

CARACTERÍSTICAS GENERALES Y EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA Y LOS MEDIOS DE UNIÓN.

Ing. Lilliana Condom Bueno¹.

*1. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca
Km.3, Matanzas, Cuba.*

Resumen.

Actualmente en Cuba las estructuras de madera son una opción muy atractiva para las construcciones relacionadas con el turismo. Las estructuras de madera presentan complejidad en el diseño ya que es difícil encontrar elementos de grandes dimensiones por lo que es necesario unir determinadas piezas, de ahí surgen las uniones o nudos que representan una de las mayores complicaciones en el diseño de este tipo de estructuras. Para desarrollar estas uniones se emplean elementos de fijación mecánica (pernos, pasadores, tornillos). En la presente investigación se abordan de manera general cuestiones referentes a la madera y a los productos derivados de ella existentes en la actualidad. Se profundiza en el empleo de la madera como material de construcción abarcando uno de los puntos de mayor conflicto en el diseño de estas estructuras: las uniones. Además contiene elementos claves de la evolución de las uniones en estructuras de madera a lo largo de la historia, lo que está estrechamente relacionado con el desarrollo de los medios de unión, profundizando en las uniones por medio del empleo de pasadores metálicos.

Palabras claves: Madera; uniones; nudo; pasadores.

Introducción.

La madera indudablemente ha estado presente a lo largo de toda la historia de la humanidad, formando parte indiscutible de la evolución del ser humano, usada por este en una diversidad de esferas, facilitando y mejorando sus condiciones de vida a lo largo de la historia, desde ser un instrumento de caza, proporcionarle fuego para calentarse en el invierno y cocinar, hasta formar parte en la actualidad de inmensas edificaciones de indiscutible belleza.

En Cuba, la madera ha sido utilizada desde la etapa colonial, fundamentalmente en las cubiertas de los edificios y muchas veces como soporte de entrepisos. Actualmente la madera sigue siendo un material atractivo y se usa frecuentemente en construcciones para el turismo. Igualmente su empleo es frecuente en apuntalamientos, encofrados y su presencia en decorados de ambientes interiores es muy agradable.

Es de vital importancia para todos los ingenieros que pretendan emplearla como material de construcción, saber diseñar correctamente los elementos de la estructura que se quiera lograr para obtener un aprovechamiento máximo de sus propiedades, dando lugar a un buen diseño económico y resistente.

La construcción de estructuras de madera se dificulta por la ausencia de elementos de grandes dimensiones, lo que provoca que éstas estructuras estén constituidas por elementos independientes de madera que deben unirse para conformar la estructura deseada, de ahí que el diseño de estas uniones sea uno de los problemas fundamentales. Las uniones constituyen la parte más complicada y delicada de la construcción de este tipo de estructuras. En la actualidad existe una gran variedad de soluciones y formas para unir elementos de madera, dependiendo de la forma de la unión, de sus elementos, de los medios de fijación, así como de las fuerzas y cargas que afecten la estructura.

Desarrollo.

Actualmente en Cuba las uniones en las construcciones de madera se realizan fundamentalmente por medio del empleo de pasadores metálicos, puesto que se está en presencia de estructuras que son afectadas por grandes solicitaciones o presentan grandes luces a vencer. Por tal motivo el presente trabajo profundizará en el diseño de las uniones en estructuras de madera mediante este tipo de elemento de fijación mecánica.

1. Generalidades referentes a la madera.

Desde sus comienzos, el ser humano ha transformado su entorno para adaptarlo a sus necesidades, empleando todo tipo de materiales naturales que, con el paso del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se han ido transformando en distintos productos mediante determinados procesos de industrialización.

La madera no puede limitarse a un período determinado más o menos largo de la humanidad, prácticamente el hombre la ha empleado en la agricultura, la pesca, la ingeniería, la vivienda, entre otras, durante el transcurso de la historia.

La madera es un material natural y orgánico. Se puede definir como la parte sólida y rígida que se encuentra bajo la piel de los tallos leñosos en forma de tejido vascular. La estructura celular de la madera es fundamentalmente fibrosa, ya que está compuesta principalmente por células largas y esbeltas denominadas fibras. Estas células tienen una forma tubular hueca, cuya longitud sigue la dirección longitudinal del tronco (para el transporte de agua y nutrientes durante su crecimiento). Esto proporciona a las piezas cortadas de madera el diferente comportamiento mecánico en las distintas direcciones, típico en la madera, distinguiendo la dirección longitudinal o paralela a la fibra y transversal o perpendicular a la misma. Suministra una referencia para observar diferentes acciones estructurales relacionadas con la fibra; es decir si son paralelas, perpendiculares u oblicuas a ella. De los numerosos factores que influyen en su resistencia, los más importantes son: la densidad, los defectos naturales y su contenido de humedad. La madera como tal es un material heterogéneo y anisótropo, es decir, que ciertas propiedades físicas y mecánicas varían según la dirección que se considere. Tiene gran resistencia con relación a su peso, principalmente a tensiones normales (Schickhofer, 2013).

De lo descrito anteriormente se desprende que el comportamiento estructural de la madera es muy bueno si existe correspondencia entre la dirección del esfuerzo y la orientación de las fibras. A medida que se desvían las direcciones de tensiones y fibras su rendimiento empeora llegando a comportarse francamente mal para alguna solicitación específica como la tracción perpendicular a las fibras, solicitación para la que la madera apenas tiene capacidad de respuesta (Argüelles Álvarez, 2010).

