

## TECNOLOGÍAS DE LA MADERA APLICADAS AL DISEÑO DE ESTRUCTURAS

En los países desarrollados nunca se había trabajado tan intensamente en el desarrollo de la construcción con madera como en los últimos diez años.

La madera se utiliza en la estructura con una amplia variedad de formatos que incluyen productos de mayor o menor grado de transformación, que conviven y son vigentes en la actualidad. En los últimos años, la industria de los productos derivados de la madera con uso estructural está claramente dirigida hacia los productos prefabricados con propiedades mecánicas elevadas y tipificadas, consiguiendo de esta manera superar las limitaciones de la madera natural (anisotropía, variación según la especie y en el mismo árbol, dimensiones, higroscopicidad, defectos y anomalías).

A continuación se describen algunos productos con sus aplicaciones y el estado del arte en tecnología de la madera aplicada a las estructuras.

### MADERA ASERRADA

La madera maciza en estructuras aparece principalmente como madera aserrada en los sistemas de entramado ligero para la construcción de viviendas.

La madera aserrada también es empleada como estructura para las cubiertas o para los entrepisos en construcciones realizadas con otros materiales. Dentro de este campo pueden incluirse las obras de rehabilitación donde muchas veces se prefiere una estructura más liviana de modo de incidir lo menos posible en la construcción existente.

Un inconveniente a la hora de utilizar este tipo de piezas es que es frecuente encontrar limitaciones en las escuadrías: 12" x 12" (30cm x 30cm) y en los largos: 13 a 16 pies (de 4 a 5 metros).



Fig. 18. Estructura de cubierta de madera aserrada

En el campo de las construcciones de una o dos plantas, la tecnología no ha variado mucho desde hace muchos años. En Europa las líneas de investigación y desarrollo en el campo de la construcción con entramado ligero se han orientado desde hace unos años hacia los edificios de media altura (4 o 5 plantas). En la mayoría de las ciudades europeas las viviendas se desarrollan en edificios de varias plantas y por lo tanto, para competir en este mercado era



Fig. 17. Triangulación de vanos por medio de diagonales de madera. Construcción del pabellón de la U.R.S.S. en la Exposición Internacional de las Artes Decorativas en París (Melnikov, 1925)

necesario investigar y experimentar este tipo de construcción con el fin de resolver los problemas que presenta en el caso de la madera. Es así que en 1996 se inició una acción europea (Acción Cost E5) para el estudio de los aspectos técnicos que deben resolverse en la construcción de mediana altura. Se analizaron los temas de aislación acústica, seguridad frente a incendios, diseño y cálculo estructural, efectos del sismo, posibilidades arquitectónicas, etc.

Técnicamente la construcción de edificios de 5 plantas con entramado ligero de madera es viable; de hecho existen construcciones de hasta 7 plantas en EEUU desde hace más de una década.

## MADERA INDUSTRIALIZADA

### Madera laminada encolada<sup>1</sup>

La madera laminada encolada aparece a principios del siglo XX cuando el alemán Friedrich Otto Hetzer obtuvo su primera patente en 1901 para vigas rectas, como resultado de una búsqueda de superar las limitaciones de la madera natural. La estrategia que sigue es utilizar piezas de pequeña escuadría, abundantes en el mercado, para fabricar piezas de tamaño casi ilimitado. Debido a las restricciones que existían para el acero durante la II Guerra Mundial, la madera constituía una alternativa muy oportuna favoreciendo enormemente el desarrollo de la madera laminada en los EEUU. Se estima que en 1942, se ahorraron más de 360.000 toneladas de acero estructural al construir con madera. Se utilizó para la construcción de edificios, hangares para aviones, palets, cajas de transporte e incluso en aviones.

La madera laminada es un componente estructural industrializado realizado mediante encolado<sup>2</sup> de láminas de madera maciza escuadrada de igual espesor (entre 15 y 50mm), con la dirección de la fibra sensiblemente paralela. Su altura varía entre 20 y 200 cm. Por lo general las piezas se unen entre sí por medio de unión finger-joint<sup>3</sup> en sentido longitudinal y una pieza sobre otra, pegadas con adhesivo en las caras (figs. 19 y 20). Esto es lo que permite tener elementos estructurales de largos mayores a 30 m.

Para vigas de entre 20 y 30 cm de canto, se usa una única lámina por capa. Para cantos mayores, se unan dos o más láminas en una misma capa, encolándose los bordes en contacto.



Fig. 19. Piezas unidas para conformar una viga laminada

Este tipo de producto nos permite utilizar varios tipos de madera en una misma pieza según los requerimientos estructurales lográndose bajar los costos del producto; por ejemplo se pueden utilizar mejores calidades de madera en los extremos de una viga (con una resistencia mayor al esfuerzo cortante) y en el resto de la pieza se puede utilizar una madera de menor calidad. La madera laminada es un producto industrial que se ha utilizado en el mundo desde hace muchos años, pero en las últimas cuatro décadas su uso se ha incrementado notoriamente. Este producto tiene una alta aplicación en la vida cotidiana de las sociedades desarrolladas,

<sup>1</sup> Ver también *Uniones encoladas*, pág 54

<sup>2</sup> También existe la **madera laminada clavada** realizada mediante el clavado de láminas de madera maciza escuadrada, y la **madera laminada reforzada** por medio de fibras sintéticas encoladas con resinas en las zonas traccionadas.

<sup>3</sup> La técnica de uniones dentadas (finger-joint) tiene entre sus principales aplicaciones el ensamblado de extremos de piezas de madera, el cual constituye actualmente un medio de gran potencial para mejorar el rendimiento de la materia prima en la industria del aserrado y elaboración de la madera, pues permite valorizar piezas cortas de escaso valor o revalorizar piezas de tamaño comercial de baja calidad. Este tipo de unión está constituida por una serie de dientes equidistantes de forma trapezoidal dispuestos en los extremos de cada una de las piezas, con determinadas características geométricas dependiendo del destino del elemento a ensamblar.



Fig. 20. Sistema de unión finger-joint

desde la construcción de edificaciones hasta reemplazar productos que provienen de recursos naturales, por lo que ha adquirido un alto valor industrial y social.

Es un material renovable, acumulador natural de energía solar, poco necesitado de energía de transformación, no produce agentes contaminantes y es completamente reutilizable o reciclable.

La elaboración en Uruguay de madera laminada es muy reciente y escasa, por lo que hay un gran desconocimiento de sus propiedades así como de sus posibilidades por parte de técnicos y actores de la construcción en general. En el país se fabrica por

lo general con eucaliptus grandis y pino taeda, uniendo piezas entre sí por medio del sistema de unión finger-joint.

El campo de aplicación más característico de la madera laminada son las grandes luces y los edificios de uso público.

Las posibilidades de este material desde el punto de vista arquitectónico son muy grandes.



Figs. 21 - 22. Museo Interactivo en la ciudad de Santiago y Complejo Palacio de la Moncloa en Madrid, ambos edificios con estructura de madera laminada

Los adhesivos típicos para la fabricación de la madera laminada en la actualidad son las resinas de resorcina formaldehído cuya eficacia en el uso exterior y frente situaciones de incendio son muy elevadas y respaldadas por una larga experiencia. Sin embargo, recientemente existe la tendencia a la utilización de adhesivos con menor incidencia negativa en el medio ambiente (emisión de formaldehído y residuos tóxicos) como ocurre con las resinas de melamina<sup>1</sup>. Además éstas tienen un color blanco translúcido dando lugar a superficies más uniformes.

Normalmente, la madera laminada es fabricada con maderas con un peso específico mayor o igual a  $500\text{kg/m}^3$ , especificada en las normas de cada país, seca en cámara y con un contenido de humedad inferior al 14%.

Con el fin de conseguir una economía de material aparecen sistemas de refuerzo con fibras sintéticas encoladas con resinas que se disponen en las zonas traccionadas (Fig. 23). Se puede conseguir un 25% de reducción de madera, pero habría que añadir el costo del refuerzo y valorar si es aceptable la pérdida de sección en caso de incendio.

<sup>1</sup> En Uruguay se utiliza como adhesivos los de urea formaldehído y resorcinol formaldehído, siendo sólo el último adecuado para uso exterior.





Fig. 23. Secciones de madera laminada: una reforzada con fibras sintéticas (derecha) y la otra no.

Una de las líneas de investigación que se está desarrollando en la actualidad es la utilización en obras al exterior (ver fig. 24). Tiene un interés especial, ya que aborda directamente una aplicación que parecía reservada a otros materiales como el acero y el hormigón, descartándose, desde un principio, la durabilidad de la madera. Los resultados demuestran que la madera es competitiva y que puede trabajar conjuntamente tanto con el hormigón como con el acero en soluciones mixtas.



Fig. 24. Ejemplo de una pasarela en Lugo (España) de 25 metros de luz, y un puente en Pontenova (España) de 40 metros de luz, formado por un tablero suspendido de arcos triarticulados. Ambas estructuras están realizadas enteramente de madera laminada.

### Principales características y propiedades de la madera laminada

Dadas sus características naturales y adecuados diseños, la madera laminada ofrece grandes ventajas con respecto a otro tipo de estructuras (como las de acero u hormigón), tales como:

- Livianidad
- Aislación térmica: como ya se mencionó, la madera tiene una transmitancia térmica inferior a los materiales tradicionales, lo que significa excelentes propiedades aislantes.
- Flexibilidad: se logran diseños de formas diversas, cubriendo grandes luces sin apoyos intermedios.
- Mayor resistencia mecánica que las vigas de madera aserrada.
- Resistencia química: En ambientes ácidos o alcalinos no reacciona con agentes oxidantes o reductores.
- Resistencia al fuego: La madera laminada resiste por largo tiempo una eventual exposición ante las llamas. Muchos ensayos han demostrado que sólo se compromete 1,5 a 2,0cm de la superficie exterior



## Tableros derivados de la madera y paneles prefabricados

Los tableros derivados de la madera son productos industrializados con características que pueden ser: similares a la madera natural (tableros de: madera compensada y multicapa); modificadas (tableros de partículas y de fibras: OSB y aglomerados) y las que se apartan totalmente de la madera (tableros de: MDF, durabord y madera-cemento).

Estos tableros tienen como objetivo principal constituir un elemento constructivo para el relleno y cerramiento de superficies, con propiedades físicas y mecánicas muy parecidas en cualquier dirección del plano del tablero.

Además de la misión de cerramiento entre las piezas secundarias de la estructura para recoger las cargas que se aplican sobre entresijos, cubiertas o fachadas, también tienen otra función de vital importancia para la construcción con entramado ligero, que es la de actuar como diafragmas. El diafragma se forma mediante la colaboración entre viguetas, pares o pilares de los muros con el tablero, formando una viga de gran canto que, por su resistencia al descuadre, permite la rigidización del conjunto de la construcción.

### Tablero de madera compensada (contrachapado)



Fig. 25. Tablero contrachapado o compensado

Está formado por un número impar de chapas encoladas, dispuestas simétricamente y de manera que la dirección de la fibra de una chapa sea perpendicular a la siguiente. De esta forma se consigue un material con propiedades mecánicas parecidas en todas las direcciones del plano del tablero. Los adhesivos empleados son resinas fenólicas o de resorcina. Es el tablero para uso estructural más típico. El uso más frecuente es portante y de arriostramiento en elementos superficiales para muros, entresijos y cubiertas.

Dentro de los contrachapados se encuentran los tableros fenólicos, plywood y algunos tipos de tableros multicapa.

### Tablero multicapa (alistonados)



Tablero alistonado

Se compone de tres o cinco tableros alistonados encolados (listones de madera maciza forrados con una hoja de madera) colocados a contrafibra. Las capas exteriores tienen por lo general de 4 a 9 mm de espesor y las interiores son de 4 a 50 mm. El tipo y calidad de la madera, así como los diferentes grosores de las capas, determinan valores mecánicos diferentes para tableros de igual espesor. Las dimensiones del tablero van de 13 a 75 mm de espesor, 1,25 a 3 m de ancho y de 5 a 25 m de longitud (con empalmes dentados).

Su uso más frecuente es como elemento portante y de arriostramiento para muros, entresijos y cubiertas, y en fachadas trasventiladas.

### Tablero OSB (o de virutas orientadas)

Es un tipo de tablero de aparición más reciente y también tiene una orientación específica para el uso estructural, aunque es frecuente su empleo como material de revestimiento en interiores e incluso exteriores.



Fig. 26. Tablero de virutas orientadas (OSB). A la derecha: uso estructural de los tableros como alternativa al contrachapado.

Está fabricado con tiras de madera alineadas entre sí, que luego son unidas y colocadas en varias capas mediante el uso de adhesivos químicos. Estas capas, posteriormente son prensadas de acuerdo a una orientación predeterminada, otorgándole al tablero características de alta resistencia y rigidez.

En muchas de las aplicaciones estructurales los tableros OSB están sustituyendo a los tableros contrachapados, al que, en cierta manera, es similar.

Un uso reciente de este material es en la fabricación de viguetas mixtas confección en doble T sirviendo de alma a dos cabezas de madera maciza o laminada (ver fig. 35)

### Tablero aglomerado (o de partículas)



Es un tablero de partículas fabricado con chips, virutas de madera y aserrín, que son mezclados con adhesivos, para luego ser prensados en grandes placas planas de diversos tamaños y espesores. Lo ideal es que las partículas queden paralelas al plano de superficie. Sus aplicaciones estructurales son menos frecuentes que en los casos anteriores, ya que la mayoría de la producción se orienta a la carpintería no estructural (puertas, muebles, etc.). Su aplicación más típica como elemento resistente es la de base de cubiertas y a veces como cerramiento de entresijos.

Fig. 27. Tablero de partículas o aglomerado

### Tablero hardboard (de fibras duro o duraboard)

Fabricados a partir de fibras húmedas a gran presión y elevada temperatura, empleando las resinas naturales contenidas en las mismas o adhesivos. Su densidad varía entre 800 y 1000 kg/m<sup>3</sup> (requiriéndose al menos una densidad de 950 kg/m<sup>3</sup> para un uso estructural) y su espesor no supera los 5mm por lo general. Se usa principalmente en la industria del mueble y de la carpintería de puertas. Al igual que el tablero OSB, el hardboard se utiliza también como alma de viguetas mixtas doble T.



Fig. 28. Tablero hardboard y viguetas doble T con alma de hardboard, las cabezas son de madera maciza.

### Tableros MDF (o de fibras de densidad media)

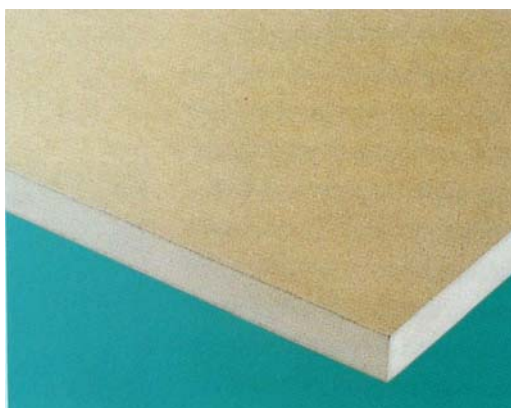


Fig. 29. Tablero MDF o de fibras de densidad media

El tablero MDF (del inglés Medium Density Fiberboard) se fabrica extrayendo la fibra de celulosa de los chips de madera, que luego se mezcla con adhesivos y posteriormente se prensa en caliente en grandes placas planas de distintos formatos y espesores. Su densidad está comprendida entre 600 y 800 Kg/m<sup>3</sup> (para usos estructurales la densidad mínima aceptable es de 650 kg/m<sup>3</sup>). Desde el punto de vista estructural tiene menos aplicaciones todavía que el tablero aglomerado ya que presenta una deformación por fluencia más acusada. Es efectivo como elemento rigidizador en muros panelizados, cubiertas y falsos techos, pero debe despreciarse su efecto en entrepisos y paneles de cubierta.

### Tableros de madera-cemento



Fig. 30. Tablero de madera cemento

Combinación de cemento portland y partículas de madera, que actúan como un armado, sometida a una elevada presión. Su densidad es del orden de los 1000 kg/m<sup>3</sup>. Ejerce una función portante y rigidizadora si se emplea para revestir elementos superficiales de madera. Con una protección adecuada puede emplearse como revestimiento exterior. Tiene una favorable clasificación de reacción al fuego.



### Paneles sándwich y prefabricación

Los paneles sándwich son productos prefabricados formados por un alma de material aislante (generalmente espumas sintéticas) y dos paramentos derivados de la madera. A veces los paneles incluyen barrera de vapor y hasta un enrastrelado para la colocación de la teja en la cubierta; en otros casos, más simples, el panel sólo dispone de un tablero en una de las caras; y algunos tipos, denominados paneles armados, incluyen largueros de madera maciza en el alma del panel para conseguir una mayor capacidad de resistencia a la flexión. Su empleo más típico es el de panel de cubierta (fig. 31).

La utilización de paneles de madera prefabricados de manera generalizada da lugar a la construcción denominada panelizada (ver *Nuevos sistemas* en pg. 33). Con los paneles se fabrican los cerramientos y fachadas, las cubiertas y los entrepisos. En este caso se prefabrica toda la construcción en taller y el montaje en obra se realiza en unos pocos días (fig. 32).



Fig. 31. Colocación de paneles sándwich.

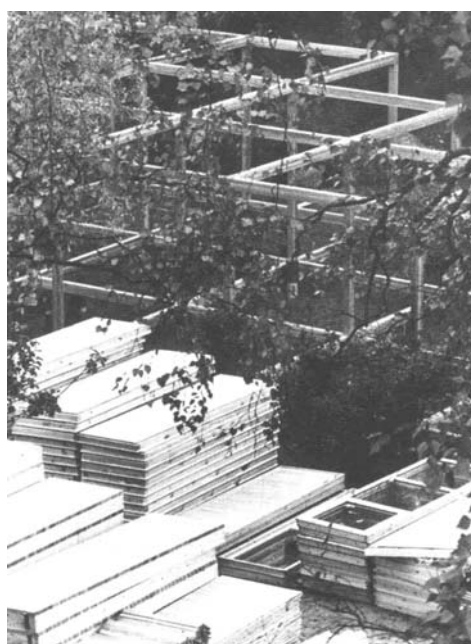


Fig. 32. Construcción panelizada basada en la prefabricación de entrepisos, muros y cubiertas.

### **Nuevos productos industrializados de uso estructural**

Hace unos 15 o 20 años se desarrollaron en EEUU una serie de productos para uso estructural que, bajo la denominación genérica en inglés de *engineering wood products*, han invadido el mercado de la industria de la madera bajo sus siglas en inglés: madera microlaminada (LVL, *Laminated Veneer Lumber*), madera reconstituida o perfiles aglomerados de astillas (PSL, *Parallel Strand Lumber*), viguetas en doble T, etc. Sus objetivos son los siguientes: aprovechamiento máximo de los rollos de pequeño diámetro y obtención de productos de alta resistencia y propiedades con reducida variación y completamente tipificados. En este sentido estos productos se asemejan a los productos normalizados de los perfiles de acero.

### Madera microlaminada (LVL)

Está formada por el encolado, con resinas fenólicas, de chapas con la fibra en una misma dirección (al contrario de lo que ocurre con los tableros contrachapados). En algunos casos se coloca una pequeña proporción de las chapas en sentido transversal. El espesor de las chapas varía entre 2,5 y 4,8 mm y se emplean especies coníferas (pinos). La pieza resultante tiene canto variable de entre 27 y 89 mm, un ancho máximo de 1800 mm y una longitud de hasta 26 m.

A partir de este producto se obtienen perfiles de sección rectangular que son utilizados como vigas, sustituyendo a los perfiles metálicos a los que era necesario recurrir anteriormente. Su resistencia a la flexión es del orden del doble de la resistencia de una madera maciza de calidad normal. Esta mejora se consigue gracias al laminado que en la práctica elimina el efecto de reducción en la resistencia que tienen los nudos y otros defectos naturales de la madera. También se utiliza como pilares, cerchas y alas de perfiles prefabricados.

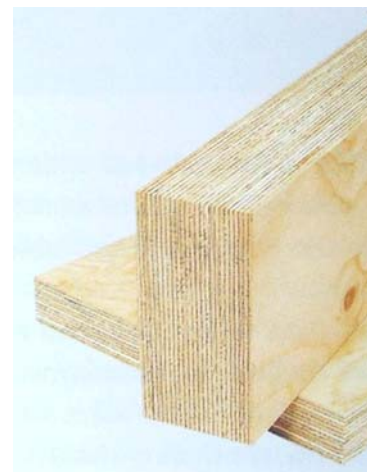


Fig. 33. Madera microlaminada

### Madera reconstituida o perfiles de aglomerado de astillas (PSL)



Fig. 34. Vigas y pilares de PSL; a la izquierda unión abulonada; a la derecha, en primer plano, unión mediante pieza de acero galvanizado de gran resistencia (en segundo plano vigas doble T).

Se obtiene por encolado, con resinas fenólicas, y prensado de grandes astillas de madera (se utilizan especies coníferas) de 0,8 mm de espesor, 25 a 30 mm de ancho y 300 mm de largo, dispuestas en sentido longitudinal o transversal al eje principal. Se fabrica en sección rectangular con un canto de hasta 483 mm, un ancho de 280 mm y largos de hasta 20 metros. Sus propiedades mecánicas son similares a las de la madera microlaminada y se utilizan como vigas y pilares en general.

