cuando la conexión está a más de cinco veces la altura del elemento, medida desde el extremo del mismo la fuerza cortante ajustada (V'_r) se calcula de la siguiente manera:

$$V'_r = \frac{2}{3} F'_v b d_e \quad (\text{G.3.4-7})$$

- b) En uniones separadas del extremo de la pieza por una distancia menor a 5 veces la altura de la misma

$$f_v = \frac{3V'_r}{2bd_e} \left(\frac{d}{d_e} \right)^2 \leq F'_v \quad (\text{G.6.3-2})$$

41. Ibid. p. 71

Para este caso en donde la distancia está a menos de cinco veces la altura, el cortante de diseño ajustado ($V'r$) será calculado de la siguiente forma:

$$V'_r = \left(\frac{2}{3} F'_v b d_e \right) \left(\frac{d_e}{d} \right)^2 \quad (\text{G.3.4-6})$$

En Donde:

$V'r$: Fuerza cortante ajustada para diseño en N

F'_v : esfuerzo admisible modificado para diseño a cortante, en MPA

F_v : Esfuerzo cortante inducido en la madera

b : Ancho neto de la sección rectangular, en mm

d : Altura neta de la sección rectangular, en mm

d_e : Altura efectiva de miembros de conexión.

8.6.1.1 La altura efectiva de miembros de conexión:

Para anillos partidos o conectores de placa para cortante, (d_e), será la altura del elemento, menos la distancia del borde descargado del elemento, hasta el borde más cercano, del más cercano anillo partido ó conector de placa para cortante, figuras A y B de la siguiente figura:

Fig.54

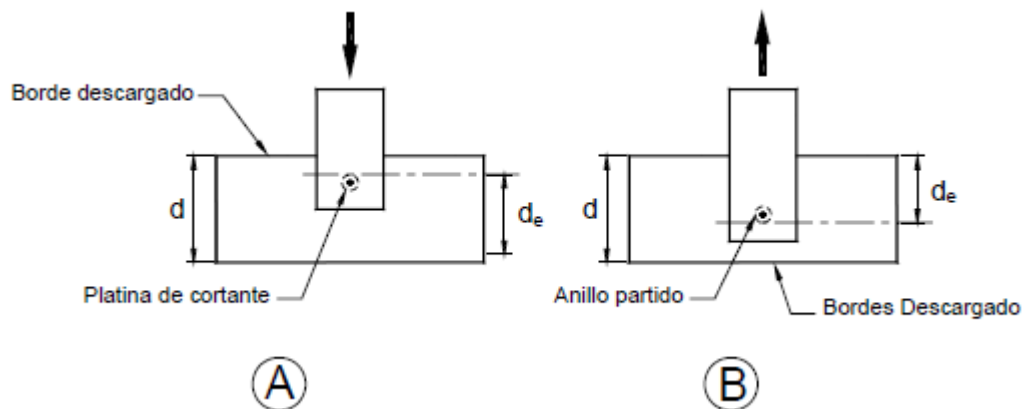


Fig. 54: Altura efectiva de miembros de conexión tipo 1, tomada de: NSR10, Título G.

Donde la conexión sea atornillada o empernada, la distancia (d_e), será tomada donde el centro del pasador o tornillo como en la siguiente figura:
Fig. 55

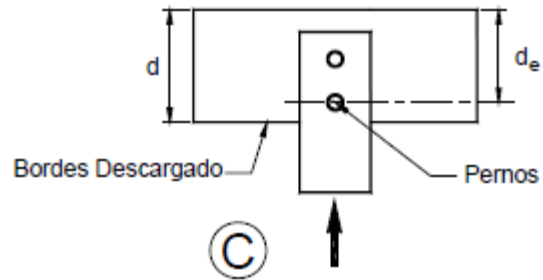


Fig. 55: Altura efectiva de miembros de conexión tipo 2, tomada de: NSR10, Título G.

8.6.2 uniones con clavos sometidas a carga de extracción directa

La fuerza de extracción **W**, que pueda desarrollar un clavo depende de la densidad de la madera, del contenido de humedad **CH%**, del diámetro (**d**) y longitud del clavo y de la distancia de penetración del clavo que tiene la punta.