La madera es el material de construcción más ligero, resistente y de fácil trabajo utilizado por el hombre en variadas esferas. Abunda en casi todas las partes del mundo, es probablemente el único recurso renovable que se utiliza a gran escala. Su extracción, elaboración, transportación y montaje es relativamente fácil. Es además utilizado como aislante térmico y acústico. A pesar de ser un material combustible es notable su resistencia

al fuego, ya que al carbonizarse la cara exterior esta protege de las llamas la sección interior.

Antiguamente en las zonas de abundantes bosques la madera constituía la totalidad de la edificación, desde su estructura hasta los cerramientos y la cubierta. En zonas de menor cantidad de madera se empleaba para la estructura horizontal y la cubierta.

Actualmente existe cierto rechazo al uso de la madera como material estructural, siendo más habitual el empleo de acero y hormigón. Este cambio se debe fundamentalmente a dos condicionantes, que son la durabilidad de este tipo de estructuras y la disponibilidad de secciones grandes y piezas de largos considerables. Con la evolución de la tecnología se ha logrado mejorar las propiedades de la madera, dando lugar a nuevos productos, con mejores propiedades y resistencias. Un ejemplo claro de esta afirmación es la madera laminada, que permite lograr estructuras muy resistentes a los agentes xilófagos y de grandes dimensiones.

2. La madera como material estructural. Productos.

Existe una gran variedad de productos basados en madera, que se emplean como material estructural, entre los que se destacan:

Madera enteriza en rollo: procede de las prácticas de aclareo forestales. Los diámetros están comprendidos entre los 10 y 20 cm, aproximadamente, con largos que por lo general no llegan a los 10 m (Argüelles Álvarez, 2010).

Madera aserrada estructural: es la utilizada para fines portantes y que ha sido sometida a un procesado mínimo de transformación que no incluye ni encolados ni ensambles de unión dentada, y que se obtiene mediante aserrado longitudinal del tronco y cepillado. Se utiliza principalmente en estructuras de luces pequeñas (4 a 6 m) y medias (6 a 17 m). Se presenta con gruesos diversos. Para grandes escuadrías sus dimensiones son: 15 x 20 cm; 20 x 20 cm y 20 x 25 cm (Schickhofer, 2013).

Madera empalmada estructural: se realiza empalmado mediante dentado múltiple madera aserrada estructural. Las especies habituales son picea, pino, abeto y alerce. Los largos llegan a 14 m. Las dimensiones transversales varían de 60 a 120 mm de espesor y de 120 a 240 mm de altura. Una característica muy importante es que se trata de una madera seca y en consecuencia mucho más estable. Las clases resistentes habituales corresponden a las clases C24 y C30 (Argüelles Álvarez, 2010).

Madera aserrada encolada: corresponde a los denominados dúos y tríos. El dúo está formado por dos piezas encoladas cara con cara más la unión en dentado múltiple. La longitud llega hasta 18 metros y las escuadrías de anchos que varían de 80 a 160 mm alcanzan hasta los 240 mm de altura. En cuanto al trío sus anchos varían de 180 a 240 mm y sus alturas de 120 a 220 mm. Clases resistentes habituales: C24 y C30 (Argüelles Álvarez, 2010).

Madera laminada encolada: Constituye un producto de aplicación estructural compuesto por láminas, normalmente de una sola especie de madera. Las láminas de madera se

superponen y encolan entre sí por sus caras y en sentido paralelo a las fibras. Las especies más habituales para la fabricación de madera laminada encolada son las especies de coníferas picea, abeto, pino y alerce, aunque también se pueden utilizar especies de frondosas como el haya, fresno, roble, castaño, eucalipto o chopo (Schickhofer, 2013).

Asimismo, en función de la calidad de las láminas pueden ser:

- **madera laminada encolada homogénea:** dispone de una sección transversal en la que todas las láminas son de la misma calidad (clase resistente), y a la misma especie (o combinación de especies).
- **madera laminada encolada combinada:** dispone de una sección transversal en la que láminas interiores y exteriores son de calidades diferentes (clases resistentes) o a especies (o combinaciones de especies) diferentes.

Estructuralmente la madera laminada encolada es el producto más relevante. Su consumo en Cuba es en comparación con el existente en otros países, muy reducido. Al estar compuesta de láminas de pequeños grosores existe un mayor control de calidad y del contenido de humedad. Habitualmente se utilizan las clases resistentes: GL 24h, GL 24c, GL 28h y GL 28c. Los adhesivos que se utilizan son resinas de melamina-urea-formaldehído (MUF) muy eficaces en situaciones de exterior y de incendio y de menor incidencia en el medio ambiente, con la ventaja añadida al tener un color blanco traslucido de no mostrar líneas oscuras habituales en los adhesivos de resorcina-fenol-formaldehído (PF). Su inconveniente es una mayor exigencia en las variables de fabricación y en su control. La gama de anchuras habituales es la siguiente: 80, 100, 110, 130, 140, 160, 180, 200 y 220 mm. De precisarse anchos mayores puede recurrirse a acoplar en cada lámina dos tablas, contrapeando las juntas al tresbolillo. La altura máxima depende del fabricante pero está en el entorno de los 2400 mm (Argüelles Álvarez, 2010).