### Perfiles prefabricados

Son productos estructurales, generalmente con sección en doble T, aunque también puede ser en cajón.

#### *Perfiles doble T*

En estos perfiles las cabezas pueden ser de madera aserrada, laminada o microlaminada y el alma de tablero de hardboard, de OSB, de compensado o de metal. Este tipo de alma permite resistir el esfuerzo cortante con facilidad ya que su resistencia a tal esfuerzo es elevada en las dos direcciones principales, en cambio en la madera maciza, como ya se vio, queda limitada a la resistencia por deslizamiento de las fibras.



Fig. 35. Perfiles doble T: con alma de tablero hardboard (izquierda), con alma de tablero OSB (medio), con alma de chapa metálica (derecha)



Entramado de vigas de madera microlaminada y perfiles doble T con alma de tablero OSB.

Una de las principales ventajas de este producto es que se consigue una gran rigidez con un peso propio muy reducido (entre 3 y 9 kg/m). La rigidez se alcanza al utilizar cantos elevados (de hasta 310 mm) y cabezas de material con módulo de elasticidad alto.

En países desarrollados este tipo de viguetas está desplazando a la madera aserrada.

Por lo general se las deja ocultas ya que no están pensadas para quedar vistas además no tienen suficiente estabilidad al fuego por sí mismas.

Con este tipo de soluciones se alcanzan luces de hasta 30 m.

#### *Viguetas con alma de nervios de acero:*

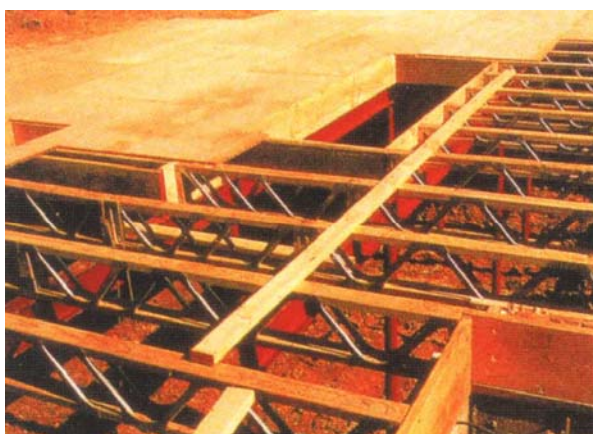


Fig. 36. Viguetas con alma de nervios de acero

Están formadas por madera maciza en las alas y alma de acero triangulada. Son aptas para ser utilizadas en pórticos de grandes luces, como correas de cubierta y como elementos de entrevigado en entrepisos. Tienen la ventaja de ser muy ligeras. Empleadas como correas, son capaces de cubrir luces mayores a 13 m.

Su altura varía de entre 254 a 564 mm y las alas llegan a 72 x 120 mm. Se calculan mediante programas específicos de ordenador.



### Perfiles en cajón:

Son vigas formadas por un cordón superior y otro inferior de madera aserrada o madera laminada, con revestimientos laterales a ambos lados de madera aserrada en diagonal o también con placa de OSB o contrachapado fenólico. En su interior y en los extremos se ubican montantes verticales de madera que colaboran a resistir los esfuerzos de corte y a rigidizar las tapas laterales a distancias modulares.

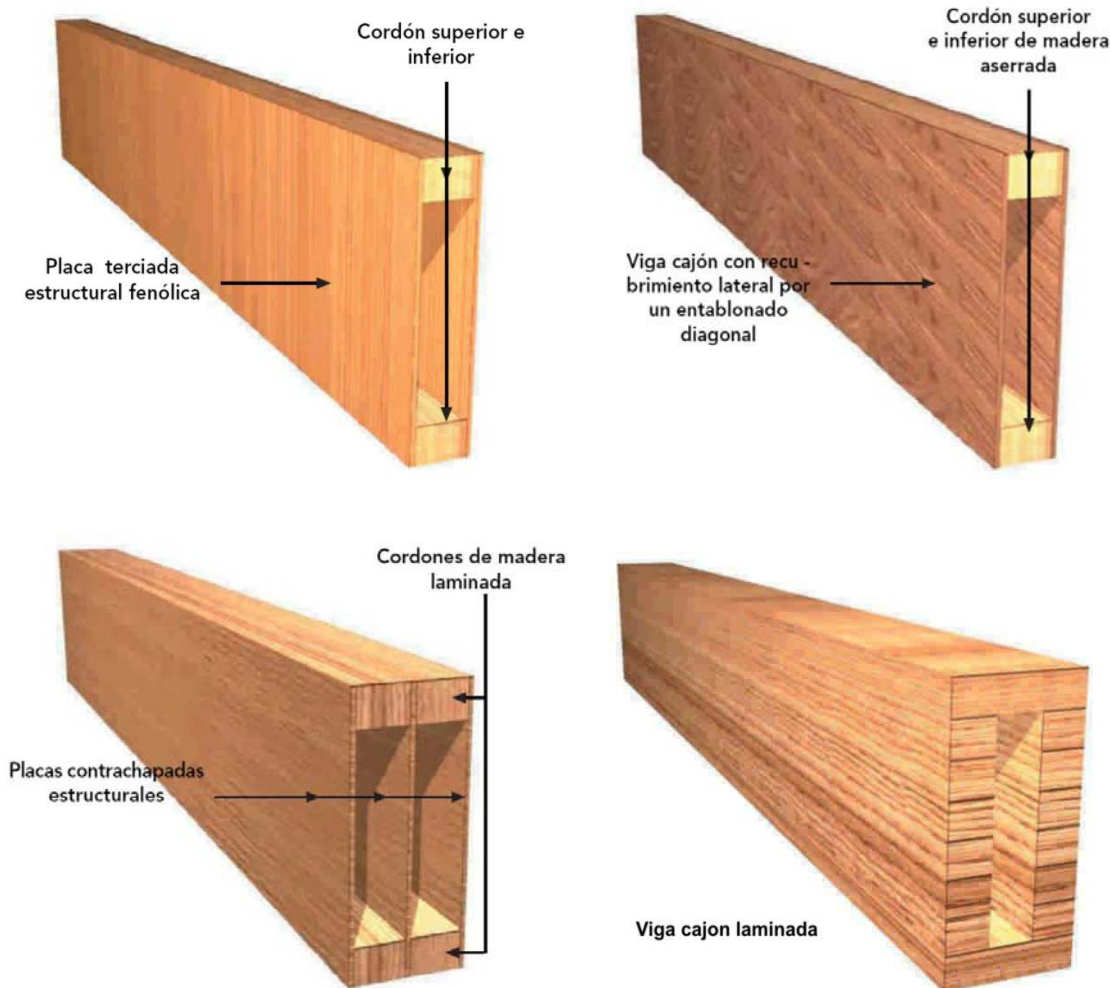
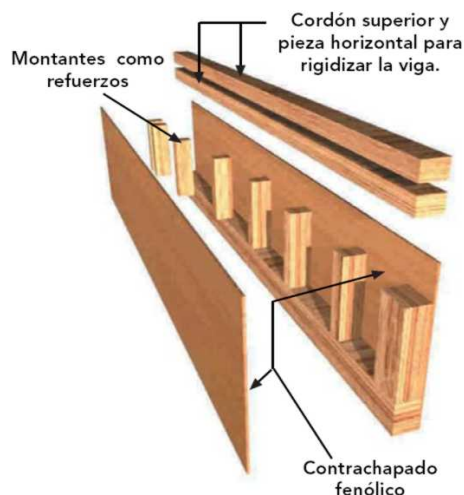


Fig. 37. Diferentes tipos de perfiles en cajón



En caso que la altura de la viga cajón tenga una altura mayor de 1,2 m es necesario armar entre los montantes un entramado horizontal, de forma de rigidizar las tapas laterales (Fig. 38).

Este tipo de solución también llega a cubrir luces de hasta 30 m.

Fig. 38. Rigidización de perfil en cajón

## SISTEMA MIXTO MADERA-HORMIGÓN

La utilización de la madera como elemento resistente a flexión presenta un rendimiento muy elevado en luces grandes (madera laminada por ejemplo) y en luces reducidas (madera maciza o viguetas prefabricadas). Sin embargo en las luces medias (entre 6 y 10 m) no se ha producido un desarrollo comparable. El empleo de soluciones mixtas de madera y hormigón puede encajar en este entorno.

La madera aporta la resistencia a la tracción y el hormigón la resistencia a la compresión. Completando el sistema están los conectores de cortante, parte fundamental del mismo ya que impiden el desplazamiento en horizontal de la losa con respecto a la superficie de madera así como su separación. Estos conectores pueden ser lineales o puntuales con varios modelos de cada tipo dependiendo de la empresa que realice el sistema.

Como en los sistemas mixtos acero-hormigón, la idea es aprovechar la capacidad portante de ambos elementos para crear una estructura que se comporte mejor que si tuviéramos los elementos por separado. El conjunto es mucho más ligero que una solución que utilice únicamente el hormigón y tiene una rigidez mayor que las soluciones exclusivas de madera.

De esta manera se logra reducir en gran medida la altura de las viguetas de madera, aumentar la longitud del vano así como la capacidad portante.

Otras ventajas del sistema es que permite dejar vista la estructura, se mejora sensiblemente el comportamiento acústico y frente al fuego. A la vez la durabilidad del conjunto queda ligada a la propia del hormigón y sus recubrimientos.

Una desventaja del sistema es que con el tiempo el hormigón va transfiriendo carga a la estructura de madera, por lo tanto para cargas de larga duración se pierde en parte el beneficio

del sistema. Es por esto que para el diseño de este tipo de estructuras se estudia la relación carga permanente – sobrecarga de uso.

Actualmente en el mercado existen varias empresas que se dedican a desarrollar este tipo de sistema. Una de ellas es Media Madera Ingenieros que desarrolló el sistema de entepiso mixto de madera-hormigón Fortec, en donde las vigas de madera se parten por la mitad y entre las dos partes se insertan unas barras metálicas que actúan como conectores de cortante, que hacen posible el trabajo solidario de los dos materiales. El pavimento acabado se dispone directamente sobre la losa. Como elementos de entrevigado emplea tableros fenólicos o tablas machihembradas o paneles sándwich de 25 mm. Su campo de aplicación óptimo se encuentra en la vivienda y en las rehabilitaciones.

Otro campo de aplicación de los sistemas mixtos se encuentra en la construcción de puentes para vehículos

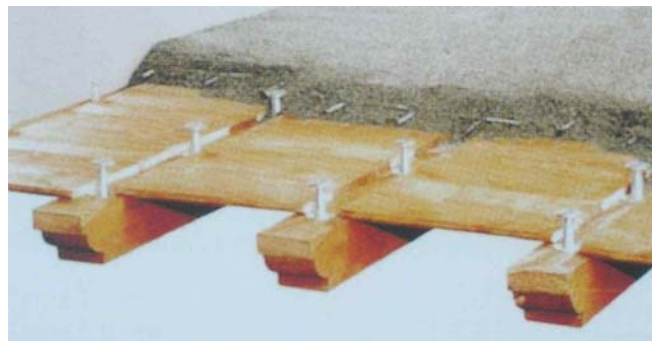
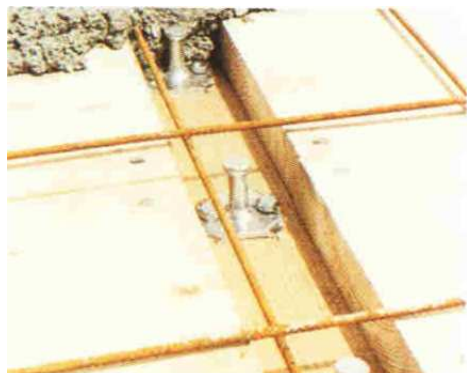


Fig. 39. Entrepiso mixto de madera y hormigón



Detalle de colocación utilizando conectores puntuales Tecnaria



Fig. 40. Detalle de montaje del sistema mixto Fortec

## VIGAS ARMADAS

Las vigas armadas o atensoradas son vigas simples o compuestas, reforzadas con tirantes inferiores o superiores. Con este tipo de tecnología se logra aumentar las luces con secciones menores ya que por medio de puntales intermedios se logra reducir las tensiones provocadas por la flexión de la viga.

Para los tensores se utilizan barras redondas de acero común, tratado o trefilado, ancladas en los extremos. Los diámetros de estas barras van de los 6 mm llegando a los 60 mm en sistemas como el Detan. Los puntos de apoyo de los tensores en la madera son en general provistos de chapas metálicas destinadas a reducir las tensiones en los apoyos a valores admisibles de la madera.

Las vigas armadas se pueden realizar tanto con madera aserrada como laminada.



Viga de madera aserrada armada con sist. de atirantado Detan



Ejemplo de sistema de vigas atensoradas:  
Worship Hall, Kawanishi, Hyogo,  
Japón (1998). Shin Takamatsu

Canchas de tenis cerradas. Vigas atensoradas. Luz libre: 40 metros





## NUEVOS SISTEMAS

De la mano de los procesos industriales robotizados, en la última década se han introducido cambios fundamentales en la construcción con madera, tanto de elementos lineales como superficiales. Sin embargo los avances tecnológicos han propiciado un cambio de planteamiento: los elementos superficiales o placas han teniendo cada vez más preponderancia frente a los lineales, como pieza básica de los sistemas constructivos con madera.



Fig. 41. Piezas nervadas dentro del grupo sistemas superficiales. Armado de un entrepiso utilizando sistema Lignotrend.

También en esta misma línea, los actuales sistemas de producción, gestionados por programas informáticos, han rentabilizado la fabricación de las llamadas 'series unitarias', constituidas por elementos individuales adaptados a diferentes situaciones específicas. Esta flexibilidad supone un enorme salto hacia delante frente a sistemas cerrados<sup>1</sup>, más ligados a la producción en masa y con aplicaciones mucho más limitadas.

Según Gerd Grohe<sup>2</sup>, en su artículo de la revista *Tectónica* Nº 13, haciendo un análisis selectivo de los sistemas actuales de construcción en madera, asegura que los mismos tienden en general a ser abiertos. O sea que ofrecen una gran flexibilidad en lo que se refiere a un uso

individualizado o en combinación con otros sistemas. Están concebidos como productos y pueden ser considerados como piezas-sistema, ya que han sido diseñados para su utilización como muro, entrepiso o cubierta. De todas maneras deben combinarse y coordinarse necesariamente con otros sistemas (terminaciones, instalaciones).

Hoy en día, se ofrecen al proyectista soluciones-tipo normalizadas, recomendaciones, detalles constructivos y tablas de resistencia que pueden ser modificadas y adaptadas al proyecto particular, simplificándolo y ofreciendo mayor precisión y garantía en el proceso.

Estos sistemas ofrecen un nuevo potencial de diseño al proyectista. Ofrecen la posibilidad de fabricar y montar las piezas con las superficies ya terminadas siendo la construcción estructural a la vez la obra acabada pudiendo quedar los trazados de las conducciones integrados a la misma. La homogeneidad y la precisión dotan a los espacios interiores de unas cualidades totalmente nuevas. Del mismo modo, los elementos superficiales portantes permiten explorar la expresión tectónica del plano abstracto como concepto de construcción monolítica y homogénea, algo que hasta ahora estaba reservado al hormigón armado.



Guardería en Ludwigsburg, 2000, de B. Zimmermann, donde se puede apreciar como la madera se apropia de la cualidad tectónica del hormigón.

<sup>1</sup> Los sistemas industrializados cerrados resultan de la aportación de productos completos y acabados, cuyos componentes o planificación no pueden ser reemplazados, ampliados o complementados libremente. Tienen el inconveniente de dirigirse a un mercado muy reducido.

<sup>2</sup> Arquitecto y profesor de construcción en la universidad de Stuttgart.

## Sistemas lineales

### Estructuras de esqueleto o porticadas

Tipológicamente las estructuras de esqueleto, con elementos exclusivamente lineales, tienen su origen en la construcción de entramado pesado de vigas y pilares. Las escuadrias de la estructura portante del entramado tienden ahora a reducirse al mínimo en sintonía con el dogma de la 'disolución de la estructura'. Como consecuencia de ello, las uniones deben ser más eficaces y deben darse nuevas soluciones al arriostramiento de la estructura en su conjunto.

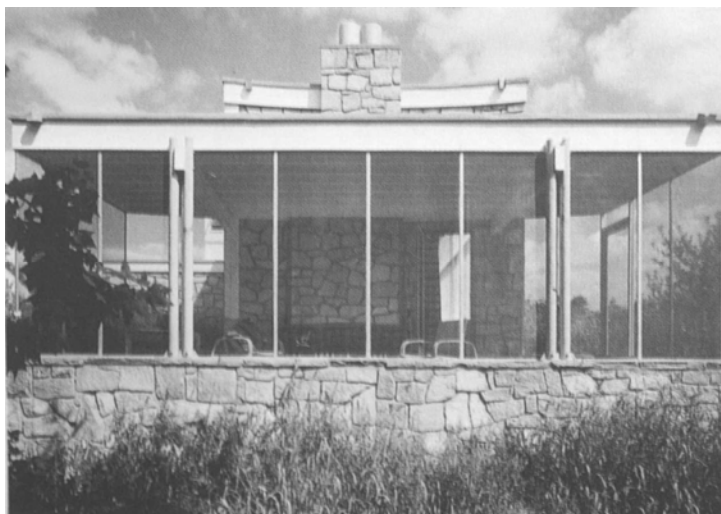


Fig. 42. Casa Breuer I, 1938. Marcel Breuer logra, en su propia vivienda, la inmaterialidad tan buscada con estructura de esqueleto de madera utilizando pilares dobles continuos y vigas pasantes.

## Sistemas superficiales

Es en este campo donde se halla las mayores innovaciones tipológicas. Estos sistemas a su vez se pueden subdividir en sistemas de sección compuesta o sistemas de sección maciza.

Los de sección compuesta ofrecen por regla general piezas precabadas que son montadas a pie de obra formando unidades completas, sin que sus dimensiones supongan una modulación obligada. Una de las grandes ventajas de estos sistemas es la posibilidad de incorporar tanto instalaciones como materiales aislantes en las piezas estructurales, alojándolos en las oquedades de las secciones (ver fig. 43).



Fig. 43. Sistema Lignotrend para cubiertas, relleno con material aislante y canalización eléctrica

Los sistemas con secciones macizas se fabrican en grandes formatos. El tamaño de los elementos se ve a menudo limitado por las restricciones que impone su transporte. En estos sistemas tampoco es necesario respetar una modulación.

Las siguientes descripciones engloban sistemas superficiales de estos dos tipos. Todos ellos se pueden combinar con otros sistemas o técnicas constructivas.

## De sección compuesta

### *Piezas en cajón y placas alveolares y nervadas*

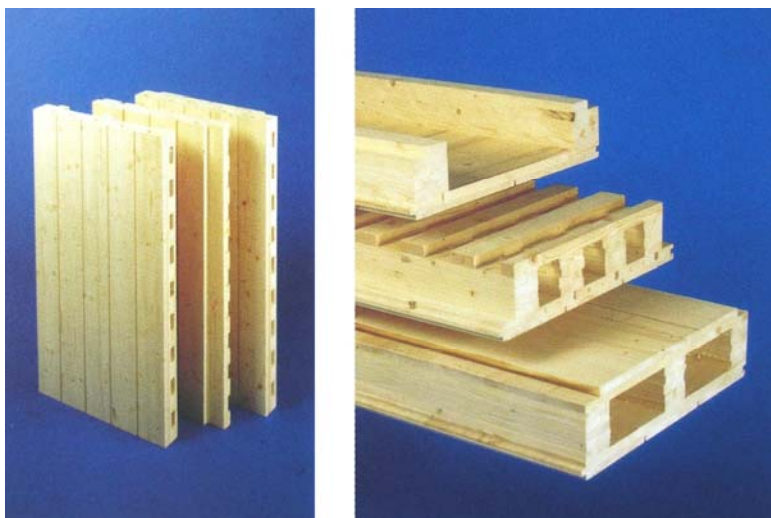


Fig. 44. Piezas nervadas, alveolares y en cajón dentro del grupo de sistemas superficiales de sección compuesta.

Son piezas estructurales nervadas o en cajón (lineales o superficiales) de fabricación industrial, que se emplean en muros, entresijos y cubiertas.

Son elementos multifuncionales con un cometido resistente, de aislamiento acústico y térmico, inercia térmica y equilibrio higroscópico, que conforman, además una superficie de cerramiento homogénea. Dada su sección optimizada, están especialmente indicados para salvar importantes luces con elevadas solicitaciones.

Las piezas se unen entre sí con tacos o mediante doble ranura y lengüeta.

La fabricación industrial garantiza un ajuste preciso en el montaje y permite

dar a las piezas un postratamiento en taller con robots de laminación.

La longitud máxima de las piezas lineales es de 12 m; las superficiales llegan a 16 m.

Con la incorporación de elementos complementarios específicos para cada proyecto particular, el módulo de fabricación no es vinculante a la hora de proyectar.

La empresa Lignotrend ha patentado y normalizado un sistema que combina estos elementos superficiales individuales para muros, entresijos y cubiertas:

### *Placas nervadas y tableros alistonados contraplacados*

Se incorporan a la construcción como elementos portantes que transmiten las cargas tanto en su propio plano como perpendiculares. Los tableros resultan muy rígidos y funcionan muy bien como elementos de arriostramiento.