La fuerza de extracción directa admisible en condición de madera seca, se determina con la fórmula

$$W = 4.4DBdp$$

(G.6.12-1)

En donde:

W = carga de extracción en N

DB = densidad básica del elemento principal

d = diámetro del clavo, en mm

p = penetración del clavo en el elemento que recibe la punta del clavo, en mm

- Recordemos que la densidad básica (DB) es el cociente entre la masa de la madera seca al horno y el volumen de la madera en estado verde.

Fig. 56

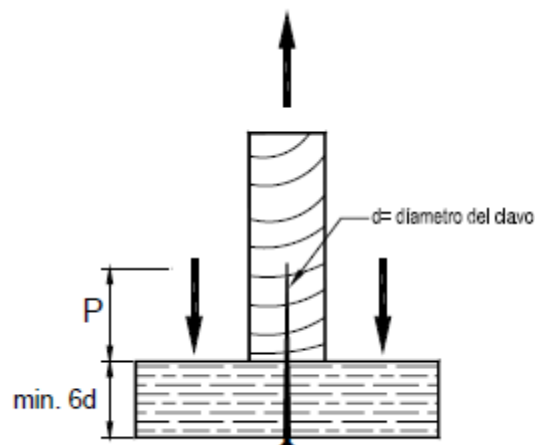


Fig. 56: Carga de extracción directa, tomada de: NSR10, Título G.

8.6.3 Uniones empernadas

Según G.6.13.1, las uniones empernadas se utilizan generalmente cuando las solicitudes sobre una conexión son relativamente grandes, requiriendo por lo tanto el uso de pernos, normalmente acompañados de platinas de acero. Se recomienda que las perforaciones para los pernos se ejecuten con un diámetro que permita una fácil colocación según tabla 11, sin desgarrar las paredes de la perforación y sin producir astillamientos en el extremo 42.

Tabla G.6.13-1
Mayoración de los diámetros de las perforaciones respecto al diámetro del perno, en mm

| Diámetro del perno d mm | Contenido de humedad de las maderas en condiciones de servicio | | | |
|---------------------------|--|----------|----------|---------------|
| | CH = 6% | CH = 12% | CH = 15% | CH \geq 20% |
| $d \leq 20$ | 1.6 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| $20 < d \leq 24$ | 2.5 | 1.6 | 0.8 | 0.8 |
| $24 < d \leq 30$ | 2.5 | 1.6 | 1.6 | 0.8 |

Tabla. 11: Mayoración de los diámetros de las perforaciones respecto al diámetro del perno, tomada de: NSR10, Título G

En toda unión empernada que carezca de platinas laterales de acero se deberán utilizar arandelas entre la madera y la cabeza del perno y entre la madera y la tuerca, de acuerdo con la tabla 12.

Tabla G.6.13-2
Dimensiones mínimas de arandelas para uniones empernadas estructurales.

| | | | | | |
|--|----|----|----|----|-----|
| Diámetro del perno d mm | 10 | 12 | 16 | 20 | >20 |
| Espesor de la arandela mm | 5 | 5 | 6 | 6 | 8 |
| Diámetro externo arandelas circulares mm | 50 | 55 | 65 | 75 | 95 |
| Lado, arandelas cuadradas mm | 45 | 50 | 60 | 65 | 85 |

Tabla. 12: Dimensiones mínimas de arandelas, tomada de: NSR10, Título G

- Los pernos, tuercas y platinas de las conexiones emperradas deberán ser de acero estructural con esfuerzo de fluencia no menor de 230 MPa. El diseñador indicará el tipo de protección anticorrosiva que requieran estos elementos.

Fig.57

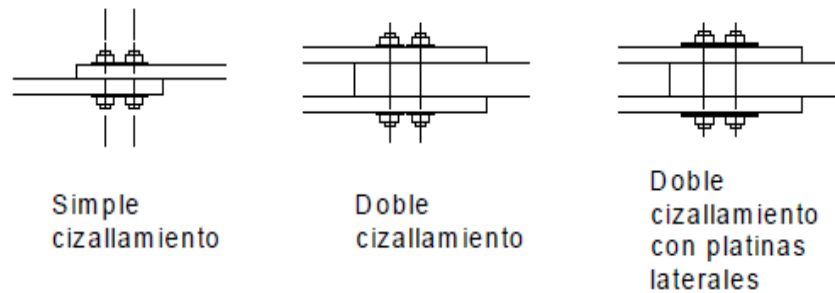


Fig. 57: Uniones emperradas de dos o más elementos de madera, tomada de: NSR10, Título G.