Madera microlaminada: Material compuesto por chapas de madera con las fibras orientadas esencialmente en la misma dirección (no se excluye la presencia de chapas orientadas perpendicularmente). En algunos casos especiales con el objeto de mejorar las prestaciones se puede incorporar en el alma una serie de chapas encoladas con la dirección paralela entre sí pero perpendiculares a la de las chapas de la cara y contracara (suelen representar el 20 % total de las chapas). El espesor de chapas es de 5 mm como máximo (Schickhofer, 2013).

Madera reconstituida: Se obtiene aplicando calor y presión a chapas, tiras o virutas de madera, encoladas previamente, en las que predomina su longitud frente a las dimensiones de su sección transversal (Argüelles Álvarez, 2010).



Figura 1.1: Madera laminada.

Fuente: Tomado de Argüelles Álvarez, 2010.

3. Antecedentes y estado actual de las uniones y medios de unión en estructuras de madera.

El progreso de la construcción de las estructuras de madera está profundamente relacionado con el desarrollo tecnológico de los medios de unión. Las uniones tienen una relevante importancia en el diseño y cálculo estructural, aún más que en las construcciones de acero. La dificultad de su proyecto y ejecución se debe al comportamiento anisótropo de la madera que se manifiesta con propiedades resistentes muy diferentes según la dirección de los esfuerzos respecto a la orientación de las fibras. La unión es un posible punto débil que es necesario estudiar con mucho cuidado ya que su fallo puede ocasionar un colapso total o parcial de la estructura.

Hasta prácticamente el siglo XX solamente se realizaban uniones carpinteras acompañadas de algún elemento metálico utilizado como medio de afianzamiento. Al intervenir en esta clase de uniones casi exclusivamente en la madera se transmiten por contacto y sin dificultad los esfuerzos de compresión.

Los esfuerzos de tracción entre piezas de madera son difíciles de transferir, ideándose soluciones más o menos ingeniosas. Dos ejemplos de éstas corresponden a la construcción de puentes:

En uno, Ithiel Town (1784-1844), sustituye los montantes y diagonales de las vigas trianguladas principales del puente por una celosía de dos planos, mucho más tupida, en la que se reparten entre varias barras los esfuerzos de tracción o compresión que debería asumir una sola ellas. La doble celosía del alma intercalada entre las dos piezas que forman los cordones se enlaza utilizando clavijas de madera que transmiten los esfuerzos mediante sollicitaciones de corte. Un ejemplo es el puente de Rotenbrücke construido en el cantón Appenzel Ausserrhoden en 1862 de 16 metros de luz (Argüelles Álvarez, 2010).

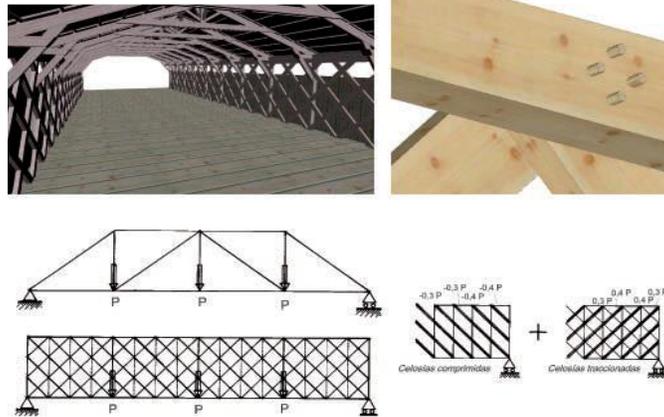


Figura 1.2: Puente de Rotenbrücke. Sustitución de montantes y diagonales por una celosía doble del alma.

Fuente: Tomado de Argüelles Álvarez, 2010.

En otro, William Howe (1803-1852) resuelve un problema similar con una ocurrencia brillante: incorpora como montantes de la viga principal redondos de hierro pretensados. A los esfuerzos de tracción generados por las cargas han de sumarse las compresiones aportadas por los redondos de acero dando como resultado fuerzas resultantes de compresión, lo que permite resolver fácilmente la unión. Uno de los puentes más atrevidos realizado con este sistema es el construido en 1857 en Suiza en el cantón de Graubünden de 56,2 metros de luz (Argüelles Álvarez, 2010).

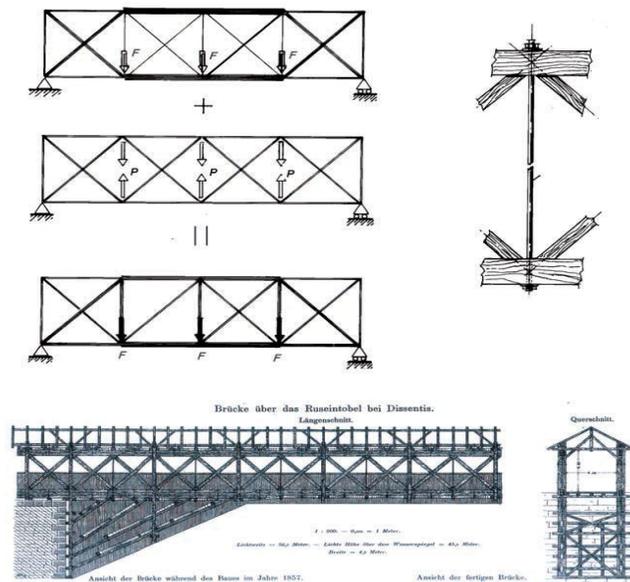


Figura 1.3: Puente de Graubünden.