Las piezas de entresijo se componen de un tablero base bicapa sobre el que se encolan, en dirección longitudinal, nervios de madera laminada. La terminación superior se realiza con un tablero laminado o con listones transversales. Se pueden componer elementos de hasta 18m de longitud con empalmes dentados encolados.

Las piezas de muro se componen de 3, 4 o 5 capas de tablas, que en el interior se pegan dejando una cierta separación entre ellas y variando alternativamente su dirección en cada capa. Posteriormente los tableros estándar así formados se unen en taller para formar elementos de una planta de altura.

Gracias a los espacios huecos, se incorporan fácilmente las instalaciones o pueden rellenarse con gravilla para mejorar la aislación acústica.



Fig. 45. Utilización de los mismos elementos para resolver tanto muros como entresijos



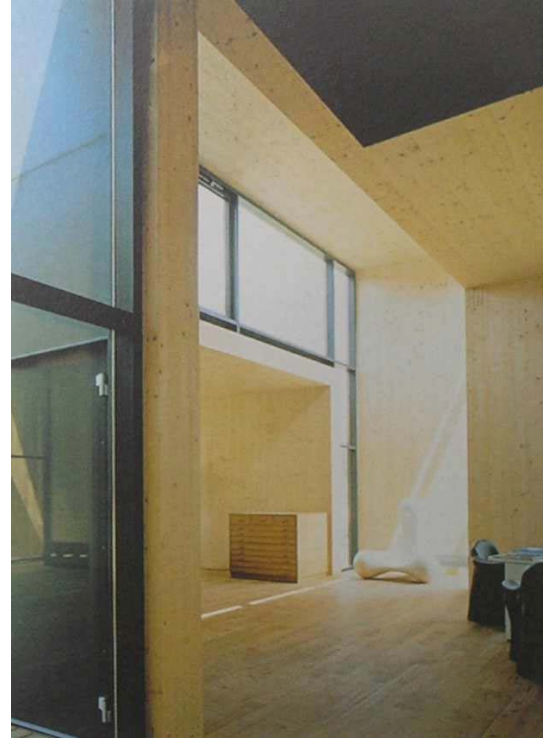


Fig. 46. Estudio en Schopfheim, Alemania: montaje e interior terminado. Las piezas en cajón con aislación construyen muros y entrepisos, las esquinas se definen con pilares de madera maciza; la estructura queda vista en el interior ofreciendo una superficie libre de juntas muy abstracta.

### De sección maciza

#### *Placas de madera laminada o alistonada*

La prefabricación de este tipo de sistema se realiza en general en instalaciones totalmente automatizadas.

Son elementos portantes superficiales para muros, entrepisos y cubiertas, formados por tablas o laminas de hasta 60mm de espesor.

La unión transversal de las tablas se realiza por medios mecánicos: con clavos o con tacos de madera que permiten que el conjunto actúe como una placa, así como absorber y transmitir cargas puntuales.

La unión de piezas puede ser machihembrada, con lambeta o falsa lengüeta, con tacos o con tableros de madera en la cara superior.

Los elementos de muro generalmente presentan una altura de una planta, aunque también pueden llegar a cubrir varias. El espesor de las piezas es de entre 80 a 120 mm, según las exigencias resistentes.

Las justificaciones de cálculo se basan en vigas unidireccionales simplemente apoyadas o continuas con laminas ininterrumpidas.



Fig. 47. Laminas que conforman las placas de madera laminada o alistonada

Las luces de las piezas de entrepiso y cubierta que resultan rentables son de 6 m para vigas simplemente apoyadas, 7,5 m para vigas continuas y 9 m para cubiertas. El ancho de la pieza es generalmente de entre 60 y 240 mm. La cara inferior suele quedar vista.

Una aplicación frecuente son las losas mixtas madera-hormigón.



Fig. 48. Montaje del sistema en obra

#### *Losas macizas de madera*

Se diferencia del sistema anterior en que las piezas pueden ser usadas individualmente, conformando losas de madera maciza de tamaño personalizado.

Son elementos de madera laminada para la construcción de losas y entrepisos macizos, cuyos cantos se mecanizan para permitir el machihembrado de unas piezas con otras.

Las placas están formadas por tiras de madera colocadas de canto. Sus dimensiones oscilan entre 10 y 16 cm de espesor y entre 20 a 60 cm de ancho. También se fabrican piezas más estrechas en las que las láminas están dispuestas de cara. Estas llegan a los 18,5 cm de altura con un ancho de 12 o 16 cm.

La esbeltez de este producto es muy elevada, del orden de luz/40, de manera que con 16 cm de canto se pueden salvar luces de hasta 7 m bajo una situación de carga normal.

El sistema se ha utilizado también en la construcción de tableros de puentes para vehículos, principalmente en los países nórdicos, Canadá y Australia. En estos casos el tablero queda postensado en lugar de clavado, con el fin de conseguir la continuidad y solidez del material mediante el rozamiento entre las láminas.



Fig. 49. Tablas de madera maciza puestas de canto como elemento constitutivo de losas macizas de madera

### *Madera alistonada contraplacada*

Son elementos constructivos superficiales, masivos. Se organizan mediante el encolado por sus caras de varios tableros alistonados, de 3 a 13, en direcciones de fibra opuesta. Esto implica una sección homogénea con alta estabilidad dimensional y buenas propiedades estáticas.

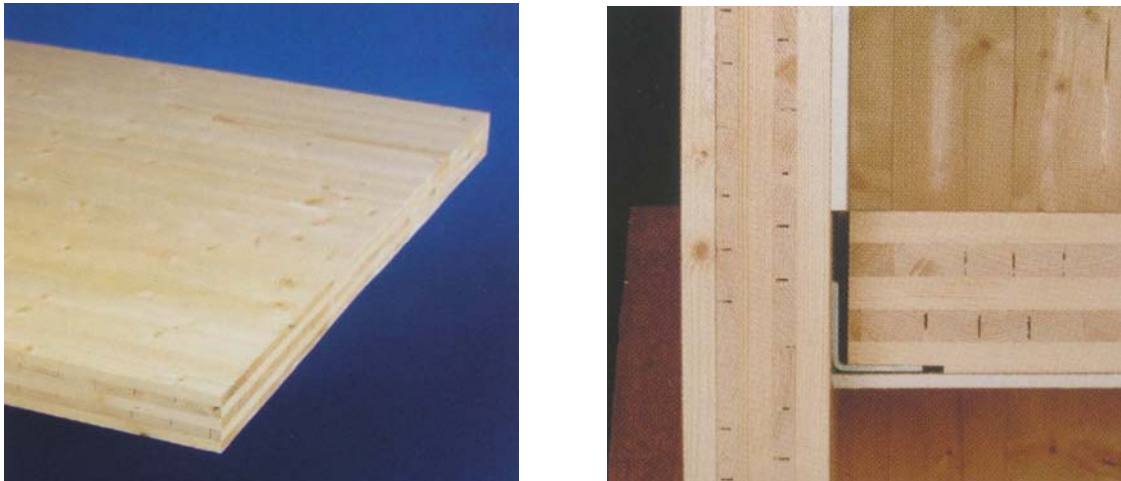


Fig. 50. Placa de madera alistonada contraplacada y detalle de unión de dos placas (a la derecha)

Tiene múltiples aplicaciones que constituyen el sistema completo: muros portantes y no portantes, particiones, entrepisos unidireccionales y bidireccionales, soportes de cubierta, planchas nervadas, entrepisos mixtos madera-hormigón, cáscaras, puentes, huecos de ascensor, etc.

También actúa como arriostramiento. Puede cumplir en parte la función de aislación térmica y acústica y de protección frente al fuego.

Gracias a las grandes dimensiones de las piezas (de hasta 4,8 m de ancho y 20 m de longitud) es posible levantar hasta cuatro plantas con muros exteriores continuos. También es factible realizar piezas curvas de hasta 3,5 m de radio. El espesor varía entre 51 mm y 297 mm.

Mediante un proceso robotizado se cortan las piezas con precisión, incluyendo todos los huecos y dejándolas listas para su montaje.



Fig. 51. Montaje del sistema.



### *Tableros de aglomerado*

La gran ventaja de este tipo de tablero es la absoluta homogeneidad del material aglomerado que permite obtener, fácilmente, elementos con las dimensiones requeridas.

Son tableros de madera aglomerada, de 80mm de espesor, para muros con función portante y de arriostramiento, debiendo recurrir a otros sistemas para la construcción de entrepisos y cubiertas, sin que exista limitación alguna para ello.

Las placas, fabricadas en anchos estándar, se unen en talleres de postratamiento hasta formar piezas de gran tamaño y de una planta de altura. Pueden ser cortadas y unidas, obteniendo piezas de cualquier medida gracias a su composición homogénea. No obligan por tanto a modulación alguna. Puertas, ventanas etc. se incorporan sin ningún problema.



Fig. 52. Los tableros de aglomerado está limitado por lo general a la creación de muros

## BIBLIOGRAFÍA

### Textos y sitios Web consultados para la realización de este capítulo (orden alfabético):

*Estruturas de madeira*, Walter Pfeil, Livros técnicos e científicos, São Paulo, 1980

*Manual de construcción de viviendas en madera*, Centro de transferencia tecnológica, Corporación chilena de la madera CORMA, Chile

*Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción*, varios números, ATC Ediciones, Madrid, 1996 a 2002

[www.aginco.fr](http://www.aginco.fr)

[www.auxitesa.com](http://www.auxitesa.com)

[www.awc.org](http://www.awc.org)

[www.finnforest.com](http://www.finnforest.com)

[www.gescoinsa.com](http://www.gescoinsa.com)

[www.halfen.com](http://www.halfen.com)

[www.holtza.es](http://www.holtza.es)

[www.huettemann-hotz.de](http://www.huettemann-hotz.de)

[www.lignotrend.de](http://www.lignotrend.de)

[www.maderasmedina.com](http://www.maderasmedina.com)

[www.masonite-beam.se](http://www.masonite-beam.se)

[www.mediamadera.com](http://www.mediamadera.com)

[www.merk.de](http://www.merk.de)

[www.mitek.fr](http://www.mitek.fr)

[www.nailweb.com](http://www.nailweb.com)

[www.osbguide.com](http://www.osbguide.com)

[www.tecnaria.com](http://www.tecnaria.com)

### Figuras:

Fig. 17: *Modern architecture since 1900*, William J. R. Curtis, Phaidon, 1997

Figs. 18, 25, 27, 28, 29, 30, 40, 42, 46 y 52: *Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción*, varios números.

Figs. 19, 20, 21, 37 y 38: *Manual de construcción de viviendas en madera*, Centro de transferencia tecnológica, Corporación chilena de la madera CORMA, Chile

Fig. pg. 33: primera fig. de "Vigas armadas": Sistema atirantado Detan: [www.halfen.com](http://www.halfen.com)

Fig. pg. 33: segunda fig. de "Vigas armadas": *Building a new millennium*, Philip Jodidio, 2002: ejemplo de sistema de vigas atensoradas de Shin Takamatsu

Fig. pg. 33: tercera fig. de "Vigas armadas": [www.holtza.es](http://www.holtza.es)

*Figs. 22 y 24: [www.mediamadera.com](http://www.mediamadera.com)*

*Fig. 26: [www.osbguide.com](http://www.osbguide.com)*

*Figs. 31 y 32: [www.auxitesa.com](http://www.auxitesa.com)*

*Fig. 33: [www.finnforest.com](http://www.finnforest.com)*

*Fig. 34: [www.maderasmedina.com](http://www.maderasmedina.com)*

*Fig. 35 (primeras dos fotografías): [www.masonite-beam.se](http://www.masonite-beam.se)*

*Fig. 34 (última fotografía): [www.nailweb.com](http://www.nailweb.com)*

*Fig. 36: [www.mitek.fr](http://www.mitek.fr)*

*Fig. 39: [www.tecnaria.com](http://www.tecnaria.com)*

*Figs. 41 y 43: [www.lignotrend.de](http://www.lignotrend.de)*

*Figs. 44 y 45: [www.gescoinsa.com](http://www.gescoinsa.com)*

*Figs. 47, 48 y 49: [www.huettemann-hotz.de](http://www.huettemann-hotz.de)*

*Figs. 50 y 51: [www.merk.de](http://www.merk.de)*





## UNIONES EN ESTRUCTURAS DE MADERA

Las uniones constituyen uno de los puntos cruciales en el diseño de las estructuras de madera y es necesario conocer sus limitaciones. El consumo de tiempo en el proyecto de las uniones es muy grande (mayor al 20%) comparado al tiempo total dedicado al proyecto de la estructura. Normalmente después de un predimensionado de las piezas, se procede al diseño de las uniones y, en muchas ocasiones, los requisitos de separación entre elementos de conexión obligan a modificar las dimensiones de las piezas (el diseño de uniones esta comprendido en el capítulo *Proyecto de estructuras de madera aserrada*).

Las piezas de madera tienen largos limitados por el tamaño de los árboles, el medio de transporte, etc. Las piezas de madera aserrada son fabricadas en largos todavía más limitados, generalmente de entre 4 a 5m.

Para confeccionar las estructuras, las piezas son unidas entre sí utilizando diversos dispositivos, además una misma unión entre piezas de madera puede realizarse de varias maneras diferentes. Cada opción da lugar a resultados más o menos económicos y complejos, y normalmente la elección de un sistema de unión puede obligar a modificaciones en el diseño de la estructura.

Las limitaciones que presentan las uniones en madera están directamente relacionadas con su carácter anisótropo. Generalmente los enlaces entre piezas de madera son articulados o semirrígidos, y resulta difícil alcanzar una unión perfectamente rígida.

Existe una gran diversidad de elementos de unión que, a grandes rasgos, pueden clasificarse en tres grupos: uniones mecánicas, uniones encoladas y uniones carpinteras.

### UNIONES MECÁNICAS

Dentro de esta denominación se incluyen todos los sistemas de unión que emplean elementos metálicos a modo de pasadores y placas, de forma que se requiere un material de nuevo aporte para la transmisión de los esfuerzos. Se dividen en dos grupos, los de tipo clavija: clavos, tirafondos, bulones, pasadores y grapas y los de tipo de superficie: conectores, placas-clavo. Las grapas son utilizadas apenas como elementos auxiliares de montaje, no siendo consideradas elementos de unión estructural.

Como norma general debe perseguirse la idea de que la unión será mejor cuanto menos piezas metálicas contenga y más simple se proyecte.

#### Unión mecánica tipo clavija

La madera en muchas de sus propiedades mecánicas (flexión, tracción) presenta un comportamiento frágil; es decir, tiene poca capacidad de almacenar energía. Las uniones mecánicas tipo clavija aportan una ductilidad al conjunto de la estructura de tal manera que el comportamiento general compensa la fragilidad del material. Esto se consigue gracias a la capacidad de plastificación que tienen los elementos metálicos de conexión.

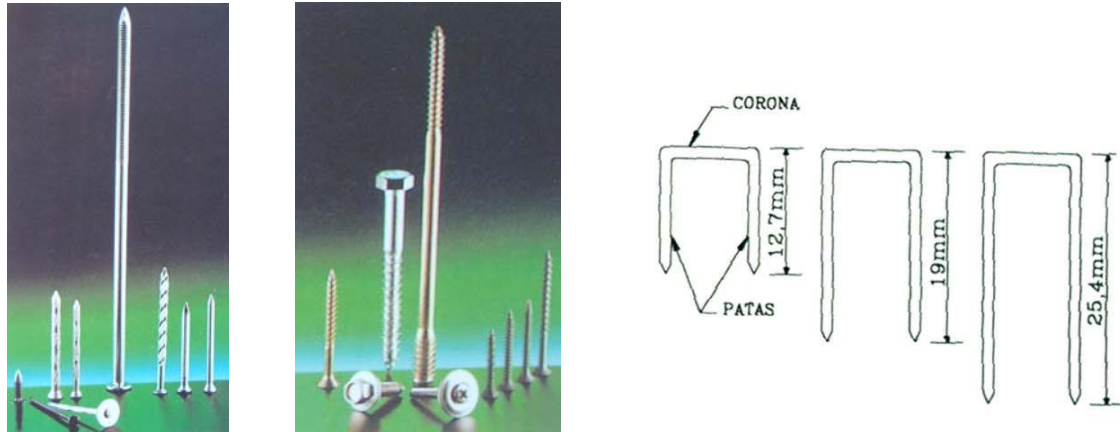
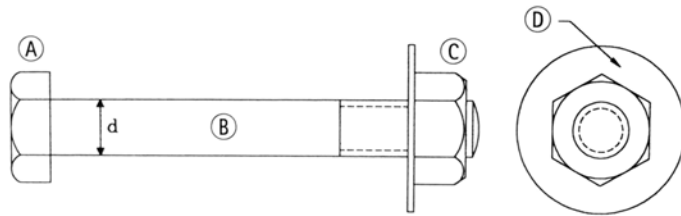


Fig. 53. Ejemplo de uniones tipo clavija: clavos, tirafondos y grapas

### Bulones

Los bulones tienen un fuste o vástago cilíndrico (B) con cabeza (A), arandela (D) y tuerca (C).



Pueden utilizarse para la unión directa entre madera y madera o acero y madera combinada con otros elementos de fijación como los conectores de superficie. Los bulones (o pernos) tienen una capacidad de transmisión de esfuerzos muy grande. Se emplean para las uniones de piezas de madera aserrada con anchos mínimos de alrededor de 35 mm y en piezas de madera laminada.

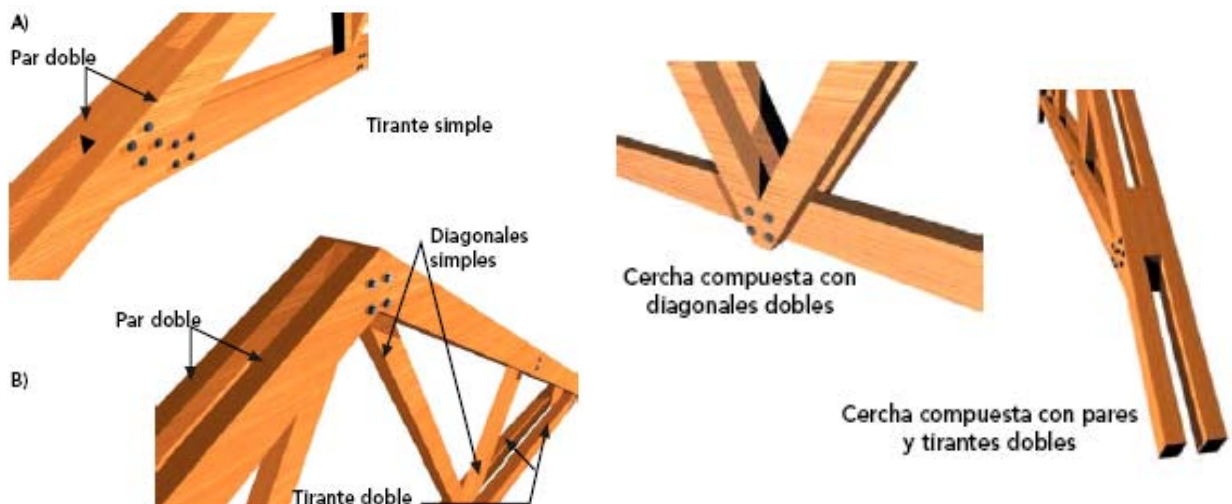


Fig. 54. Ejemplos de variación del tipo de unión de los elementos de una cercha mediante bulones.

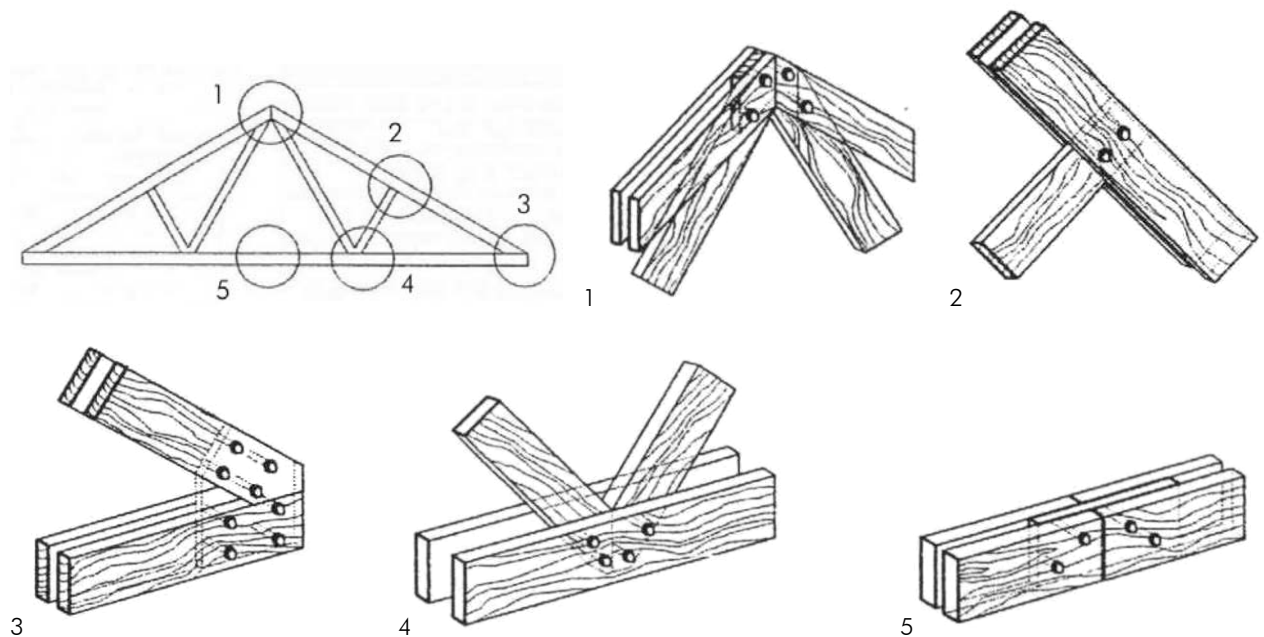
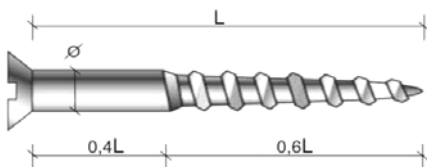


Fig. 55. Ejemplo de unión abulonada en una cercha con diagonales simples y tirante y pares dobles

Los bulones más utilizados en Uruguay son los comunes, de acero con límite de fluencia entre 3000 y 3500 daN/cm<sup>2</sup>. Por lo general los diámetros de estos bulones van de entre 6,3 y 76 mm<sup>1</sup>.

