

IV.1 Tablas tablones y vigas.

Las tablas, tablones y vigas son parte de los materiales que ofrece un aserradero y que para obtenerlos es necesario pasar por diferentes etapas.

La tala. Es la primera operación que recibe la madera para su uso. Se puede realizar con herramientas tradicionales tales como el hacha, la motosierra o con algún otro sistema mecánico. El árbol derribado es limpiado quitándole la corteza y las ramas dejándolo listo para su transporte. Una vez talado, su madera es preparada para pasar por varios procesos.

Madera en rollo. Es el árbol talado sin corteza y sin ramas, figura 63.



Figura 63. Madera en rollo.

Troza: Es una parte del tronco de un árbol talado, con corteza o sin ella, libre de ramas, comprendido entre dos partes de su eje. La denominada troza principal está comprendida entre la base y la primera rama principal.

Cuando la madera ha quedado preparada puede procesarse para ser usada de diferentes formas, tales como:

- Madera para puntales en minas (diámetros de 8 cm a 15 cm).
- Madera para desintegración. En rollo de secciones pequeñas (diámetro de 8 cm a 20 cm).
- Madera para aserrio. En rollo de diámetro de 20 cm y longitud de 1.20 m.
- Madera para desenrollo. En rollo de diámetro 15 cm y longitud de 0.60 m a 1.60 m.
- Madera para postes. En rollo de diámetro de 10 cm a 60 cm y longitud de 6.0 m.
- Madera emparejada. Es aquella madera que estando en rollo es escuadrada a apuro golpe de hacha.

Despiezo. Conjunto de operaciones que se realizan con el fin de dividir a lo largo del eje longitudinal de la troza o tronco, cortados en tablas, tablones o vigas, figura 64.

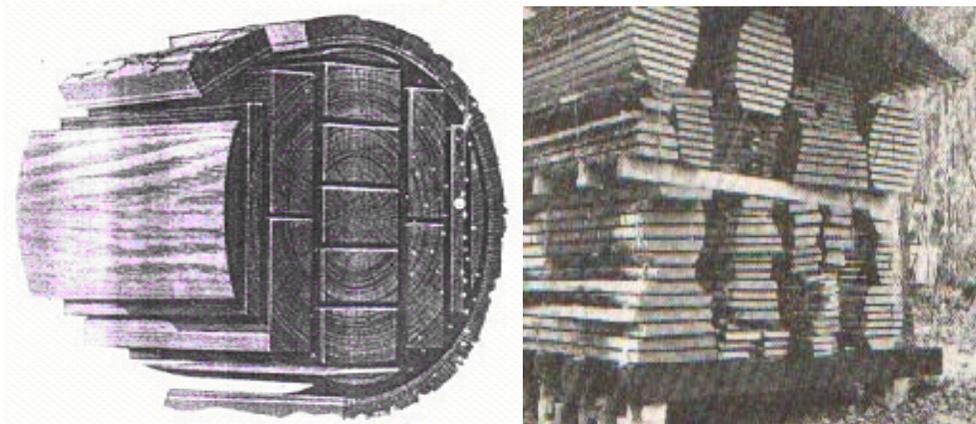


Figura 64. Despiezo de la troza, de una manera óptima.

El despiezo consiste en marcar de diferentes formas la sección transversal de la troza para maximizar los cortes de la madera. Uno de ellos el más simple consiste en marcar un cuadrado quedando la pieza “casi entera” sobrando cuatro secciones de arco. Existen diferentes tipos de despiezo:

- sección entera,
- máxima resistencia,
- mínima flecha,
- parís,
- a hilos paralelos,
- en cruz,
- holandés,
- americano,
- cortes encontrados, y ,
- cantibay.

Al procesar la troza surgen de ella diferentes tipos de escuadrías, que son las secciones que finalmente se comercializarán. Las escuadrías tradicionales que podemos encontrar tanto en los aserraderos como en bodegas o centros de distribución llamados comúnmente madererías son:

- Tablas con dimensiones de espesor de 22 mm a 27 mm, con diferentes anchos 10, 15, 20, 25, 30 centímetros y con de 2.50, 3.0 y hasta 4.80 metros.
- Tablones. El espesor más comercial en México es el de 1 ½ ", aproximadamente 38 mm, con anchos de 15 cm (6"), 30 cm (12 ") y con longitudes de 2.50 m (8 '), hasta 7.0 m (23').
- Vigas de sección rectangular, con anchos de 10 cm y peralte de 20 a 30 centímetros y longitudes de 3.0 a 7.0 metros. Son elementos sometidos a flexión, guardan una separación grande entre sí y no las une una cubierta, para distribuir la carga.
- Viguetas : son de sección de 8 x 8 cm y longitudes de hasta de 5m. Son elementos sometidos a flexión, con separaciones cortas entre si y que comparten la carga trabajando como un diafragma.

- Listón o tira. Son productos que salen de cortar las tablas o tablones en secciones más pequeñas, utilizadas para diferentes construcciones.
- Chapas piezas de espesor de unos 2mm a 5mm con longitudes variadas.

Las chapas se clasifican de acuerdo al método que se ha utilizado para su corte:

- chapa periférica (corte que se realiza por desenrollo continuo),
- chapa discontinua central,
- chapa discontinua tangencial,
- chapa a la plana, y,
- chapa a la plana radial.

En la rama de la carpintería muchos elementos son importantes para armar diferentes tipos de estructuras, estos elementos por lo general se denominan:

- vigas; figura 65,
- correas (tiras),
- cerchas (secciones curvas y triangulares),
- pilares de sección cuadrada o rectangular de una sola pieza,
- puntal o durmiente (madrina),
- encofrados, cajones y tarimas, estas se colocaran y quitan con facilidad, deberán tener una cara lisa,
- cimbras, éstas se componen de diferentes elementos como los mencionados anteriormente, y,
- andamios elementos que facilitan el acceso a otro niveles de personal y material.



Figura 65. Vigas de madera maciza y tablones.

Todos estos resultan ser elementos importantes en su momento y en cada etapa de una construcción, ya sea con materiales tradicionales o en construcciones donde el material central sea la madera.

Con las tablas podemos elaborar duela para pisos o para cubrir muros, mientras que la estructura principal será la base de puntales vigas o viguetas, en tanto que con los tablones podemos cubrir un sistema de vigas quedando un piso o una techumbre.

Las siguientes tablas muestran las dimensiones comerciales de las tablas, tablones y vigas de madera maciza que podemos encontrar.

Grueso (in)	Ancho (in)	Largo (ft)	Grueso (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
1	4	8	2.5	10	243.84
1	6	8	2.5	15	243.84
1	8	8	2.5	20	243.84
1	10	8	2.5	25	243.84
1	12	8	2.5	30	243.84
1	4	10	2.5	10	304.48
1	6	10	2.5	15	304.48
1	8	10	2.5	20	304.48
1	10	10	2.5	25	304.48
1	12	10	2.5	30	304.48

Tabla 16. Dimensiones normales de las tablas de madera.

Grueso (in)	Ancho (in)	Largo (ft)	Grueso (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
1 ½	4	8	3.75	10	243.84
1 ½	6	8	3.75	15	243.84
1 ½	8	8	3.75	20	243.84
1 ½	10	8	3.75	25	243.84
1 ½	12	8	3.75	30	243.84
1 ½	4	10	3.75	10	304.8
1 ½	6	10	3.75	15	304.8
1 ½	8	10	3.75	20	304.8
1 ½	10	10	3.75	25	304.8
1 ½	12	10	3.75	30	304.8
2	4	8	5.0	10	243.84
2	6	8	5.0	15	243.84
2	8	8	5.0	20	243.84
2	10	8	5.0	25	243.84
2	12	8	5.0	30	243.84
2	4	10	5.0	10	304.8
2	6	10	5.0	15	304.8
2	8	10	5.0	20	304.8
2	10	10	5.0	25	304.8
2	12	10	5.0	30	304.8

Tabla 17. Dimensiones normales de los tablones de madera.

Grueso (in)	Ancho (in)	Largo (ft)	Grueso (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
3 ½	6	16	8.75	15	487.68
3 ½	6	20	8.75	15	609.6
3 ½	8	12	8.75	20	365.48
3 ½	8	14	8.75	20	426.48
3 ½	8	16	8.75	20	487.65
3 ½	8	18	8.75	20	548.64
3 ½	8	20	8.75	20	609.6
3 ½	8	34	8.75	20	609.6
3 ½	8	28	8.75	20	609.6
3 ½	8	32	8.75	20	609.6

Tabla 18. Medidas de las vigas secas (estufadas) de madera.

Grueso (in)	Ancho (in)	Largo (ft)	Grueso (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
3	6	16	7.5	15	487.68
4	8	12	10	20	365.48
4	8	16	10	20	487.68
4	8	18	10	20	548.64
4	8	20	10	20	609.6

Tabla 19. Medidas de vigas en estado natural.

Carpintería de taller.

Con la combinación de tablas, tablones y vigas en la carpintería de taller se elaboran: puertas, ventanas, muebles de baño, cajones, cubiertas, libreros, mesas, sillas, tapancos repisas, mosquiteros, muebles decorativos, bases para cama, marcos para puertas, marcos para ventana, molduras, jaladeras, muebles de cocinas, etc.

La madera es el único material con el cual se puede construir por completo una casa habitación desde la cimentación, los pisos, los muros, el techo, así como todos los muebles que se requieran en el interior y exterior.

IV. 2 Tipos de ensambles.

Si de las casas antiguas de madera como algunas que han perdurado en países como Noruega, Inglaterra o Estados Unidos de Norte América del siglo XIX, se quitaran algunos elementos de revestimiento como el yeso, el entramado o las tejas, encontraríamos en casi todas ellas una estructura de madera generalmente de grandes secciones tales como: pies derechos, vigas, viguetas, elementos diagonales (riostros), pares, etc., todos ellos en conjunto estabilizando la estructura. Sin embargo no resulta tan obvio la manera como todo este conjunto de elementos está ensamblado.

Antes de la invención de los clavos y del adhesivo, la madera era unida por una serie de cortes especiales, llamados ensambles y empalmes, uno de los más comunes se llama de caja y espiga o el de corte a media madera. Con la aparición del clavo el arte de la carpintería de armar que surgió y perduró en el mundo antiguo por más de 3000 años.

Las estructuras de caja y espiga debieron soportar fuerzas originadas por el viento, así como los terremotos, dando muestras de gran rigidez. Este método permitía entre otras cosas, el diseño de grandes espacios interiores, dejando los claros necesarios para puertas y ventanas de dimensiones normales.

Siempre que se quiera construir una estructura de madera, debe tomarse en cuenta los recursos forestales que estén a nuestro alcance, aprovechándolos al máximo, haciendo las escuadrías en el lugar si es que la madera está en rollo. Además de que la madera permite la libertad de ajustar el diseño de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar, incorporando paneles solares, balcones, cobertizos, etc.

Es recomendable que solo expertos se encarguen de levantar la estructura para una casa de diseño complejo o de grandes dimensiones, de lo contrario podrían presentarse complicaciones que solo la ingeniería puede resolver, a saber: el diseño de la estructura, el tipo de cimentación necesario, la conservación de la madera contra aquellos agentes que degradan la madera como los hongos, las termitas, así como su mantenimiento y reparaciones que sean necesarias.

Los antiguos constructores armaban una casa para su familia y para las generaciones futuras; hoy sólo se construye para ser habitada por un periodo de uso limitado. Actualmente se han introducido los tableros de madera contra chapada, los aglomerados, los de MDF (tableros de densidad media) y los llamados paneles sándwich. Estos últimos poseen un alto índice de aislamiento contra el ruido y el viento, además de que son utilizados como revestimiento de muros y techumbres, disminuyendo de esta forma el número de horas-trabajo dejando a un lado el entramado.

La estructura de madera era la base principal de las primeras construcciones, todas sus partes se cortaban en el lugar, uniéndose para formar pórticos, unidos a las llamadas soleras inferiores y superiores, así como otros elementos llamados pies derechos, pares, riostras, correas, etc. Esta estructura elemental se utilizó y sigue vigente para levantar construcciones tan variadas como; cobertizos, áticos, establos, casas y todo tipo de adaptaciones a los estilos modernos cambiando sólo las dimensiones. Es importante que la estructura sea rígida, autoportante (soporta tanto las cargas como su propio peso) y que se mantenga a plomo y a nivel, mientras que la colocación de las partes la elección de los ensambles y empalmes contribuyen a su rigidez, figura 66.

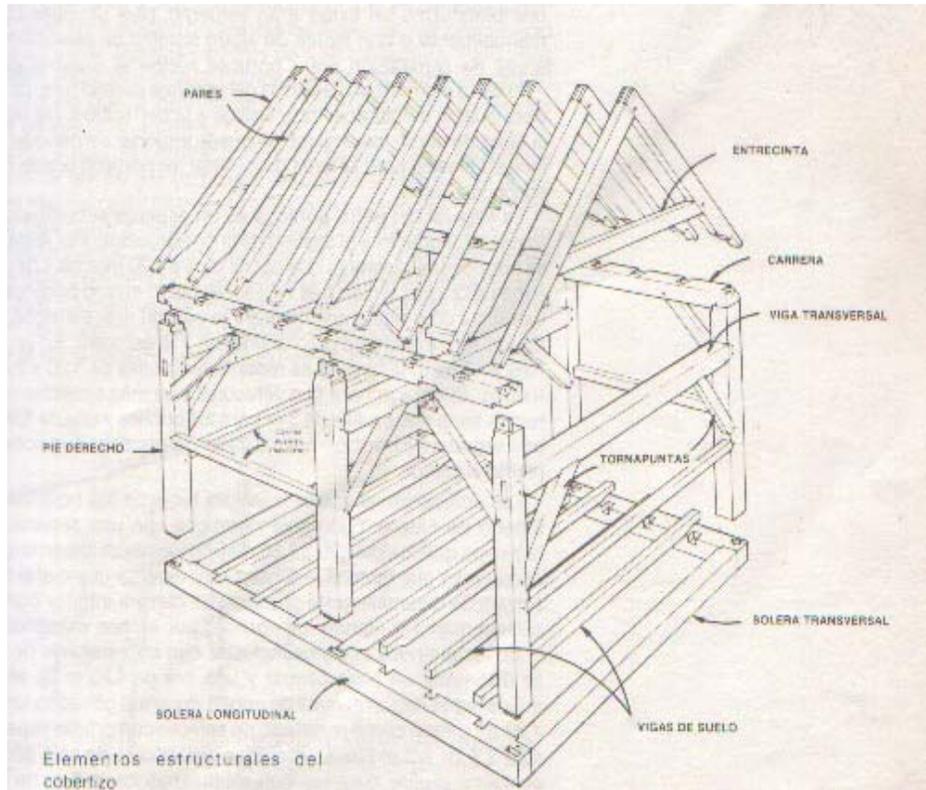


Figura 66. Nombres de los elementos de madera, para armar un cobertizo.

Elementos principales de una estructura de madera.

Las soleras son vigas de madera, rectangulares o cuadradas de 20 cm x 10 cm o de 20 cm x 20 cm, colocadas perimetralmente sobre la cimentación debidamente ancladas y empalmadas en las esquinas. Si la construcción es de proporciones mayores se proyectarán soleras interiores ver figura 67.



Figura 67. Soleras apoyadas sobre la cimentación.

Los pies derechos son elementos de madera empotrados en las soleras mediante el método de caja y espiga. Éstos suelen ser de secciones mayores o parecidas a las de las soleras, cuya principal función es la de transmitir el peso de la estructura a la cimentación. Los hay de diferente sección según las cargas que vaya a soportar, figura 68, 69.

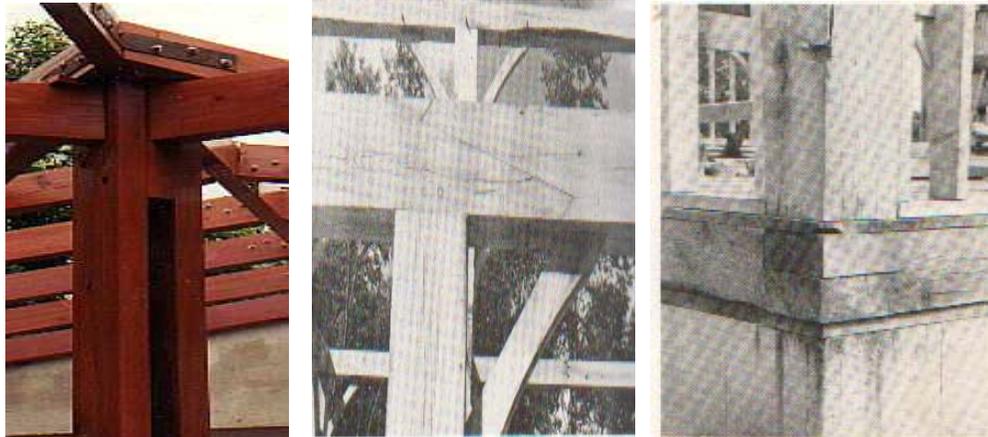


Figura 68. Pies derechos empotrados con soleras en esquina y en combinación con las carreras.

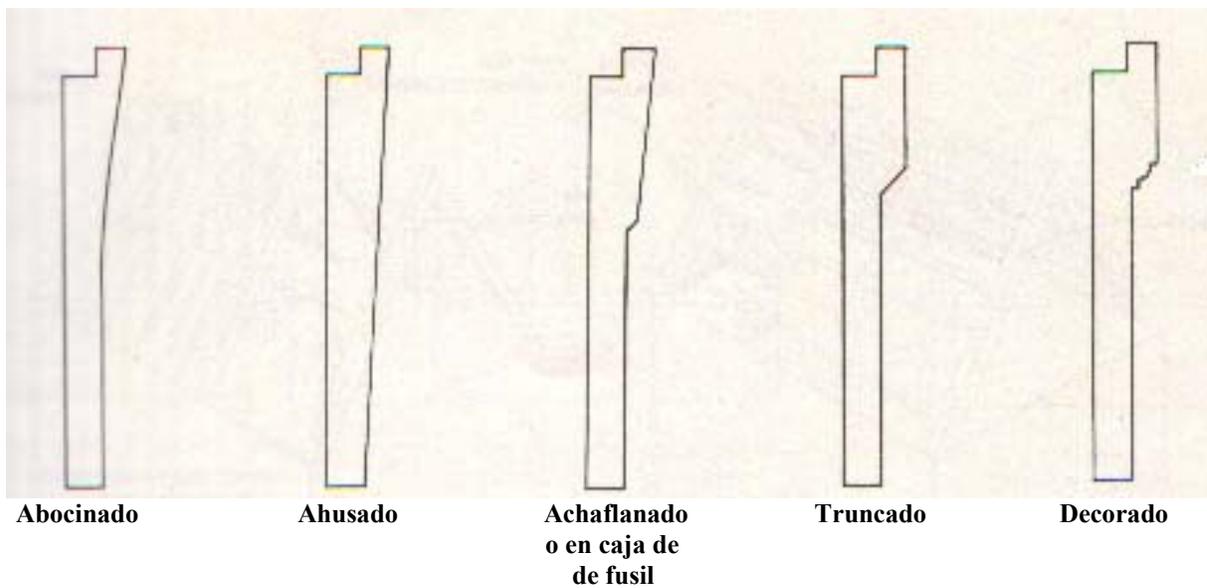


Figura 69. Diferentes figuras de los pies derechos.

Carreras.

Una vez levantados los pies derechos, éstos quedaran unidos mediante un elemento longitudinal debidamente empotrado mediante caja y espiga llamado carrera. Estos elementos se encargan de soportar cargas verticales formando los llamados pórticos y aumentar la rigidez de la estructura, figura 70.