Fuente: Tomado de Argüelles Álvarez, 2010.

Durante siglos el desarrollo de las uniones dependió de la experiencia y habilidad de los maestros carpinteros, desconocedores en cierta medida de los esfuerzos que debía soportar el medio de unión y de su capacidad de carga.

Realmente, hasta el siglo XIX y principalmente en el XX, coincidiendo con la presencia de nuevos medios de fijación, no se pudieron despejar estas incertidumbres con la fiabilidad suficiente. Es entonces cuando se produce una verdadera explosión de diferentes modelos estructurales de madera.

No es hasta comienzos del siglo XX cuando los tacos de madera (principalmente roble), utilizados hasta entonces para formar piezas compuestas con el fin de realizar empalmes de barras sometidas a esfuerzos de tracción, o para incrementar la capacidad de resistencia a la flexión de las vigas, son reemplazados por conectores de acero que en sus comienzos son placas dobladas en forma de U o de V.

Posteriormente, al comienzo del siglo XX se desarrollan conectores de anillo (ver figura 1.4) introducidos de modo ajustado entre dos piezas de madera. Estos conectores permiten transmisiones de cargas más elevadas en piezas de mayor escuadría, principalmente en estructuras de madera laminada encolada. El uso de un material más resistente facilita el diseño de uniones de apariencia más ligera. Entre los años 1920 y 1930 se produce un auténtico auge de esta clase de llaves registrándose más de 60 patentes en EEUU.



Figura 1.4: Conectores de anillo.

Fuente: Tomado de Argüelles Álvarez, 2010.

El clavo, subordinado a un papel secundario durante muchos años al no concedérsele una capacidad de carga significativa, no alcanza protagonismo hasta que los ensayos, hacia 1925, demuestran que su comportamiento resistente y su rigidez son los de un buen conector, permitiendo diseñar uniones de barras de secciones reducidas con gran facilidad. Su aplicación en la fabricación de cerchas y vigas de celosía se intensifica durante la Segunda Guerra Mundial (Arriaiga Martitegui, et al., 2010).

Es en los años cincuenta de la pasada centuria es cuando, según las exigencias de los esfuerzos, se realizan pórticos y vigas de sección en doble te, cuyas cabezas están formadas por dos o más piezas de madera aserrada clavadas al alma, constituida, según el caso, por

dos planos contrapeados de tableros de tablas aserradas o por una celosía doble de tablas. En los pórticos principales del almacén de carbón construido en Altdorf (cantón Uri) en 1954 se combinan dentro de la misma barra estos dos modelos de almas, en función de los esfuerzos cortantes que recibe la zona afectada.

Entre los años 1950 y 1960 se presenta en Estados Unidos un desarrollo espectacular en la fabricación de piezas de sección en doble T con alma de tablas aserradas y cabezas de madera clavadas.

Las estructuras de madera laminada aparecen a principios del siglo XX cuando el maestro carpintero alemán Friedrich Otto Hetzer patenta por primera vez en 1901 las vigas rectas. Posteriormente, el 22 de junio de 1906 registra también con el número 197773, una patente de un sistema de vigas curvas. La estrategia que sigue es utilizar piezas de pequeña escuadría llegando a formar piezas de tamaño casi ilimitado. Es a partir de la exposición mundial de Bruselas en 1910 cuando se conoce el producto que tuvo un desarrollo espectacular en Europa, sobre todo en Suiza. En 1920 existían más de doscientos edificios fabricados con la patente de Hetzer.

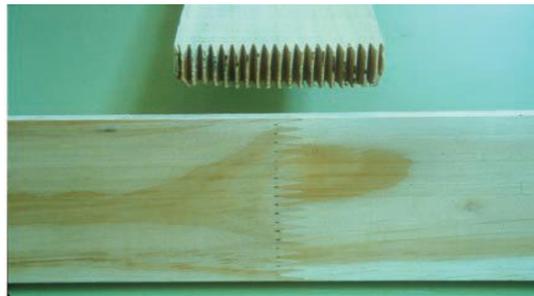


Figura 1.5: Unión en dentado múltiple.

Fuente: Tomado de Argüelles Álvarez, 2010

En 1923 Max Hanisch, socio de Hetzer, emigra a Estados Unidos para promocionar la madera laminada encolada. Inicialmente tuvo poco éxito. Su primera obra de cierta relevancia fue un gimnasio en Peshigo (Wisconsin) con pórticos de 19,50 metros de luz. Fue el Forest Products Laboratory el que colaboró en su desarrollo a través de un programa de ensayos de las piezas destinadas a la construcción del propio laboratorio (Argüelles Álvarez, 2010).

Durante la segunda guerra mundial, debido a las restricciones existentes en el suministro de acero, se produce un desarrollo espectacular. En esta época la evolución de los adhesivos sintéticos permitió utilizar la madera laminada en cualquier situación. Su aplicación actual más característica son las vigas de cubiertas de grandes luces y los edificios de uso público. Si bien las posibilidades del material desde el punto de vista estructural son grandes, hay cierta tendencia a repetir tipos estructurales y sistemas de conexión.