### Tornillos autorroscantes

Constan de un fuste con una zona roscada en la punta y un tramo liso. El diámetro varía entre 1,4 y 20 mm y la longitud entre 7 y 250 mm aproximadamente. La capacidad mecánica ante esfuerzos de corte es superior a la de los clavos pero menor que la de los bulones.



Tornillo autorroscante

Al colocarlo en un agujero previamente hecho, el propio tornillo va haciendo la rosca al introducirse. El agujero previo es necesario hacerlo ya que sino se corre el riesgo de rajar la madera. Este agujero se hace de un diámetro apropiado para el tornillo a colocar, ya que si el agujero queda pequeño para el diámetro, hay que hacer mucha fuerza para introducirlo por lo que se aumenta el riesgo de rotura del mismo siendo muy difícil extraer el trozo de tornillo que quedo introducido en la madera. Para

facilitar la operación de introducción del tornillo con seguridad se utiliza un lubricante, comúnmente jabón seco que se raspa en los filetes del tornillo. También se puede utilizar cera.

Una vez colocado el tornillo hay que evitar sacarlo para volverlo a colocar ya que de esta forma se estropea la rosca que se formó en la madera.

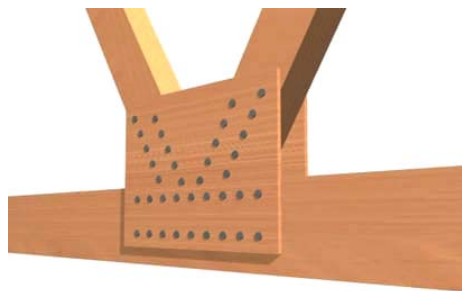


Fig. 56. Ejemplo de tablero contrachapado atornillado a los componentes de una cercha

<sup>1</sup> Todas las dimensiones de los medios de unión se refieren a las disponibles en Uruguay.



### Tirafondos

El tirafondo (derivado del francés *tirefond*) es un elemento de unión intermedio, entre tornillo para madera y perno. Es un tornillo con rosca cónica, generalmente de mayor tamaño, con la cabeza cuadrada o hexagonal.

Es comúnmente usado en sitios donde es difícil colocar un perno o donde la apariencia de la tuerca sobre la superficie será objetable. También es comúnmente usado, cuando no se emplean pernos, cuando existen esfuerzos oblicuos.

Por lo general los tirafondos son de acero, lisos con cabeza soldada al cuerpo o vástago y en el cual la parte roscada (hilo) es aproximadamente un 50% del largo total.

### Clavos

Son de acero (convenientemente galvanizado) con una resistencia de entre 4000 y 8000 daN/cm<sup>2</sup>. Constituyen el medio de unión más común en los sistemas estructurales de entramado ligero. El tipo de clavo más utilizado es el de fuste de adherencia mejorada, con resaltos en forma de cuñas o helicoides (ver fig. 53). Esta característica permite alcanzar mayores capacidades de carga, sobre todo a la extracción. De esta manera se evita que el clavo sobresalga con el uso. Su diámetro varía entre los 0,7 y 9 mm y la longitud entre 7 y 310 mm.

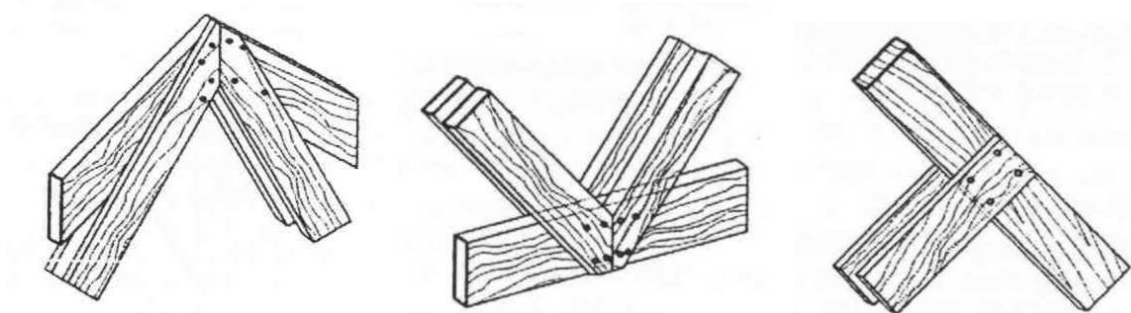


Fig. 57. Ejemplos de unión clavada en una cercha

Para madera con peso específico mayor a 650kg/m<sup>3</sup> es conveniente hacer un agujero previo al clavado.

Conviene siempre quitarle el filo a la punta del clavo (con un martillo) ya que de esta forma al clavarlo va aplastando las fibras y no se transforma en una cuña que las separe con el riesgo de rajar la madera.

El empleo de los clavos para unir directamente madera con madera o tablero con madera suele quedar limitado a piezas de un espesor no muy elevado. La carga admisible del clavo es menor a la del tornillo y mucho menor a la del bulón, por lo que se necesitan superficies de clavado grandes. Por lo tanto en la unión por medio de clavos se necesitan grandes superficies de pequeño espesor.

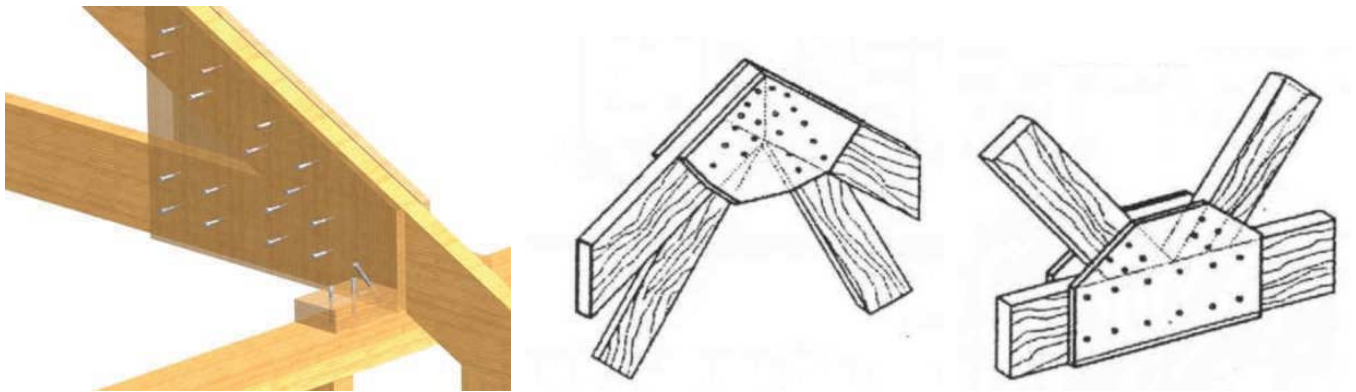


Fig. 58. Ejemplos de unión en una cercha por medio de placas clavadas de madera de contrachapado, OSB o acero

### Pasadores

Son barras de acero de sección circular con diámetros de 16 a 25 mm con los extremos con la embocadura biselada. Al contrario que los pernos, no tienen cabeza, tuerca ni arandelas, lo que aporta un resultado estético más limpio. Además entran a presión ya que su diámetro es igual o ligeramente superior al del agujero donde se alojan. Por este motivo las uniones realizadas con pasadores son más rígidas que las resueltas con pernos. La utilización de pasadores exige a cambio una mayor precisión para evitar problemas en el montaje. Finalmente la ocultación de los pasadores es sencilla de realizar consiguiendo mejores prestaciones en caso de incendio y una estética mayor. Se emplean generalmente en las uniones de piezas de madera laminada encolada.

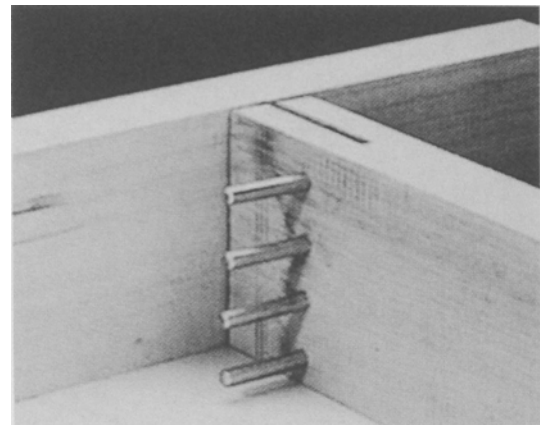
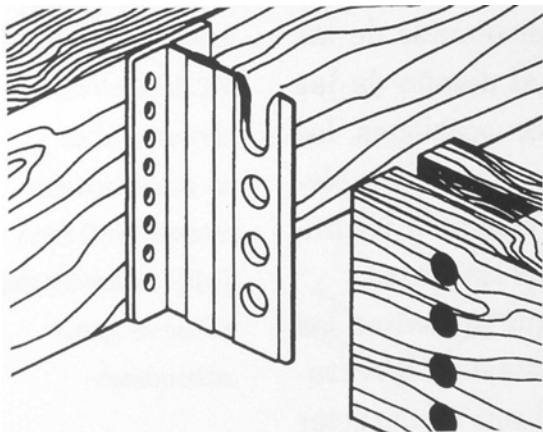
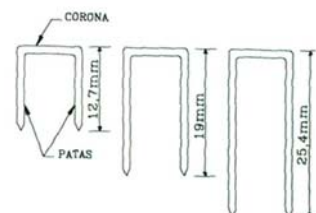


Fig. 59. Unión por medio de pasadores

### Grapas

Con longitudes de entre 12 y 63 mm, generalmente se emplean para la fijación del tablero a las piezas de madera aserrada. Como ya se mencionó no suelen considerarse elementos de unión estructural



### Unión mecánica tipo superficie

Los conectores y placas clavo son elementos de fijación que transmiten los esfuerzos a través de una superficie mayor que los de tipo clavija. Por este motivo se suelen llamar de superficie o de menor penetración. Un conector es una pieza de forma circular o rectangular que se introduce ajustada entre dos piezas de madera (o entre una placa de acero y una pieza de madera) y se afianza mediante un perno que atraviesa las piezas. La carga se transmite por aplastamiento entre la madera y el conector. Se emplean en la transmisión de cargas elevadas.

#### Conectores

Se clasifican en diversos tipos: de anillo, de placa, dentado y de madera.

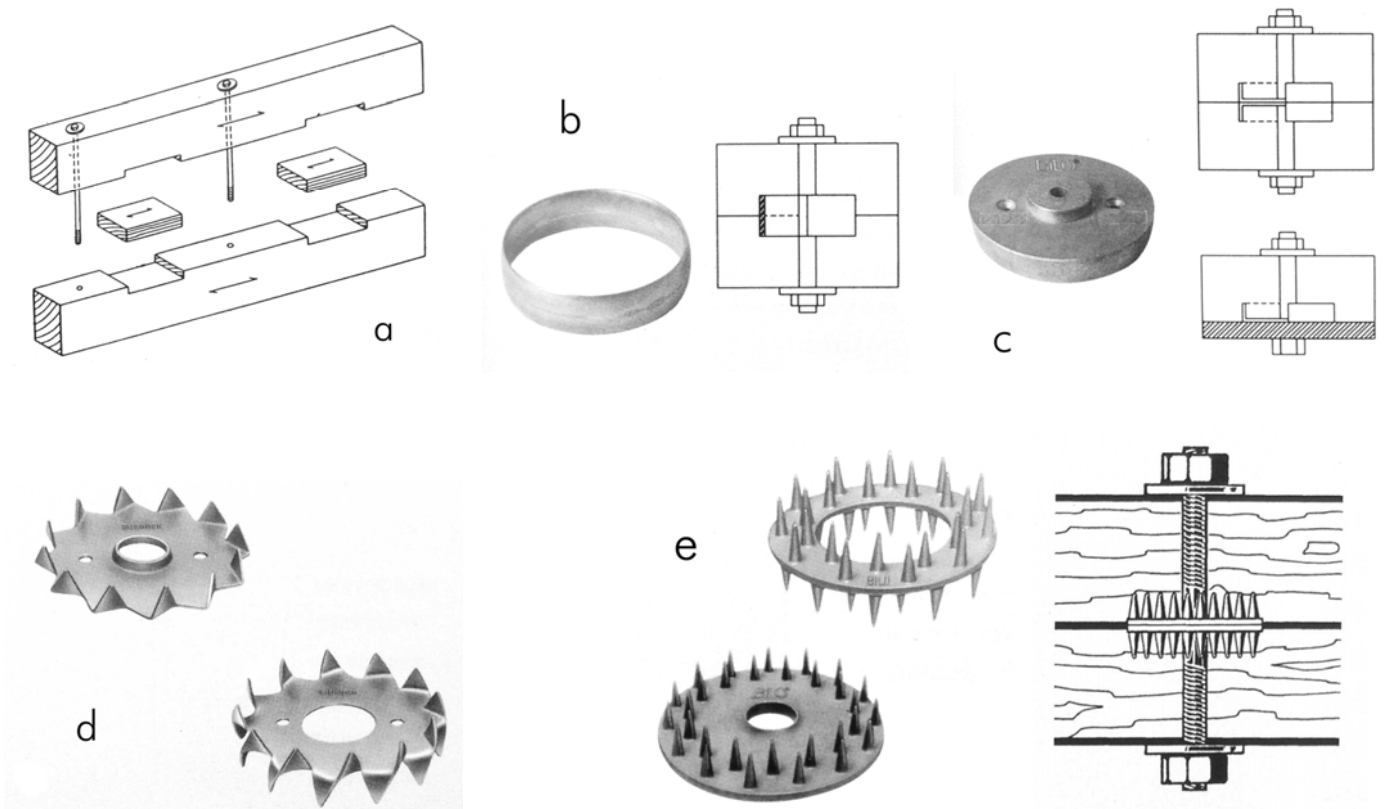


Fig. 60. Uniones por conectores: a) de madera, b) de anillo, c) de placa. Dentados: d) con púas; e) con dientes troncocónicos

#### Conectores de placas clavo

También llamados de placas dentadas, se emplean en la unión de piezas de madera con espesores reducidos (de 35 a 70 mm). Son habituales en las cerchas prefabricadas que se emplean en la construcción de entramado ligero.

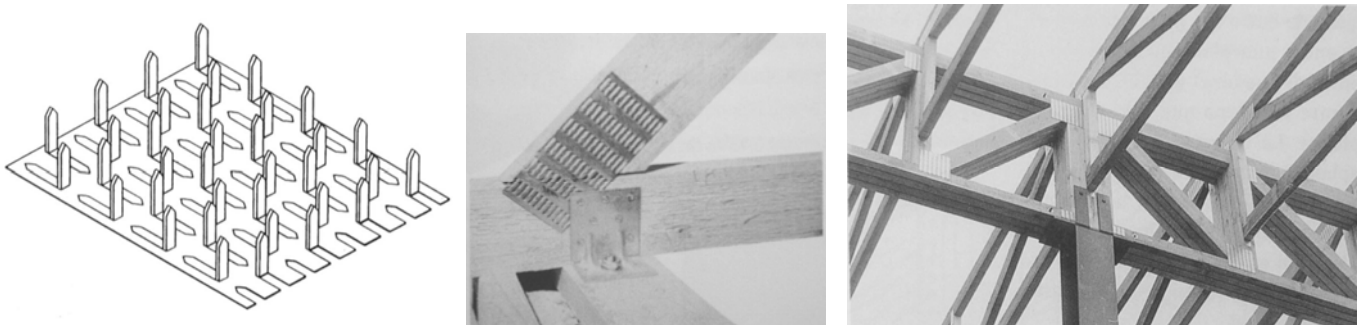


Fig. 61. Placa-clavo; ejemplos de uso de este tipo de placa





Fig. 62. Detalle de unión con placas que deben ir a ambos lados de la cercha

### Otros conectores metálicos

Existen en el mercado además diversas opciones de conectores metálicos para fijar vigas principales o secundarias en entramados horizontales (Fig. 63):

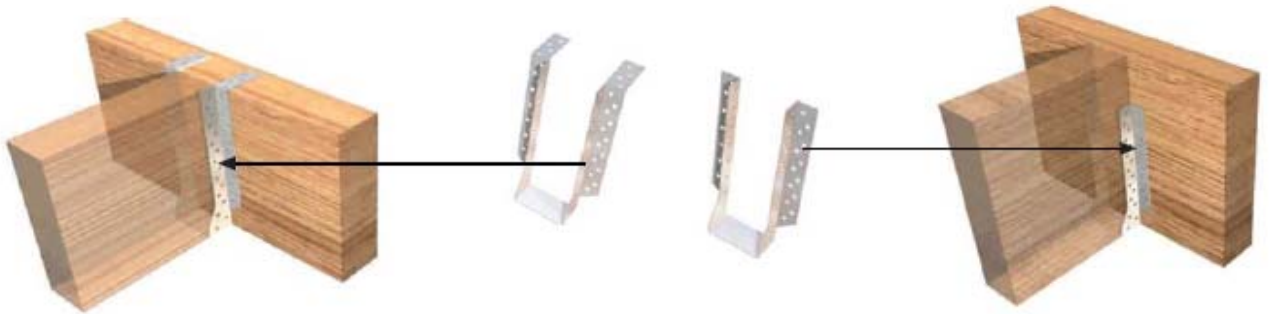


Fig. 63. Conectores metálicos para entramados horizontales

Para resolver el encuentro viga-pilar se pueden utilizar conectores de acero galvanizado. Algunos de ellos permiten el giro de las piezas lo cual es lo más conveniente ya que no debe restringirse el giro de la viga. En su lugar también pueden utilizarse conectores de madera con la desventaja de tener un mayor tamaño. La transmisión de cargas de la viga al pilar debe realizarse en principio apoyando sobre éste (Fig. 64 y 65); si no es posible el apoyo, será preferible diseñarlo colgando de la cabeza del pilar o de una viga mediante un herraje adecuado (ver Fig. 66 última figura) o por medio de apoyos especiales (ver Fig. 66 primera figura: patente Janebo). Los herrajes de unión pueden quedar vistos (Fig. 64 y 65) u ocultos (Fig. 66) que son más caros pero son utilizados a veces por razones estéticas y de protección frente al fuego.