Las cargas admisibles para uniones emperradas sometidas a cizallamiento doble se determinarán a partir de los valores **P** y **Q** dados en la tabla 13, en función del grupo de la densidad básica **DB** especificada, del diámetro del perno (**d**) y de la longitud (**L**) definida como el menor valor entre el espesor del elemento central y dos veces el espesor del elemento lateral más delgado. Los valores de **P** indicados serán utilizados cuando la fuerza en la unión sea paralela a las fibras, tanto del elemento central como de los elementos laterales. Las cargas admisibles cuando la fuerza es paralela a las fibras del elemento central pero perpendicular a las fibras de los elementos laterales, o viceversa, se indican como **Q**. Las cargas admisibles **P** y **Q** corresponden a dos situaciones límites. 43.

Tabla G.6.13-3
Cargas admisible para uniones emperradas con doble cizallamiento $CH \leq 19\%$
 $f_y \geq 230$ MPa

| | | | | | DB > 0.70 | | DB > 0.55 DB > 0.70 | | DB > 0.40 DB > 0.55 | |
|----------------|-----------|-----------|----------|---------------------------------------|-----------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|
| ℓ (mm) | d (mm) | d (ln) | ℓ/d | $\ell \times d$ (mm ²) | P (N) | Q (N) | P (N) | Q (N) | P (N) | Q (N) |
| 20 | 6.3 | ¼" | 3.20 | 127 | 1950 | 880 | 1310 | 580 | 750 | 340 |
| | 9.5 | 3/8" | 2.10 | 191 | 2970 | 1010 | 1960 | 670 | 1130 | 390 |
| | 12.7 | ½" | 1.60 | 254 | 3960 | 1170 | 2610 | 780 | 1510 | 450 |
| | 15.9 | 5/8" | 1.30 | 318 | 4950 | 1320 | 3260 | 880 | 1880 | 510 |
| 30 | 6.3 | ¼" | 4.80 | 189 | 2290 | 1240 | 1790 | 880 | 1130 | 510 |
| | 9.5 | 3/8" | 3.20 | 285 | 4380 | 1520 | 2940 | 1010 | 1690 | 590 |
| | 12.7 | ½" | 2.40 | 381 | 5940 | 1760 | 3920 | 1170 | 2260 | 680 |
| | 15.9 | 5/8" | 1.90 | 477 | 7430 | 1980 | 4890 | 1320 | 2820 | 770 |
| 40 | 6.3 | ¼" | 6.30 | 254 | 2560 | 1440 | 2000 | 1140 | 1280 | 680 |
| | 9.5 | 3/8" | 4.20 | 381 | 4910 | 2010 | 3860 | 1340 | 2260 | 780 |
| | 12.7 | ½" | 3.10 | 508 | 7790 | 2340 | 5220 | 1560 | 3010 | 910 |
| | 15.9 | 5/8" | 2.60 | 635 | 9900 | 2640 | 6530 | 1750 | 3760 | 1020 |
| 50 | 19.0 | ¾" | 2.10 | 760 | 11890 | 2990 | 7830 | 1990 | 4520 | 1160 |
| | 9.5 | 3/8" | 5.30 | 478 | 5360 | 2260 | 4200 | 1880 | 2680 | 980 |
| | 12.7 | ½" | 3.90 | 635 | 8510 | 2930 | 6530 | 1950 | 3760 | 1140 |
| | 15.9 | 5/8" | 3.10 | 794 | 12170 | 3300 | 8160 | 2190 | 4700 | 1280 |
| 65 | 19.0 | ¾" | 2.60 | 952 | 14850 | 3740 | 9790 | 2480 | 5640 | 1450 |
| | 9.5 | 3/8" | 6.82 | 619 | 5940 | 2800 | 4630 | 2060 | 2970 | 1270 |
| | 12.7 | ½" | 5.12 | 825 | 9430 | 3450 | 7390 | 2530 | 4710 | 1480 |
| | 15.9 | 5/8" | 4.10 | 1032 | 13500 | 4280 | 10610 | 2850 | 6110 | 1660 |
| 80 | 19.0 | ¾" | 3.41 | 1238 | 18090 | 4860 | 12730 | 3230 | 7340 | 1880 |
| | 9.5 | 3/8" | 8.40 | 762 | 6450 | 2890 | 5010 | 2350 | 3180 | 1560 |
| | 12.7 | ½" | 6.30 | 1018 | 10240 | 3850 | 7990 | 3030 | 5110 | 1820 |
| | 15.9 | 5/8" | 5.04 | 1270 | 14650 | 4810 | 11480 | 3510 | 7310 | 2050 |
| 90 | 19.0 | ¾" | 4.20 | 1524 | 19630 | 5950 | 15440 | 3970 | 9030 | 2320 |
| | 9.5 | 3/8" | 9.44 | 858 | 6760 | 3080 | 5230 | 2530 | 3290 | 1600 |
| | 12.7 | ½" | 7.09 | 1143 | 10720 | 4090 | 8350 | 3260 | 5350 | 2050 |
| | 15.9 | 5/8" | 5.69 | 1429 | 15350 | 5120 | 12000 | 3950 | 7660 | 2300 |
| 100 | 19.0 | ¾" | 4.72 | 1714 | 20570 | 6330 | 16140 | 4470 | 10160 | 2610 |
| | 9.5 | 3/8" | 10.50 | 950 | 7040 | 3250 | 5440 | 2700 | 3390 | 1810 |
| | 12.7 | ½" | 7.90 | 1270 | 11180 | 4330 | 8690 | 3480 | 5550 | 2270 |
| | 15.9 | 5/8" | 6.30 | 1590 | 16000 | 5410 | 12480 | 4260 | 7990 | 2560 |
| | 19.0 | ¾" | 5.30 | 1900 | 21440 | 6890 | 16790 | 4970 | 10700 | 2900 |