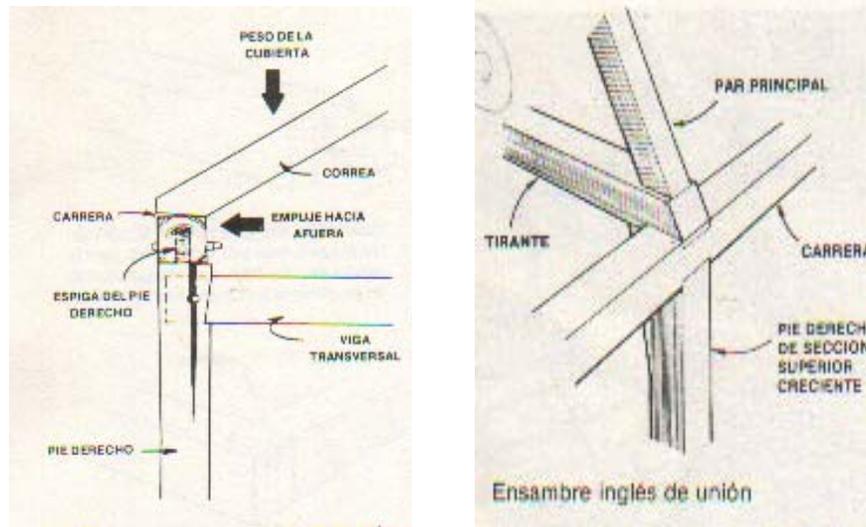


Figura 70. Carreras unidas a pies derechos, y con pares, mediante caja y espiga.

Correas.

Una correa suele ser un elemento de una sola pieza que es colocada longitudinalmente sobre lo que formara parte de la cubierta, estará uniendo a los pares ya sea por el centro o todo un conjunto de ellas, figura 71.

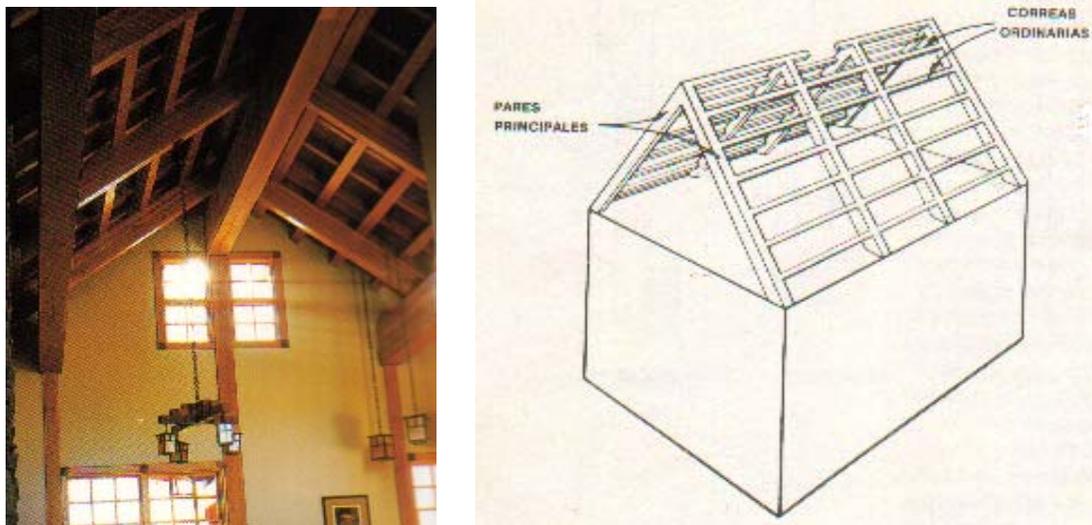


Figura 71. Correas sujetando a los pares, para ayudar a soportar la cubierta del techo.

Riostras.

Las riostras pueden ser, tornapuntas, jabalcones o cartelas. Cumplen con la función de evitar el desplazamiento lateral de la estructura, además de ayudar a conservar la forma y la verticalidad (ángulo a 90° con respecto del piso nivelado). Son elementos de longitud y sección menor que las vigas, colocadas diagonalmente, de tal forma que unen a los pies derechos con las carreras, formando triangulaciones rígidas, donde su cometido más que estético es el de reforzar a la estructura, soportando fuerzas que actúan en una sola dirección. Esta es la razón por la cual se colocan dos riostras a los lados de cada pie derecho, dispuestas de modo que contrarresten las fuerzas laterales, es decir si una trabaja en una dirección la otra no, figuras 72 y 73.

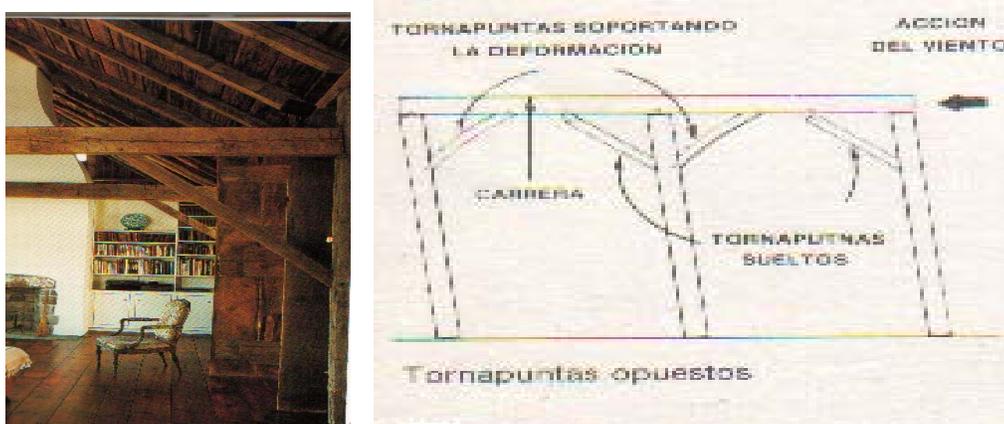


Figura 72. Riostras soportando las fuerzas laterales.

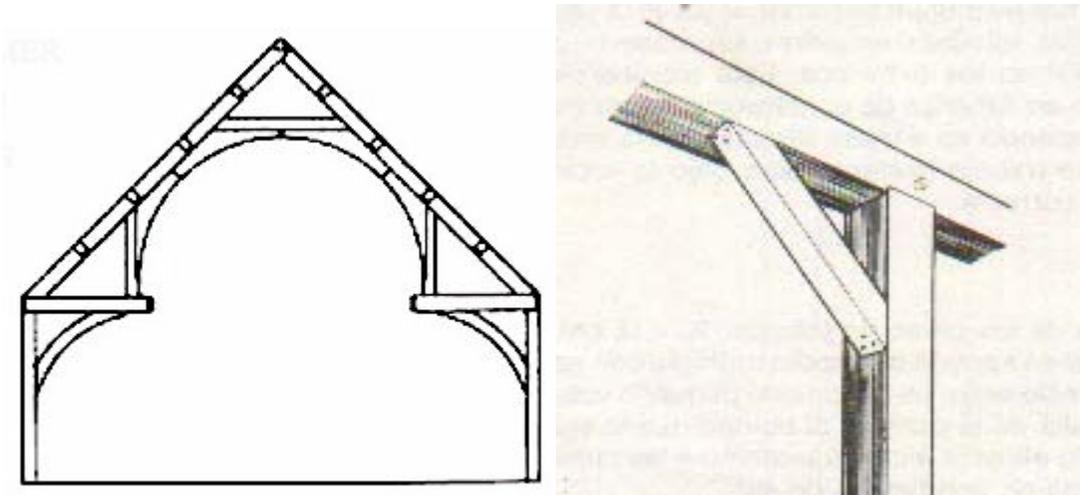


Figura 73. Riostras curvas (estructura gótica) o tornapuntas rectas.

Los pórticos han de tener su propio arrojamiento, lo ideal es una estructura bien arriestrada, es importante conocer la función de las riostras ya que en los diseños modernos tienden a dejar grandes claros, en los cuales se deben colocar adecuadamente estos elementos.

Ensamblés.

Los antigua carpintería de armar, siempre pensaba que la estructura debería durar generaciones enteras; lo interesante de estos métodos eran los cortes que se hacían en la madera para unir todos estos elementos, con el propósito de soportar los esfuerzos a los que estaría sometida la estructura, así como las cargas que podría soportar. Sin embargo estos resultados sólo se pueden conocer al estudiar la madera en el laboratorio, el antiguo constructor no conocía estas pruebas únicamente se basaba en su experiencia y en el respaldo de 3000 años de empirismo.

Se tenía una visión de las cargas y de los pesos propios, así como de las fuerzas que podía resistir la madera, y si tenía duda entonces sobredimensionaba y usaba una sección de mayor tamaño. Uno de los ensamblés más importante es el de caja y espiga, ya mencionados. Los egipcios ya lo usaban mientras que en Japón se trabajaban elaboradas variantes. Estos métodos de ensamble tenían que ser sencillos para permitir ampliaciones futuras. Es importante mencionar que tanto los ensamblés como los empalmes son el alma de la estructura.

El ensamble de caja es uno de los primeros que apareció, confeccionando los primitivos cobijos. Se trataba solo de juntar dos troncos con traslape atados para mantenerlos unidos. El ensamble a media madera consiste en hacer un saque a la mitad del espesor de cada pieza, para que en el extremo, el enrase final de el mismo espesor. Se utiliza en las esquinas donde se encuentran los extremos de las soleras formando una esquina. Este tipo de ensamble no soporta grandes esfuerzos a menos que en está unión se acople un pie derecho, figuras 74 y 75.

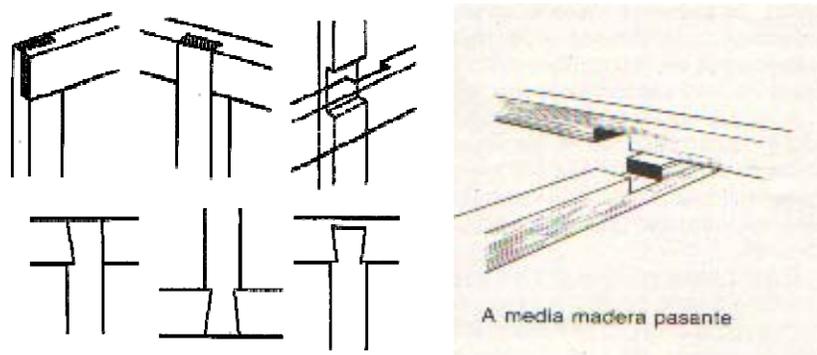


Figura 74. Diferentes cortes a media madera.



Figura 75. Soleras a media madera formando esquinas y para aumentar la longitud

Ensamblajes de caja y espiga, resuelve el problema de mantener dos piezas firmemente unidas. Se hace una ranura en una pieza, mientras que en la segunda se forma una espiga, la que se empotrará en la primera. Es común se utilice algún adhesivo al realizar la unión de las piezas, de esta forma se evitan roturas y torsiones en la madera, manteniéndose fijos todos los elementos estructurales. Del ensamble se tienen algunas variantes, tales como: caja y espiga ciega, caja y espiga pasante, ensamble abierto de caja y espiga, y ensamble de caja y espiga con rebajo, figura 76, se utilizan en la unión de vigas transversales y pies derechos. Antes de que se utilizaran los adhesivos y los pernos con roldana y tuerca, se usaban las llamadas clavijas y cuñas de madera más dura, las que le daban gran resistencia.

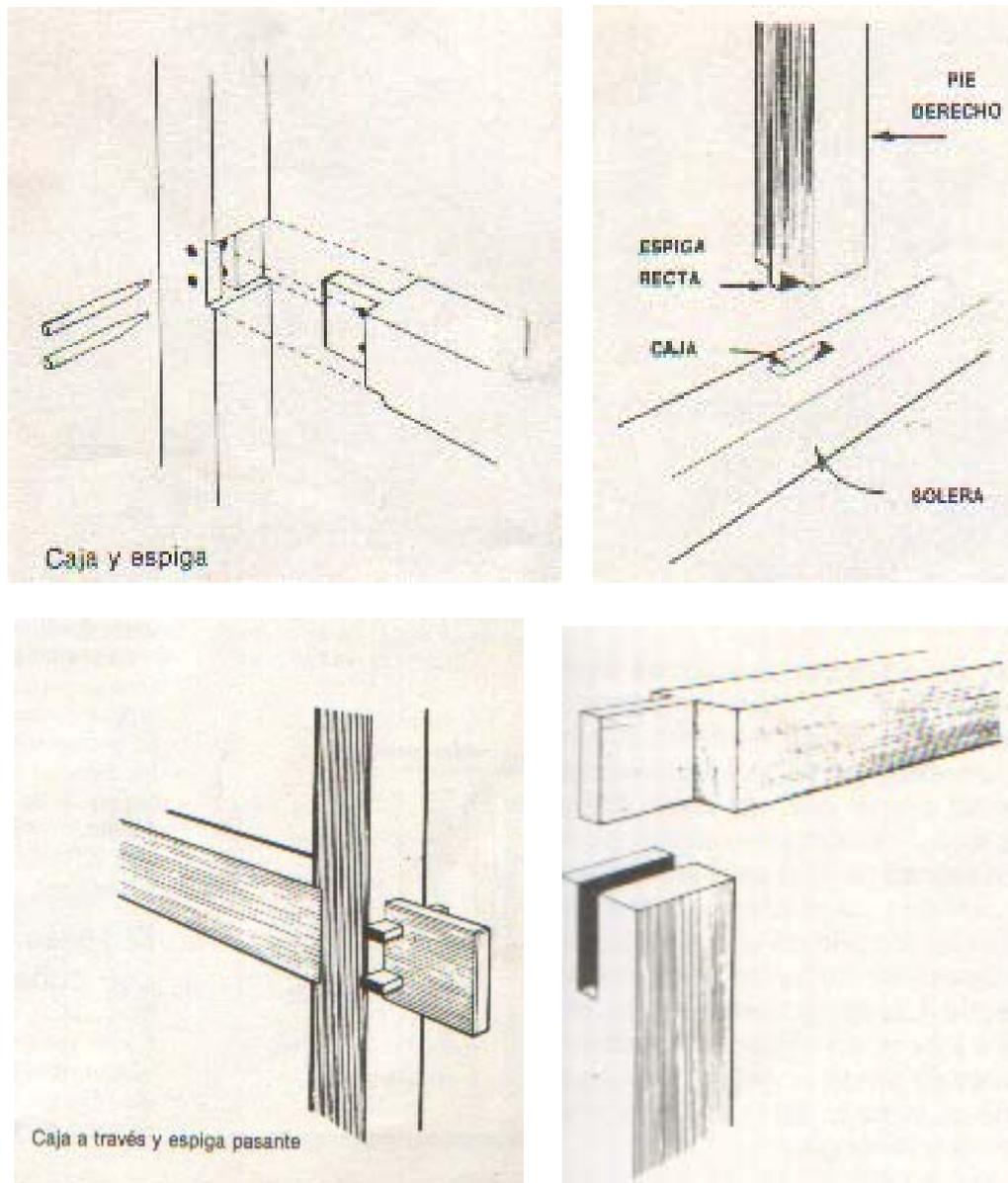


Figura 76. Diferentes estilos de caja y espiga.

Ensamble en cola de milano, se emplea cuando se requiere una resistencia considerable a tensiones de desacoplamiento. La resistencia de este tipo de ensamble se ve incrementado si los hilos de las piezas por unir resultan perpendiculares; se recomienda usar este ensamble en entrecintas, tornapuntas y soleras, figura 77.

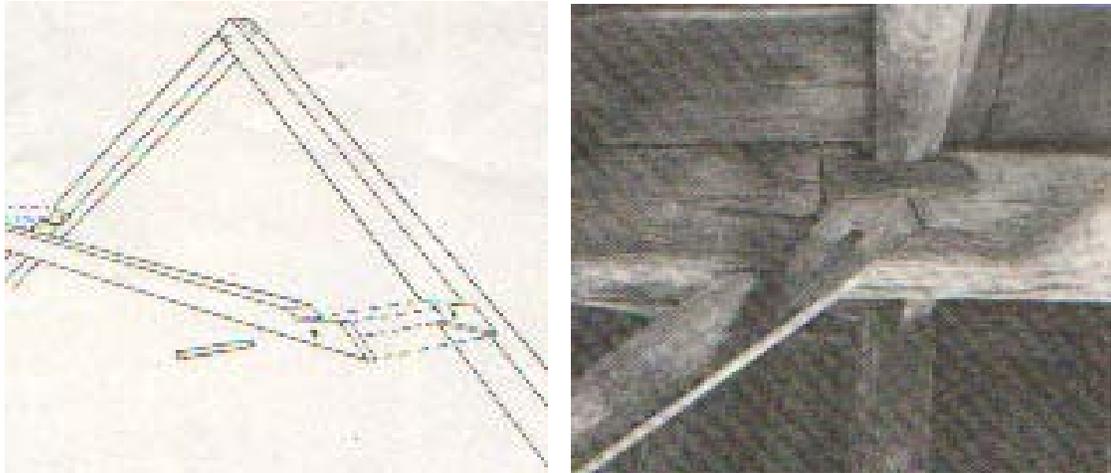


Figura 77. Unión de pares en cola de milano, y como tornapuntas.

Empalmes en los pares, los pares son dos piezas unidas en forma de triángulo, conviene practicar un ensamble para unir ambos lados, un empalme a tope no ofrece ninguna resistencia aunque se refuerce con clavos, es mejor utilizar un empalme con cola pasante o si se requiere con caja y espiga; así de esta forma soportará los (esfuerzos) empujes tanto hacia fuera, como hacia adentro, figura 78.

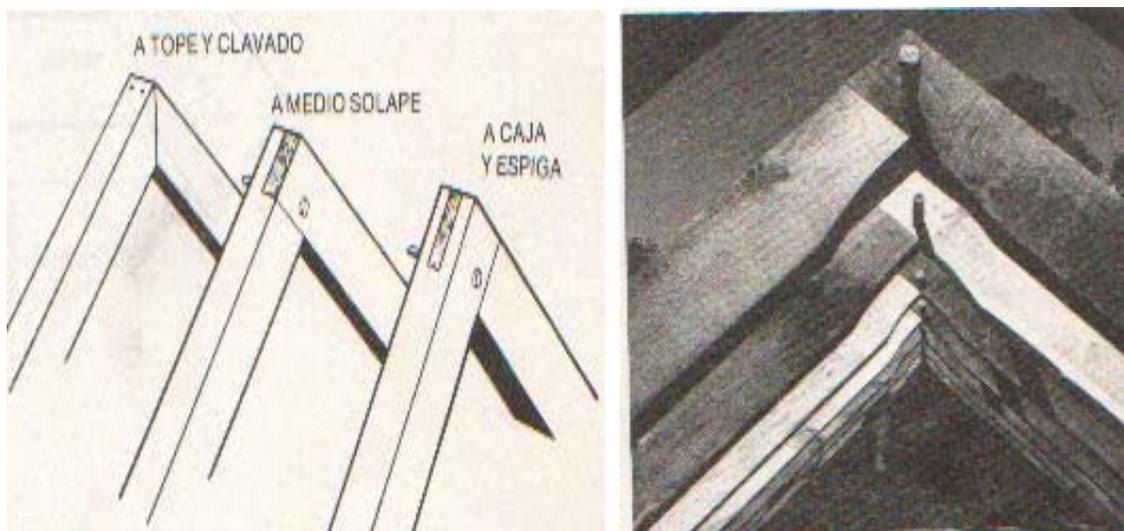


Figura 78. Diferentes tipos de ensambles para unir los pares que forman la cumbre.

Vigas maestras para el piso.

Los pisos de madera suelen armarse con vigas principales llamadas maestras, en las que se apoyan vigas o viguetas de menor sección. La unión se hace por medio de saques en la solera, figura 79. Este tipo de ensambles requieren de gran precisión y no deben quedar holgados. Se recomienda que haya un espesor mínimo de madera de 7 a 9 centímetros para vigas maestras de espesor igual a 18 centímetros.

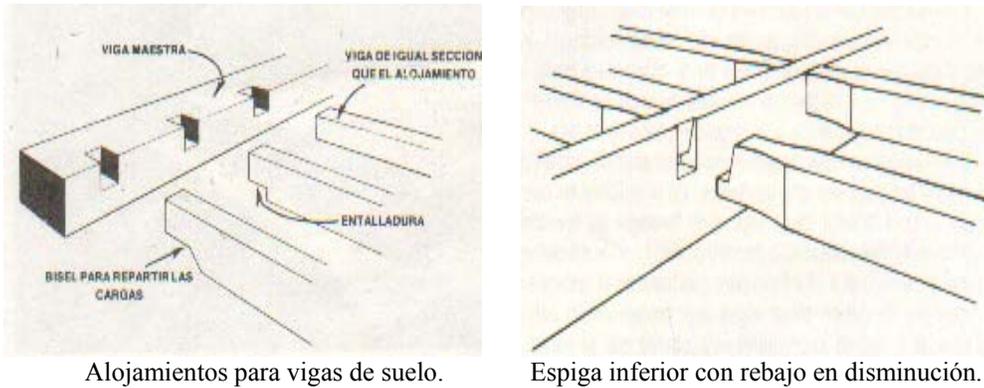


Figura 79. Diferentes cortes para armar la plataforma del piso.