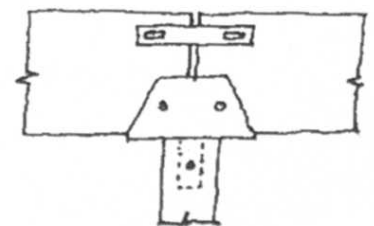
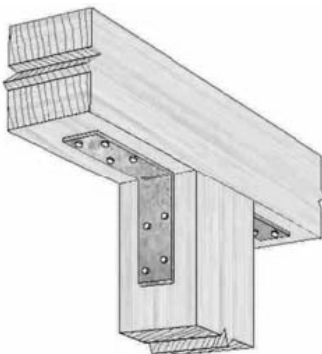
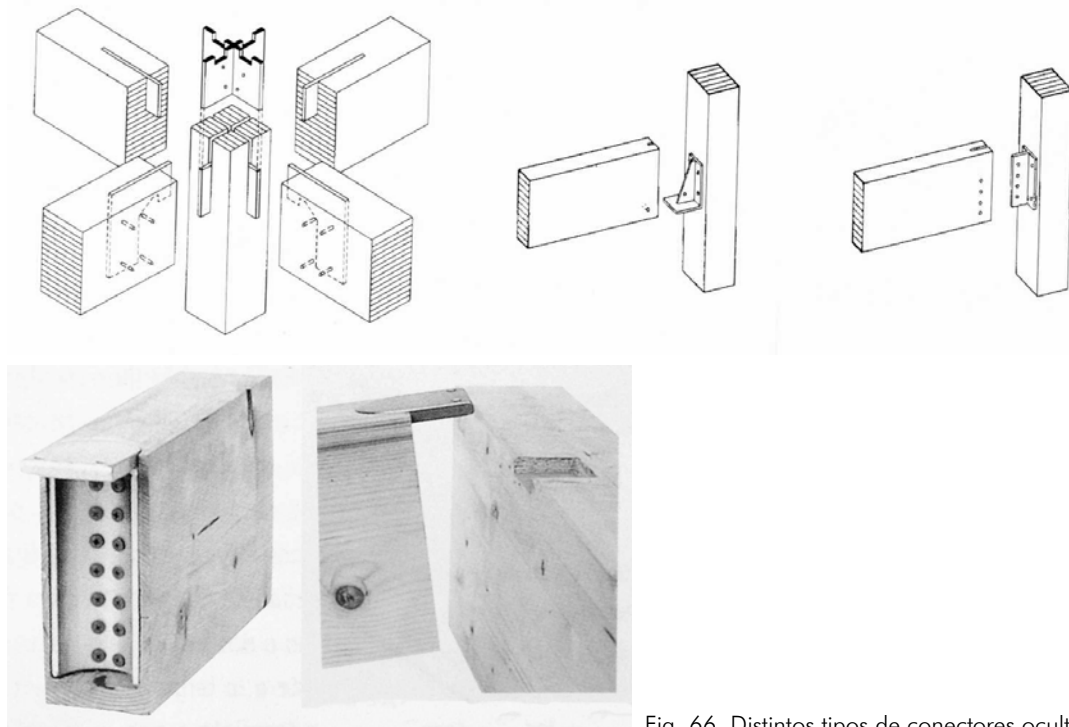
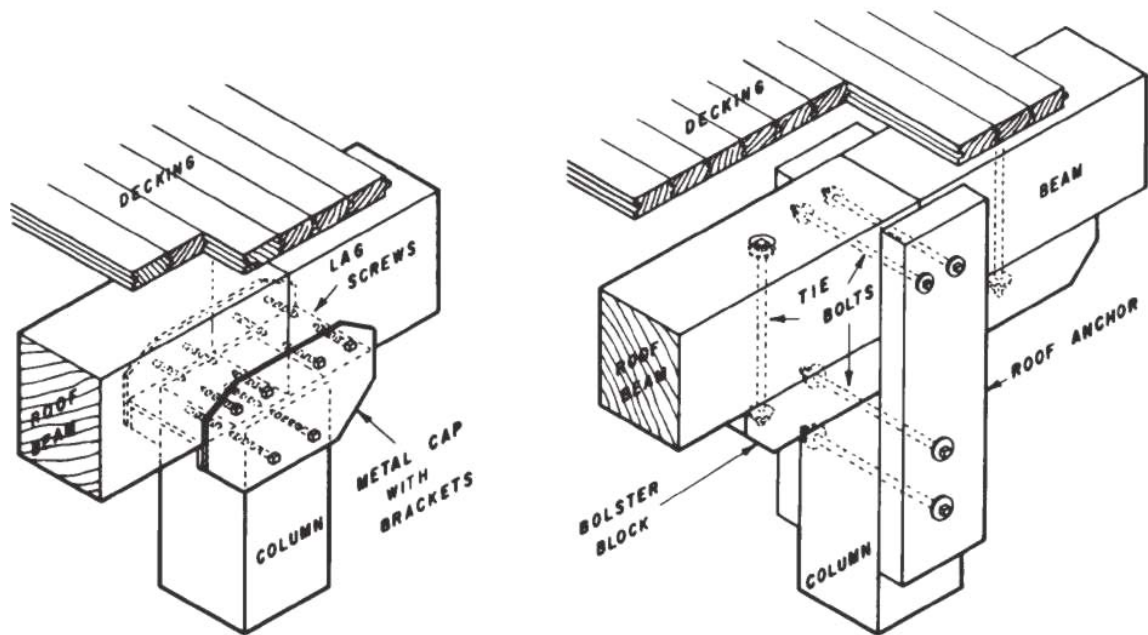


Fig. 64. Algunos tipos de conectores vistos metálicos para unir viga con pilar



Para conectar correas o tirantes con vigas tanto de madera como de hormigón, lo tradicional es realizar algún tipo de ensamble, transmitiendo el esfuerzo a través de una cortadura en el tirante, en este caso el conector metálico o de madera pasa a ser un elemento solamente de posicionado. De todas formas la mayoría de las veces las uniones mediante conectores de superficie o de tipo clavija resisten cargas mayores que las anteriores. En el caso de realizar la

conexión mediante conectores atornillados o abulonados, la capacidad se verá limitada en alto grado por problemas de separación mínima entre los elementos de fijación (fig. 67).

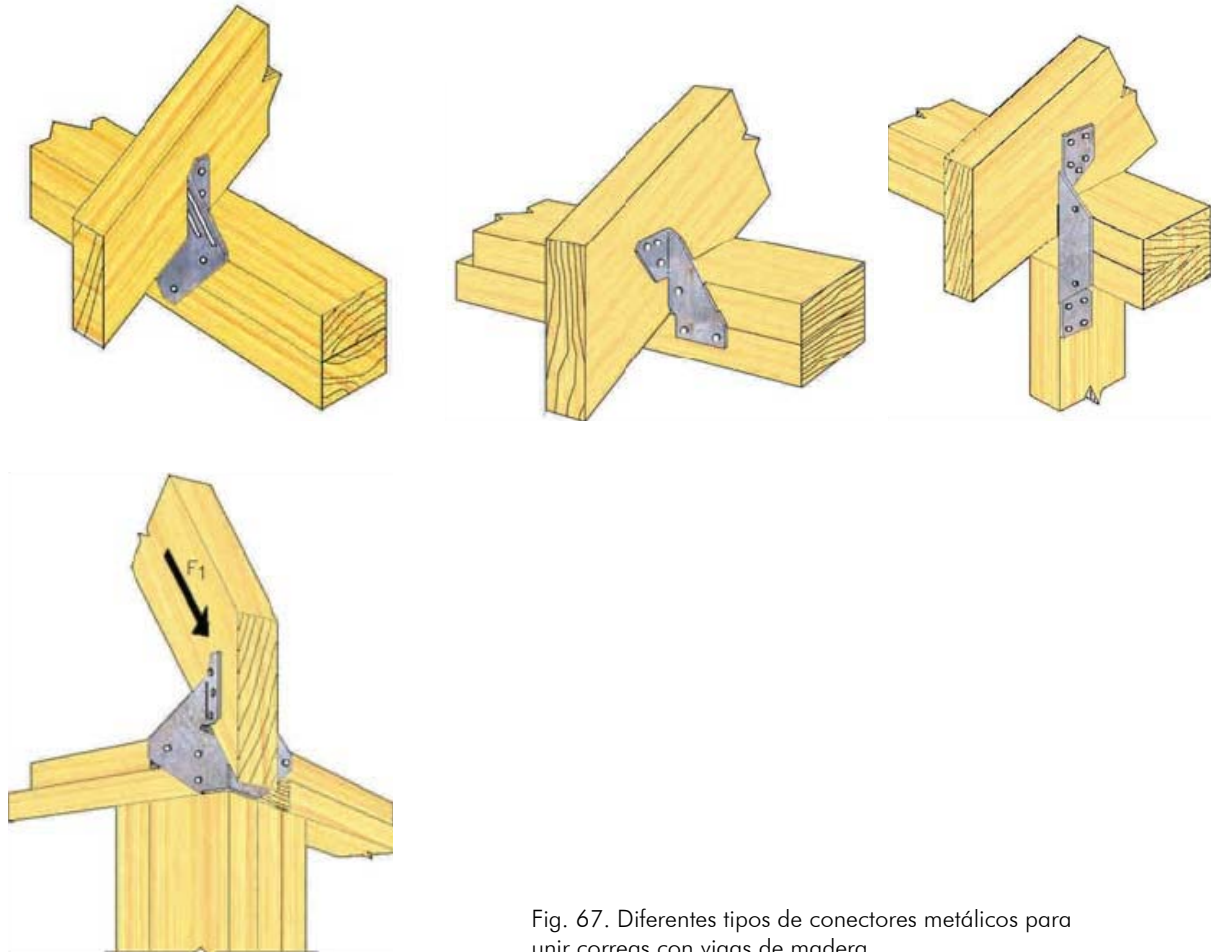


Fig. 67. Diferentes tipos de conectores metálicos para unir correas con vigas de madera

Existen también diferentes tecnologías para unir cerchas entre sí, una de ellas es el de las placas dentadas de la fig. 68:

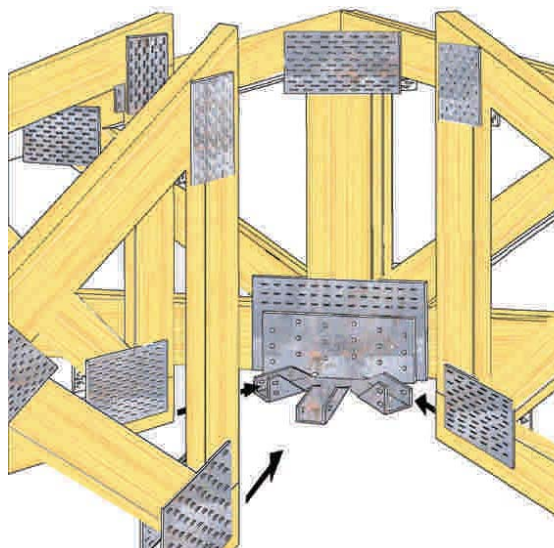
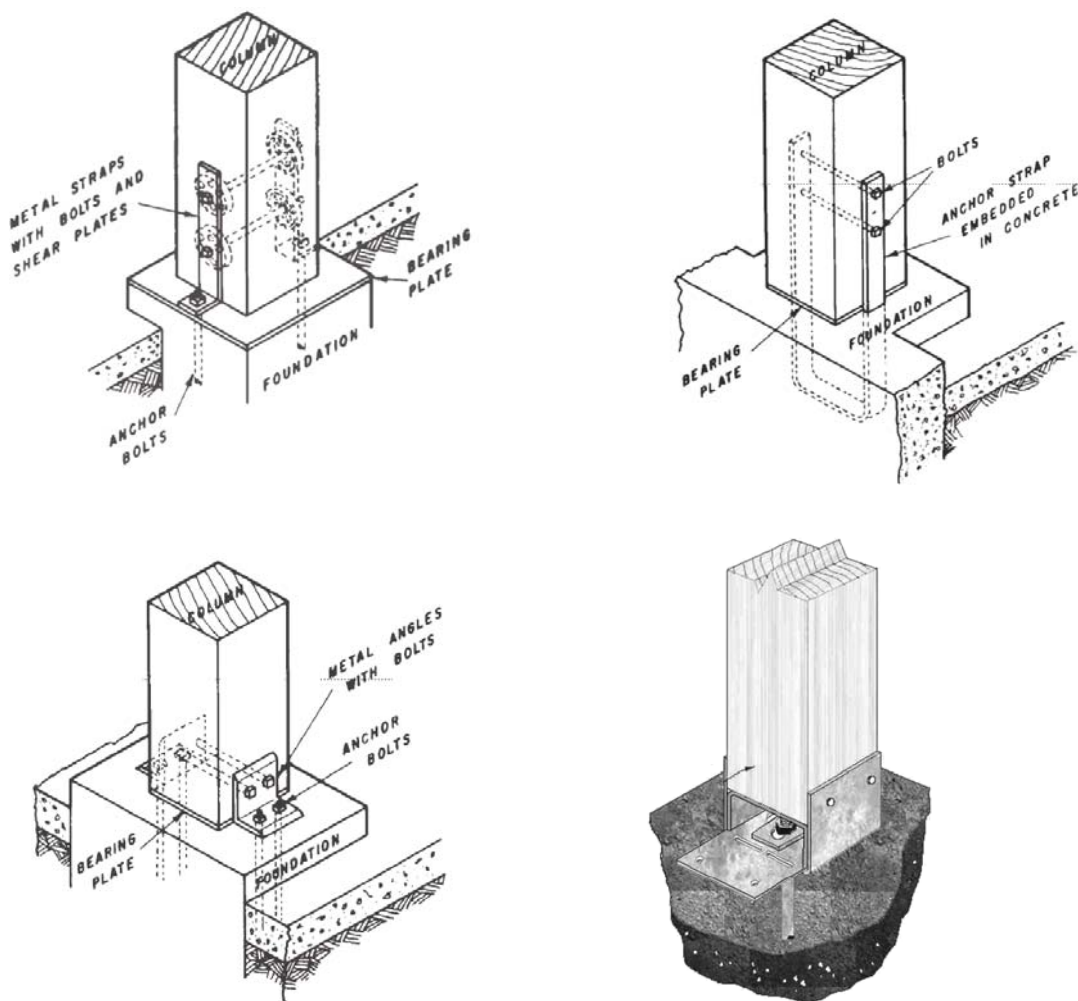
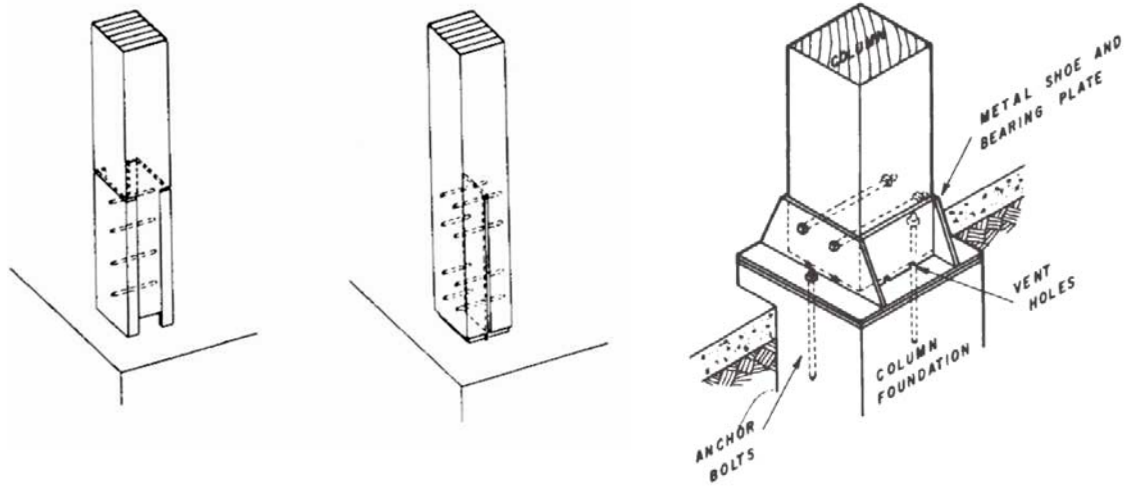


Fig. 68. Conector metálico para fijar cerchas entre sí



Con respecto a los pilares de madera, la presencia de fuerzas horizontales o de tracción hace necesario anclarlos a los entramados horizontales o a la fundación de hormigón (Fig. 69 y 70):



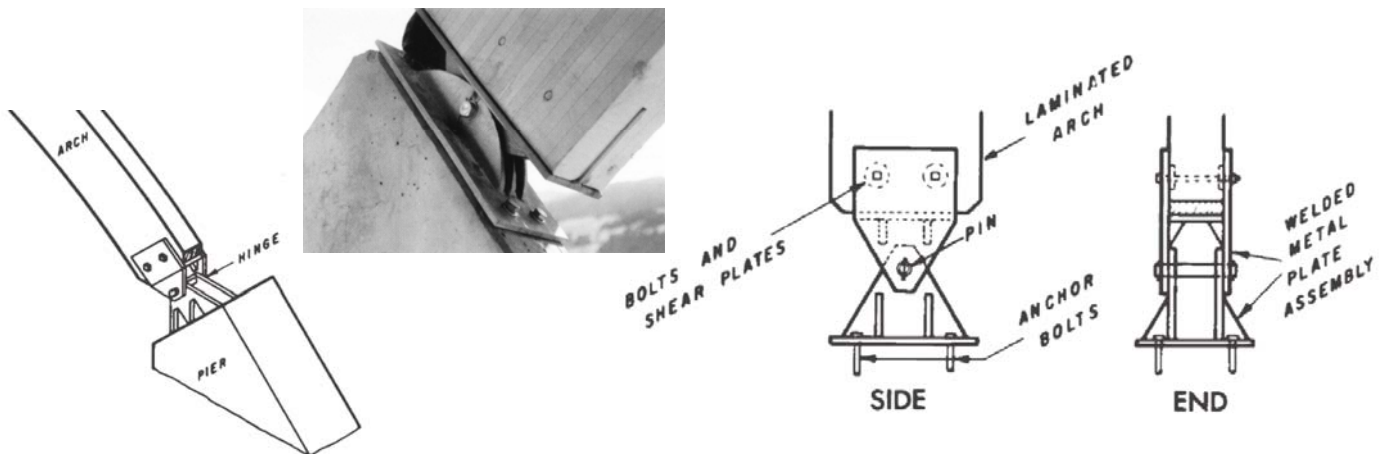


Fig. 71. Ejemplos de bases articuladas. Caso de arcos de madera laminada

Generalmente los apoyos en las cimentaciones se proyectan como articulaciones por las dificultades que entraña la realización de uniones rígidas (Fig. 70). En otros casos la articulación del encuentro se realiza mediante lo que se denomina una articulación ficticia, mediante una conexión que no impida significativamente el giro de la pieza, o mediante una articulación perfecta, cuando se trata de estructuras de grandes luces (a partir de 20 o 30 m), materializada mediante un herraje de giro libre adecuado (Fig. 71).

### Otros ejemplos de uniones mecánicas

Existe otro tipo de tecnología para el anclaje de vigas de madera a vigas de hormigón como lo son los anclajes altamente regulables. Un ejemplo de esto es la patente Halfen HTA (ver Fig. 72) que consiste en la colocación de perfiles acanalados en las viga de hormigón que se hormigonan junto con la estructura, in situ o prefabricada. En el canal del perfil se encastran placas de apoyo de acero que van clavadas a las correas o tirantes de madera para transmitir los esfuerzos a la viga de hormigón. Son ajustables en ángulo, y a lo largo del perfil acanalado.

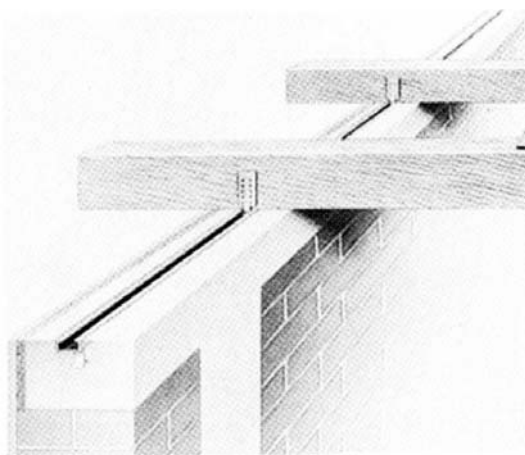


Fig. 72. Uniones ajustables Halfen HTA madera-hormigón

También existen bases regulables para pilares con ajuste posterior (tolerancias de hasta 50mm), que soportan esfuerzos de tracción o compresión elevados (Fig. 73).

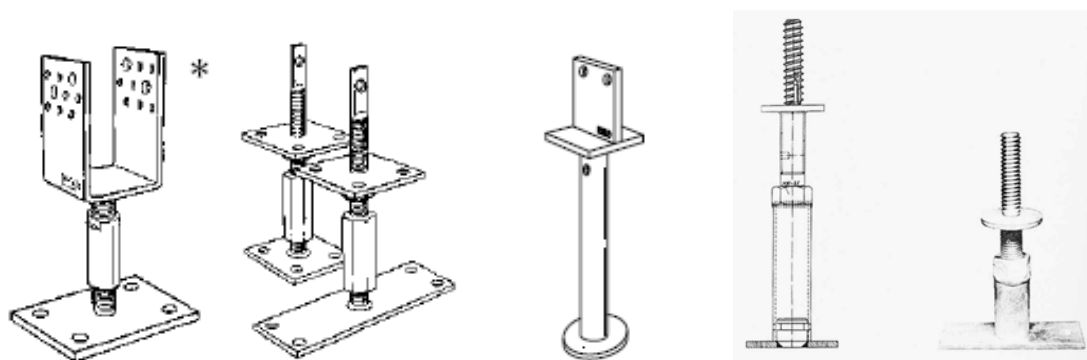


Fig. 73. Algunos tipos de bases regulables para pilares de madera: se apoyan sobre placas de montaje o se hormigonan directamente. Los tres primeros marca Bilo, los últimos dos son Top-Foot.

## UNIONES ENCOLADAS

El encolado es un procedimiento de unión en donde las maderas en contacto se hallan completamente ligadas entre sí, a diferencia de la unión por bulones en donde la fuerza transmitida es concentrada en un espacio estrechamente limitado. La unión por medio de clavos estaría en un punto intermedio entre ambos, al aumentar el número de clavos, el clavado se aproxima progresivamente al encolado.

Las uniones encoladas tienen gran rigidez y permiten uniones entre piezas totalmente rígidas, produciéndose muy poco desplazamiento entre las piezas al aplicar la fuerza, pero son frágiles.

El encolado es el modo de ensambladura más interesante, con la condición de que las colas sean suficientemente estables para resistir sin alterarse la acción de los agentes atmosféricos, así como el ataque de los parásitos.