En lo que respecta a los adhesivos, tras el uso de las resinas de resorcina formaldehído con elevadas prestaciones en situaciones de exterior y de incendio, existe la tendencia a la utilización de otros adhesivos con menor incidencia en el medio ambiente como ocurre con

las resinas de melamina, que además tienen, un color blanco traslúcido, pero con el inconveniente de una mayor exigencia en las variables de fabricación y control.

A mediados del siglo pasado, dos ingenieros, Paul Metzger (Alemania) y Komrad Sattler (Austria), pusieron los cimientos que potencian la capacidad de resistencia de las uniones. La idea es la siguiente: una clavija es un vástago, en general de acero, que penetra en la madera y le transmite esfuerzos en dirección perpendicular a su eje. Debido a que la clavija es en general una pieza esbelta, su influencia sobre la madera que la rodea está limitada solamente a una parte de su longitud. Para mejorar la eficiencia de la unión se puede optar por sustituir la sección completa por dos o más secciones de madera de menor tamaño o, lo que es más operativo, insertar una o más placas de acero que generen para la misma sección varias superficies de corte. Fundamento de la mayoría de los sistemas de conexión desarrollados, entre otros, por Walter Greim, Willi Menig, Julius Natterer, Ernst Gehri y Herman Blumer (Argüelles Álvarez, 2010).



Figura 1.6: Se intercalan placas de acero para mejorar el rendimiento de la unión.

Fuente: Tomado de Argüelles Álvarez, 2010.

Con estas ideas se han ido desarrollando modelos de conexión en los que se pone a prueba el ingenio y conocimiento de los proyectistas. Las uniones ideadas que reproducen comportamientos estructurales de rótulas, enlaces rígidos, empotramientos en la cimentación, empalmes de barras, ensambles viga/pilar, nudos de celosías, nudos de emparrillados, nudos de estructuras espaciales etc., están presentes en numerosas construcciones ya realizadas y su buen comportamiento está suficientemente sancionado por la experiencia adquirida. El exceso de elementos metálicos en determinadas estructuras de madera aconseja considerar dichas construcciones como un híbrido madera-acero.

4. Las uniones de madera en las construcciones. Clasificación según forma y medios de unión.

Las estructuras en madera se conforman uniendo dos o más elementos independientes que convergen en un punto, conformando la estructura soportante. Estas intersecciones de elementos estructurales dan origen a nudos o uniones (sectores más vulnerables de las construcciones de madera), los cuales deben ser resueltos en el diseño considerando aspectos estructurales (resistencia y transmisión de las cargas), arquitectónicos (si quedará a

la vista o no el nudo) y constructivos (procedimientos y consideraciones para la materialización de la unión).

Al realizar un proyecto con estructuras de madera resulta sencillo el diseño de sus elementos, pero el diseño de las uniones es uno de los aspectos más difíciles e importantes. Es complejo lograr que las uniones en la práctica se comporten como fueron modeladas en el diseño, además de que la madera es un material que puede considerarse homogéneo pero no isótropo, porque su resistencia en la dirección de las fibras, tanto en tracción, en compresión, como a cortante es muy distinta a su resistencia en sentido perpendicular a estas, por tanto no resiste los mismos esfuerzos en todas las direcciones lo que hace más complejo dicho diseño.

Las maderas que ofrece la naturaleza se dan en dimensiones no muy grandes, y en consecuencia para emplearlas en la construcción es indispensable en muchas ocasiones que se prolonguen, se ensanchen o refuercen, además de que no es posible obtener las formas de la estructura de una sola pieza, sino que hay necesidad de enlazar los diferentes elementos, a fin de obtener la trabazón suficiente de las piezas y su armónica colaboración estática.

Las uniones deben ser eficaces y duraderas a pesar de los cambios que puedan ocurrir en los elementos durante la vida útil de la estructura (grado de humedad ambiental o deformaciones bajo las cargas). La laborabilidad de la madera permite realizar dichas uniones mediante cortes y elementos auxiliares que garantizan la transmisión de los esfuerzos.

Las uniones entre piezas de madera pueden clasificarse atendiendo a diversos criterios. A continuación se recogen los dos más empleados (Arriaiga Martitegui, et al., 2010):

Por la forma del encuentro: se denominan empalmes cuando las piezas se enlazan por sus testas, ensambles cuando las piezas se cortan formando un determinado ángulo y acoplamientos cuando las piezas se superponen por sus caras.

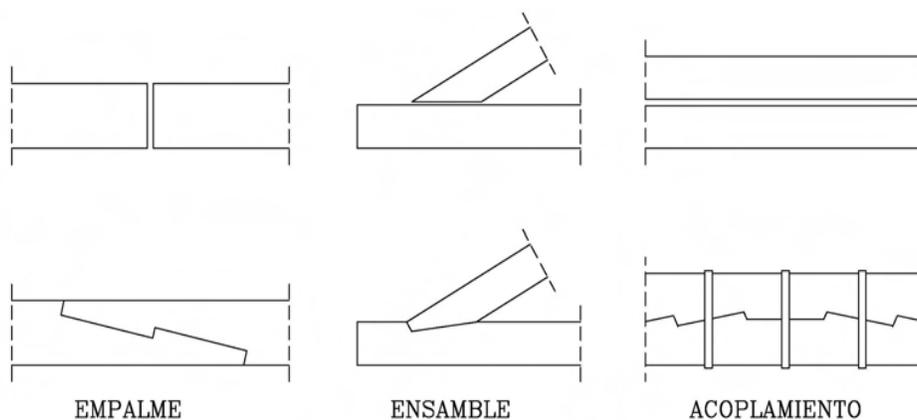


Figura 1.7: Empalmes, ensambles y acoplamientos.