La unión de espiga inferior desde el punto de vista estructural mejoró notablemente la resistencia. Para mantener fijas estas uniones se colocaban pernos de madera dura. Actualmente es más conveniente sustituirlos por los de metal. Uno de los cortes que da oportunidad de colocarlos después de armada la estructura es el llamado forma de cola de milano, ya que estas piezas de madera pueden colocarse hasta el final, figura 80.

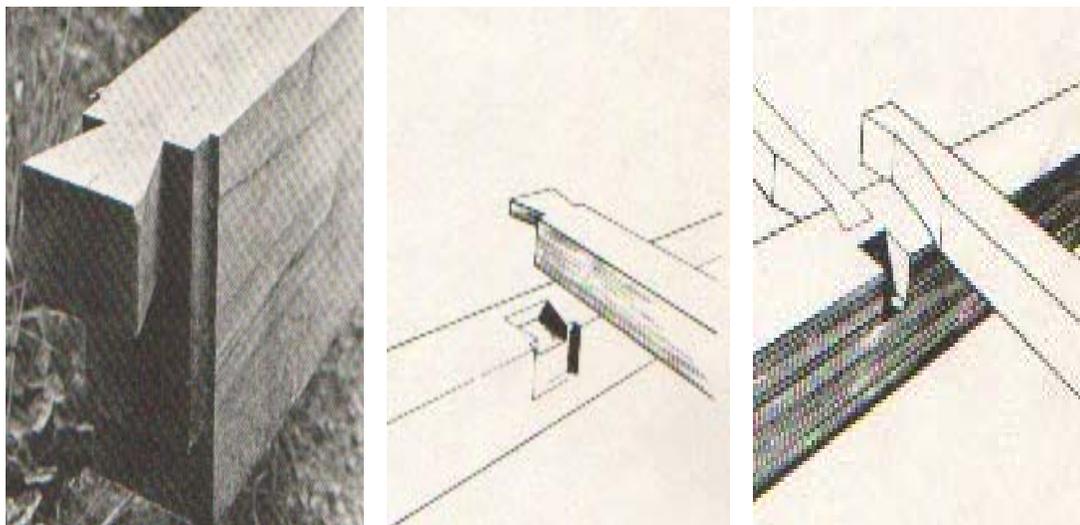


Figura 80. Cortes en cola de milano para los pisos.

En el diseño de antiguas estructuras los ensambles fueron un factor determinante en la unión de las diferentes piezas, resultando un factor relevante ante su buen o mal funcionamiento. Actualmente en el diseño de este tipo de estructuras se omiten muchos de esos ensambles y empalmes, los cuales son sustituidos por nuevos elementos de unión como: pernos de metal, placas de acero, clavos, pijas, pijas para tabla roca y piezas especiales para unir la madera, lo que hace más rápida su construcción. Sin embargo estos sistemas omiten algunas reacciones de la madera ante el surgimiento de esfuerzos, que los ensambles y empalmes tradicionales les darían fácil solución.

Empalmes.

Ante la desaparición de bosques enteros cuyos troncos alcanzaban grandes longitudes, los antiguos constructores se vieron ante un dilema pues se requerían estructuras cada vez más grandes y ante la escasez de tramos adecuados de madera, se tuvieron que utilizar acoplamientos y empalmes, para crear las piezas de madera que cumplieran con ciertas características geométricas. De esta forma se obtenían carreras, correas y soleras, de la longitud deseada. El empalme básico es el de media madera del cual se derivaron los demás haciéndose cada vez más elaborados.

Un empalme permite una conexión casi tan rígida como si la pieza fuese continua. Actualmente se ha mejorado esta técnica con adhesivos, formando así la llamada madera laminada. Un constructor de estructuras de madera debe elegir aquellos empalmes que pueden transmitir las fuerzas de compresión, flexión, esfuerzo cortante, y torsión, de manera adecuada a la estructura.

Tipos de empalmes:

- empalme a media madera,
- empalme a testa en derrame,
- empalme de entalladura, y ,
- empalme de entalladura con lengüeta a testa.

El empalme a media madera es muy sencillo, su aplicación es solo para casos cuando está a compresión, en carreras y soleras de apoyo continuo, figura 81.

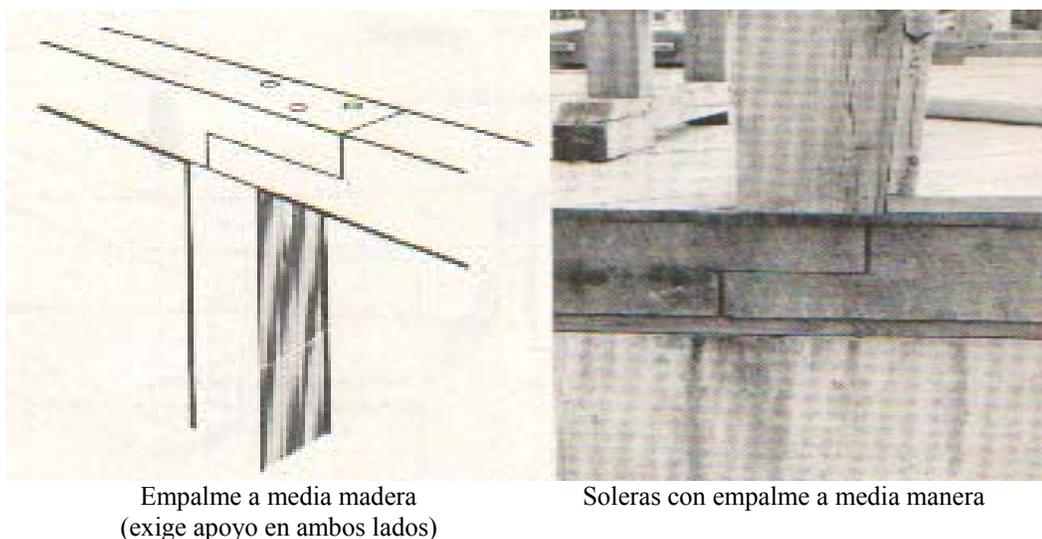


Figura 81. Empalme a media madera en carreras (solera superior) y en soleras.

El empalme a testa con derrame mejora el de media madera, cuya respuesta mecánica es buena cuando trabaja a compresión y a torsión, y si los cortes tienen buena precisión, su respuesta al esfuerzo cortante también es buena, figura 82. Se recomienda usarlos en pies derechos, soleras o en la reparación de los mismos si es que, estuvieran afectados por termitas o por hongos.

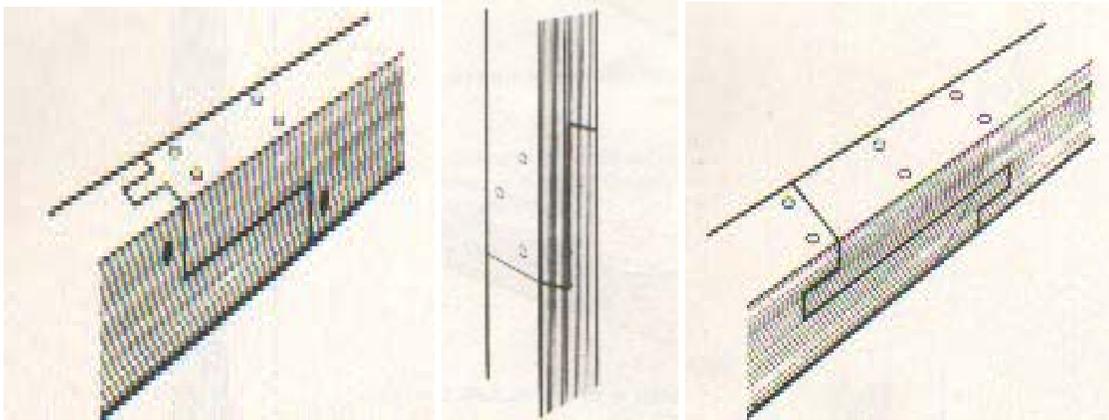


Figura 82. Diferentes tipos de empalmes, donde los pernos de madera se sustituyen por los de metal o clavos.

El empalme de entalladura (ajustado), soporta esfuerzos de compresión, tensión, y torsión. Una variante del empalme anterior es el llamado empalme de entalladura con lengüeta a testa el cual es un medio traslape con espiga, figura 83. Si está bien ajustado soporta bien los esfuerzos de compresión, torsión y flexión de poca magnitud. Existen muchas otras variantes, todas ellas con origen en las primeras. Si se quiere mejorar el funcionamiento de estos empalmes se recomienda usar adhesivo y pernos con tuerca.

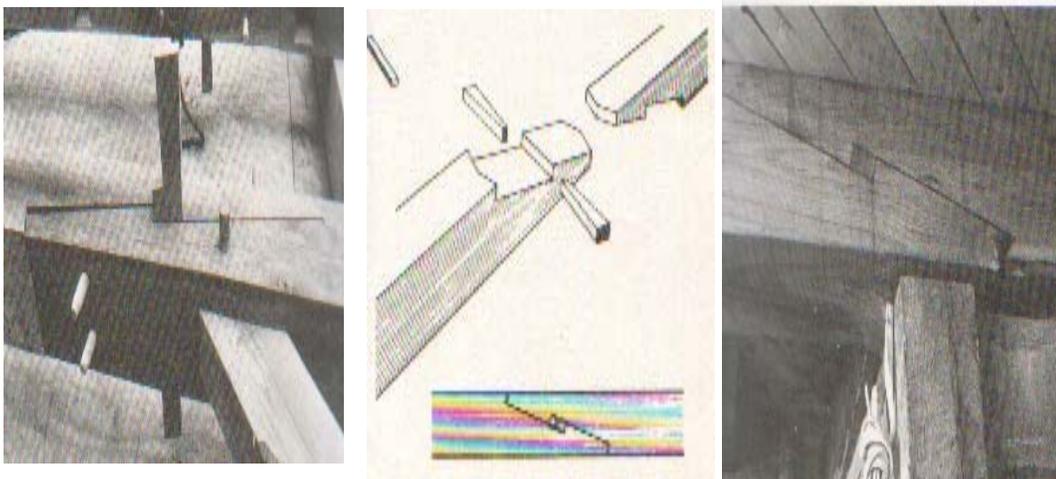


Figura 83. Algunos ensambles especiales, con soporte usados antiguamente.

Colocación de los empalmes.

Estos deben colocarse en soleras o carreras con apoyo de varios pies derechos, la figura 84, muestra los diagramas de esfuerzo cortante y momento flexionante. Los empalmes hallados en edificios antiguos coinciden con la posición de los puntos de menor solicitación.

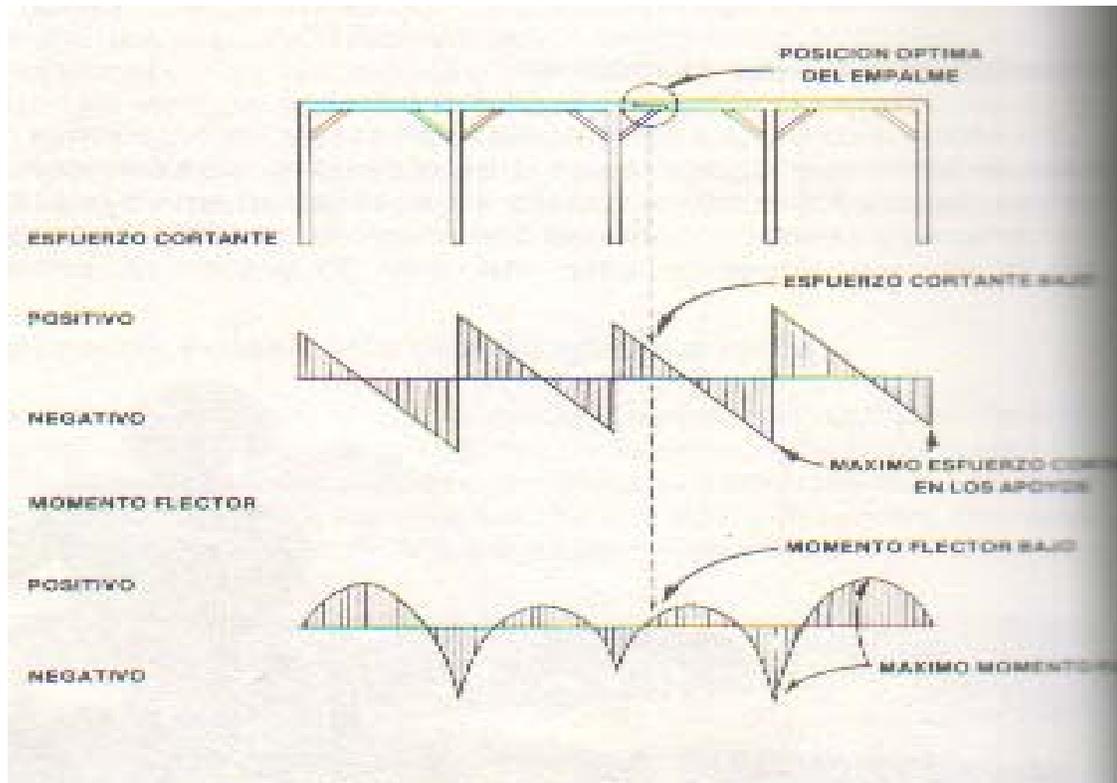


Figura 84. Diagrama de esfuerzos cortante y momento flexionante.

Como no siempre se tiene acceso a la madera sólida de grandes secciones, lo más conveniente es trabajar con madera de menor sección, ya que es relativamente económica por lo que algunos ensambles y empalmes son más prácticos de armar in situ. Todas estas uniones deben ser sólidas para soportar los diferentes esfuerzos internos o externos que son transmitidos por las columnas. Este tipo de uniones surgen cuando la longitud del claro supera a la de la pieza de madera.

Empalmes en vigas. Si se necesita salvar un claro y se requiere un empalme es conveniente, que este quede sobre apoyos intermedios, los empalmes pueden ser de traslape, a tope o ensamblados.

Traslape, esta unión o empalme es simple y económico, no requiere ningún corte especial, las dos piezas se traslapan unos 25 cm, la unión se hace con clavos de 2 a 4 pulgadas, dependiendo del espesor de la madera, figura 85.

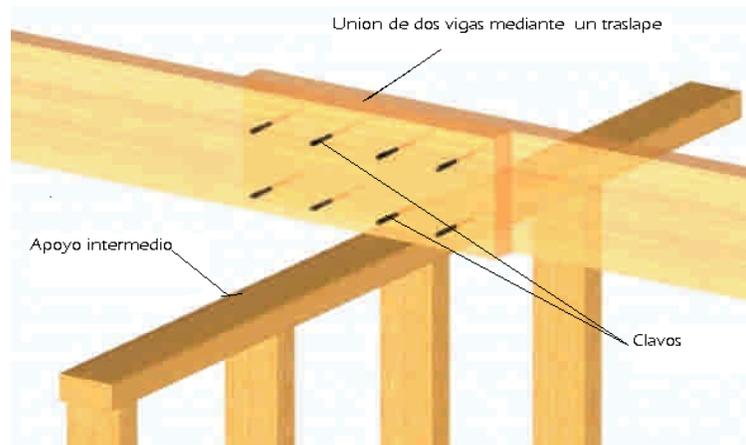


Figura 85. Empalme unido mediante clavos, apoyado en un muro intermedio.

Empalme a tope, requiere de apoyos intermedios para unir las piezas. Necesita de elementos de unión de madera o de metal, aumentando su rigidez mediante el uso de clavos, tornillos o pijas para tabla roca, combinado con el uso de pegamento para madera, figura 86. La unión con placas metálicas dentadas se utiliza cuando las cargas son preponderantemente estáticas. Figura 87.

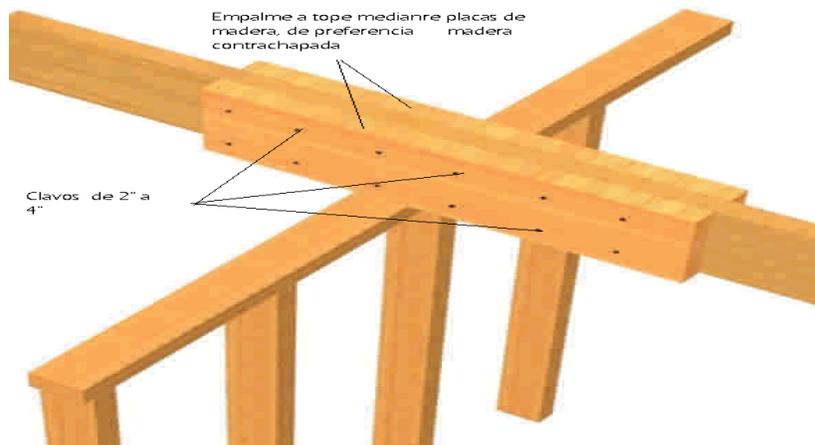


Figura 86. Empalme a tope utilizando dos tramos de madera maciza del mismo espesor, de preferencia utilizar madera contra chapada estructural.



Figura 87. Empalme a tope mediante placas dentadas

Estos ensambles requieren de un corte especial, así como de su ubicación. Estarán a la vista generalmente cerca de los apoyos, aproximadamente a $\frac{1}{4}$ del claro. Los ensambles que más se utilizan son: a media madera de canto y corte a pluma, figuras 88 y 89. Estas uniones requieren de elementos adicionales como: clavos, tornillos, pijas para tabla roca, pernos y pegamento para madera.

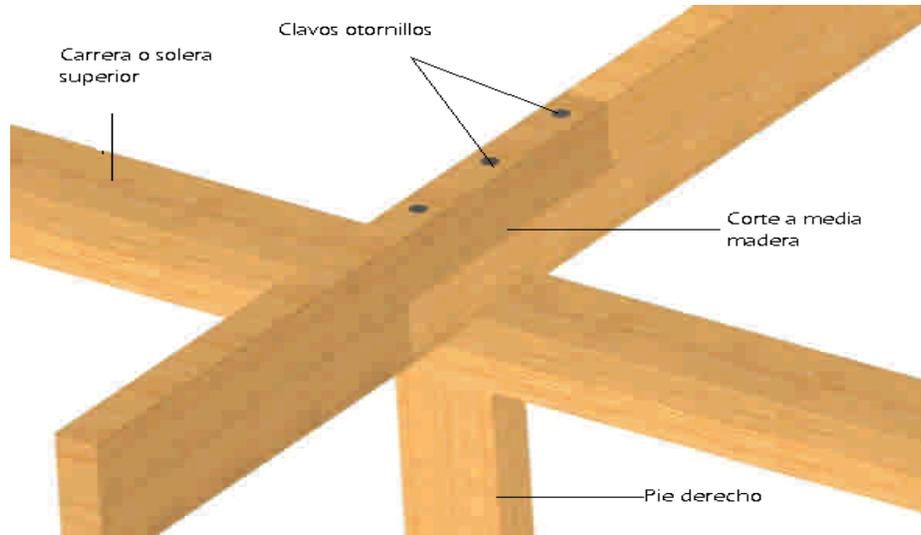


Figura 88. Ensamble a media madera de canto, unidas con clavos o tornillos.

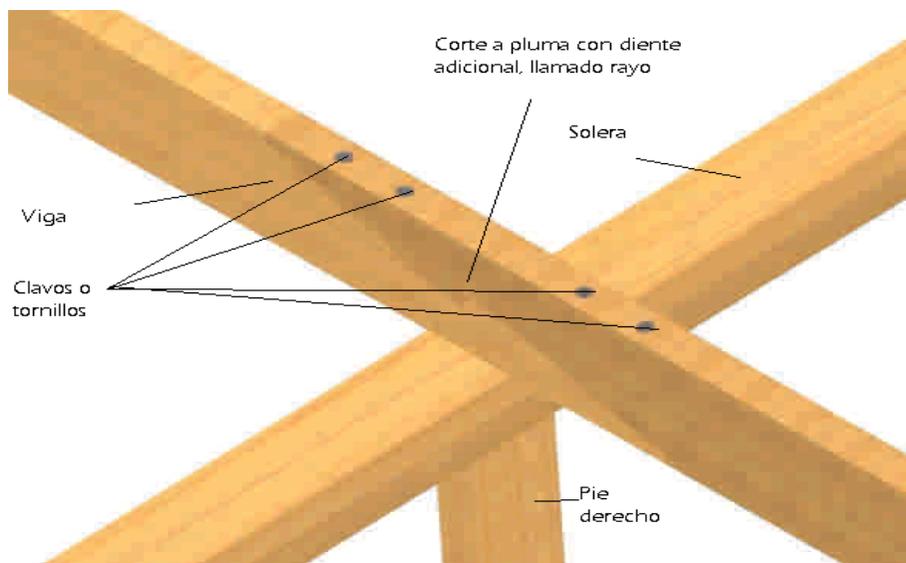


Figura 89. Ensamble de dos piezas de madera por canto, con un corte llamado rayo.