Sólo deben emplearse colas bien definidas, es decir, de una composición constante cuyo valor se haya controlado mediante ensayos mecánicos, habiéndose podido comprobar en estos últimos que las roturas se producen en la madera y no en los planos de encolado de las probetas, así como asegurarse que esas colas resisten bien el agua, la intemperie y el paso del tiempo.

La ejecución de las ensambladuras encoladas, destinadas a resistir fuerzas exteriores, requieren un prensado conveniente de las piezas.

### Teoría del encolado:

La teoría de como se encola la madera se basa en dos tipos de uniones, unión mecánica y unión específica:

#### Unión mecánica

Se basa en que la cola, más o menos fluida, se introduce en los poros de las dos superficies a unir de madera, y después por fraguado, la cola se convierte en un sólido de gran cohesión, anclado fuertemente en ambas piezas, que quedan perfectamente unidas.

#### Unión específica

Es la que resulta de la atracción química entre los grupos activos de naturaleza polar de la madera y los grupos activos polares de la cola.

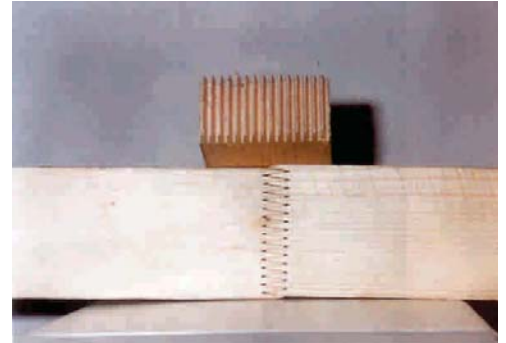


### **Tipos de encolados:**

Los tipos de encolado más frecuentes son el finger-joint y el encolado de cantos y caras.

#### *Finger-Joint*

La técnica de uniones dentadas tiene entre sus principales aplicaciones el ensamblado de extremos de piezas de madera, el cual constituye actualmente un medio de gran potencial para mejorar el rendimiento de la materia prima en la industria del aserrado y elaboración de la madera, pues permite valorizar piezas cortas de escaso valor o revalorizar piezas de tamaño comercial de baja calidad.



Unión mediante finger-joint

#### *Encolado de cantos y caras*

La dificultad de contar con madera de ancho superior a 300mm ha obligado a la industria maderera a desarrollar técnicas que permiten además de lograr los anchos deseados, aprovechar integralmente la materia prima proveniente del aserradero. En el encolado de cantos y caras el encolador arma las piezas de madera a encolar en anchos que totalicen la dimensión aproximada del panel requerido.

### **Tipos de pegamentos:**

Los pegamentos utilizados en la industria de la madera son fundamentalmente productos sintéticos. Las colas naturales (animales, de pescado, de caseína y de almidón) son utilizables en casos muy específicos, generalmente de forma artesanal, pues su aplicabilidad y resistencia ha quedado ampliamente superadas por las colas sintéticas.

Las colas sintéticas más utilizadas son:

- Pegamentos termoplásticos: colas de acetato de polivinilo (PVAC).
- Pegamentos termoendurecibles: colas de urea-formaldehído, melamina-formaldehído, resorcina-formaldehído y fenol-formaldehído.
- Pegamentos de contacto: neopreno y derivados (PC).
- Pegamentos termofusibles o de fusión: etileno acetato de vinilo EVAC y poliamida.
- Pegamentos de poliuretano.
- Pegamentos epoxídicos.

## **UNIONES CARPINTERAS**

Son las realizadas mediante cajas y ensambles siguiendo las técnicas tradicionales. Por lo general son encoladas pero también se las combina con elementos metálicos de posicionado (ver Fig. 74, 75 y 76). Los esfuerzos se transmiten a través de compresiones localizadas y tensiones tangenciales de corte.

En principio puede parecer que las soluciones de uniones carpinteras conducen a un dimensionado mayor que los tipos de conexión mecánica, pero no siempre es así. Las uniones mecánicas de tipo clavija o de superficie tienen capacidades de carga mayores cuanto mayor es el diámetro del elemento. Un clavo puede transmitir cargas del orden de los 50 a 150daN y un perno entre 500 y 1500daN, pero si se consideran las separaciones mínimas para cada elemento de unión (ver capítulo *Proyecto de estructuras de madera aserrada*), la densidad de carga transmitida por unidad de superficie queda bastante parecida, en torno a 8 y 12 daN/cm<sup>2</sup>.

Las uniones carpinteras cayeron en desuso debido a la dificultad de encontrar artesanos que las hicieran y en todo caso al elevado costo de la mano de obra. Sin embargo, en la actualidad gracias a la fabricación asistida por ordenador, se han recuperado al reducirse enormemente los costos y aumentar la precisión de la ejecución. La limpieza que se obtiene en las uniones carpinteras es muy superior a la que se suele encontrar en las uniones con elementos metálicos.

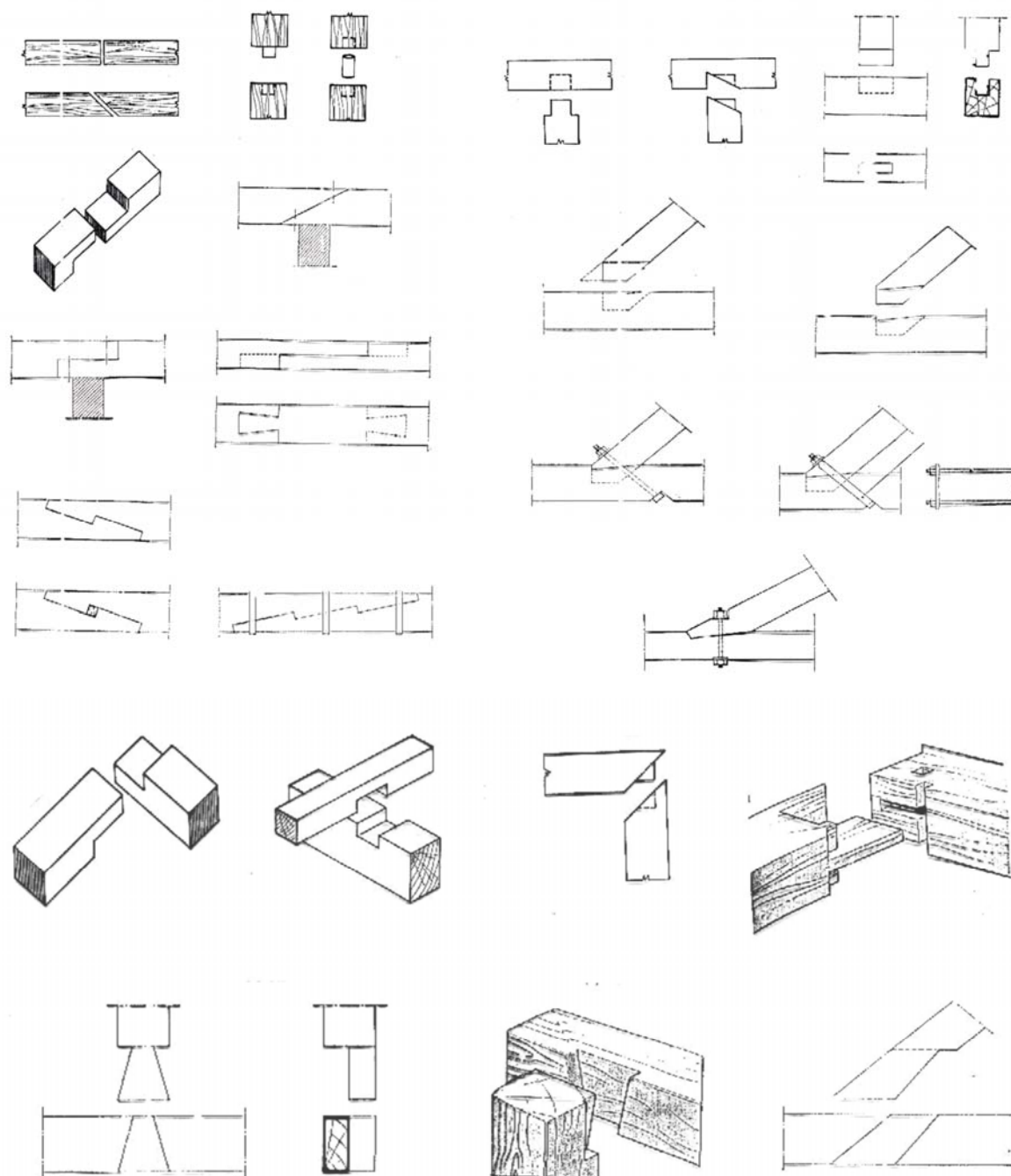


Fig. 74. Ejemplos de uniones carpinteras: empalmes, uniones por intersección y ensambles

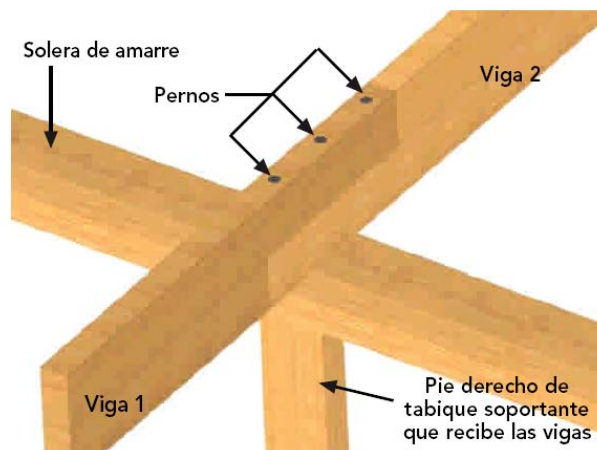


Fig. 75. Empalme típico de dos vigas sobre un tabique estructural llamado ensamble en entabladura, el cual consiste en ejecutar un corte tipo media madera y fijarlo con pernos, clavos, adhesivos o tarugos.

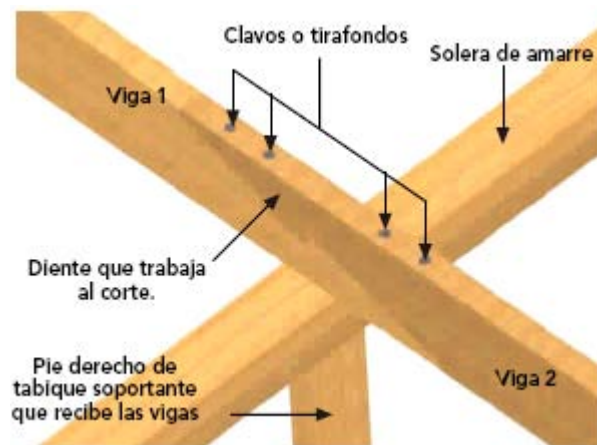


Fig. 76. Empalme de dos vigas llamado Rayo de Júpiter sobre tabique estructural, en el cual las vigas se cruzan como en la solución de tipo entabladura, pero incorporando un diente que trabajará al corte. Se puede utilizar en su fijación pernos o clavos.



## BIBLIOGRAFÍA

### Textos y sitios Web consultados para la realización de este capítulo (orden alfabético):

*Cubiertas de tejas con estructura de madera*, C. Meyer, M. Calone, P. Nogara y S. Torán, ICE, Facultad de Arquitectura de la Udelar, 2003

*Estructuras metálicas y de madera*, apuntes de la cátedra homónima, Facultad de Ingeniería de la Udelar

*Las maderas de construcción*, G. Froment, Editorial Victor Leru, Buenos Aires, 1954

*Maderas*, publicación realizada por la Cátedra de Construcción I, Facultad de Arquitectura de la Udelar, 2002

*Manual de construcción de viviendas en madera*, Centro de transferencia tecnológica, Corporación chilena de la madera CORMA, Chile

*Tectónica Nº 13: monografías de arquitectura, tecnología y construcción*, ATC Ediciones, Madrid, 2002

[www.awc.org](http://www.awc.org)

[www.bierbach.de](http://www.bierbach.de)

[www.halfen.com](http://www.halfen.com)

[www.holzverbindung.de](http://www.holzverbindung.de)

[www.merk.de](http://www.merk.de)

[www.strongtie.com](http://www.strongtie.com)

### Figuras:

Figs. 53, 59, 60, 66 (segunda y tercer fig.) y 73 (últimas dos figs.): *Tectónica Nº 13: monografías de arquitectura, tecnología y construcción*, ATC Ediciones, Madrid, 2002.

Figs. 54, 56, 58 (primera fig.), 62, 63, 67, 68, 75 y 76: *Manual de construcción de viviendas en madera*, Centro de transferencia tecnológica, Corporación chilena de la madera CORMA, Chile

Figs. 55, 57 y 58 (dos últimas figs.): *Cubiertas de tejas con estructura de madera*, C. Meyer, M. Calone, P. Nogara y S. Torán, ICE, Facultad de Arquitectura de la Udelar, 2003

Fig. 61: [www.merk.de](http://www.merk.de)

Figs. 64 y 73: [www.bierbach.de](http://www.bierbach.de)

Figs. 65, 69, 70 y 71: [www.awc.org](http://www.awc.org)

Fig. 66 (primera fig.): [www.strongtie.com](http://www.strongtie.com)

Fig. 66 (dos últimas fotografías): [www.holzverbindung.de](http://www.holzverbindung.de)

Fig. 72: [www.halfen.com](http://www.halfen.com)

Fig. 74: *Maderas*, publicación realizada por la Cátedra de Construcción I, Facultad de Arquitectura de la Udelar, 2002



## EJEMPLOS CONSTRUIDOS

Los siguientes ejemplos son obras arquitectónicas construidas en base a estructuras de madera ya sea en su estado natural (madera aserrada) como industrializada (madera laminada). Algunas de ellas son de gran valor arquitectónico, realizadas por diferentes arquitectos, en su mayoría forjadores de una arquitectura contemporánea. A través de las mismas se puede apreciar la versatilidad y nobleza que ha sabido presentar este tipo de uso del material, (que como se mencionó está estrechamente vinculado con la construcción en general en madera), acompañando la creación, en todo su proceso, del hecho arquitectónico con personalidad y contundencia.

Estos ejemplos son una prueba del gran potencial de este material, no sólo desde el punto de vista de aspectos ya mencionados como su fácil manipulación y transformación, de ser un material amigable con el medio ambiente, relación favorable peso-resistencia, alta resistividad térmica, etc., sino como generador de espacios únicos, fenomenológicos, de gran diversidad llevando el proceso creativo-arquitectónico a un nuevo nivel.

### EJEMPLOS CON MADERA ASERRADA

#### Arquitectura doméstica japonesa del SXIII al XVII

Autor: anónimas

Ubicación: Kyoto y Tokyo, Japón

Año de construcción: del SXIII al SXVII

Es imposible soslayar la importancia del uso de la madera como elemento substancial en la construcción de la arquitectura tradicional japonesa, y no sólo la templaria sino principalmente la doméstica.

La arquitectura tradicional japonesa influyó grandemente el desarrollo de la arquitectura contemporánea occidental no sólo con sus techos sobresalientes y espacios prístinos, sino con una gramática propia apoyada en dinteles, pantallas y estructura de entramado de madera. El tokonoma, (elemento permanente del interior de la arquitectura doméstica japonesa, centro de contemplación y ceremonia) es un elemento de enorme influencia de cierta arquitectura contemporánea donde se produce una sustitución del hermetismo por la fluidez espacial (piénsese por ejemplo en las Prairie Houses de Frank Lloyd Wright).

Estas construcciones aún hoy siguen siendo admiradas por sus refinadas proporciones, por el uso exquisito de la madera como principal material de construcción y por la sutil integración de la naturaleza en los espacios y de los espacios en la naturaleza. Es una arquitectura que modula el espacio para cargarlo de un carácter espiritual. Son una expresión tridimensional integral en la cual el exterior sugiere volúmenes interiores y donde la escala humana impregna todas sus partes.



Fig. 131. Exterior de vivienda y comercio tipo Machiya en Kyoto, SXVI. La estructura de este tipo de vivienda es un entramado pesado de madera con cerramientos del mismo material.



Fig. 132. Interior de vivienda del SXVIII. Integración espacial, fluidez, mínima expresión, máxima espiritualidad.



Fig. 133. Interior de vivienda tipo Machiya en Kyoto, SXVII. La estructura es parte integral de la concepción del espacio. El exterior es tratado como una habitación más donde se da simultáneamente una fusión y diferenciación entre éste y el interior propiamente dicho.

## Vivienda Schindler-Chase

Autor: Rudolf Schindler

Ubicación: Hollywood, Los Ángeles, California, EEUU

Año de construcción: 1921-1922

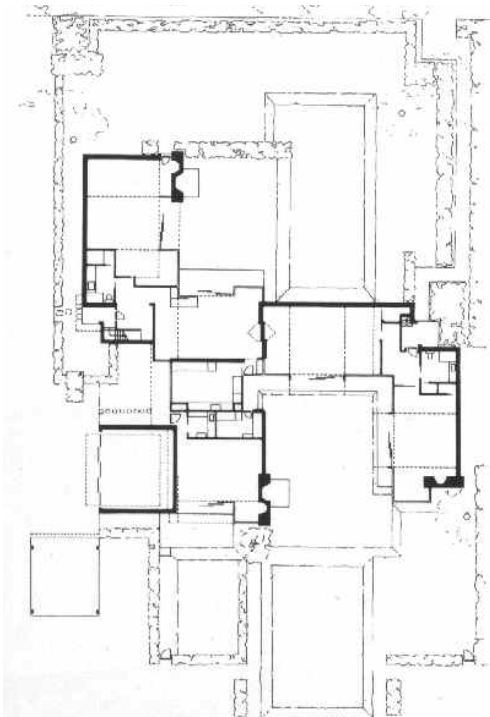


Fig. 134. Planta: tres formas en L giran.

Esta vivienda para dos familias (Schindler y Chase), emplazada en una California que todavía se le podía llamar tierra virgen, responde al paisaje, al color de la tierra, los árboles y los grandes espacios. El autor intenta traducir su comprensión de éstas características en una morada introvertida, con espacios de techo bajo que se abren completamente a patios interiores con abundante vegetación a los que se llega a través de pantallas deslizantes de madera.

El programa social de la vivienda era tan radical como su diseño. Las dos familias ocupaban alas independientes, con un gran espacio multifuncional para los adultos y un porche superior abierto destinado a los dormitorios, compartiendo la cocina. Los espacios exteriores, utilizados por ambas familias y sus invitados, eran tan importantes como los interiores.





Fig. 135. Exterior de la vivienda Schindler-Chase



Fig. 136. El patio de los Schindler tiene continuidad en el estudio de Pauline Schindler.

La estructura es de madera de secuoya en la cubierta y en los muros acristalados, con algunos muros de hormigón visto, utilizando, para éstos, la construcción de “losa inclinada” de Irving Gil, con un módulo de 4 pies (121 cm). Los tabiques interiores son de Insulite.

La magnífica situación de la casa en su emplazamiento, los dinámicos ejes diagonales, la manipulación de la sección, la entrada de luz al interior a través de las pequeñas aberturas verticales, los muros abiertos acristalados, los paneles móviles de lona y las ventanas altas apaisadas, junto con el contraste de colores, texturas y olores que exhiben los materiales escogidos, dan como resultado una compleja arquitectura espacial.

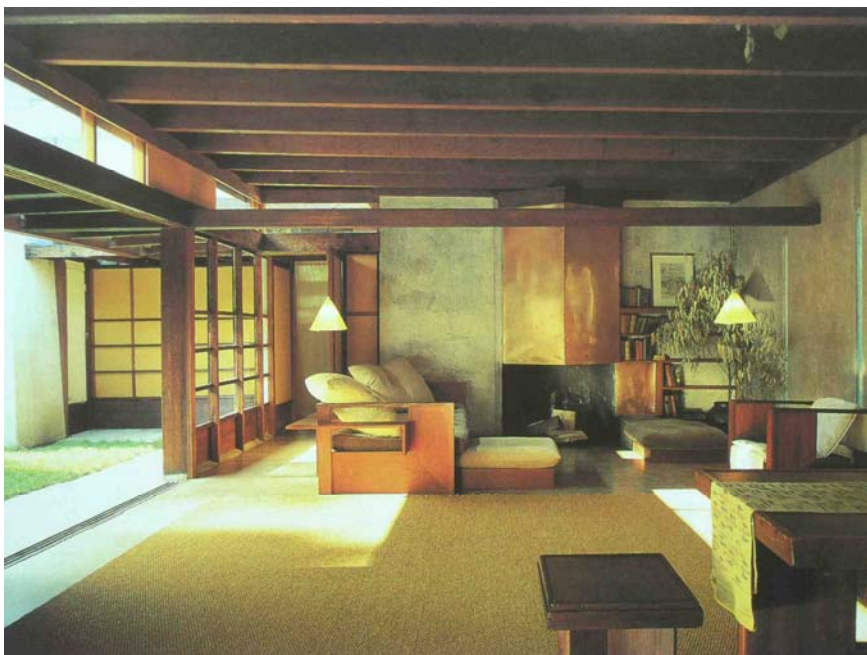


Fig. 137. Estudio de Pauline Schindler, donde la luz penetra desde las cuatro direcciones, y los materiales de las paredes, la estructura y la estufa se combinan e invitan a salir al patio exterior.