Fuente: Tomado de Arriaiga Martitegui, et al., 2010.

Por el medio de unión empleado:

a. Uniones carpinteras: son aquellas uniones en las que las piezas se unen mediante un trabajo de carpintería (caja y espiga, rebajes, esperas, etc.). También se conocen como uniones madera – madera, se efectúan conectando madera con madera sin utilizar piezas metálicas salvo como enlace o refuerzo. En estas uniones la penetración mutua de las secciones produce deformaciones superiores a las elásticas admisibles. Generalmente se utilizan grandes secciones superiores a las necesarias, producto a los esfuerzos que se transmiten. Existen pocas soluciones para transmitir los esfuerzos de tracción, por ello la organización de la estructura se diseña con barras en compresión. Se emplean menos como resultado de la llegada de las secciones compuestas y los medios de unión modernos que han modificado los criterios de diseño, la composición de las estructuras y las uniones de sus elementos.

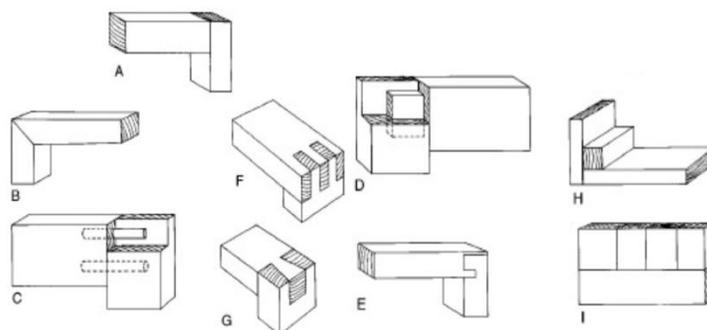


Figura 1.8: Uniones carpinteras (madera-madera): A, plana; B, biseccional; C, tarugada; D, cajuela y espiga; E, ensambladura de lengüeta y ribete; F, dentada; G, cola de milano; H, reforzada; I, Ranura y espiga.

Fuente: Tomado de Vick, 1999.

b. Uniones encoladas: son las uniones logradas por medio del empleo de adhesivos para la transmisión de los esfuerzos (madera laminada encolada, enlaces rígidos mediante barras encoladas, etc.). Este tipo de unión es muy usada en la madera laminada, en especial en las uniones *fingerjoint* de las cabezas de las láminas.

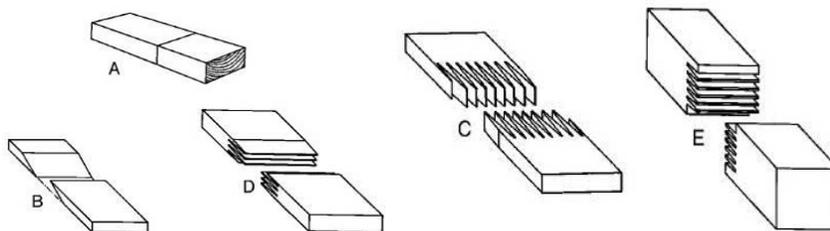


Figura 1.9: Uniones encoladas: A, unión de punta; B, unión de corte simple; C, unión vertical estructural *fingerjoint*; D, unión horizontal estructural *fingerjoint*; E, unión no estructural *fingerjoint*.

Fuente: Fuente: Tomado de Vick, 1999.

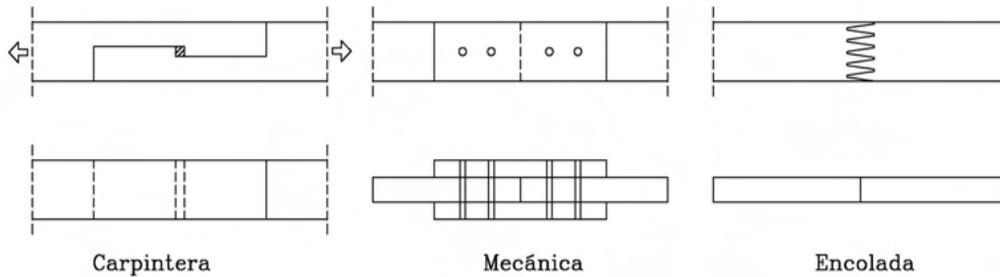


Figura 1.10: Unión de empalme carpintera, mecánica y encolada.

Fuente: Tomado de Arriaiga Martitegui, et al., 2010.

c. Uniones mecánicas: son aquellas uniones que utilizan herrajes para la transmisión de esfuerzos (clavos, pernos, tirafondos, conectores); dentro de las uniones mecánicas se diferencian dos tipos de medios de unión en función del modo de transmisión de los esfuerzos:

El primer tipo está constituido por los “conectores” (anillo, placa, dentados y placa clavo). El esfuerzo se transmite a través de una mayor superficie. Se emplean cuando es necesario transmitir cargas elevadas y en elementos de madera de mayor sección. Incluyen los conectores, las llaves y las placas clavo. Se usan en uniones madera – madera o madera – acero.

El segundo tipo recoge a las denominadas “clavijas” y corresponde a los clavos, grapas, tornillos, pernos y pasadores.