IV. 3 Elementos de unión.

Una casa habitación con estructura de madera estará constituida por elementos como; soleras, pies derechos, vigas, riostras, peñasos y otros. Algunos de ellos convergen en ciertos puntos denominados *puntos de unión* y desde el punto de vista estructural dichos puntos son los más críticos en el diseño de la estructura. Debido a lo anterior se debe considerar su resistencia, su capacidad de carga, su localización y si queda apoyada o bien si queda a la vista, entre otras consideraciones.

Una unión es el medio por el cual dos o más piezas de madera prolongaran y compartirán las fuerzas de otros elementos y las de su propio peso las que formarán una estructura norma NMX-C-178-ONNCCE.

La estructura reaccionará ante las diferentes fuerzas originadas por el viento y los sismos, por lo que debe ser capaz de soportar esas fuerzas con las debidas fijaciones o uniones, así como el transmitirlas de un elemento a otro sin que sufran deformaciones, sin alterar su rigidez ante los esfuerzos de compresión, tensión y cortante.

Además estas uniones mecánicas ayudan a prolongar las longitudes de algunas piezas comerciales, mientras que otras piezas se ensamblan para formar una estructura estable y rígida. Una vez unidas y ensambladas las piezas de madera deben ser capaces de soportar el total de las cargas, más aquellas fuerzas que surjan cuando se este llevando a cabo el armado de la estructura y su uso. Estas no deben exceder las cargas permisibles establecidas en el diseño estructural.

Todo diseño de estructuras de madera debe considerar:

- la geometría de la estructura,
- analizar la interacción entre uniones y otras partes de la estructura, y,
- la estructura contará con elementos de arrostramiento, así como diafragmas colocados en planos paralelos a las sollicitaciones de las fuerzas paralelas.

Unión mecánica. Este tipo de uniones se realizan utilizando clavos, tornillos, pijas, pernos (espárragos), placas dentadas y conectores, permitiendo la interacción de dos o más elementos que deben garantizar la correcta transmisión de los esfuerzos internos. Estas uniones deben ser rápidas y eficientes en cuanto al uso del material. La principal característica de estas uniones es que al quedar sometidas a fuerzas cortantes permite que haya ciertos desplazamientos entre las piezas conectadas, debidos al aplastamiento de la madera y su deformación en la zona de contacto y dependiendo de la magnitud de los esfuerzos y de su rigidez. Se debe tomar en cuenta la sección de la madera por unir, la magnitud de las fuerzas originadas debida al diseño arquitectónico y las limitaciones que surjan en el montaje de la estructura. Actualmente el uso de los adhesivos para madera han tenido un gran desarrollo, debido a la una gran variedad existente en el mercado. Sin embargo las NTC no contempla los adhesivos como un elemento de unión.

Las uniones mecánicas en las que se utilizan clavos sometidos a sollicitaciones de extracción lateral dan origen a uniones semirígidas, dúctiles y altamente resistentes, utilizadas con mayor frecuencia en la construcción de viviendas de madera con un mínimo de equipo y personal calificado.

Factores que afectan el comportamiento de una unión.

- La resistencia de la madera (densidad).
- El contenido de humedad antes de la unión y después que este en servicio.
- Las dimensiones y formas geométricas de los elementos de unión (clavos, tornillos, pernos placas).
- La dirección de la carga respecto a la fibra, perpendicular, paralela o inclinada.
- Las cargas admisibles determinadas en el laboratorio.
- La distancia entre centros de los elementos de unión, para que resista el esfuerzo al que ha sido calculado con respecto a los bordes.

La unión de madera con elementos mecánicos permite desplazamientos relativos entre las piezas conectadas. Estos desplazamientos son consecuencia del aplastamiento de la madera en la zona de contacto. Figura 90.

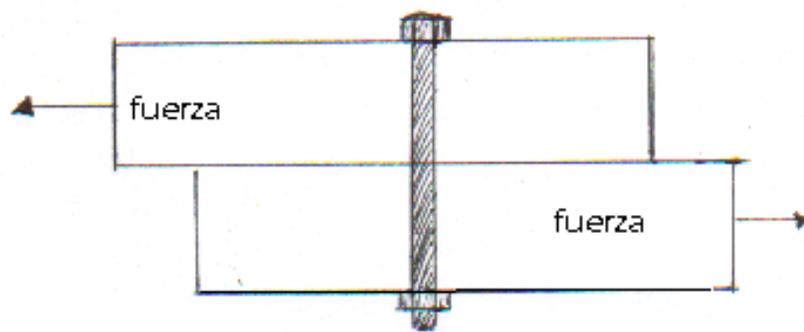


Figura 90.

Una buena elección del elemento sujetador dependerá de la situación por resolver y de la magnitud de las fuerzas que se quiera transmitir entre los elementos de la estructura. Figura 91.

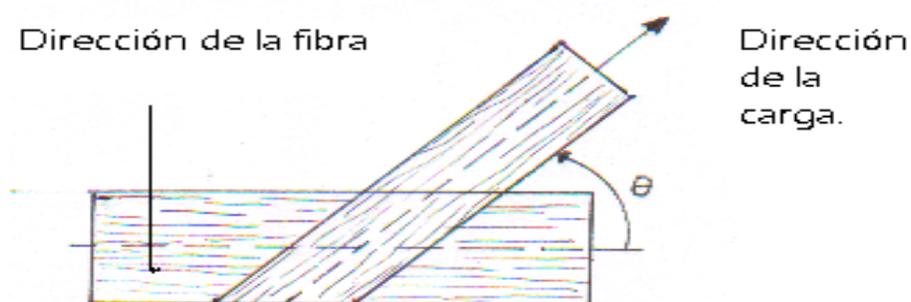


Figura 91. La dirección de la carga entre elementos inclinados, puede ser de tensión o de compresión.

Se deben considerar ciertas distancias mínimas desde los centros donde se ubicaran los elementos que sujetaran a las piezas de madera, hasta los bordes cargados y no cargados para que resistan los esfuerzos para los que han sido calculados. La siguiente figura muestra la posición de estos elementos. Figura 92.

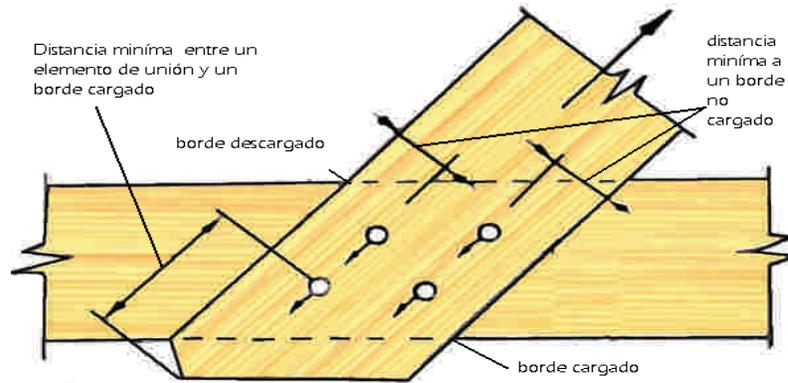


Figura 92. Distancia de los elementos de unión a los bordes cargados y no cargados de la madera.

Diferentes piezas de madera como pies derechos y soleras superior e inferior quedaran unidos con diferentes elementos sujetadores como clavos y tornillos, estos quedaran en varias posiciones, además otras piezas como las vigas deberán quedar unidas utilizando piezas especiales para mantener la rigidez del entramado de pisos o entrepisos, figura 93.

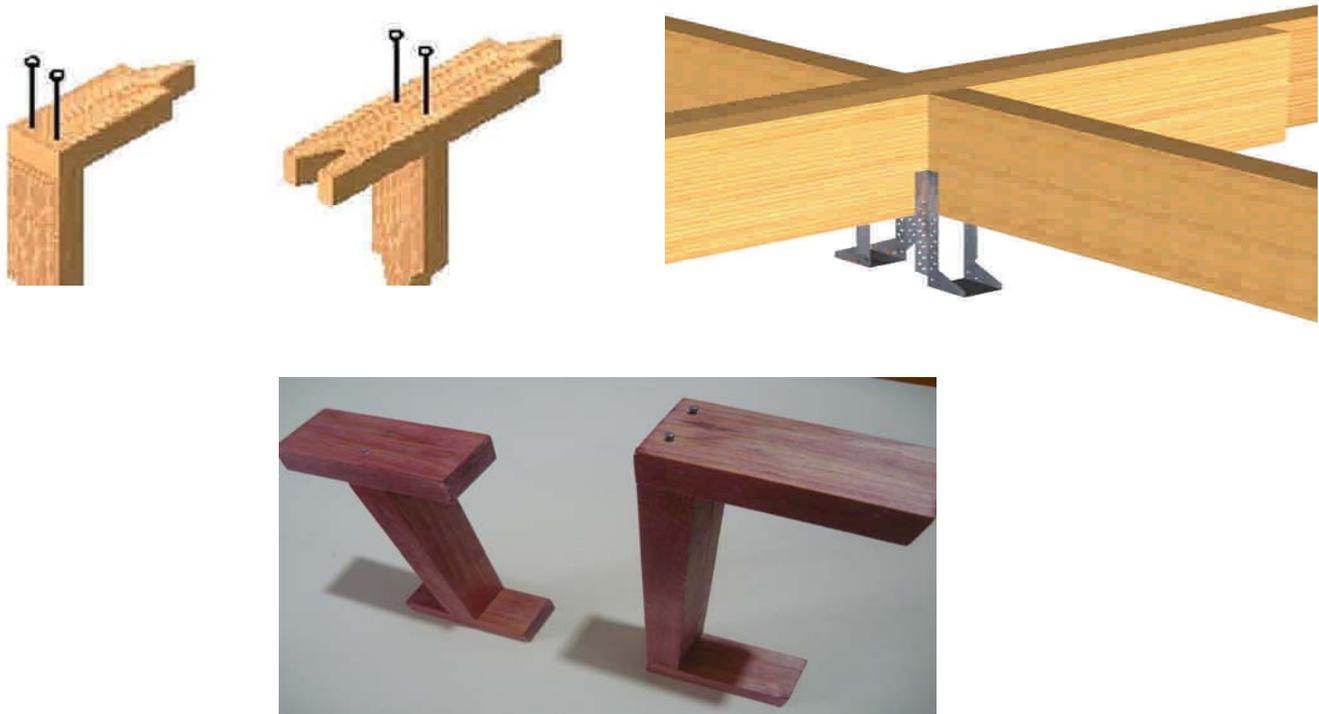


Figura 93. Diferentes formas de unir pies derechos con soleras, con clavos o placas metálicas.

Los clavos.

Durante la década de 1830 a 1840 los norteamericanos empezaron a dominar la técnica de la fabricación de clavos lo que dio como origen al nacimiento de nuevas técnicas de estructuras de madera, como las llamadas estructuras de globo y estructuras de plataforma. Fueron los clavos conjuntamente con las nuevas técnicas que permitieron acelerar el proceso constructivo y permitiendo una mayor diversidad arquitectónica.

Los clavos se utilizan en estructuras pequeñas y ligeras, cuyos elementos de madera no sean mayores de dos pulgadas de longitud. Los clavos son los elementos ideales para formar estas uniones con óptimos resultados. Se distinguen por la forma de la cabeza, por la punta, por su diámetro, por su longitud y el acabado de su superficie (ésta disminuye el riesgo a la corrosión y puede aumentar su adherencia), por su resistencia a la extracción, así como por su resistencia a la acción de fuerzas laterales.

Hay clavos llamados estándar con longitud de una pulgada a seis pulgadas con diferentes diámetros y del tipo americano con longitudes de una pulgada a ocho pulgadas. Las NTC considera que la caña debe ser cilíndrica y lisa. Se distinguen principalmente por la forma de su cabeza y por la punta, mientras que su longitud esta dada normalmente en pulgadas. El tipo de material con el cual han sido fabricados es alambre liso de bajo carbono, norma NMX-H-64, NTC.

Los clavos pueden ser de sección transversal circular, cuadrada, rectangular, con la punta en forma de diamante, cónica o de bisel, dependiendo de la forma esta puede agrietar la madera, figura 94. Estos clavos permiten fijaciones simples y de fácil aplicación, su principal característica radica en que son capaces de transmitir los esfuerzos de un elemento a otro de la estructura, además se encuentran fácilmente y son económicos.

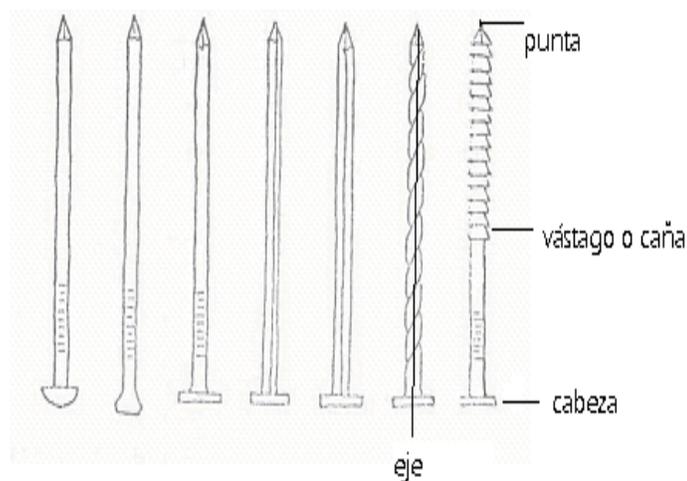


Figura 94. Clavos de diferente sección, lisos y helicoidales

Al unir dos o más piezas de madera con clavos estos pueden quedar perpendiculares o paralelos a la fibra o inclusive inclinados un cierto ángulo, por lo que la resistencia que opone el clavo a la extracción, dependerá de estas condiciones y de otras.

La fuerza de extracción del clavo con respecto a su eje, determina los dos tipos de resistencia de las uniones así clavadas:

- carga paralela al eje del clavo, se presenta una resistencia a la extracción directa, y,
- carga perpendicular al eje del clavo, este tipo de uniones presentara resistencia a la extracción lateral. Figura 95.

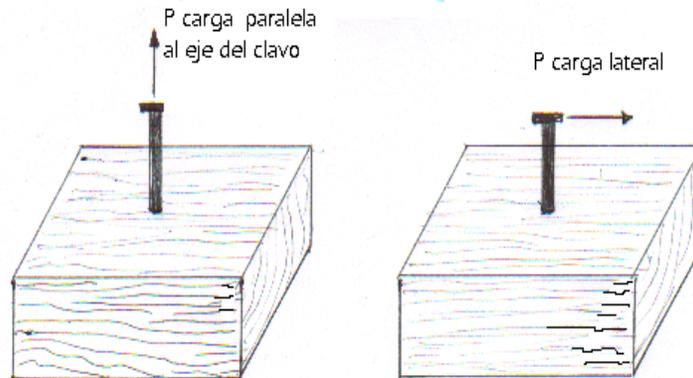


Figura 95. Dirección de la carga en las uniones con clavos.

La resistencia a la extracción directa se ve afectada por varios factores como:

- la densidad de la madera,
- el contenido de humedad de la madera,
- la dirección en la cual está hincado el clavo, con respecto a las fibras de la madera,
- el diámetro del clavo, y,
- el espesor de la madera que se va a unir.

Mientras que los factores que afectan la extracción lateral son:

- la densidad de la madera,
- el contenido de humedad de la madera,
- el espesor de la madera que se va a unir, y,
- el diámetro del clavo.

Uniones mediante clavos donde se presentan esfuerzos cortantes.

A la unión de tres elementos con clavo en los que este atraviesa por completo la primera pieza como se muestra en la figura 96, se le llama de esfuerzo cortante simple. En algunos manuales se sugiere que la penetración del clavo en la pieza central debe cumplirse la relación:

$$\text{Penetración del clavo} > 12 \text{ veces el diámetro del clavo.}$$

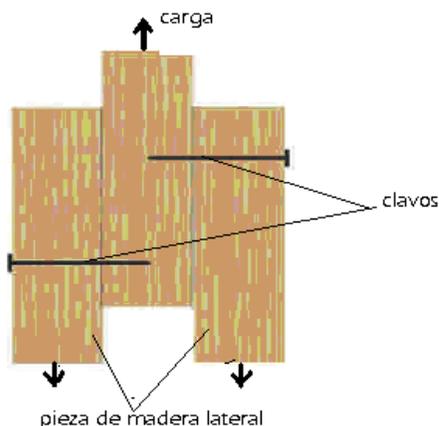


Figura 96. Piezas de madera unidas con clavos, sometidas a esfuerzo cortante.

Cuando el clavo atraviesa al menos dos piezas de madera, se le llama de esfuerzo cortante múltiple, en estas condiciones se debe determinar la capacidad admisible de cada clavo, figura 97.

Penetración del clavo en la segunda pieza > a 8 veces el diámetro del clavo.

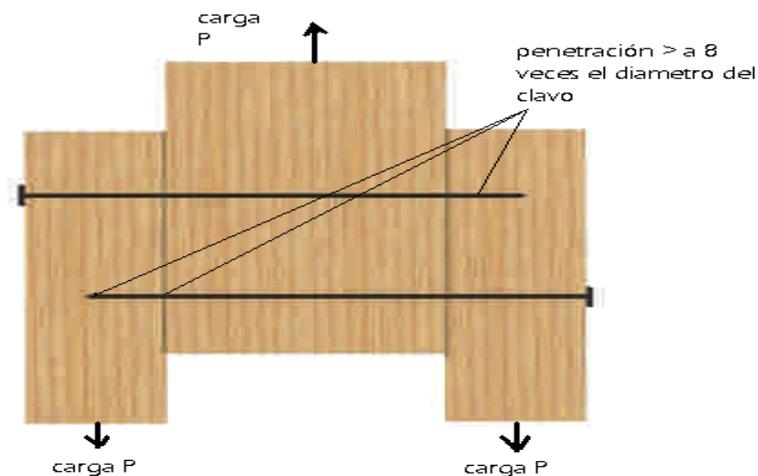


Figura 97. Clavos sujetando dos piezas de madera.

Usos.

Los diferentes tipos de clavos que se utilizan en la unión de madera duras (confieras o latí foliadas), deben ser guiados mediante una broca de menor diámetro o bien aplicarle algún lubricante, que no sea petróleo (NTC), por ejemplo jabón.

Al armar una estructura con clavos se espera que tengan una gran resistencia a la extracción y que por su flexibilidad puedan soportar cargas laterales, los clavos que son hincados paralelos a las fibras su resistencia a la extracción se considera nula (NTC) estas normas solo considera dos casos cuando el hincado se hace en forma perpendicular a las fibras o cuando el hincado es del tipo lancero, figuras 98 y 99.

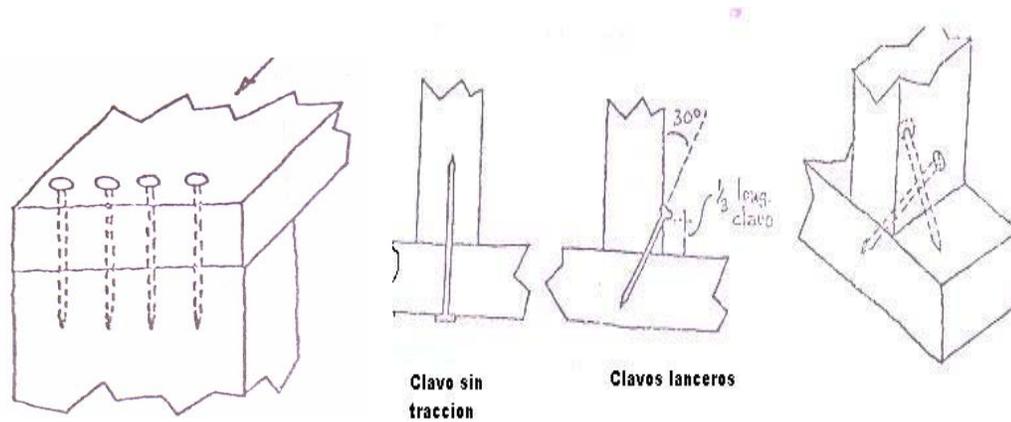


Figura 98. Clavos hincados en forma paralela a la fibra y clavos lanceros.