Tabla. 13: Cargas admisibles para uniones emperradas con doble cizallamiento, tomada de: NSR10, Titulo G

Las cargas admisibles de la tabla 13 corresponden a uniones con un solo perno. Cuando una unión requiera más de dos pernos en línea paralela a la dirección de la carga, la carga admisible de la unión se obtendrá multiplicando los valores admisibles por perno obtenidos de dicha tabla, por el número de pernos y por un coeficiente de reducción por grupo, C_g , que puede estimarse así:

Uniones con elementos laterales de madera:

$$C_g = 1.00 - 0.08(n_p - 2) \quad (\text{G.6.13-1})$$

Uniones con elementos laterales de acero:

$$C_g = 1.00 - 0.07(n_p - 2) \quad (\text{G.6.13-2})$$

En donde, n_p = número de pernos en cada fila

Alternativamente, el valor de C_g puede obtenerse de la tabla 14

Tabla G.6.13-4
Coeficiente de reducción por grupo, C_g

| Clase de unión | Número de pernos por línea | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Uniones con elementos de madera | 1.0 | 0.92 | 0.84 | 0.76 | 0.68 |
| Uniones con elementos de acero | 1.0 | 0.94 | 0.87 | 0.80 | 0.73 |

Tabla. 14: Coeficiente de reducción por grupo, tomada de: NSR10, Título G

La carga admisible para un perno sometido a cizallamiento simple será la mitad de la carga tabulada o calculada para una unión con cizallamiento doble, considerando (L) como el doble del espesor del elemento más delgado.

8.7 ARMADURAS

8.7.1 General

Las armaduras son componentes estructurales planos, de contorno poligonal, formados por triangulación de elementos simples o compuestos que trabajan a tensión, compresión, tensión con flexión y flexo-compresión. Existe una gran variedad de configuraciones de armaduras para soporte de cubiertas y entrepisos. Las armaduras de cubierta constituyen una de las aplicaciones más importantes de la madera como parte de sistemas de prefabricación total o parcial. En el diseño de armaduras deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos: Cargas, luz a salvar, apoyos, inclinación del cordón superior, distribución de miembros interiores, sistema de unión de los nudos, deflexiones, estabilidad lateral y separación 44.