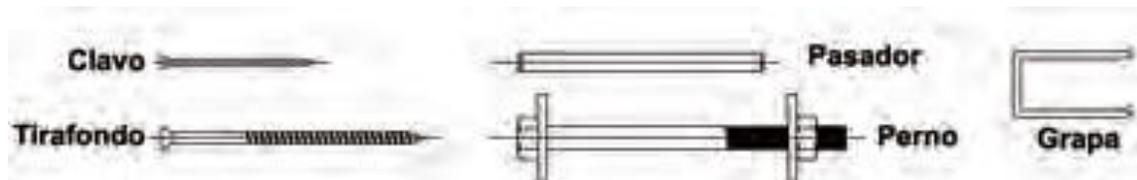


Figura 1.11: Clavijas: clavos, grapas, tirafondos, pernos y pasadores.

Fuente: Tomado de Arriaiga Martitegui, et al., 2010.

Los clavos, pernos, pasadores, grapas o tirafondos atraviesan las piezas de madera que unen generando esfuerzos de aplastamiento localizados en las fibras de madera y flexiones y cortante en el vástago de las clavijas. Cada caso de medio de unión trabaja de una manera propia y diferente a las demás. En el caso del presente trabajo se profundizará en las uniones realizadas mediante pasadores metálicos ya que actualmente en nuestro país son los elementos de fijación más empleados en las construcciones de madera.

Elementos de unión:

Los elementos de unión juegan un papel importante en las estructuras de madera. Un buen diseño y cálculo de los mismos junto con una buena ejecución disminuyen drásticamente la

aparición de problemas posteriores. Los principales factores que se tendrán en cuenta en la planificación de los detalles de la unión son (ver figura 1.12.) (Llinares Cervera, et al., 2010):

- Los tipos e intensidades de esfuerzos que deben transmitir (cargas estáticas, dinámicas, tracción, compresión, flexión, cizallamiento, etc.).
- La geometría de las barras a unir (barras en un mismo eje, o encuentros con un ángulo).
- El tipo de sección de las barras a unir (sección rectangular, circular, compuesta, etc.).
- Las exigencias de montaje (prefabricación, etc.).
- Las exigencias estéticas.

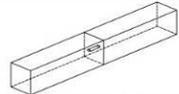
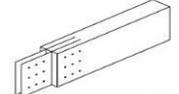
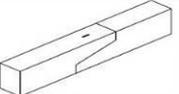
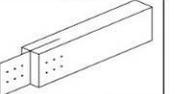
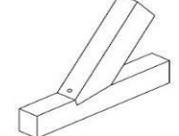
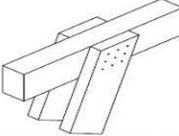
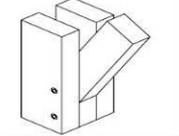
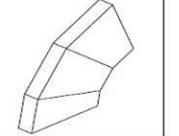
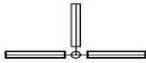
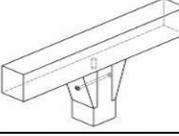
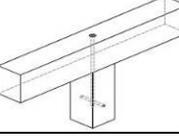
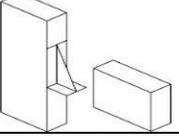
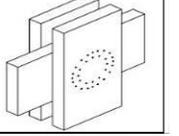
Geometría de la unión	Tipo de esfuerzos			
	Compresión 	Tracción 	Cortante 	Flexión 
				
				
				

Figura 1.12: Diferenciación de las uniones según la geometría y el tipo de esfuerzo transmitido

Fuente: Tomado de Llinares Cervera, et al., 2010.

El diseño de una unión será más acertado cuando cumpla los tres requisitos siguientes:

- Simplicidad: cuanto más sencilla sea la unión mejor será el resultado estético y mecánico, así como su cálculo.
- Mínimo material auxiliar: cuantos menos herrajes se necesiten mejor será el comportamiento al fuego y más limpio será su aspecto.
- Fabricación y montaje: serán preferibles las soluciones que requieran un proceso de fabricación y de montaje más sencillo. (Arriaiga Martitegui, et al., 2010)

5. Pasadores metálicos.

Los pasadores son elementos de fijación mecánica desmontable de forma cilíndrica o cónica, sus extremos pueden variar en función de su aplicación. Se emplean para unir dos o más piezas provocando su inmovilización (pasador de sujeción), o asegurando la posición relativa entre las piezas (pasador de posición) a través de un orificio común, en ocasiones es necesario realizar diversos procesos de preparación del agujero, para obtener una inserción adecuada. También se puede utilizar como elemento de guía o articulación.

Existe una gran variedad de tipos y tamaños estándar de pasadores disponibles, cada uno con una aplicación determinada: pasadores estriados, pasadores con cabeza, pasadores abiertos o de aletas; que a su vez, pueden disponer una espiga roscada en el extremo del pasador o vástago, para, con la ayuda de una tuerca, facilitar o evitar su extracción, según los casos, además de diseños especiales para ciertas aplicaciones. Poseen un uso muy variado tanto en la industria como en la construcción.

Los pasadores son elementos que no pueden soportar esfuerzos de tracción, pero pueden absorber esfuerzos de cortante, endureciéndolos para resistir lo máximo posible. Se fabrican principalmente de acero, ya que por su alta resistencia y por la gran variedad de aceros disponibles, permite que puedan usarse en condiciones muy dispares de esfuerzos, corrosión, etc. Los pasadores deben ser más duros que las piezas que van a unir.