Schindler pensaba en la vivienda como “un simple tejido de unos pocos materiales estructurales que retengan su color y textura naturales completamente”.

## Casa Breuer I

Autor: Marcel Breuer

Ubicación: Lincoln, Massachussets, EEUU

Año de construcción: 1938-1939

La casa se organiza en tres cuerpos yuxtapuestos: la sala de estar trapezoidal ocupa la posición central con un piso y medio de altura, y se relaciona, por un lado, con un cuerpo de dos plantas, con la cocina, comedor, dormitorio de servicio, un baño y dos dormitorios, y, por el otro, con una veranda de un piso.

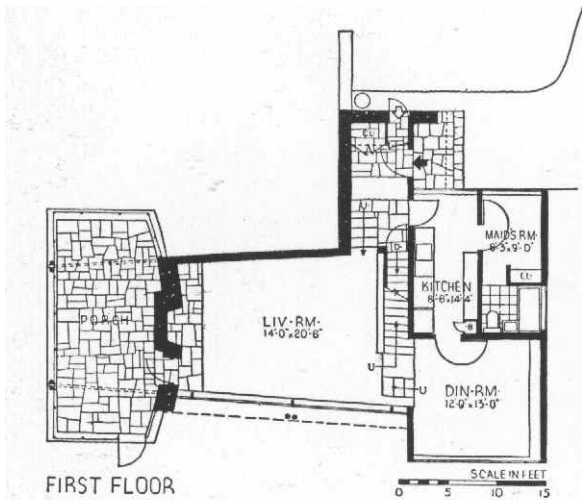


Fig. 139. Planta baja

La escalera hace de frontera entre los dos cuerpos y los relaciona con la sala. Estas complejas relaciones están resueltas con una gran economía de superficie. La integración espacial de estas piezas define el interior como un universo unitario, cálidamente doméstico y espacioso.

En cambio, la veranda es un ámbito exterior, protegido por un antepecho de piedra y por un mosquitero montado sobre bastidores, al que se sale por una pequeña puerta desde la sala. La veranda está en el umbral del bosque y adquiere el sentido de un pabellón mirador, casi independiente. El grueso muro de mampostería que la separa de la casa contiene también la chimenea y dos escalones.

Se genera de esta forma un contraste entre los muros de piedra y los cuerpos de entramado de madera.

El tema estructural más osado de la vivienda está en el volumen de la veranda donde queda en voladizo en sus cuatro aristas, soportados por vigas y pilares de madera, logrando de esta manera que el paisaje se fusione con

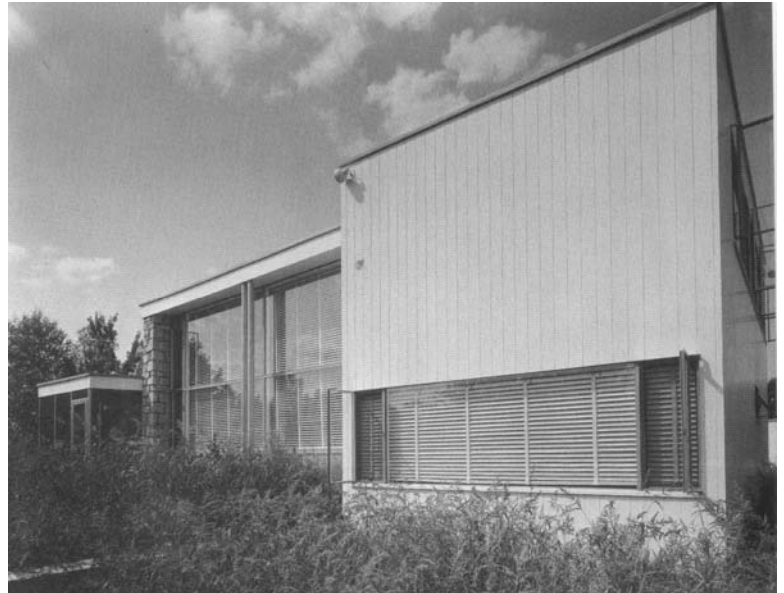


Fig. 138. Vista exterior mostrando el gran ventanal de la sala (a la izquierda) que otorga el papel de vacío en la composición del conjunto.



Fig. 140. La unidad del espacio interior se consigue con la incorporación de las piezas situadas en el cuerpo transversal y con la posición de la escalera como limitada pero interesante promenade.

el espacio así creado. La apariencia de liviandad e inmaterialidad es lograda por el uso de pilares exteriores dobles, solución que permite reducir la sección de cada elemento del pilar lográndose así una mayor transparencia.

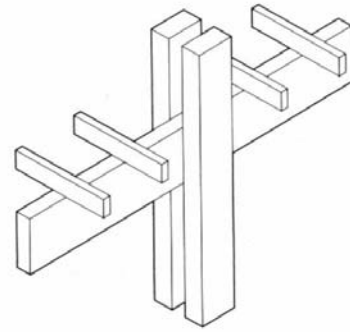
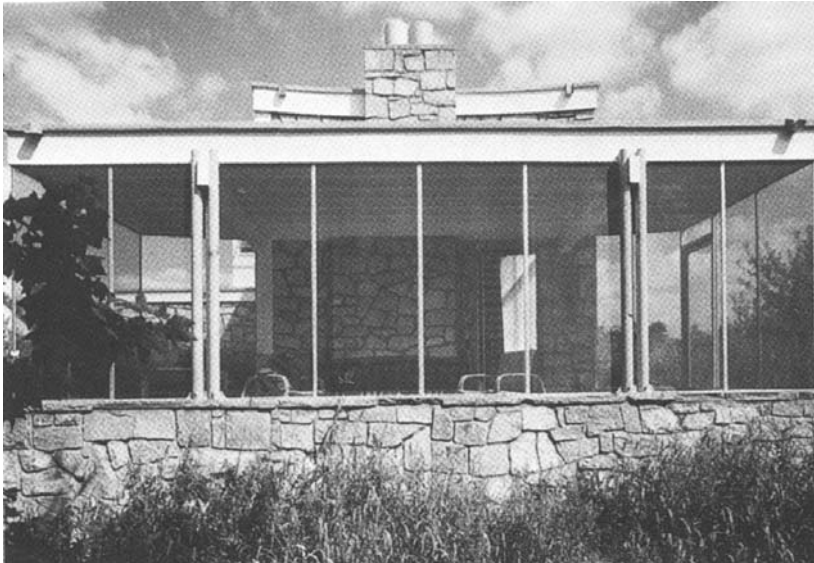
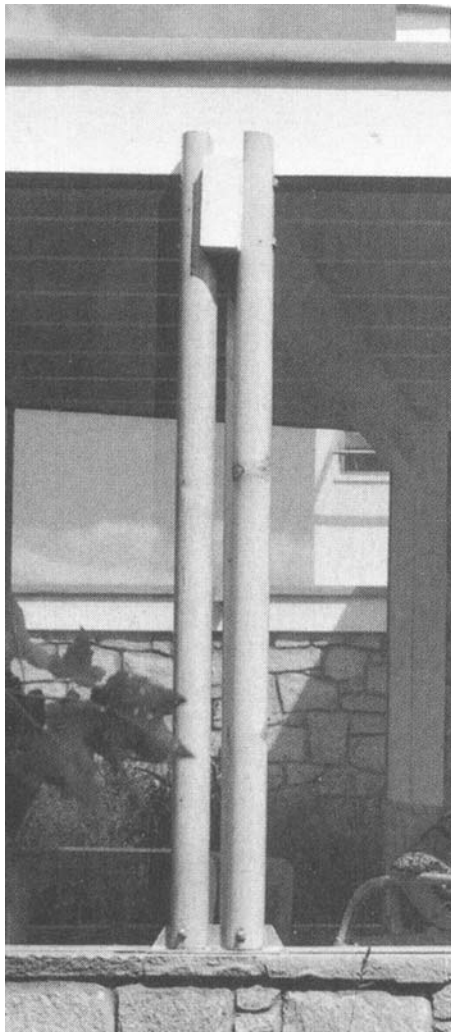


Fig. 141. Exterior de la veranda, en su origen protegida con tela mosquitera y esquema de la estructura de madera utilizada.



La solución de utilizar los pilares dobles tiene la ventaja de que tanto los pilares como las vigas pueden ser continuos.

Fig. 142. Detalle de pilares dobles de madera en la veranda.



## Cottage Chamberlain

Autor: Marcel Breuer, Walter Gropius

Ubicación: Wayland, Massachusetts, EEUU

Año de construcción: 1940

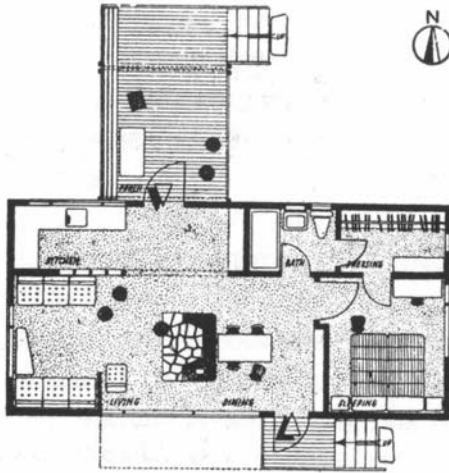


Fig. 143. Planta

Más importante inclusive que la extraordinaria delicadeza de la estructura de esta vivienda, es la completa y última asimilación de la tradición constructiva de Nueva Inglaterra llevándola a las demandas de la nueva arquitectura. Este cottage es un concepto orgánico, sus materiales ya no son usados tímidamente en patrones abstractos, sino que son usados con una extrema facilidad y con un seguro dominio de la técnica. Como algunas de las otras casas de Breuer, no es un delicado producto del industrialismo, sino que sus superficies son humanizadas, con colores cálidos y texturas suaves, satisfaciendo completamente las demandas de la naturaleza humana.

La comprensión que Breuer tenía de la estructura de madera de entramado ligero norteamericano construido sobre una base de mampostería, es inteligentemente exagerado en esta casa. Este tipo de entramado de madera es concebido como una gran viga, permitiendo que la cocina y parte del estar queden en voladizo sobre la entrada en planta baja. Lo mismo sucede con el gran porche vidriado perpendicular a la cocina.

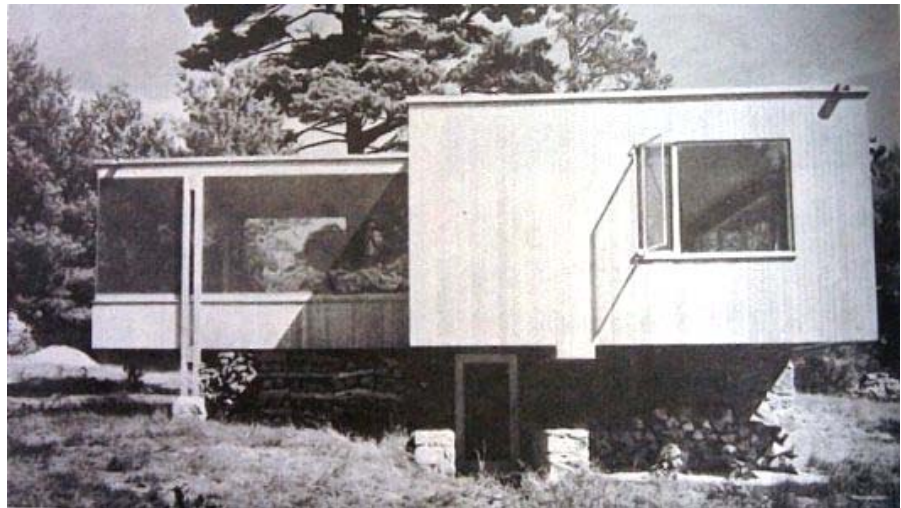


Fig. 144. Vista exterior.



## Casa Zack

Autor: Craig Ellwood

Ubicación: Brentwood, Los Ángeles, California, EEUU

Año de construcción: 1951-1952

Es una vivienda para una familia de clase media, llamada “progresista”.

La estructura no se pudo realizar completamente de madera por el hecho de que estaba sobre una ladera pronunciada en una zona sísmica. A esto se le suma el deseo general de apertura de la casa hacia las vista de la ladera. Por éste motivo se recurre al acero para realizar los elementos estructurales verticales y madera para el resto. La estructura establece un sistema espacial tridimensional, jugando un papel plástico y comunicativo.



Fig. 145. Casa Zack. Exterior.

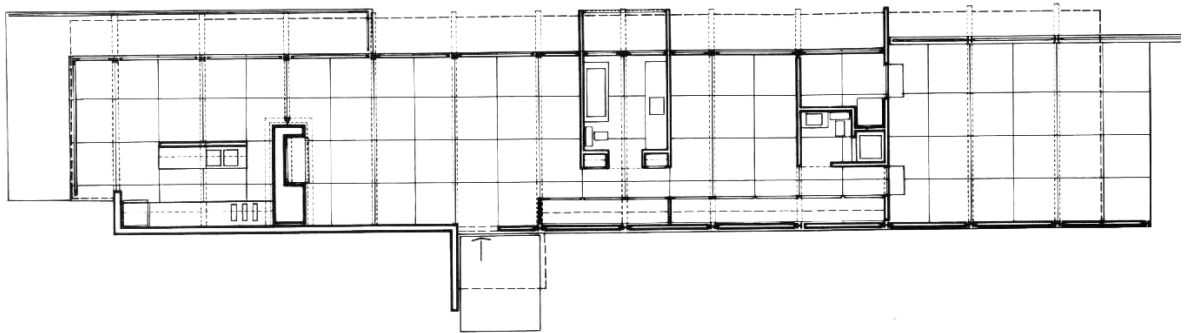


Fig. 146. Planta: la cubierta unificadora, unida al liviano entramado horizontal estructural, ambos de madera, hacen de la casa un escenario vacío ideal para una vida flexible.

La casa confía su definición espacial al entramado estructural de madera y acero siendo interpretada como un vacío que debía ser llenado de vida moderna.

La conexión entre el metal y la madera se realizó mediante tientos y simples, aunque tremendamente expresivos, perfiles de acero en U. La cubierta unificadora completamente de madera, unida al liviano esqueleto estructural, hizo de la casa el escenario vacío ideal para una vida flexible que Ellwood consideraba intrínseca de la vida moderna.



Fig. 147. Expresión de las conexiones entre metal y madera.

## Casa Kubly

Autor: Craig Ellwood

Ubicación: Pasadera, California, EEUU

Año de construcción: 1964-1965

Vivienda realizada con un presupuesto relativamente limitado para un diseñador gráfico y su familia.

La estructura es completamente de madera y consiste en pilares de secuoya de 15 x 15 cm que sobresalen del plano de fachada de modo que la expresión estructural recupera la jerarquía del primer plano frente a otras obras del autor en donde se escondía. El efecto se refuerza por el hecho de que los pilares exentos también sirven para elevar la casa sobre el terreno.

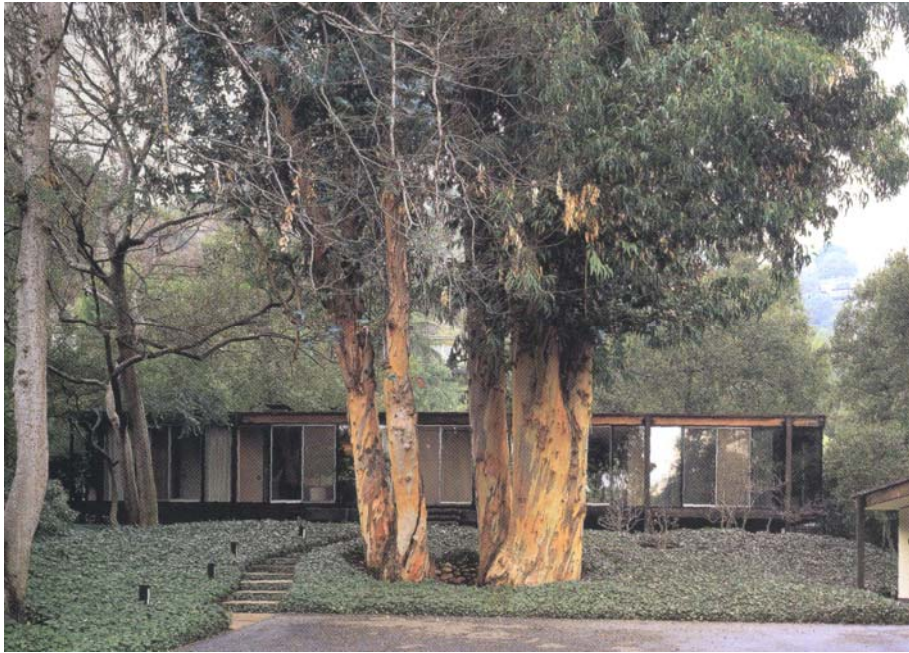


Fig. 148. Frente de la casa Kubly rodeada de eucaliptus.

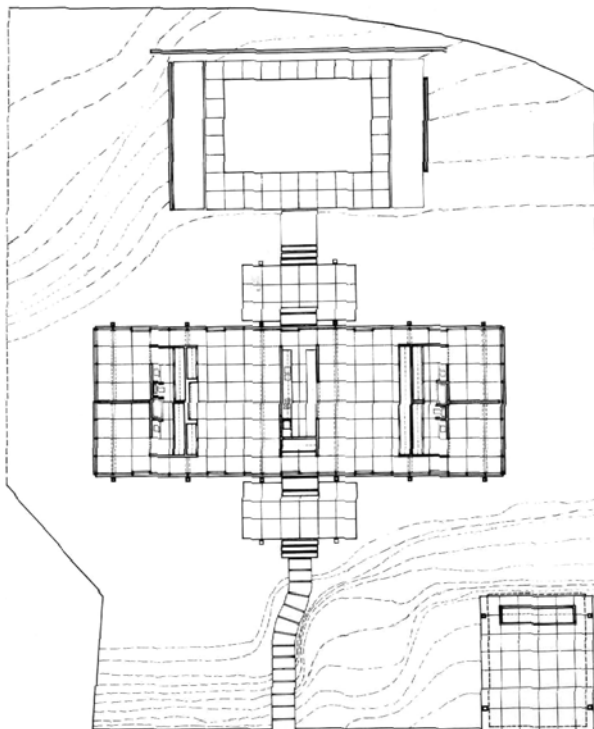


Fig. 149. Planta.



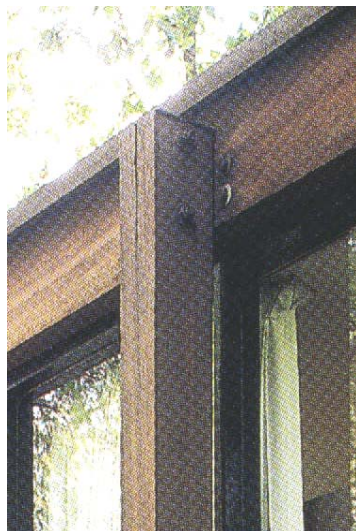


Fig. 150. Parte posterior de la vivienda.



Fig. 151. El edificio es un paralelepípedo elevado del terreno por medio de pilares de madera de secuoya. Todas las esquinas se dejaron libres de apoyos.

El origen de los pilares exteriores de Kubly hay que buscarlo, probablemente, en el proyecto original de acero. En palabras de Ellwood, “el error que cometen muchos arquitectos al usar el acero es tratarlo como si fuese madera; los pilares con carga excéntrica son más fáciles de resolver con acero”. A pesar de que se construyeron contradiciendo este planteamiento, los pilares de madera cargados excéntricamente se convirtieron en el detalle constructivo más emblemático de la casa Kubly. Las platinas metálicas que aseguran las uniones de los pilares con las vigas llegan a ser el único detalle perceptible en un edificio bastante escueto en detalles. Como en tantos otros edificios de Ellwood, las soluciones técnicas venían determinadas por un objetivo visual.



Detalle de unión pilar-viga

## Galería para la Colección Goetz

Autor: Herzog y De Meuron

Ubicación: Munich, Alemania

Año de construcción: 1991-1992

Envuelta en las superficies de vidrio translúcido de la fachada, la estructura de madera de abedul y hormigón de la Colección Goetz, saca provecho del efecto de la opacidad, recurso muy común en arquitecturas 'minimalistas' en donde las fachadas presentan un aspecto notable y a veces monumental, y sin embargo paradójicamente, una falsa imagen del peso del edificio.

La estructura está formada por una caja de hormigón armado a nivel de subsuelo sobre las que descansan perpendicularmente dos estructuras con forma de U, también de hormigón armado, a nivel de suelo, formando la planta baja. Éstas ofician de base para la estructura de entramado pesado de madera de abedul de los pisos superiores (Fig. 153).



Fig. 152. Vista exterior desde el jardín: se puede apreciar el simple container simétrico con una piel cambiante pero de materiales relacionados (vidrio esmerilado, madera de abedul y aluminio arenado).