Fig. 58

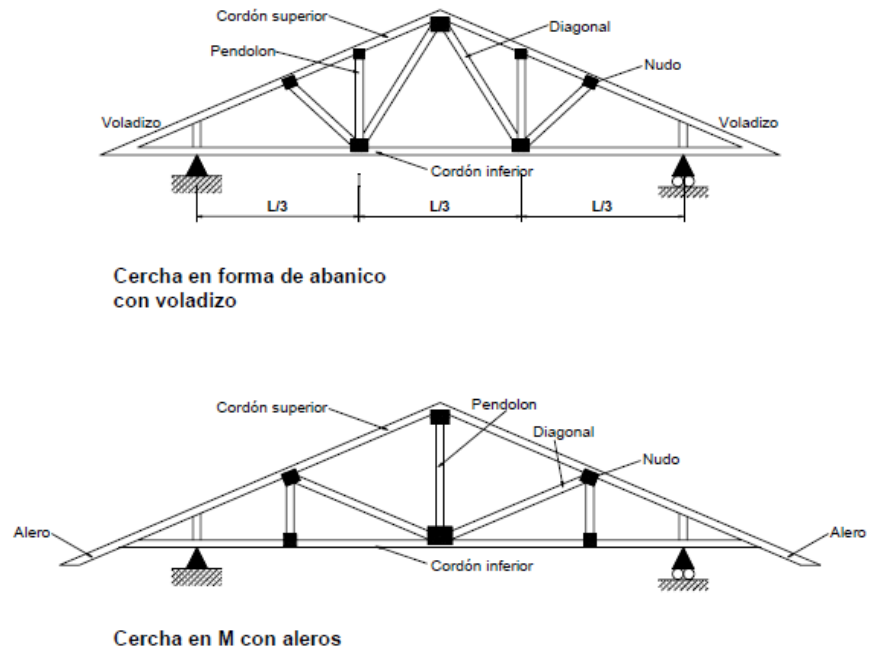
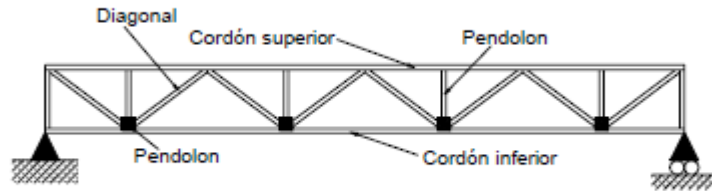


Fig. 58: Tipos de armaduras 1, tomada de: NSR10, Título G.

Fig. 59



Cercha de cordones paralelos

Fig. 59: Tipos de armaduras 2, tomada de: NSR10, Título G.

8.7.2 Análisis

Las armaduras deberán diseñarse para soportar las cargas muertas y vivas y aquellas eventuales como el cielo-raso, las cargas originadas en el montaje y otras cargas especiales.

- Las fuerzas axiales en las barras pueden ser calculadas considerando los nudos como articulaciones.
 - Las cargas en los nudos podrán ser consideradas como cargas puntuales.
 - Los momentos de flexión generados por las cargas aplicadas en las cuerdas superiores podrán ser determinados suponiendo que las cuerdas se comportan como vigas continuas apoyadas en los montantes o en los diagonales.
- El cálculo de las deflexiones de las armaduras se basará en los métodos habituales en la práctica de la ingeniería. En el caso de que el espaciamiento entre armaduras sea igual o menor que 600 mm se deberá utilizar el módulo de elasticidad promedio E_{prom} ; en caso contrario se deberá utilizar el E_{min} .

8.7.2.1 Dimensiones mínimas: El calculista de la estructura determinará la sección de todos los miembros componentes de la armadura pero ellos tendrán, por lo menos, 65 mm de altura y 40 mm de ancho. En el caso de usar cuerdas, montantes o diagonales compuestas de elementos múltiples, el ancho de cada uno de ellos podrá ser reducido a 25 mm reales.

- Los clavos, pernos, platinas, conectores o cualquier elemento metálico de unión debe tener una apropiada protección contra la oxidación. En caso de usar cartelas metálicas, éstas deberán estar protegidas contra la corrosión.