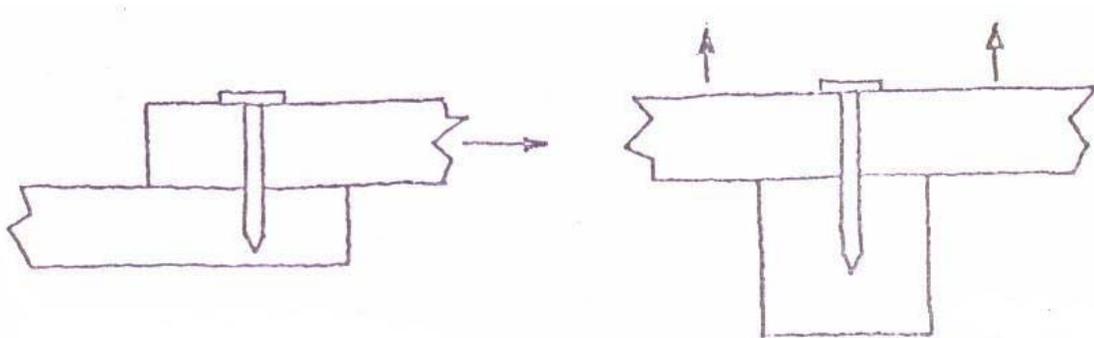


Figura 99. Carga lateral.

Los clavos metálicos tienen la capacidad de flexionarse haciéndolos capaces de resistir este tipo de fuerzas. Bajo cargas de servicio se considera una deformación de aproximadamente unos 0.04 mm, las NTC especifica la resistencia para clavos de alambre en madera de coníferas y latí foliadas.

Las uniones con clavos deben tener como mínimo dos, en caso de que los clavos sobresalgan, su capacidad a la extracción se vera aumentada hasta en un 40%. El espaciamiento entre clavos debe ser tal que la madera no se agriete, a continuación se recomiendan algunos valores:

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

donde D es el diámetro de la caña lisa.

En uniones de elementos en ángulos menores o mayores a 90°, se debe dimensionar para que resista tanto la carga de extracción, como el empuje lateral, debido a la componente horizontal de estas fuerzas. Las

uniones con clavos lanceros, figura 100, son usados principalmente en el armado de pisos y otras pequeñas estructuras que suelen unirse de esta forma. En cuanto al ángulo de inclinación del hincado del clavo se recomiendan aproximadamente 30° .

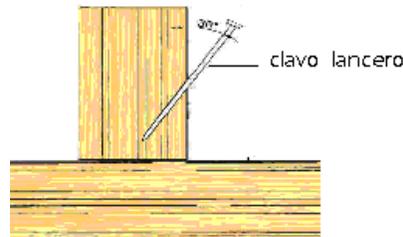


Figura 100. Piezas de madera unidas por un clavo lancero.

Tornillos.

Los tornillos para madera son de mayor diámetro que los clavos y tienen rosca en su caña. Poseen un mayor “agarre” y resistencia. Se pueden utilizar en estructuras donde sus elementos a unir sean de poco espesor y para neutralizar las fuerzas de arranque, así como para transmitir cargas de menor magnitud en uniones que están sometidos a extracción lateral. Las NTC no consideran a los tornillos como elementos de unión.

Sus dimensiones varían en longitud y diámetro (desde $5/6$ hasta 3 pulgadas de largo con diferentes diámetros fabricados de acero endurecido sin recubrimientos especiales). Cuando están en combinación con placas de acero colocados en un ambiente corrosivo, es necesario aplicar algún recubrimiento para evitar su deterioro. Para hacer uniones con estos elementos se requiere hacer un agujero previo a modo de guía lo que encarece el proceso constructivo, ya que se necesita otros tipos de herramientas, tales como taladro y desarmador. Nomenclatura usada en tornillos para madera: DC es el diámetro de la cabeza, LV corresponde a la longitud del vástago liso, DR es el diámetro del tornillo, LR es la longitud de la rosca y LT corresponde a longitud total del tornillo, figura 101.

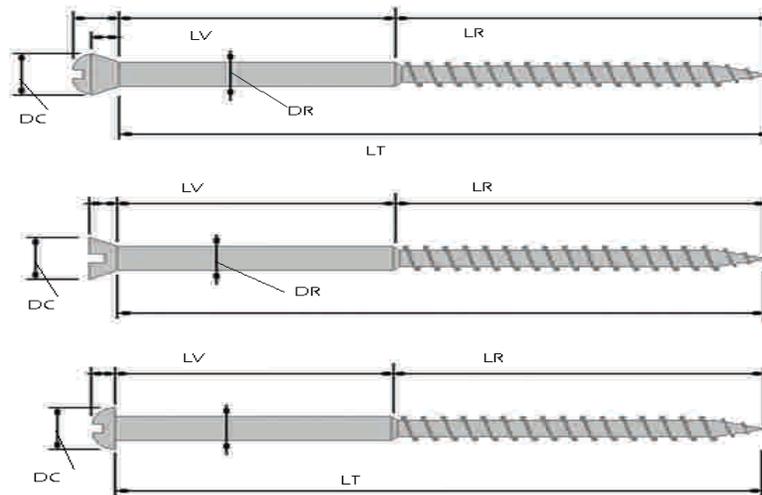


Figura 101.

Generalmente son utilizados para hacer trabajos simples y rápidos, como cuando se necesita fijar placas o tableros estructurales tales como marcos para puertas, muros de tablar roca, armado de cubiertas ligeras de techumbre y aquellas solicitaciones que no requieren de mayor especialización.

Las pijas.

Estos elementos mecánicos utilizados para unir piezas de madera son de mayor diámetro que los tornillos pero de menor longitud que un perno llegando hasta doce pulgadas, con la cabeza de perno cuadrada o hexagonal. Se utiliza donde la vista de la cabeza no es objetable, además se requiere de una perforación previa, cuyo diámetro deber ser un poco menor que la cuerda. Para introducirlo en la madera se requiere de una llave tuerca. Se recomienda no utilizar martillo para esta operación.

La pija también llamada tirafondo, deberá penetrar en el elemento principal de madera por lo menos una tercera parte. Tienen una mayor capacidad para transmitir fuerzas laterales, cuando hay uno o más planos en cortante. Las NTC recomiendan que si la madera está por arriba del 18% del contenido de humedad, una vez armada la estructura se tiene que regresar y apretar las pijas pues las contracciones evitaran el contacto efectivo entre las caras de las piezas unidas, figura 102.

La capacidad de transmisión de fuerzas laterales, se verá modificada si el elemento de unión forma más de dos planos en cortante. La capacidad de resistencia a la extracción también se verá modificada si está en dirección paralela a las fibras.

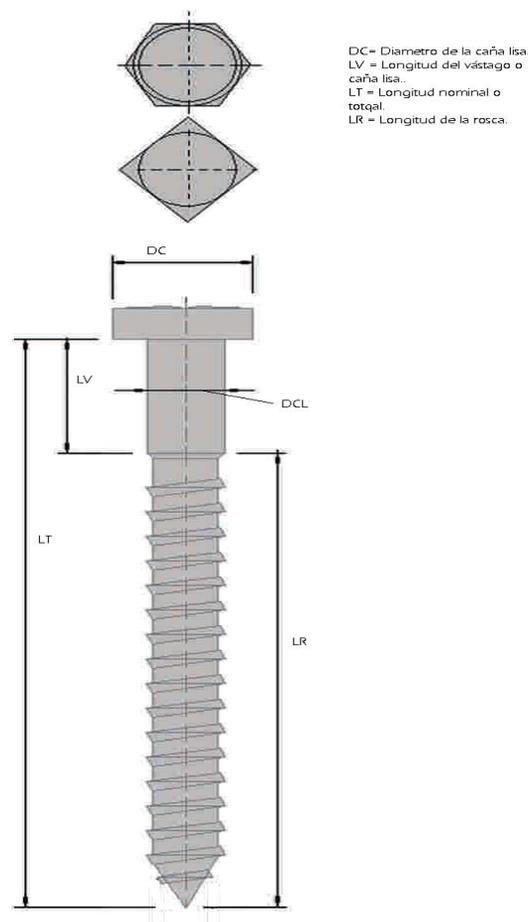


Figura 102. Partes principales de una pija o tirafondos.

Espaciamiento para pijas o tornillos.

3D entre hileras de tornillos o pijas

5D de los bordes

10D entre tornillos o pijas en la dirección de las fibras

10D de los extremos

donde D es el diámetro de la caña lisa.

Los pernos.

Los pernos son elementos de acero de forma cilíndrica, que atraviesan perpendicularmente los planos sometidos a esfuerzo cortante de la unión, solicitados a flexión y que inducen sobre la madera tensiones de aplastamiento. Figura 103.

Unir piezas de madera es complejo, una manera de hacerlo de manera más simple y rápido, es utilizar los llamados pernos, los encontramos en las siguientes combinaciones de longitud y diámetro variable:

- pernos con cabeza cuadrada o hexagonal en un extremo, rosca en el otro extremo, y,
- pernos con rosca continua (espárragos).

El material del que están hechos es de acero de bajo carbono norma NMX-H-47, también llamados tornillos de cabeza hexagonal. Estos elementos se usan en combinación con las tuercas y roldanas. Las roldanas se colocan en ambos extremos del perno. Los pernos no deben sobrepasar el esfuerzo de aplastamiento en elementos sujetos a tensión. Las roldanas pueden ser circulares o cuadradas, de acero o de hierro fundido, NTC.



Figura 103. Pernos con cabeza hexagonal, y espárrago de cuerda continua con rondana y tuerca, además algunos elementos especiales como placas y anillos de metal.

Al hacer una conexión con pernos se debe tomar en cuenta:

- la especie de madera,
- el contenido de humedad,
- la forma geométrica de los elementos conectados,
- la distancia que hay del borde de la madera al perno, y,
- es recomendable que cada unión cuente con dos pernos cuando menos.

Tipos de conexiones.

En la figura 104, se muestran dos piezas unidas a una tercera central de mayor grueso que los extremos. Aquí las fuerzas laterales actúan en forma perpendicular a las fibras.

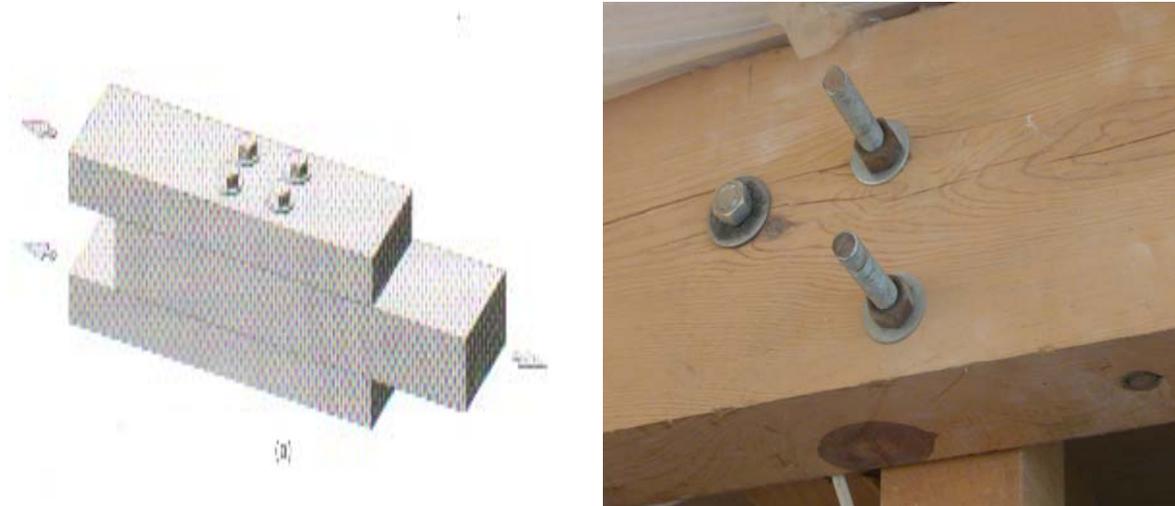


Figura 104. Elementos de madera maciza unidos con pernos de cabeza hexagonal y de rosca continua.

En la figura 104 se muestra la unión de tres miembros con sus ejes inclinados entre sí. Este tipo de uniones se presenta cuando se arman pequeñas estructuras como las usadas para los techos a dos aguas.

Si la unión de miembros se realiza con un solo perno, la capacidad de resistencia disminuye considerablemente, comparada con las dos anteriores, ya que se tiene un solo plano de cortante donde las fuerzas actúan excéntricamente. En este tipo de unión el perno sufre una gran deformación y la madera empieza a sufrir aplastamientos a bajas cargas.

Miembros unidos con cuatro pernos.

- Cuando las fuerzas son paralelas a las fibras (NTC).
- Cuando las fuerzas son perpendiculares a las fibras.

Resistencia de uniones a base de pernos.

- Depende del número de planos en cortante de la unión.
- Depende la dirección de la carga, si es paralela o perpendicular a la fibra. La NTC consideran para la resistencia lateral el diámetro del perno, y si la madera que es usada en estas uniones es de coníferas o latí foliadas.
- Depende de las uniones, densidad de la madera y del diámetro del perno.
- Mientras más tiempo permanezca recto el perno la distribución de esfuerzos será más uniforme.
- El agujero del perno no deberá exceder de dos milímetros de diámetro del perno ni será menor a un milímetro de éste (NTC).
- Los agujeros deberán coincidir si se están usando alguna placa metálica.

Tipos de fallas.

- Fallas por rajaduras, se presenta cuando el perno se encuentra muy cerca del extremo de la pieza NTC.
- Las NTC consideran distancias a los extremos según se trate de madera de latí foliadas. Si los miembros están en compresión o con cargas perpendiculares a las fibras.
- La distancia a los extremos es otro factor que se debe tomar en cuenta si los miembros unidos están cargados perpendicularmente a las fibras o si no presentan carga alguna.
- Las uniones fallarán si los elementos unidos son demasiado delgados.

Placas metálicas (conectores).

En la industria moderna de la construcción de casas de madera, se utilizan una serie de conectores metálicos que facilitan las uniones, las que anteriormente se hacían entre la madera y madera o con el concreto. Actualmente la técnica de las placas metálicas se ha desarrollado tanto que prácticamente hay un conector para cada una de las necesidades que se generan al construir una vivienda o cualquier otra estructura de madera.

Su fabricación es sencilla sin embargo requiere de alta tecnología para generarlas. Existen dos tipos de placas o conectores.

- Conectores para solicitaciones y dimensiones regulares. Se fabrican de lámina de acero. Esta lámina se coloca en una máquina que por corte o impacto va sacando las piezas de los conectores en plano, después pasan a otra maquina que se encarga de doblarlos según el diseño, para después aplicarles algún tiramiento de pintura o galvanizado, perforaciones o dobleces especiales.
- Conectores donde hay solicitaciones altas para dimensiones regulares. Estos también son de acero pero no están en forma de lámina, ya que sus espesores superan en muchas ocasiones los cuatro milímetros. Por su espesor se van cortando las piezas del conector utilizando rayo láser, para después unirlos mediante soldadura. Toda la operación es automatizada y en la actualidad en algunos países se llegan a encontrar hasta cuatrocientos cincuenta tipos distintos de conectores, que van desde las placas dentadas, hasta elementos que permiten la unión de madera en tres dimensiones y que requieren diferentes ángulos. Se fabrican conectores que permiten unir piezas de madera con diferentes materiales como son vigas y elementos estructurales de acero, ladrillo, piedra y concreto. En los Estados Unidos esta tecnología esta muy difundida.

Ante esta gran diversidad solo se mencionaremos los más importantes por su ubicación en una estructura de madera.

Conectores para entramados de piso.

Se utilizan para unir sus propios elementos, así como la conexión con otros elementos que interactúan con ella. Algunas de ellas no se comercializan en nuestro país, pero se pueden adaptar muchas de las existentes o se mandan a fabricar. Figuras 105 y 106.

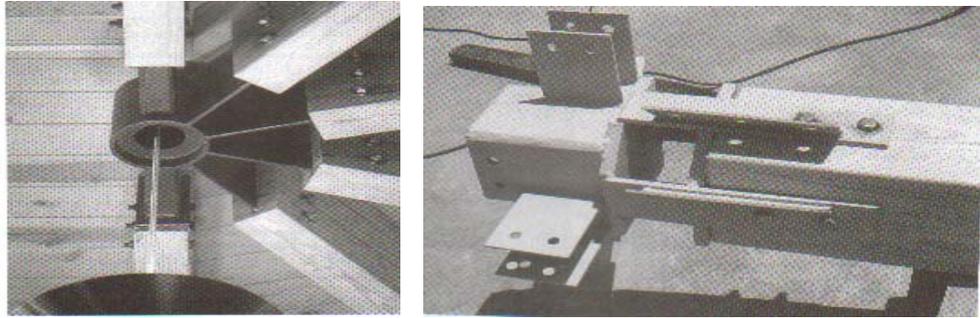


Figura 105. Piezas especiales de metal para empotrar pies derechos y otros elementos.

Unión. Soleras con vigas secundarias.

Conector. Metálico



Figura 106, Diferentes tipos de conectores para unir madera.

Placas dentadas.

Las uniones con placas dentadas se fabrican de acero con un espesor mínimo de un milímetro, con tratamiento anticorrosivo y con punzonado en forma de clavo, formando un sistema de dientes ubicados perpendicularmente al plano de la placa todos en una misma dirección, figuras 107 y 108.

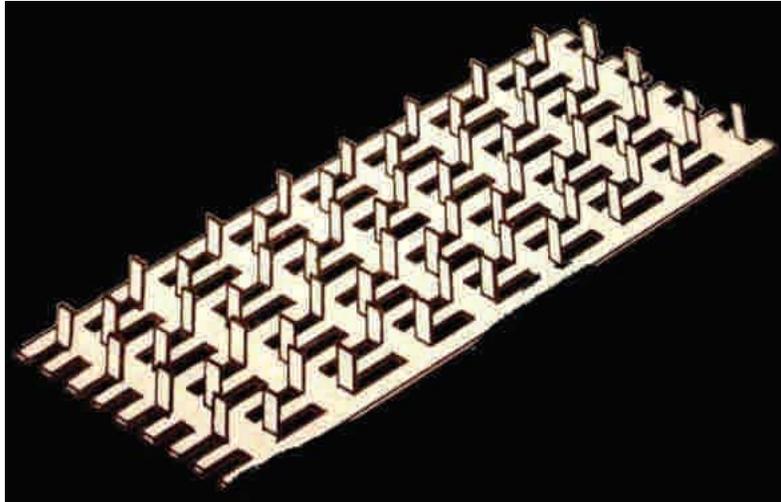


Figura 107. Placa de acero dentada.

Estas placas deben cumplir algunas propiedades mínimas, a saber:

- tensiones de ruptura en tracción de 310 Mpa,
- tensión de fluencia de 230 Mpa,
- se incrustaran simultáneamente en ambas caras de las piezas de madera que forman la unión o empalme, deberán de ser del mismo tamaño y quedar colocadas simétricamente respecto a las dimensiones de la madera,
- la placa no debe deformarse al incrustarla, solo se acepta el uso de prensa asegurando una incrustación simultánea,
- la madera bajo esta placa no debe presentar defectos tales como; gemas, nudos sueltos, además la madera debe tener el mismo contenido de humedad, también debe tener las mismas dimensiones en cuanto a grosor, con el propósito de asegurar un traspaso directo de cargas de las piezas de madera, y,
- las cargas deben ser predominantemente estáticas.



Figura 108. Estructura de techumbre armada con placas metálicas dentadas.

IV.4 El diseño de estructuras de madera.

Aspectos relevantes al diseñar una casa habitación de madera.

- La seguridad.
- La funcionalidad.
- La durabilidad.

En cuanto a la seguridad, la estructura debe ser capaz de soportar las fuerzas laterales originadas por el viento, sismos. Las fuerzas debidas a la lluvia, nieve y otras sollicitaciones mecánicas de compresión, tensión, flexión y cortante, además hay que considerar el peso de las instalaciones eléctricas, sanitarias, gas, y los materiales necesarios contra la acción del fuego.