Tipos de pasadores:

a. Pasador cilíndrico: Se emplea como elemento de fijación y de posicionamiento entre dos o más piezas. La fijación de estos pasadores se realiza mediante un ajuste con apriete sobre una de las piezas y con juego sobre la otra.

b. Pasador cónico: Se emplea para asegurar la posición relativa de elementos mecánicos que se montan y desmontan con relativa frecuencia, puesto que la forma cónica del vástago facilita el centrado de las piezas. Tiene una conicidad de 1:50. El alojamiento cónico del pasador se debe mecanizar una vez ensambladas las piezas.

c. Pasador cónico con espiga roscada: Se utiliza allí donde la extracción de un pasador cónico normal resultaría complicada. Tiene una conicidad de 1:50. Al apretar la tuerca auxiliar, el pasador se extrae con facilidad.

d. Pasador ajustado con cabeza: Es un elemento de unión empleado en articulaciones que tienen habitualmente juego. Se asegura por medio de arandelas y pasadores de aletas o bien va provisto de extremo roscado.

e. Pasadores estriados: Estos tienen tres entalladuras longitudinales, las cuales se desplazan 120° alrededor de la periferia. De acuerdo a la diferente configuración de las entalladuras se emplean diferentes tipos de acabado. Los pasadores estriados se golpean en perforaciones sencillas, sin frotación, el asentamiento fijo resulta a través de la deformación elástica de los refuerzos de las entalladuras. Estos pueden ser empleados hasta 20 veces.

f. Pasadores autoperforantes: Dispone de una punta especial que permite la perforación de chapas de acero. De esta manera su colocación se realiza con la ayuda de una plantilla y una máquina de taladrado perforando la madera y la placa o placas metálicas interiores.

Presenta mayor precisión y ajuste que los pasadores normales. Disponen de una cabeza tipo Allen para su acoplamiento al taladro con una zona roscada que permite el desmontaje, un fuste liso y una punta perforante. Este tipo de pasadores resulta de mayor eficacia comparativamente con el pasador normal, cuando se utilizan menores diámetros y más planos de corte.



Figura 1.13: Pasador autoperforante.

Fuente: Tomado de Arriaiga Martitegui, et al., 2010.

Conclusiones.

Existen variados sistemas de conexiones para las estructuras de madera. Los mismos pueden variar desde empalmes madera-madera por la forma de la conexión y uniones encoladas hasta las que emplean medios mecánicos de acero para lograr la transmisión de esfuerzos entre una y otra. La evolución de estas uniones fue acelerada a partir de la segunda mitad del siglo XIX, cuando se comenzaron a realizar experimentos para su estudio y desarrollo. En la actualidad, para las uniones muy esforzadas, es muy común el empleo de uniones con placa y pasadores metálicos, por lo cual en las estructuras de madera que se ejecutan en Cuba esta unión se repite con acentuada frecuencia.

Bibliografía.

- Argüelles Álvarez, R. (2010). Uniones: Un reto para construir con madera. Madrid: Real Academia de Ingeniería.
- Arriaiga Martitegui, F., Argüelles Álvarez, R., Íñiguez González, G., Esteban Herrero, M., & Fernández Cabo, J. L. (n.d.). Uniones en estructuras de madera. In F. Arriaiga Martitegui, G. Íñiguez Gonzalez, M. Esteban Herrero, J. L. Fernández Cabo, & R. Argüelles Álvarez, Guía de la madera. Madrid: CONFEMADERA HÁBITAT.
- Campos Cisneros, R. M. (2007). Monografias.com. Recuperado el 23 de Abril de 2014, de <http://www.monografias.com/trabajos48/maderas/maderas2.shtml>
- Colectivo de autores. (1984). Manual de diseño para maderas del grupo andino. Lima. Perú: Junta del acuerdo de Cartagena.
- García Gei, I. D. (2004). Conexiones de las piezas de madera. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.
- Isoba, D., Borrego, I., Banderas, I., Vinardell, I., & Álvarez, I. M. (2002). Propuesta Norma Cubana Estructuras de Madera Aserrada y Laminada Encolada. Métodos de Cálculo.
- Llinares Cervera, M., Queipo de Llano Moya, J., Gonzales Rodrigo, B., Villagra Fernández, C., & Gallego Guinea, V. (2010). Conceptos básicos de la construcción con madera. In M. Llinares Cervera, J. Queipo de Llano Moya, B. Gonzales Rodrigo, C. Villagra Fernández, & V. Gallego Guinea, Guía de construir con madera. Madrid, España: CONFEMADERA.
- Miller, R., Simpson, W., TenWolde, A., Green, D., Winandy, J., & Soltis, L. (1999). Wood handbook—Wood as an engineering material. Madison: Forest Products Laboratory.
- Schickhofer, G. (2013). Productos de madera para la construcción: productos lineales y superficiales, propiedades, medidas y aplicaciones. Austria: proHolz Austria.
- Vick, C. (1999). Adhesive Bonding of Wood Materials. In Colectivo de autores, Wood handbook—Wood as an engineering material. Madison, EEUU: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Vignote Peña, S. (2006). Tecnología de la madera (3ª edición ed.). Mundi prensa libros.
- Yero Montiel, L. (2002). Trabajo de Diploma: Madera y metales para la construcción. Universidad de Camagüey. Facultad de Construcciones. Especialidad de Arquitectura.