8.8 SISTEMAS ESTRUCTURALES

8.8.1 Clasificación

Se distinguen 3 sistemas estructurales básicos con madera:

- (a) **Sistema de entramados livianos:** Para formar las paredes se emplean soportes verticales o pies derechos a corta distancia y soleras inferiores y correderas superiores que recogen cargas pequeñas transmitidas por entresuelos y alfordas del entrepiso y la cubierta, respectivamente 45.

Fig. 60

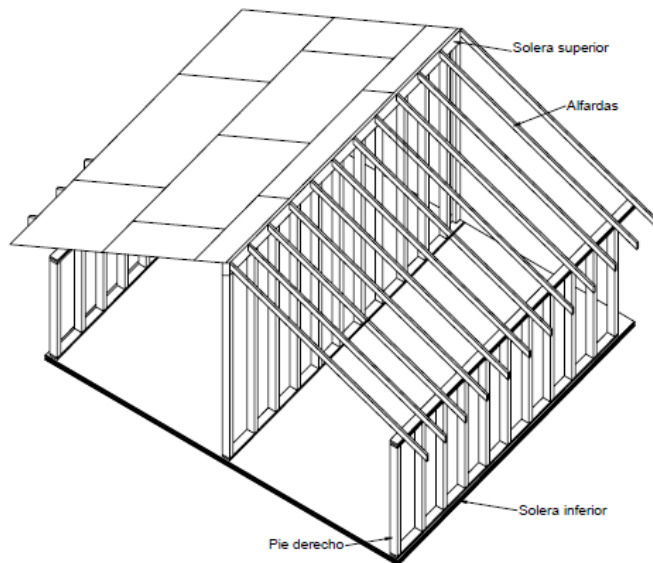


Fig. 60: Sistema de entramados livianos, tomada de: NSR10, Título G.

El sistema de entramados livianos causa cargas repartidas en la cimentación, ofrece estructuras muy seguras y debido a la multiplicidad de elementos idénticos, favorece la prefabricación liviana de componentes tales como soleras, pies derechos, viguetas, cerchas livianas, entrepisos y recubrimiento de paredes y pisos.

45. Ibid. p. 97

(b) Sistema de Poste y viga: Los soportes verticales o columnas se sitúan a distancias relativamente grandes y se unen con vigas maestras que recogen viguetas o cerchas con el peso del entepiso o de la cubierta. Respectivamente los esfuerzos en la madera son usualmente elevados y se requieren grandes secciones.

Fig. 61

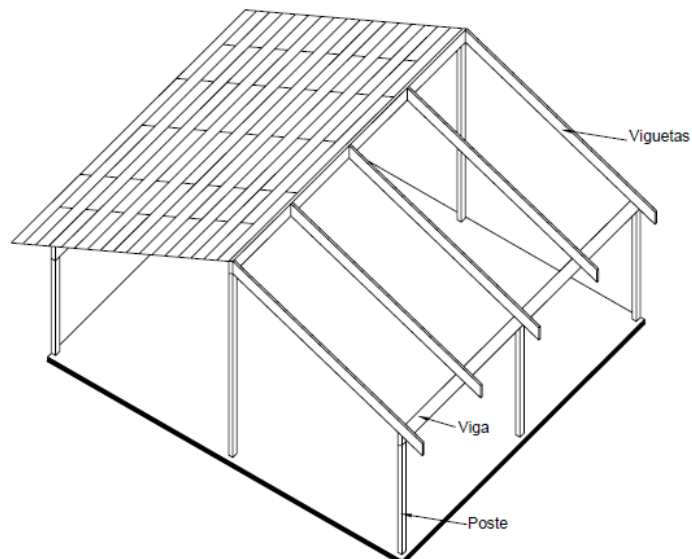


Fig. 61: Sistema de poste y viga, tomada de: NSR10, Título G.

En el sistema de Poste y Viga se utiliza en forma masiva pernos y platinas en las uniones y por lo general, se dejan las maderas a la vista. Los espacios entre columnas se rellenan con paredes que, como en el caso de entramados livianos, dependen de recubrimientos exteriores e interiores para resistir las fuerzas laterales.