Debemos asegurar que todos los elementos que componen una estructura funcionen adecuadamente, evitando lleguen a fallar, o incluso colapsen disminuyendo las situaciones de riesgo para las personas.

La funcionalidad depende en otros aspectos del medio ambiente en que se encuentra como aquellos parámetros que hasta cierto grado deberán permanecer estables como la temperatura, humedad, acústica, iluminación, ventilación, y la calidad del aire. Por lo tanto la funcionalidad está ligada a la habitabilidad y a la estética.

La durabilidad, tiene que ver con la calidad de los materiales usados en su construcción, y que capacidad tienen ante la exigencia de las sollicitaciones para los que fueron diseñados, durante el periodo de vida útil, tomando las debidas medidas de control, disminuyendo así los costos de mantenimiento, reponiendo en su momento las piezas afectadas.

Estudios que se requieren para construir una vivienda de madera.

- Ubicación del terreno.
- Topografía del terreno. Identificaremos la pendiente, el sentido del escurrimiento de agua.
- Conocer los estratos de que se compone el suelo, el nivel de aguas freáticas, la capacidad de carga del terreno. Identificación del tipo de suelo, para evitar posibles asentamientos diferenciales que perjudiquen la verticalidad de la construcción dañando la edificación y los elementos que la componen, los suelos suelen clasificarse como: suelos gruesos, suelos finos y roca.

Ubicación del terreno.

Es importante identificar calles y avenidas, así como el deslinde y la orientación cardinal.

Topografía del terreno.

Es importante conocer a detalle la forma del terreno, relieve, orientación, construcciones periféricas ubicación de árboles cursos de agua y aquellas instalaciones especiales para agua y electricidad. En la visualización global del terreno hay que identificar las cotas mayores y menores así como la existencia de los cambios de pendiente, las zonas de posibles accidentes topográficos del lugar como barrancas o montículos y los escurrimientos del agua de lluvia del predio y de su entorno.

Identificación del tipo de suelo.

Una casa de madera tiene muy poco peso en comparación con la de materiales tradicionales por lo tanto la cimentación será poco profunda o superficial, sin embargo como se ha dicho es de vital importancia

identificar el tipo de suelo y los posibles estratos de que esté compuesto. Es necesario identificar un suelo y encasillarlo dentro del sistema de clasificación dependiendo de sus características, esta clasificación permite conocer sus propiedades mecánicas e hidráulicas.

La identificación para este caso será en el campo por lo que se hará totalmente visual. Un suelo grueso o de grava lo podemos identificar por el tamaño de medio centímetro, mientras que los suelos finos se agrupan como limos orgánicos, arcillas inorgánicas, limos y arcillas orgánicas. Una de las principales características de los suelos finos será su compresibilidad la que esta en función del agua que contenga.

Suelos gruesos.

En estos se encuentran los suelos de grava, presentan una adecuada capacidad de carga buena permeabilidad, y poca compresibilidad, es decir ocurren pocos asentamientos diferenciales.

Suelos arenosos. Éstos tendrán una adecuada reacción ante las cargas siempre y cuando estén compactadas; en caso contrario con la aparición de vibraciones aparecerán asentamientos diferenciales, tienen buena permeabilidad siempre y cuando no contenga elementos más finos como arcillas. Hay que cuidar que este tipo de suelo mantenga un buen drenaje con la finalidad de evitar fenómenos como la licuación. La cual haría perder toda resistencia ante las cargas.

Suelos arcillo arenosos.

Son suelos con limos cuyo comportamiento está entre los dos anteriores, no presentan un buen drenaje.

Suelos arcillosos.

Son suelos con partículas muy pequeñas de alta compresibilidad, muy plástico, y poco permeable, absorbe una gran cantidad de agua que al secarse provoca grandes contracciones, y asentamientos diferenciales.

Suelos rocosos

Son terrenos que reúnen toda la capacidad de carga necesaria para soportar las cargas, sin embargo suelen transmitir los movimientos sísmicos a la estructura de la casa. La madera responde adecuadamente a estas solicitaciones, en caso de que existan fracturas en la roca y haya desplazamientos horizontales será necesario anclar correctamente los elementos para evitar deformaciones en la madera.

Identificar un suelo y sus características ayudará a determinar una adecuada cimentación, poco profunda o superficial. Dependiendo de estas características y una vez identificado el tipo de suelo se tendrá una idea de su capacidad de carga pudiendo de esta forma elegir la cimentación adecuada.

Cimentaciones usadas en la construcción de estructuras de madera.

Los tipos de cimentación más utilizados en la construcción con madera están: las zapatas aisladas (cuadradas o cilíndricas), las zapatas corridas, las losas de cimentación y los pilotes de madera.

Zapatas aisladas.

Son elementos estructurales de forma cuadrada, rectangular o circular con el objeto de transmitir la carga al suelo, generalmente se construyen de concreto reforzado.

Zapatas corridas.

Es una forma más evolucionada de la zapata aislada, utilizada en caso de que el suelo presente una resistencia baja, que obligué a tener una mayor área de repartición de carga.

Losa de cimentación.

Se utiliza cuando la capacidad del terreno es muy baja o las cargas muy altas y la superficie de carga deben aumentarse llegando a ocupar toda el área construida, siendo de concreto armado.

Estos tres tipos de cimentación se pueden combinar ya que no hay una regla que evite su uso. En general estas expresiones se refieren a cimentaciones en las que la profundidad de desplante no es mayor que un par de veces el ancho del cimientto.

Existen muchas otras soluciones dependiendo de las condiciones topográficas e hidráulicas del terreno. Si un terreno presenta agua superficial con una pendiente pronunciada, que puede socavar la cimentación será necesario utilizar drenes para desalojar el agua, si en el suelo el nivel freático es muy superficial entonces está tenderá a desalojarse por capilaridad hacia la madera preservada por lo que será necesario colocar pilotes de madera preservada (CCA) o de concreto armado y sobre de estos la plataforma.

En general hay que cuidar no variar las condiciones de los suelos y sobre todo evitar los cambios en la humedad, ya que una vez construida la cimentación pueden aparecer los asentamientos diferenciales. Los criterios para diseñar una cimentación dependen de la profundidad de desplante, de la intensidad de carga y de la capacidad de carga del suelo, la cual casi siempre se determina en el laboratorio por medio de fórmulas como las de Terzaghi, Skempton y Meyerhof. La siguiente tabla muestra valores del peso volumétrico de algunos suelos, tabla 20.

Materiales	Estado	Peso volumétrico ton/m³ (γ), máximo	Peso volumétrico ton/m³ (γ), mínimo
Arena grava	- seca, suelta	1.7	1.4
	- seca, compacta	1.9	1.6
	- saturada	2.0	1.8
Arcilla típica del valle de México en su condición natural.		1.4	1.2
Arcilla seca		1.2	0.9
Limo suelto húmedo		1.3	1.0
Limo compacto húmedo		1.6	1.3
Arcilla con grava	compactada	1.7	1.4
Relleno compacto	- seco	2.2	1.6
	- saturado	2.3	2.0

Tabla 20. Peso volumétrico de algunos suelos.

Una casa habitación estará planeada desde el punto de vista:

- del diseño arquitectónico,
- del diseño estructural,
- el método constructivo, y ,
- de los materiales usados para la construcción.

El diseño arquitectónico.

El arquitecto presenta una idea de la estructura, materiales, aspectos de habitabilidad, así como los diferentes materiales de protección contra la humedad, acústica-térmica, además planos y maquetas.

Diseño de estructuras de madera.

Los elementos estructurales de madera sometidos a carga axial y flexión, suelen presentarse bajo la forma de columnas, pies derechos, cerchas triangulares y otros elementos los cuales deberán diseñarse de manera que las fibras queden paralelas a los esfuerzos de tensión o compresión..

a) Documentos del proyecto estructural.

- Memoria de cálculos estructurales.
- Memoria descriptiva, la cual indicará, el reglamento utilizado, en caso de utilizar otro que no sea el establecido será necesario anexar una copia, además de la descripción del sistema estructural se deben incluir las cargas consideradas, las características y resistencia de todos los materiales estructurales, y los resultados del análisis y diseño de todos los elementos estructurales.
- El estudio de mecánica de suelos tiene como finalidad la de obtener los valores de la capacidad de carga del terreno (esfuerzo admisible), para el diseño de la cimentación.

b) Planos estructurales.

Los planos estructurales definitivos y provisionales, presentaran las plantas, elevaciones, así como secciones estructurales, los que indicaran los detalles de todos los elementos estructurales, sus uniones, juntas y cualquier otro elemento necesario par el buen funcionamiento de la construcción. Estos planos se dibujarán a una escala suficientemente grande para poder apreciar los detalles del diseño, como cualquier requisito de rigidez y arriostramiento requerido por el proyecto estructural.

c) Requisitos generales de diseño.

El diseño de los elementos de madera así como de los dispositivos de unión requeridos estará basado en el enfoque del estado límite adoptado por el Reglamento de Construcciones del D.F aplicables por igual a estructuras sin importar el material utilizado en su construcción.

Esquemáticamente puede ilustrarse de la siguiente manera:

$$R_d \text{ (Resistencia de diseño)} \geq \text{Fuerza interna de diseño}$$

$$F_r \text{ (resistencia teórica)} \geq F_c \text{ (Fuerza interna debida a las acciones externas especificadas),}$$

donde:

$$R_d = \text{resistencia de diseño}$$

$$F_r = \text{factor de reducción de resistencia.}$$

$$F_c = \text{factor de carga.}$$

d) La rigidez.

Se evaluarán las deformaciones debidas a las cargas muertas y cargas vivas, considerando además incrementos en las deformaciones que aparecen con el tiempo, teniendo en cuenta que el total de las deformaciones deberán ser menor que el admisible preestablecido.

$$\text{Deformaciones totales} \leq \text{Deformaciones admisibles}$$

e) Dimensiones de diseño.

En todos los cálculos de elementos estructurales de madera se consideran las propiedades de las secciones basadas en sus dimensiones netas, teniendo en cuenta la reducción que aparece debido al secado, rebajado y taladrado.

f) Cargas de diseño.

Los diseños se harán bajo cargas de servicio tales como; cargas vivas, muertas, viento y sismo, estas últimas equivalen a una presión (empuje o succión) actuando perpendicularmente a las superficies expuestas. A continuación se mencionan algunos datos importantes utilizados en el diseño de las estructuras de madera.

g) Clasificación Estructural de la madera.

Clasificación estructural de la madera de coníferas se basa en la norma NMX-C-239 “Calificación y Clasificación visual para madera de pino en usos estructurales”, la que establece dos clases de madera estructural, A y B.

Las maderas latí foliadas se clasifican con la norma NMX-C-409 ONNCCE, estableciendo cuatro clases I, II, III, y IV. Las dimensiones de la madera serán aquellas últimas obtenidas de la madera aserrada que esté en condición seca (Norma NMX-C-224-ONNCCE). Se considera madera seca aquella que tenga un contenido de humedad (CH) menor al 18%.

La tabla 21, muestra los resultados de las propiedades mecánicas de la madera, utilizadas en el diseño de las estructuras de madera.

Propiedades	Simbología	CLASE A	CLASE B
Flexión	f_{fu}	15.2 (155)	9.8
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}	11.3 (115)	6.9
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}	11.8 (120)	9.3
Compresión paralela a la fibra	f_{ru}	3.9 (40)	3.9
Cortante paralela a la fibra	f_{vu}	1.8 (12)	1.18
Modulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	9810 (100 000)	7848 (80 000)
Modulo de elasticidad 5° percentil	$E_{0.50}$	6376 (65 000)	4905 (50 000)

Tabla 21. Módulos de resistencia y elasticidad para maderas de coníferas dados en Mpa (kg/cm^2).

Como la madera más utilizada para construir una casa habitación es la de coníferas (pino) solo incluimos estos valores los de las latí foliadas se encuentran en las NTC correspondientes. De esta manera en estas NTC se encuentran todos los valores necesarios para el diseño, tanto de los dispositivos de unión como de todos aquellos elementos que en conjunto formaran una estructura, tabla 22.

Propiedades	Simbología	Factores
Flexión.	f_{fu}'	16.7 (170)
Tensión.	f_{ft}'	14.7 (150)
Tensión : Fibra en las chapas superiores perpendicular al esfuerzo.	f_{tu}'	8.8 (90)
Compresión en el plano de las chapas.	f_{cu}'	15.7 (160)
Perpendicular al plano de las chapas.	f_{nu}'	2.5 (25)
Cortante a través del grosor.	f_{guv}'	2.5 (25)
En el plano de las chapas	f_{ru}'	1 (10)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.05}$	10 800 (110 000)
Módulo de rigidez promedio	$G_{0.50}$	490 (5000)

Tabla 22. Valores especificados de resistencias, módulo de elasticidad y modulo de rigidez de madera contra chapada de especies coníferas, en Mpa (kg/cm²).

Método constructivo y las estructuras de madera para una casa habitación.

El propósito de este trabajo no es precisamente diseñar estructuras, sino de proponer aquellas que actualmente están dando los mejores resultados bajo los criterios de las NTC . Algunos de los elementos estructurales que se presentan en una casa habitación son: vigas, viguetas sistemas de piso con vigas o viguetas, pies derechos, sistemas de muros con armazón de pies derechos y soleras superior e inferior, techumbre con viguetas y cubierta con tableros de madera contrachapada, y otros. La siguientes figuras muestran la estructuración de una casa habitación de interés social con varios de los elementos de 2” x3” en madera de pino que antes fueron descritos, figura 109.

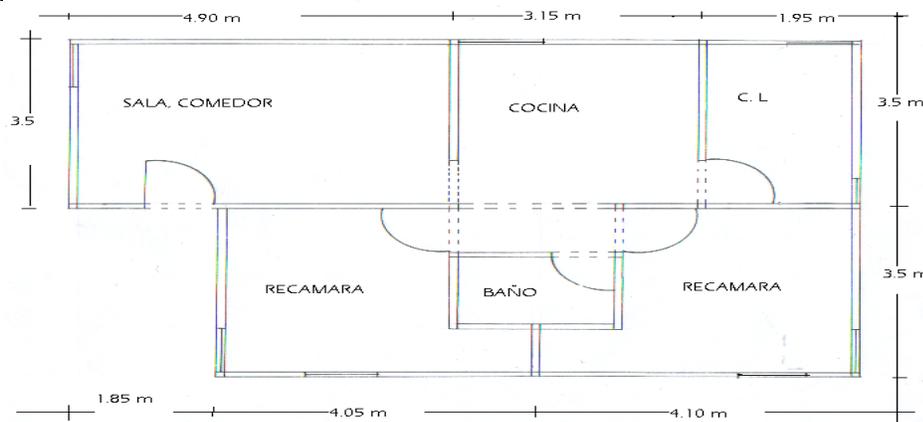


Figura 109. Vista en planta del plano

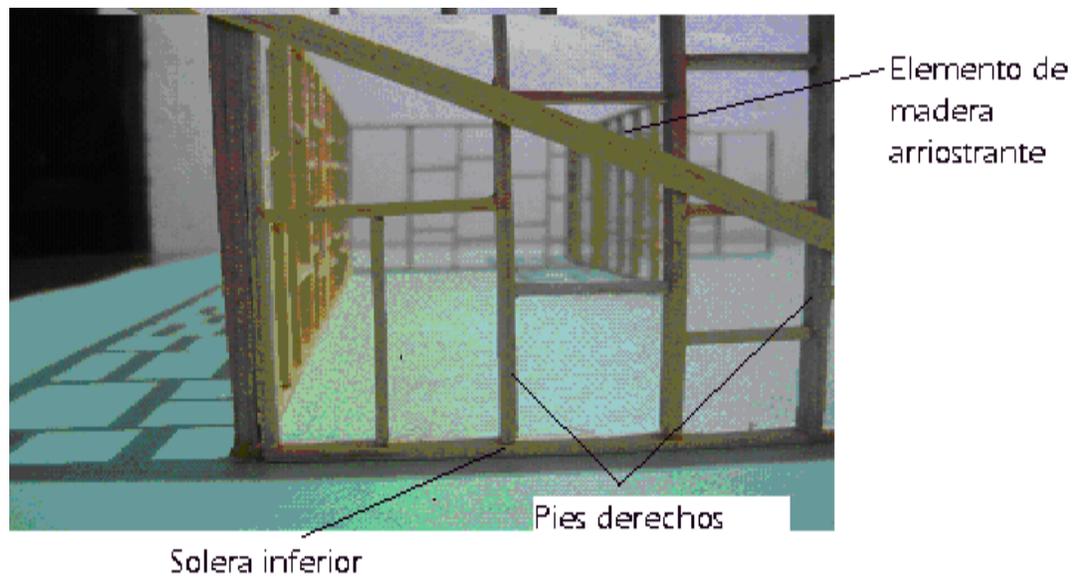


Figura 110. Bastidor de madera para armar muros, armados con pies derechos, soleras inferior y superior, arriostrado.

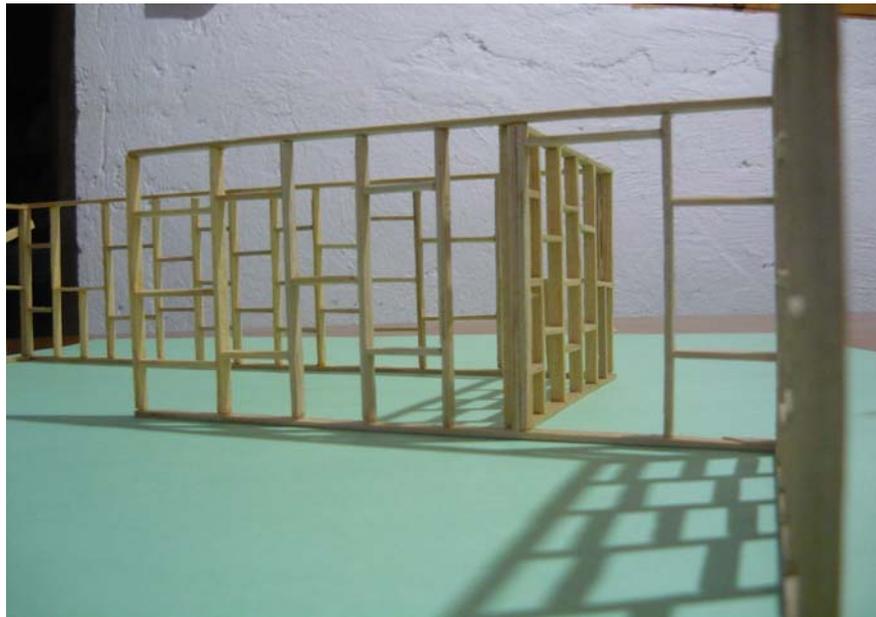


Figura 111. Diferentes módulos con pies derechos formando el claro de la puerta y muros divisorios.



Figura 112. Entramado de madera para los diferentes compartimentos.

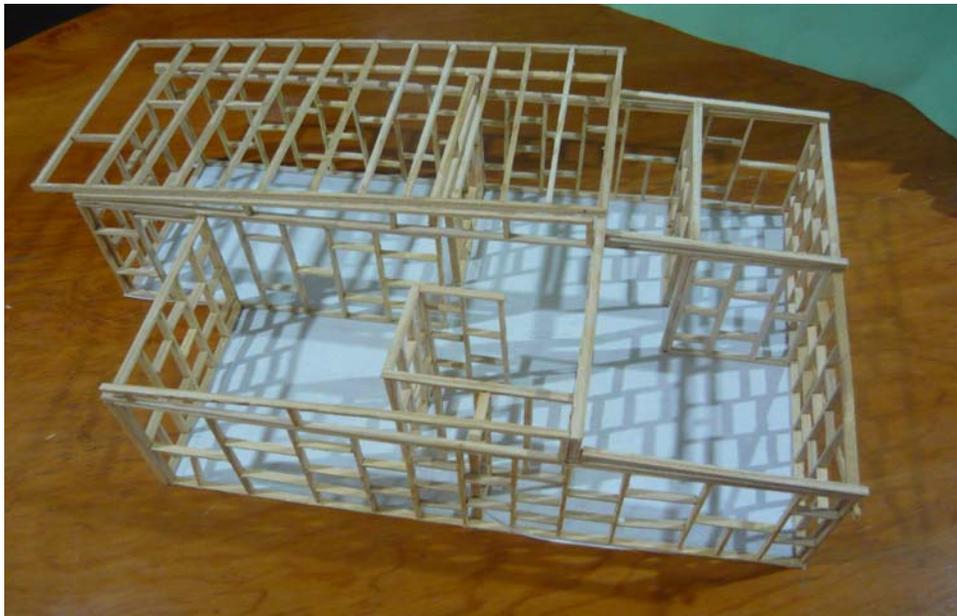


Figura 113. Estructura de la techumbre con sus refuerzos transversales



Figura 114. Vista lateral de los muros divisorios y de la estructura de la techumbre Trabajando como diafragma.