(c) **Sistemas espaciales:** Tipo estructural especial para cubrir grandes luces y consiste en la conexión transversal de entramados uniformes con otros de igual características de manera tal que se logre un comportamiento estructural, eficiente y seguro. Pertenecen a este sistema las **Retículas espaciales:** conformadas por cuadrículas paralelas con vértices desfasados entre ellas unidas con diagonales de 45 o 60 grados formando tetraedros o pirámides. **Cúpulas geodésicas:** grandes superficies curvas formadas por pequeñas superficies planas conformadas por triángulos, hexágonos o pentágonos. **Lámelas:** grandes estructuras conformadas por barras de pequeña sección entrelazadas entre sí 46.

Fig. 62

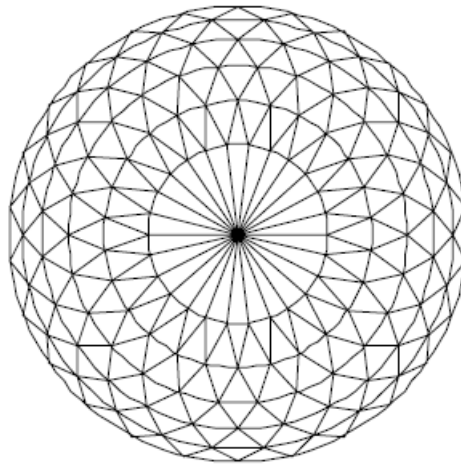


Fig. 62: Cúpula geodésica, tomada de: NSR10, Título G.

En estos tres sistemas estructurales el diseñador tendrá en cuenta además de las cargas gravitacionales, las cargas horizontales generadas por viento y sismo. Para ello deberá especificar en forma apropiada riostras y contravientos, así como diafragmas y muros de corte para dos direcciones ortogonales.

Debe tenerse en cuenta que la efectividad del sistema resistente de fuerzas horizontales depende de las conexiones y por lo tanto, ellas deben diseñarse para lograr una efectiva transmisión de esfuerzos.

9. CONCLUSIONES

- 1) A través del tiempo la humanidad ha requerido de la madera, en cuanto a la construcción está siempre ha estado limitada por la disponibilidad de la madera en el lugar, por esta razón en las regiones mediterráneas se construía menos con madera que en Europa, pero de todas formas podemos ver una gran intención de las regiones mediterráneas en incluir la madera en la construcción ya que se utilizaba muy comúnmente en los techos, desde este momento ya se conocía la importancia de la madera como un elemento estructural.

- 2) Los romanos fueron en realidad los que empezaron a utilizar el principio de la armadura, lo que se conoce también como cerchas, estas pueden por supuesto salvar luces más grandes si se hace un análisis más detallado.

- 3) En la figura 19 es muy interesante ver la evolución de las armaduras para los puentes podemos ver que primero no se utilizaba ningún tipo de estructura, pero poco a poco se iba incluyendo un elemento estructural hasta lograr armaduras intuitivamente, estas cada vez podían salvar luces más grandes y hacer una mejor distribución de cargas.

- 4) Es importante destacar que en nuestro país también se realizan obras importantes de ingeniería con madera, es el caso del proyecto de la Serrezuela en Cartagena de Indias que es el proyecto más grande con madera laminada encolada que se ha hecho en nuestro país.

- 5) La aplicación estructural de la madera más conocida en nuestro país es la madera laminada encolada, porque esta nos permite salvar luces más grandes, sobre todo en puentes.

CONCLUSIONES

- 6) Haciendo un recuento de las ventajas y desventajas de la madera como elemento estructural podemos ver que son más las ventajas que se conocen, ventajas estas están dentro de contextos ambientales, económicos y estéticos.
- 7) En la actualidad los tratamientos que permiten preservar más tiempo la madera como elemento constructivo, tratan de repeler los ataques biológicos y ambientales y además ser un elemento que evite la propagación de un incendio.
- 8) Existen dos técnicas para lograr inmunizar la madera, sin presión y a presión, las más efectivas son las técnicas a presión pero requieren de un equipo especial para realizarlas y además de una inversión mayor pero cuando la madera está muy expuesta a la humedad es necesario hacerla.
- 9) Existen dos tipos de uniones, las mecánicas y las de contacto, las mecánicas son las más utilizadas en la construcción de estructuras en madera como los pernos, placas metálicas, conectores etc.
- 10) Existen dos formas de secado de la madera una que es la forma natural y otra la artificial, la natural tiene muchas desventajas como que no se controla el porcentaje de humedad, la artificial tiene muchas ventajas ya que se controla el porcentaje de humedad y se disminuye el tiempo de secado.
- 11) Es muy importante que se realice el secado de la madera previo a su puesta en obra ya que con el tiempo al disminuir el porcentaje de humedad también se presentan cambios dimensionales de la madera y esto podría provocar un gran daño en el proyecto.
- 12) Se debe diseñar una buena pendiente de armaduras para techo ya que una pendiente muy plana es muy costosa y una gran pendiente aumentaría las fuerzas horizontales, una pendiente de 0,5 es una pendiente económica.