Cuando la casa es de dos niveles la estructuración se puede hacer en dos fases o una, dependiendo de la longitud de la madera que esté disponible y dependiendo también de su costo. La figura 115, muestra una estructura para una casa habitación de dos niveles, donde los pies derechos son continuos. Los elementos como pies derechos, soleras y la estructura de la techumbre no son de secciones muy grandes, comercialmente hablando. Los diferentes tipos de uniones que se requieren para mantener unida la estructura se realiza con caja y espiga, placas metálicas, etc. Para formar las plataformas de piso y entrepiso se coloca una serie de viguetas, unidas con duela, tableros de madera contrachapada, aglomerado o de fibras orientadas, de esta forma trabajará todo el conjunto como un diafragma.



Figura 115. Estructuración de una casa habitación de dos niveles.

Ejemplos de diseño de estructuras de madera utilizando las NTC del 2004, DF.

Se ha utilizado la serie de Instituto de Ingeniería No ES -5, Comentarios y Ejemplos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera, publicadas por la UNAM.

Estas series ayudan a interpretar y aplicar los diferentes términos y notaciones de las que se compone cada fórmula, además se tienen tablas y graficas, con la finalidad de hacer menos laboriosos los cálculos. En seguida se presentan algunos ejemplos básicos de diseños de estructuras de madera.

Ejemplo No.1. Utilizando las Normas Técnicas Complementarias.

Una viga simple tiene un claro de 14 pies (4.07 m) y soporta una carga de 7200 lb (3266kg), distribuida uniformemente en la longitud del claro. Diseñe la viga usando madera de pino clase B regla general, con un $CH < 18\%$, y con una flecha limitada 0.5 pulgadas (1.27 cm).

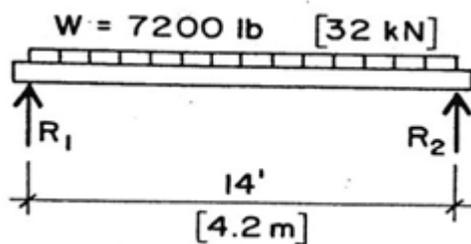


Figura 116.

$$M_u = wl^2 / 8$$

$$w = 3266 / 4.27 = 764.87 \text{ (kg / m)}$$

$$w = F_c (764.87)$$

$$w_u = 1.4 (764.87) = 1070.81 \text{ (kg / m)}$$

$$w_u = 10.70 \text{ (kg / cm)}$$

$$M_u = w_u L^2 / 8$$

$$M_u = (10.70) (400)^2 / 8 = 214163.93 \text{ (kg cm)}$$

Tomando los valores permisibles de las NTC para:

Esfuerzo de flexión: $f_{fu} = 100 \text{ kg/cm}^2$,

Compresión perpendicular a las fibras: $f_{nu}' = 40 \text{ kg/cm}^2$,

Cortante paralelo a la fibra: $f_{vu} = 12 \text{ kg/cm}^2$, y ,

Modulo de elasticidad promedio: $E_{0.5} = 80\,000 \text{ kg/cm}^2$.

Cálculo del momento resistente M_R .

$$M_R = F_R f_{fu} S \Phi$$

donde:

Esfuerzo de flexion (f_{fu})

$$f_{fu} = f_{fu} k_h k_d k_c k_p k_{cl} \text{ (se toman los valores de las NTC)}$$

donde:

F_{fu} = valor modificado del esfuerzo en flexión.

K_h = factor de modificación por contenido de humedad para dimensionamiento de secciones.

K_d = factor de modificación por duración de carga para dimensionamiento de secciones.

K_c = factor de modificación por compartición de carga para sistema de piso.

K_p = factor de modificación por peralte.

K_{cl} = factor de modificación por clasificación para madera maciza de coníferas.

Proponiendo la sección $b = 16$ cm y $d = 30$ cm.

Módulo de sección (S)

$$S = bd^2 / 6$$

$$S = (16)(30)^2 / 6 = 2400 \text{ cm}^3$$

 Φ = Factor de estabilidad lateral. (NTC)

$$\Phi = 1$$

$$F_R = 0.8$$

$$f_{tu} = (100)(1)(1)(1.15)(1)(1) = 115 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_R = (0.8)(115)(2400)(1) = 220800 \text{ kg-cm}$$

$$M_R = 220800 \text{ kg cm}$$

$$M_R > M_U$$

Por lo tanto la sección se acepta por resistencia.

Revisión por cortante.

$$V_u = wL / 2$$

$$V_u = (11.431)(400) / 2$$

$$V_u = 2286.2 \text{ kg}$$

$$V_R = F_R f_{vu} bd / 1.5$$

$$F_R = 0.7$$

$$f_{vu} = 12 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{vu} = f_{vu}' k_h k_d k_c k_r k_v$$

donde: k_r = factor de modificación por recorte. K_v = factor de modificación por condición de apoyo o compartición de carga cortante..

$$f_{vu} = (12)(0.7)(1.0)(1.15)(1.0)(2.0) = 19.32 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_R = (0.7)(19.32)(14)(35) / 1.5$$

$$V_R = 4417.84 \text{ kg}$$

$$V_R > V_u, \text{ la sección se acepta por cortante}$$

Deflexión (Flecha Δ).

$$\Delta = 5w L^4 / 384 EI$$

$$\Delta = 5 (11.431)(400)^4 / 384 (80000)(50020) = 0.95 \text{ cm}$$

$$I = bd^3 / 12$$

$$I = (16)(30)^3 / 12 = 36000 \text{ cm}^4$$

La flecha permisible.

$$\Delta = L/360$$

$$\Delta = 400/360$$

$$\Delta = 1.11$$

$$0.95 < 1.11$$

Por lo tanto se acepta.

Ejemplo No 2.

Se diseñaran las viguetas de un entresado de madera de pino de clase A, reglas especiales, con un CH<18%, las cuales estaran espaciadas sesenta centimetros y soportaran un tablero machihembrado de una pulgada por seis pulgadas, además de una superficie de desgaste de 13/16 de pulgada. Las viguetas estaran apoyadas sobre una viga de concreto armado de treinta centimetros de espesor y arriostradas lateralmente en sus apoyos. Se considera una superficie de apoyo de diez centimetros lo que proporciona cinco centimetros de holgura entre los extremos de las viguetas y el muro que continua al nivel superior. El tablero machihembrado fue diseñado previamente de manera que se comprobó que soporte adecuadamente las cargas dadas por el claro de sesenta centimetros, figura 117.

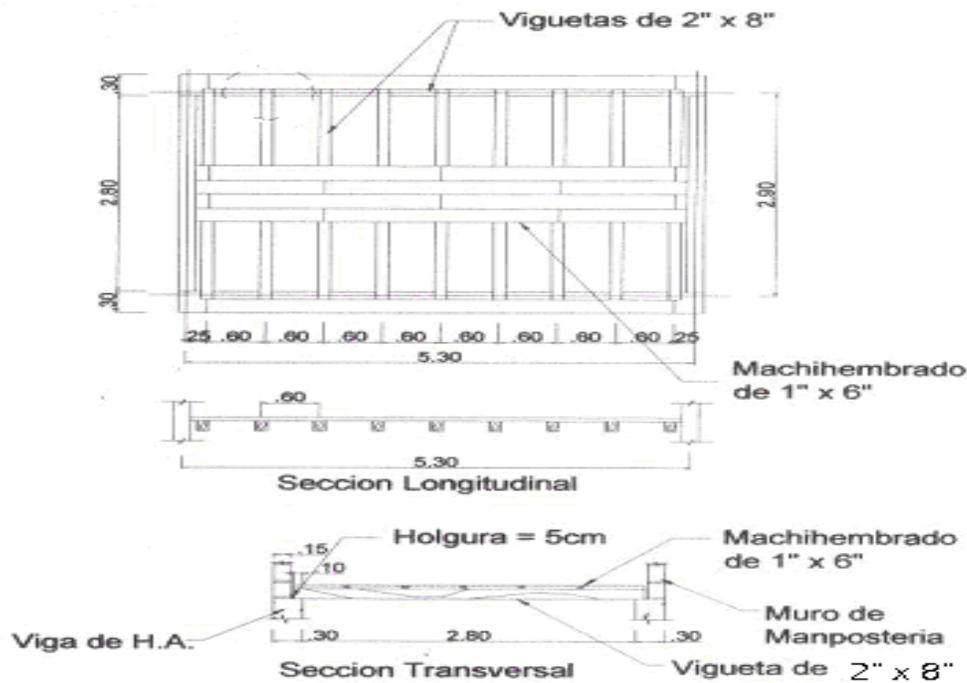


Figura 117. Viguetas de madera para un piso o entresado

Tomando los valores permisibles de las NTC para:

Esfuerzo de flexión: $f_{fu} = 155 \text{ kg/cm}^2$,

Compresión perpendicular a las fibras: $f_{nu}' = 40 \text{ kg/cm}^2$,

Cortante paralelo a la fibra: $f_{vu} = 12 \text{ kg/cm}^2$, y,

Módulo de elasticidad promedio: $E_{0.5} = 100\,000 \text{ kg/cm}^2$.

Densidad promedio de la madera de pino: 550 kg/cm^3 .

Carga muerta.

$$\begin{aligned} \text{Peso propio del machihembrado de } 1 \text{ in} \times 6 \text{ in} &= (.0254)(550) = 13.97 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Peso de la superficie de desgaste } 13/16 &= (.006315)(550) = \frac{11.35 \text{ kg/m}^2}{25.32 \text{ kg/m}^2} \end{aligned}$$

Carga viva.

$$\begin{aligned} 250 \text{ Kg/m}^2, (250)(0.61) &= 150.0 \text{ Kg/m} \\ \text{peso de las viguetas de } 2'' \times 8'' &= (0.0508)(0.2032)(550) = 5.67 \text{ kg/m} \\ \text{Cubierta de entrepiso a } 61 \text{ cm} &= (25.32)(0.61) = \frac{15.44 \text{ kg/m}}{21.11 \text{ kg/m}} \end{aligned}$$

w = peso de la carga muerta + peso de la carga viva

$$w = 21.11 + 150.0 = 171.11 \text{ kg/m}$$

$$w_u = F_C (171.11) = 1.4 (171.11) = 239.554 \text{ Kg / m} = 2.395 \text{ kg/cm}$$

Cálculo del momento máximo.

$$M_u = w l^2 / 8$$

$$M_u = (2.395)(290)^2 / 8 = 25177.4375 \text{ kg cm}$$

Calculo del momento resistente M_R .

$$M_R = F_R f_{fu} S \Phi$$

$$f_{fu} = f_{fu}^* k_h k_d k_c k_p k_{cl} \text{ (se toman los valores de las NTC)}$$

$$S = bd^2 / 6$$

La sección propuesta para las viguetas es de 2" x 8", en cm corresponde a 5 x 20

$$S = (5)(20)^2 / 6 = 333.33 \text{ cm}^3$$

Φ = Factor de estabilidad lateral. (NTC)

$$\Phi = 1$$

$$F_R = 0.8$$

$$f_{fu} = (155)(1)(1)(1.15)(1)(1) = 178.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_R = (0.8)(178.25)(333.33)(1) = 47532.85 \text{ kg cm}$$

$$M_R > M_u, \quad \text{se acepta por resistencia.}$$

En vigas de sección rectangular sometidas a flexión, el esfuerzo cortante máximo (V_u) paralelo a la fibra se calculará a una distancia del apoyo igual al peralte h .

Revisión por cortante.

$$V_u = wL / 2$$

$$V_u = (2.43)(390) / 2$$

$$V_u = 473 \text{ Kg}$$

Si se toma el cortante en la sección crítica tenemos:

$$V_u = w (L - 2h) / 2$$

$$V_u = 239.54 (2.90 - 2(.20)) / 2 = 299.425 \text{ kg}$$

$$V_R = F_R f_{vu} bd / 1.5$$

$$F_R = 0.7$$

$$f_{vu} = 12 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{vu} = f_{vu}' k_h k_d k_c k_r k_v$$

$$f_{vu} = (12)(1.0)(1.0)(1.0)(1.0)(1.0) = 12 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_R = (0.7)(12.0)(5)(20) / 1.5$$

$$V_R = 560 \text{ kg.}$$

$V_R > V_U$, por lo tanto se acepta por cortante.

Deflexión (Flecha Δ).

$$\Delta = 5w L^4 / 384 EI$$

$$\Delta = 5 (2.43)(290)^4 / 384 (100000)(3333.33) = 0.72 \text{ cm}$$

$$I = bd^3 / 12$$

$$I = (5)(20)^3 / 12 = 3333.33 \text{ cm}^4$$

La flecha permisible.

$$\Delta = L/360$$

$$\Delta = 290 / 240$$

$$\Delta = 1.2 \text{ cm}$$

$0.72 < 1.2$, se acepta.

Ejemplo No 3.

Una viga simple tiene un claro de 14 pies y soporta una carga de 7200 lb, distribuida uniformemente en la longitud del claro. Diseñe la viga usando madera de pino clase B, con una flecha limitada a 0.5 pulgadas. Figura 118.

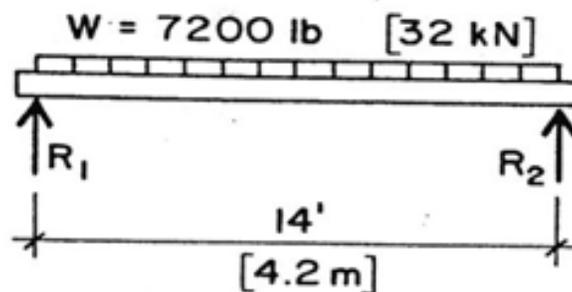


Figura 118.

Tomando los valores de las Normas Técnicas Complementarias.

Esfuerzo de flexión: $f_{fu} = 100 \text{ kg/cm}^2 = 1422.33 \text{ lb/in}^2$

Compresión perpendicular a las fibras: $f_{nu}' = 40 \text{ kg/cm}^2$

Cortante paralelo a la fibra: $f_{vu} = 12 \text{ kg/cm}^2 = 170.7 \text{ lb/in}^2$

Módulo de elasticidad promedio $E_{0.5} = 80\,000 \text{ kg/cm}^2 = 1137867 \text{ lb/in}^2$

Densidad promedio de la madera de pino: 550 kg/cm^3 .

Cálculo del módulo de sección.

El momento máximo es:

$$M_{\max} = wL / 8$$

$$M_{\max} = (7200)(14)/8 = 12600 \text{ lb-ft}$$

$$S = M_{\max} / f_{fu}$$

$$S = (12600)(12) / 1422.33 = 106.3 \text{ in}^3$$

Se multiplica por 12 para transformar lb-ft a lb-in, (1ft = 30.48 cm / 2.54 cm = 12)

De la tabla 5.1, pag. 38 del libro; Diseño Simplificado de Estructuras de Madera, Autor Parker-Ambrose buscamos las dimensiones de la viga cuyo módulo de sección sea casi igual al calculado.

Dimensiones b d en in.	Dimensiones estándar en in.	Área de la sección en in ²	Momento de Inercia en in ⁴	Módulo de sección en in ³	Peso aproximado para el pino México en lb.
4 x 14	3.5 x 13.5	46.375	678.475	102.41	154
6 x 12	5.5 x 11.5	63.250	697.068	121.229	211.27
8 x 10	7.5 x 9.5	71.250	535.859	112.83	236.09

Tabla 23. Dimensiones calculadas para escoger el módulo de sección.

Tomando el módulo de sección = 121.229 in^3

Aumentado el peso propio de la viga con estas dimensiones:

Peso de la viga = (Volumen de la viga) x (densidad de la madera de pino).

$$\text{Peso de la viga} = (0.1742)(550) = 95.83 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso de la viga} = 211.27 \text{ lb}$$

$$W_{\text{total}} = 7200 + 211.17 = 7411.27 \text{ lb}$$

$$M_{\max} = wL / 8$$

$$\text{Calculando el } M_{\max} = (7411.27)(14) / 8 = 12969.7 \text{ lb-ft.}$$

Calculando de nuevo el módulo de sección (fórmula de flexión).

$$S = (12969)(12) / 1422 = 109.67 \text{ in}^3$$

$109 < 121$, la sección se acepta.

Diseño por cortante.

Considerando que la fuerza cortante máxima se localiza en los extremos de la viga, siendo las reacciones $V_1 = V_2 = 3600 \text{ lb}$.

Tomando en cuenta el peso total $= 7411.27 \text{ lb} / 2 = 3705.635 \text{ lb}$

$$f_{vu} = 3V / 2bd$$

De la tabla tomamos el valor de la sección propuesta de $bd = 63.250 \text{ in}^2$

$$f_{vu} = 3(3705.638) / 2 (63.250) = 87.88 \text{ lb} / \text{in}^2$$

El valor admisible para la fuerza cortante es:

$$f_{vu} = 170.7 \text{ lb} / \text{in}^2$$

$87.88 < 170.7$ la sección de 6 x 12 pulgadas se acepta por cortante.

Cálculo de la flecha.

De la figura 119:

$$\Delta = 5wL^3 / 384EI$$

$$\Delta = 5(7411.27)[(14)(12)]^3 / (384)(1137867)(697.068) = 0.576 \text{ in}$$

De la gráfica página 89 (Diseño Simplificado de Estructuras de Madera, autor Parker- Ambrose) se encuentra un valor de 0.48, por lo tanto la flecha se acepta:

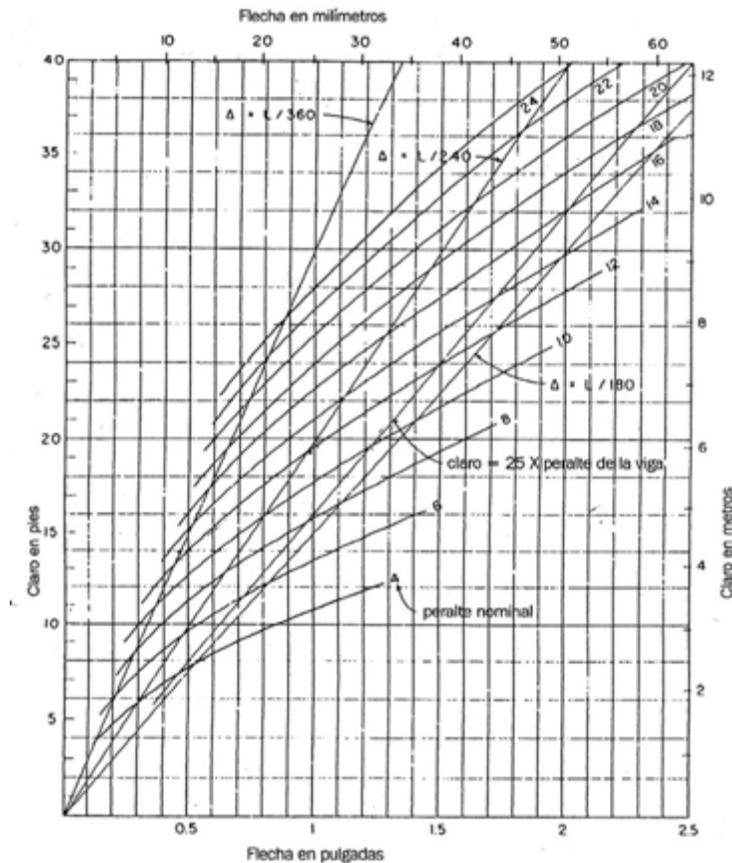


Figura 119.

Ejemplo No 4.

Diseño de los pies derechos del entramado de una pared de 2.4 m de altura el cual soportara las cargas siguientes.

Carga de 600 Kg / m (en compresión axial, debida a una cubierta de techo).

Carga de 40 Kg / m² (perpendicular al entramado debido a la presión del viento).

Se utilizará madera de pino clase B (NTC).