CONCLUSIONES

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

14) El Título G, de la norma Nsr10, en su sección de estructuras de madera, al igual que otros títulos de la norma estudiados en el curso de concreto reforzado, establece una serie de valores máximos para cada situación y nosotros como diseñadores no debemos pasarnos de esos valores máximos.

15) La norma tiene muy en cuenta el cálculo de las uniones, por estar estas expuestas a grandes esfuerzos cortantes, que afectan la madera y pueden provocar la falla del elemento.

16) En el diseño de armaduras la norma Nsr10, nos muestra que se debe tener en cuenta las cargas, apoyos, deflexiones, estabilidad lateral etc.

17) En el transcurso de este proyecto, se logró mostrar desde el comienzo los aspectos más básicos relacionados con las estructuras de madera, como algunas aplicaciones, tratamientos de la madera, conceptos sobre armaduras, entre otros. Al finalizar se mostró la parte mecánica y de diseño estructural de las estructuras de madera basándonos en la Nsr10. Esto para complementar la información teórica.

10. BIBLIOGRAFIA

ROBLES, Francisco y ECHENIQUE, Ramón. Estructuras de madera. Ciudad de México: limusa, 1991. 367 p.

CRUZ, Laura. La Serrezuela el renacer de un coloso. En: Revista mym. Vol.; 1. No 88 (Junio-Agosto. 2015); p. 22-26.

ZAMORA, John. La Serrezuela resurge para el turismo. En: Revista zetta. Vol.; 1. No 10 (Octubre-Noviembre. 2014); p. 12-13.

ARQUISCOPIO “Construcciones alemanas en madera”. {En línea}. {02 Febrero de 2016} disponible en: (<http://arquiscopio.com/construcciones-alemanas-en-madera/>).

CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESARIOS DE LA MADERA. Productos de madera para la construcción, documento de aplicación del código Técnico de la edificación. Primera Actualización. Madrid. CONFEMADERA, 2010.

SANCHEZ, Silvio “Ventajas y desventajas medioambientales de la madera en las construcciones”. {En línea}. {02 Febrero de 2016} disponible en: (<http://www.ecosiglos.com/2013/06/ventajas-desventajas-medioambientales-de-la-madera-en-edificios.html>).

BIBLIOGRAFÍA

ZANNI, Enrique. Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera. Córdoba: Brujas, 2004. 220 p.

CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA. Uniones en la madera, centro de transferencia tecnológica. Primera Actualización. Santiago. CORMA, 2015.

FREDY ARANGO “Secado de la madera” {En línea}. {11 Abril de 2016} disponible en: (<http://johnfredyarangodavid.blogspot.com.co/2012/04/tipos-de-secado-de-la-madera.html>).

MADERAS TÉCNICAS INMUNIZADAS “Secado e inmunización de la madera” {En línea}. {11 Abril de 2016} disponible en: (<http://www.maderastecnicasinmunizadas.com/secado-e-inmunizacion-de-la-madera>)

DOCUMENTS “Diseño de armadura de madera” {En línea}. {14 Abril de 2016} disponible en: (<http://documents.mx/documents/disenio-de-armaduras-de-madera.html>)

BIBLIOGRAFÍA

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). Titulo G, Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá. NSR 10, 2010.

CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESARIOS DE LA MADERA. Productos de madera para la construcción, documento de aplicación del código Técnico de la edificación. Primera Actualización. Madrid. CONFEMADERA, 2010

INTI “Efectos de la esbeltez” {En línea}. {10 Mayo de 2016} disponible en: (<http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/Capitulo11.pdf>)