Se considera que el revestimiento transmite de manera uniforme la presión del viento a los pies derechos,

Los pies derechos se colocarán a una separación de 60 cm, arriostrados debidamente, figura 120. Para los entramados de corte los esfuerzos de diseño y el módulo de elasticidad señalados, podrán ser incrementados en un 10 %, suponiendo que el trabajo en conjunto de los elementos verticales de soporte compensa esfuerzos menores en algunas piezas.

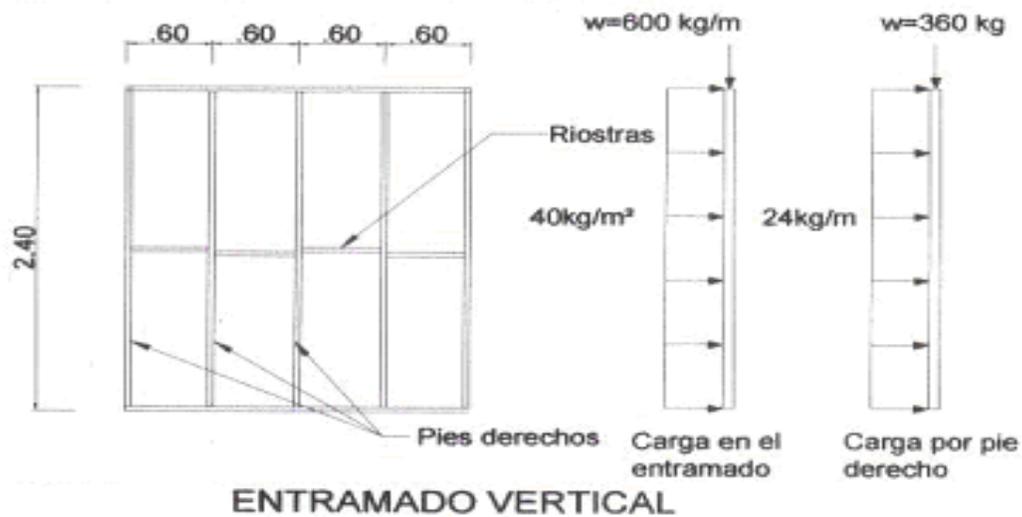


Figura 120.

Propiedades.	Aumentados en un 10 %
Esfuerzo de flexión f_{tu} 100 kg / cm ²	1.1 (100) = 110 Kg / cm ²
Esfuerzo de compresión paralela a la fibra 95 Kg / cm ²	1.1 (95) = 104.5 Kg / cm ²
Modulo de elasticidad promedio 80000 Kg / cm ²	1.1 (80000) = 88000 Kg / cm ²

Tabla 24. De las NTC, se tomaron los siguientes valores para los esfuerzos y módulo de elasticidad indicados.

Carga en compresión axial (N) para un pie derecho.

$$N = (600) (0.6) = 360 \text{ Kg}$$

Carga lateral (w) debida al viento sobre un solo pie derecho.

$$w = (40) (0.6) = 24.0 \text{ Kg / m}$$

Considerando una sección de 2 in x 4 in

Considerando una sección nominal de 1 ½ in x 3 ½ in (l=3.8 cm x b=8.89 cm).

Considerando b y h según el sentido "x" y el "y" para calcular el momento de inercia, $I = bh^3 / 12$.

Momento de inercia.

$$I_x = (3.8) (8.89)^3 / 12 = 229.48 \text{ cm}^4$$

$$I_y = (8.89) (3.8)^3 / 12 = 40.65 \text{ cm}^4$$

Módulo de sección.

$$S = bh^2 / 6$$

$$S_x = (3.8) (8.89)^2 / 6 = 50.05 \text{ cm}^3$$

$$S_y = (8.89) (3.8)^2 / 6 = 21.39 \text{ cm}^3$$

Separación máxima entre riostras, $l b / h = (240) (3.8) / 8.89 = 102.58 \text{ cm}$.

Esbeltez

$$\lambda = k l / 2b$$

Considerando $k = 1$ (pie articulado)

$$\lambda_x = (1) (240) / 2 (8.89) = 13.49$$

$$\lambda_y = (1) (240) / 2 (3.8) = 31.57$$

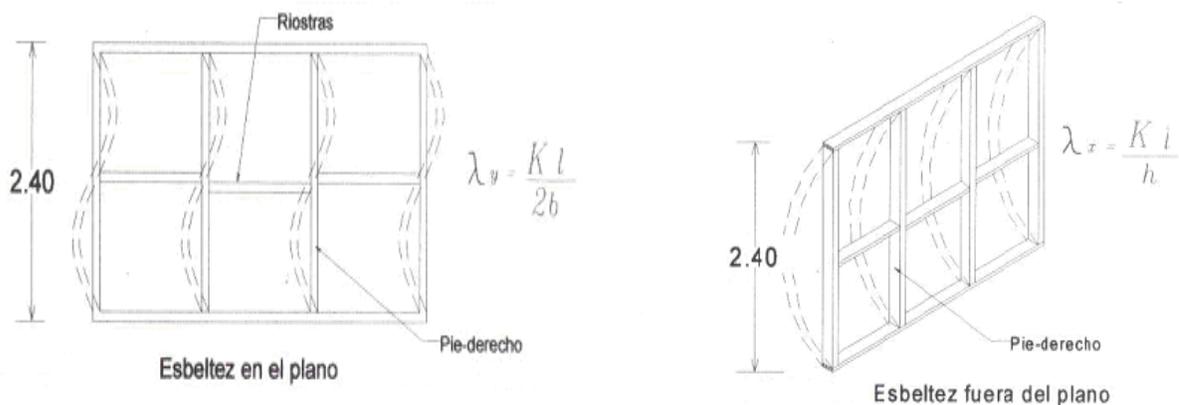


Figura 121. La esbeltez de los pies derechos de un muro de madera en el sentido del eje x y el eje y.

Cálculo C_k : donde C_k es una constante para elementos intermedios y largos de sección rectangular, que se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$C_k = 0.7025 \sqrt{E / f_{cu}}$$

$$C_k = 0.7025 \sqrt{88000 / 104.5} = 20.38$$

Como $\lambda_y > C_k$ el pie derecho es considerado un elemento largo.

Cálculo de la fuerza normal admisible (N_{adm}).

$$N_{adm} = 0.329 EA / \lambda_y^2$$

$$N_{adm} = 0.329 (88000) (33.782) / (31.57)^2 = 981.33 \text{ Kg}$$

Carga crítica de Euler ($N_{er} = \pi^2 EI / (kl)^2$).

$$N_{er} = (3.14)^2 (88000)(222.48) / (1 \times 240)^2 = 3351.27 \text{ Kg}$$

Cálculo $K_m = 1 / (1 - 1.5) N / N_{er}$

$$K_m = 1 / 1 - [1.5 (360 / 3351.27)] = 1.2$$

Aplicando la fórmula para elementos sometidos a compresión axial y flexión

La expresión es $N / N_{adm} + K_m M / S f_{fu} \leq 1$

$$360 / 981.33 + (1.2) (1140.48) / (50.05)(110) = 0.608$$

Por lo tanto como $0.608 < 1$ la sección pasa.

Nota la sección parece estar sobrada por lo tanto podemos proponer una menor, por ejemplo de 2"x 3"
Referencia "Reglamento general de edificaciones, Unidad 5, Santo Domingo, República Dominicana"

Análisis por volteo debido a la fuerza lateral del viento.

Momento de volteo = (Fuerza lateral) (Altura del muro) (Factor de seguridad)

(Fuerza lateral)(área)

$$(40 \text{ kg/m}^2)(2.4^2) = 230.4 \text{ kg}$$

$$\text{Momento de volteo} = (230.4) (2.4)(1.5) = 829.44 \text{ Kg-m}$$

Momento equivalente $M_e = w$ (1/2 la longitud del muro)

$$\text{Carga } (w) = (600 \text{ kg/m}) (2.4 \text{ m}) = 1440 \text{ kg}$$

$$M_e = (1440 \text{ kg}) (1.2 \text{ m}) = 1728 \text{ Kg - m}$$

En este caso el momento de volteo es menor que el momento equivalente o de reposición, por lo tanto se recomienda un anclaje normal a base de pernos con tuerca empotradas en una base de concreto o dala, otra solución sería utilizando tornillos.

IV. 5 Usos más frecuentes.

Los edificios que representan sin duda alguna el uso de la madera, en Europa, son las iglesias. Éstas se construían a base de troncos apoyados sobre soleras y éstas a su vez se apoyaban en una cimentación hecha a base de piedras. Los troncos se unían con lengüetas de madera y otros elementos, tales como cruces de San Andrés y vigas de sujeción, mientras que los techos tenían una gran pendiente. Esta técnica de construcción bastante estable perduro por muchos siglos, sin embargo se fue perdiendo a través del tiempo. Se dice que ya en la edad de bronce los carpinteros usaban los ensambles de caja y espiga y la herramienta que se utilizó a principios del siglo I, se siguió utilizando posteriormente por muchos siglos. La madera era principalmente de coníferas y robustos robles, una de las iglesias más antiguas utilizó uno solo de estos magníficos robles, por sus anillos se considera que tenía una edad de aproximadamente 600 años.

Fue en Noruega donde este sistema recibió el nombre de construcción en tonel o método de las duelas, debido principalmente a los elementos verticales que formaban la estructura. La mayoría de estas iglesias se encuentran en Suecia, Noruega y Francia, figura 122.

El sistema a base de duelas dio paso en el siglo XIV al sistema a base de troncos, este cambio surgió en Escandinavia. Ya en los tiempos de los romanos se usaba esta técnica y abarcaba países como Inglaterra y la Europa Central. Una vez descubierta América el sistema de construcción de viviendas con troncos paso a los Estados Unidos y Canadá.

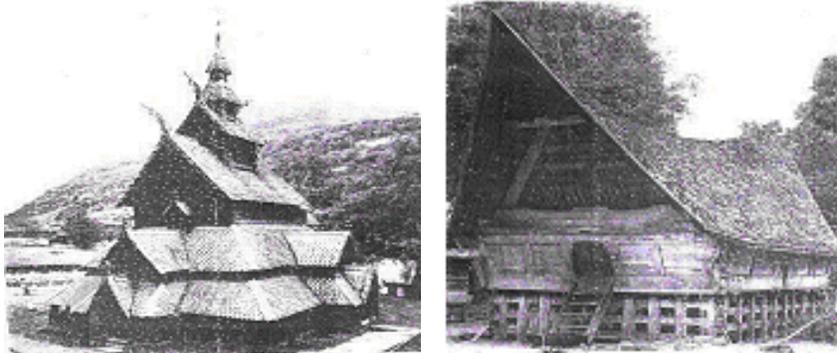


Figura122. Primeras estructuras de madera.

La construcción de una vivienda de madera fue evolucionando pasando por la cimentación, la base o piso, los muros de madera, entresijos y la estructura de la techumbre, a medida que avanzaba la construcción se iban considerando los diferentes revestimientos para ayudar a la rigidez de la estructura, así como los arrostamientos que ayudaban a soportar las diferentes fuerzas debidas al viento y a los sismos.

En general los sistemas que se han desarrollado tienen que ver con la longitud de los elementos estructurales que los componen y de la distancia que hay entre los apoyos. Estos claros también llamados luces determinan los sistemas estructurales.

Estas luces pueden ser de claros menores o de claros mayores, las estructuras de claros menores se clasifican en estructuras de madera maciza (troncos), estructuras a base de módulos y estructuras de entramados.

Estructuras de madera maciza.

Este tipo de estructuras representa un gran peso y una gran rigidez, la disposición de sus piezas hace que las cargas estén perpendiculares a la fibra, esta disposición facilita el montaje de las piezas, debido a sus dimensiones se tiene muy buen aislamiento térmico, sin embargo debido a esta orientación la madera sufre grandes cambios dimensionales afectando de manera significativa el funcionamiento de puertas y ventanas. La figura 123 muestra algunos cortes especiales para unir las esquinas.



Figura 123. Casa de madera construida con troncos.

Estructuras de madera a base de módulos prefabricados.

Este sistema constructivo surge ante la necesidad de mejorar los tiempos de terminación así como de garantizar el producto. La mayoría de los elementos que forman la estructura son elaborados en lugares especiales, industrias o talleres, cuya aplicación se ha ido extendiendo conforme ha ido mejorando la mecanización. Estos sistemas están formados básicamente por módulos o paneles de medida estándar, donde se arma un bastidor de madera de pino de dos pulgadas por tres pulgadas, unido con clavos, cuyo arrostamiento es proporcionado mediante un tablero de madera contra chapada, de partículas orientadas o de aglomerado, figura 124. Estos paneles funcionan como diafragmas, dándole gran rigidez a la estructura. Además cada uno de estos paneles va provisto de la instalación eléctrica, sanitaria y la debida protección contra el fuego.



Figura 124. Bastidores de madera con revestimiento de tableros, armado en módulos.

Estructuras de entramados de madera maciza.

Son estructuras cuyos elementos básicos están formados por vigas, pies derechos, columnas y postes. En la actualidad se distinguen dos métodos, aquellos donde las vigas transmiten las cargas a través de los postes y pies derechos hacia la cimentación y el formado por paneles que transmiten las cargas a la cimentación.

Cuando se requiere salvar grandes claros, se requiere utilizar madera maciza en pies derechos, poste y vigas, dejando grandes áreas libres. Estos postes o pilares están empotrados en vigas inferiores llamadas soleras o directamente en la cimentación de concreto. De esta manera se forma la plataforma del primer piso, todos los demás elementos de madera van unidos mediante cortes especiales y rebajos, para formar ensambles y traslapes, así como uniones a base de caja y espiga; los pies derechos y vigas forman pórticos, arriostrados con elementos unidos a ellos, cerchas rectas o curvas, formando pares y correas para unir los pares y la estructura de la techumbre, figura 125.



Figura 125. Estructura con elementos de madera maciza.

Sistema de armazón.

Otro sistema de construcción denominado armazón de globo (ballon frame) o de paneles soportantes, es una variación de los anteriores. Por su ligereza es utilizado en construcciones de dos niveles, consiste en elementos verticales continuos desde la cimentación hasta el nivel requerido. Los pies derechos constituyen el apoyo para el piso y entrepiso, este último es la base de apoyo para la techumbre.

El método constructivo permite colocar la estructura y la cubierta de la techumbre, una vez colocados los pies derechos, lo que permite seguir trabajando en los diferentes revestimientos, así como la colocación de instalaciones eléctricas y sanitarias. Con el tiempo este sistema ha ido cayendo en desuso ya que no se presta a una producción estándar, figura 123.

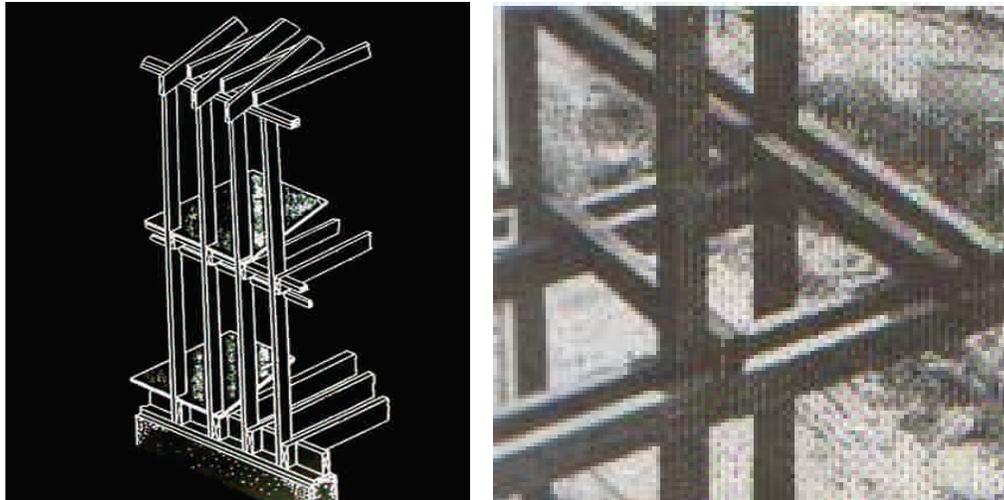


Figura 126. Sistema de armazón con elementos verticales de madera.

Sistema de plataforma (Timer Frame).

Este método constructivo es el más utilizado para viviendas de madera. Su principal ventaja es que el primer piso y el entrepiso permiten la colocación de los muros soportantes; además de que en las plataformas se puede seguir trabajando de forma independientemente.

La plataforma se puede armar en una cimentación a base de pilotes empotrados en pilas de concreto, en zapatas corridas o sobre una losa de concreto armado, mientras que por otro lado se pueden armar los muros del primer piso y entrepiso, figuras 127 y 128.

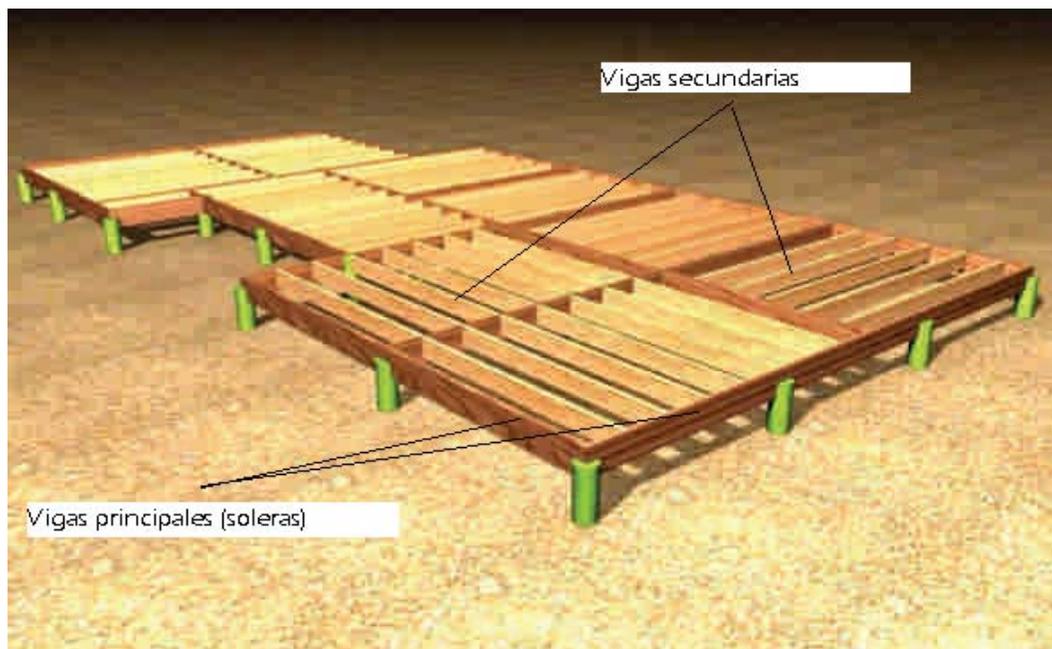


Figura 127. Plataforma de madera sobre pilotes de madera.

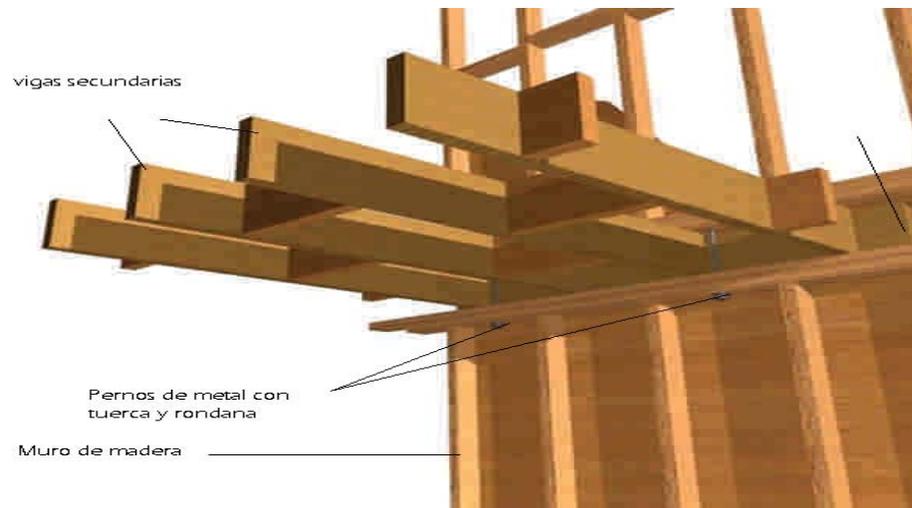


Figura 128. Entramado para la plataforma del entrepiso.