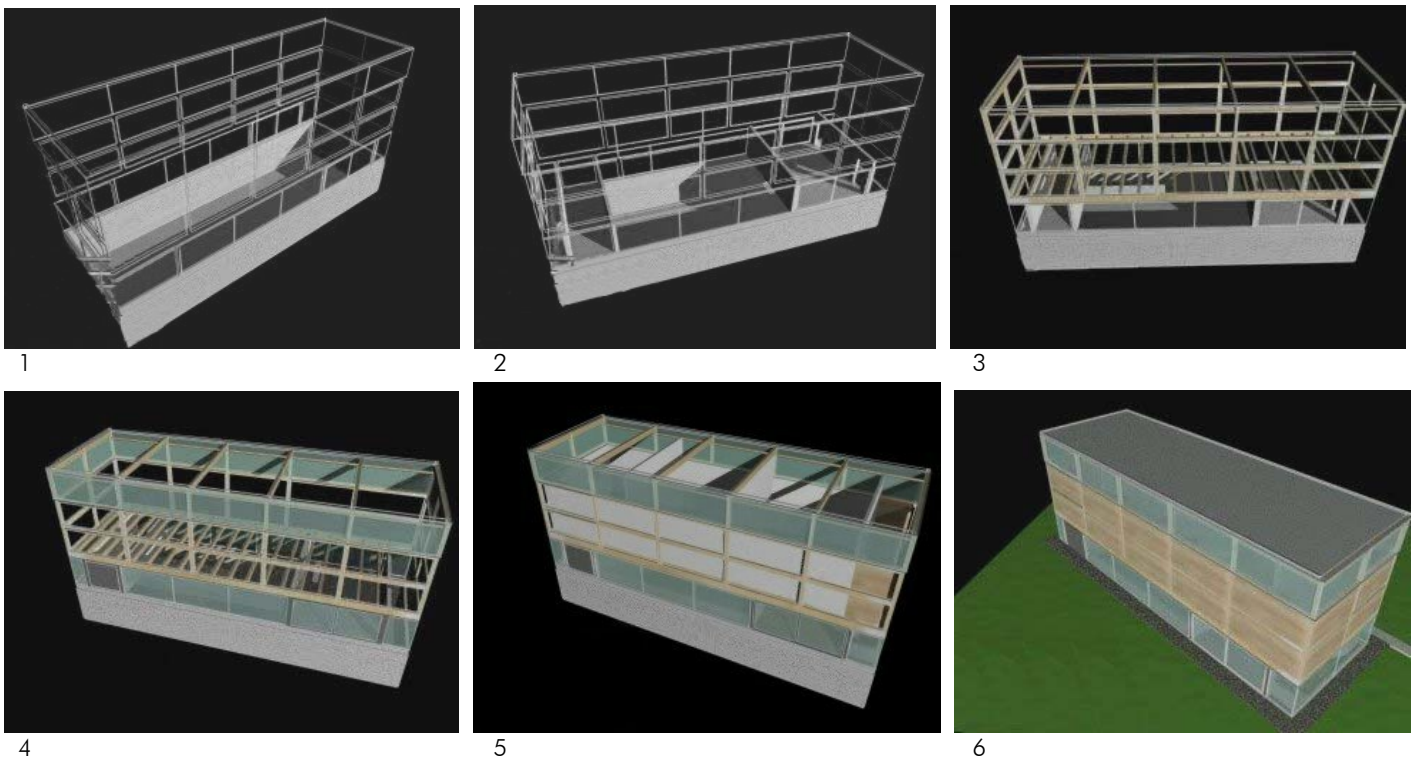


Fig. 153. Proceso constructivo del edificio: 1. caja de hormigón armado a nivel de subsuelo; 2. sobre ésta se apoyan dos estructuras también de hormigón armado de sección "U" a nivel de planta baja; 3. estructura de entramado pesado de madera de abedul de los pisos superiores, formado la estructura principal de las galerías de exposición; 4. fajas vidriadas; 5. revestimiento del volumen intermedio con paneles de madera multicapa; 6. revestimiento exterior de madera compensada.



Desde el exterior el edificio tiene una cualidad en cierta forma misteriosa, ya que la función soporte de los dos elementos de hormigón en forma de U no se reconoce a primera vista, y la estructura de madera parece flotar sobre el perímetro vidriado de la planta baja.

La piel del edificio imperceptiblemente cambia su función, mientras que el vidrio forma una superficie visual, los paneles de contrachapados de madera rellenan la caja de estructura de madera introducidos en este juego como elementos estructurales.



Fig. 154 y 155. Vista exterior e interior de la Galería.

### Quiosco Río Florida

Autor: Roberto Ercilla / Miguel A. Campo

Ubicación: Vitoria, España

Año de construcción: 1994

Es un conjunto de tres pabellones destinados a restaurante, bar y terraza situados en un pequeño parque.



Fig. 156. Vista de los pabellones inmersos en el parque.

La estructura está realizada a base de elementos de madera de pino Oregón tratada. La misma consiste en un entramado de vigas y pilares de escuadrías de 6" x 6" (15x15cm). La separación entre pilares es 3,70 m, constituyendo un módulo, siendo su altura de 3,20m.



Fig. 157. Vista desde un pabellón hacia otro a través del hall de acceso

La estructura de madera está colocada sobre una losa de hormigón armado de 12cm de espesor con una malla electrosoldada de 150x150x6x6 y un nervio perimetral de hormigón armado de 40x40cm (ver Fig. 159).

Las uniones en el entramado de madera se llevan a cabo con 4 tipos de conectores de acero galvanizado, con los que se solucionan todos los nudos (ver Fig. 158).

Dos de ellos resuelven los encuentros superiores, tanto intermedios como de esquina. Otras dos piezas resuelven los mismos casos pero en el encuentro con la platea, para lo cual lleva soldadas una platina de fijación.

Para la realización de la cubierta se disponen viguetas de escuadría de 3" x 6" (7,5x15cm). Sobre ellas se colocan calces para formar la pendiente y encima de ellos un tablero contrachapado fenólico de 25mm de espesor (utilizado habitualmente para encofrados) con juntas selladas y tratamiento antihumedad. De esta forma se define la base para la cubierta invertida.

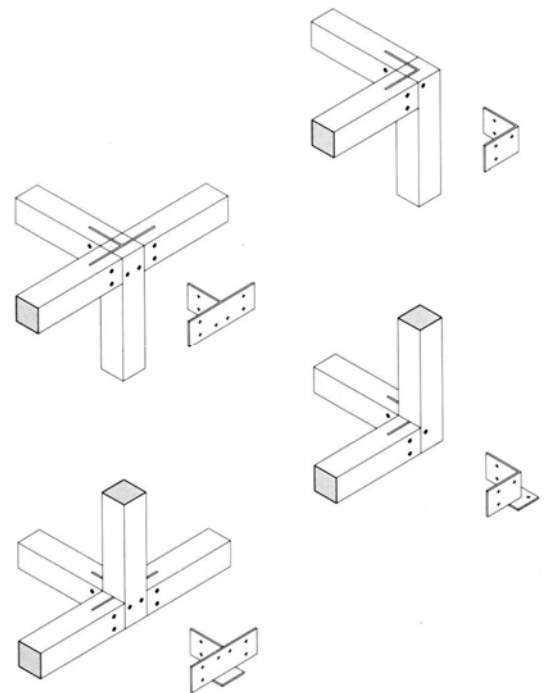


Fig. 158. Uniones entre los elementos de madera. Los conectores son de acero galvanizado

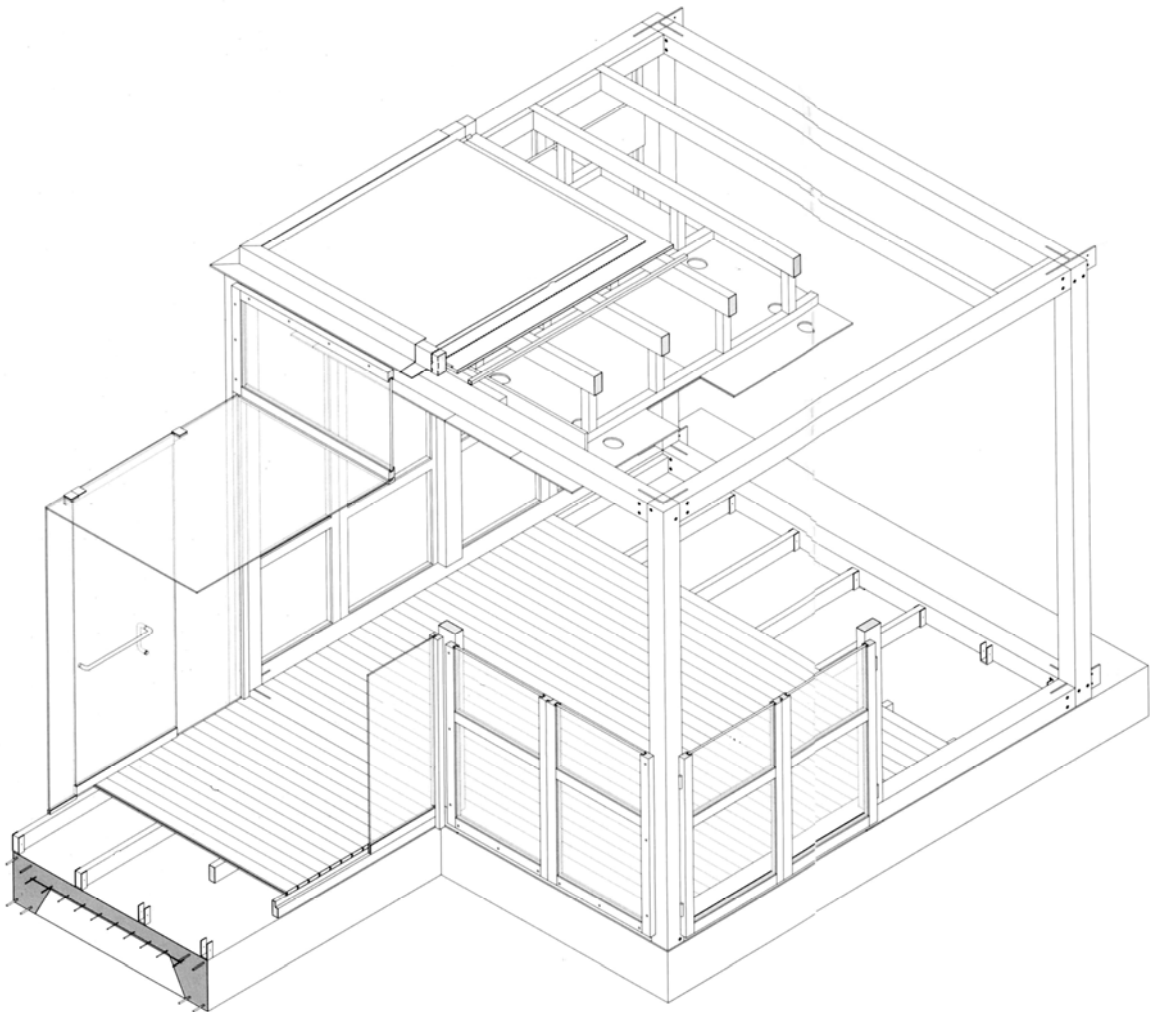


Fig. 159. Axonométrica de despiece constructivo.

## Centro Lanaud de ganado

Autor: Jean Nouvel / Edouard Boucher

Ubicación: Boisseuil, Francia

Año de construcción: 1993-1994

Para este establecimiento dedicado al mercado de ganado Limousin, Jean Nouvel disponía de un predio idílico en un valle ondulado: una ladera cubierta de verdes pasturas, coronada por un oscuro cinturón de árboles, con antiguos establos que albergan las más finas especies de razas locales. El programa consistía en un edificio administrativo, un salón de subastas y un pabellón de recepción.

Jean Nouvel aceptó el desafío de proveer edificios de bajo costo que fuesen simultáneamente discretos y ostentosos. Por este motivo utiliza madera de cedro rojo al natural, tanto para la estructura como para los cerramientos. La tectónica de este material brinda, con el tiempo, un fino matiz plateado.



Fig. 160. Extendido a lo largo del verdor, el edificio de cedro rojo con un matiz plateado, se posa naturalmente en las laderas de Limousin, Francia.





Fig. 161. El exterior del salón de subastas muestra la misma simple rusticidad que presenta todo el edificio.



Fig. 162. Vistas del interior del edificio: estructura de madera de cedro rojo.

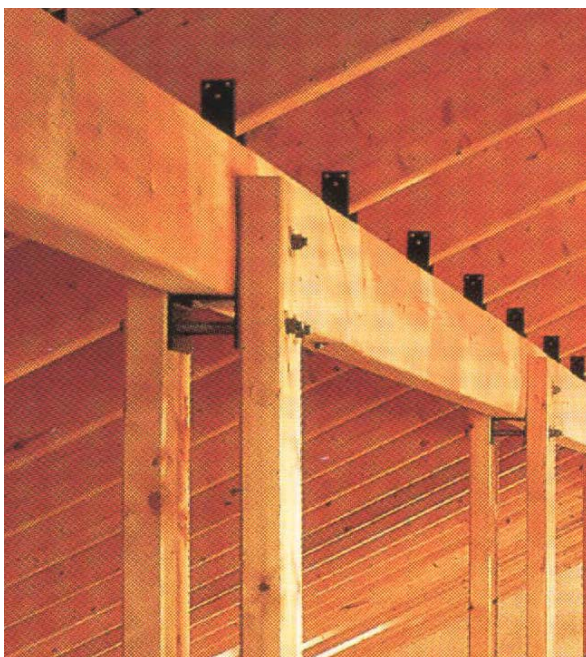


Fig. 163. Detalle de uniones mecánicas viga-pilar.



## Casa Ugarte

Autor: Mathias Klotz

Ubicación: Maitencillo Sur, Chile

Año de construcción: 1995

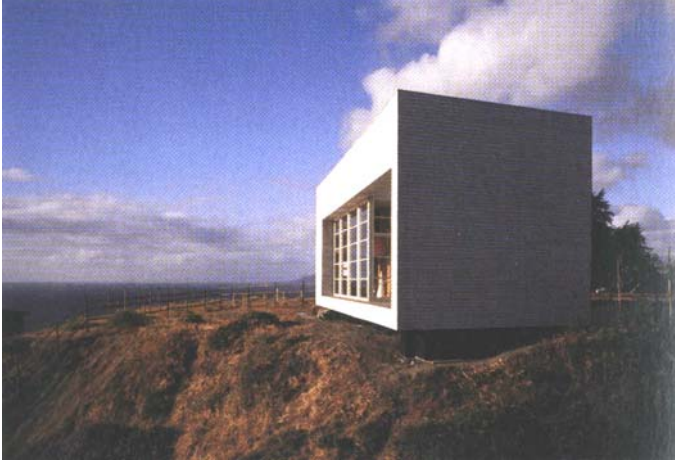


Fig. 164. Vista exterior.

Esta casa minimalista, construida completamente en madera, vacía y silenciosa en el exterior, se posa como un volumen escultórico en la costa chilena.

La estructura de esta vivienda es de madera aserrada y madera laminada.

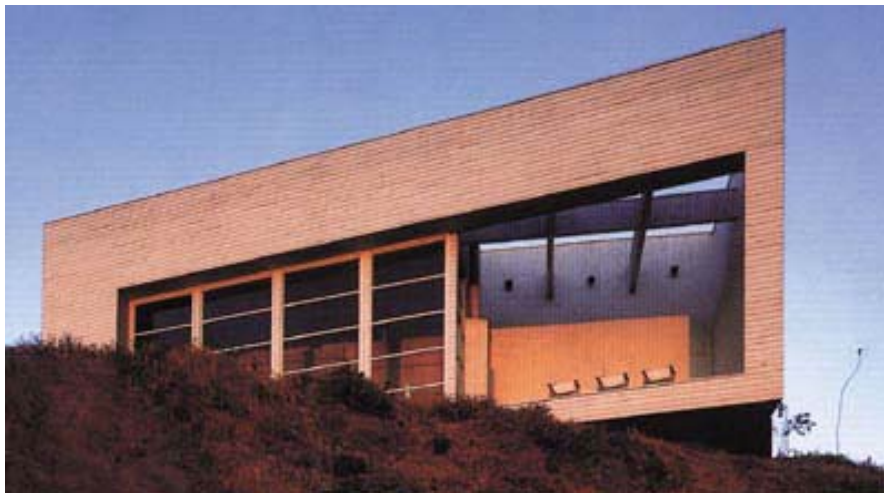


Fig. 165. Vista exterior.

## Casa Reutter

Autor: Mathias Klotz

Ubicación: Playa Cachagua, Chile

Año de construcción: 1999

La casa Reutter es una casa de veraneo ubicada en una colina cubierta de pinos sobre la Playa Cachagua. El proyecto consiste en dos cajas rectangulares apoyadas en pilares de madera y sobre un muro. De esta forma se logra elevar el estar e insertarlo entre los árboles.

La estructura es de madera aserrada y madera laminada con un núcleo de servicios de hormigón armado que sirve de arrioste a todo el edificio.



Fig. 166. Vista exterior donde se puede apreciar el gran volumen en ménsula

## Casa de Fin de Semana

Autor: Ryue Nishizawa

Ubicación: Usui-gun, Prefectura de Gunma, Japón

Año de construcción: 1997-1998



Fig. 167. Vista exterior

El programa de la vivienda incluye una zona de exposición para la obra de la hija artista de los clientes. Como los alrededores están virtualmente deshabitados, se prefirió por razones de seguridad disponer pocos huecos en las fachadas – revestidas de chapa ondulada de acero lacado con una aleación de aluminio y zinc –, optándose por el tipo patio. La vivienda entera se genera a partir de unidades basadas en una retícula estructural de 2,40x2,40 m que forma la planta, un cuadrado de 13 m de lado, quedando la casa dividida en espacios separados entre sí por tres patios de luz.

La disposición de los patios libera a la planta de un exceso de rigidez (ver Fig. 168). La cimentación, una losa recortada en los patios y

reforzada en su perímetro y bajo los pilares, soluciona los problemas derivados del alto grado

sísmico del país. La retícula permite trabajar dentro de un orden de coherencia con sistemas modulares de madera, al mismo tiempo que se consigue la reducción de la sección de los pilares, a 8x8 cm, al aumentar su número. Los pilares interiores (articulados arriba y abajo) se diseñan para soportar únicamente los esfuerzos verticales, ya que los horizontales son absorbidos por el muro exterior (ver Fig. 171).

Los pilares no mantienen una altura homogénea sino que ésta varía con el fin de crear un mapa de puntos de apoyo que forman cuatro planos inclinados. De este modo se consigue que la propia estructura de la cubierta tenga el desnivel necesario para desaguar sin problemas.

La unión de los pilares, tanto con la losa como con el entramado de cubierta, se resuelve con chapas de acero de 6 mm. Estas chapas son el mecanismo que permite absorber el pequeño giro de los paneles de cubierta (ver Fig. 170).

La cubierta a cuatro aguas tiene muy poca pendiente (en torno al 1%). Cada uno de los paños se construye a base de bastidores triangulares o rectangulares prefabricados (ver Fig. 172), formados por vigas de madera de 12x5 cm y correas de 10,5x3,6 cm de sección. Se cierran con un tablero contrachapado estructural de 12 mm de espesor.

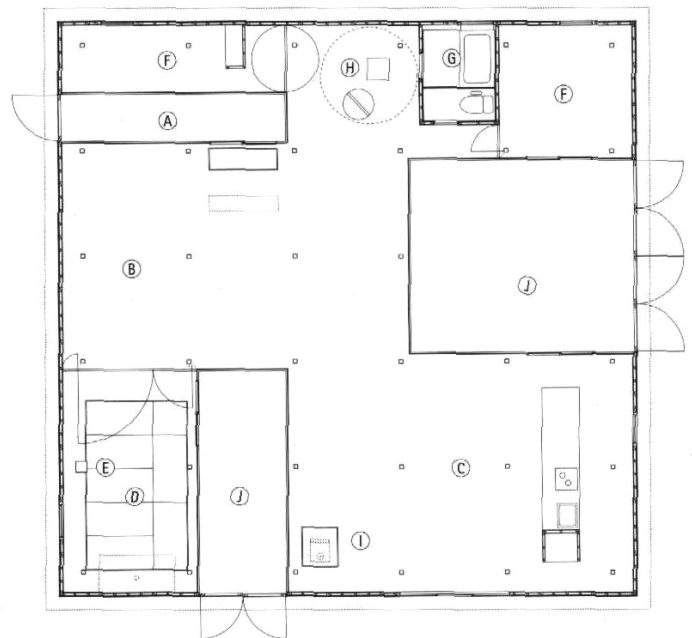


Fig. 168. Planta: los patios articulan la rígida geometría del espacio (A: patio de entrada; J: patios).



Fig. 169. Lo que a simple vista parece una caja introspectiva, es en realidad un gran tamiz que filtra el exterior hacia el interior.

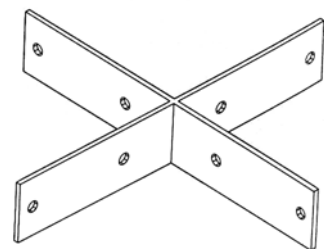
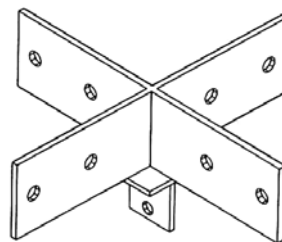
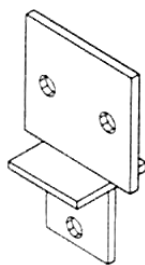


Fig. 170. Las chapas de acero se adaptan al número y forma de los paneles de cubierta que acometen a cada nudo.



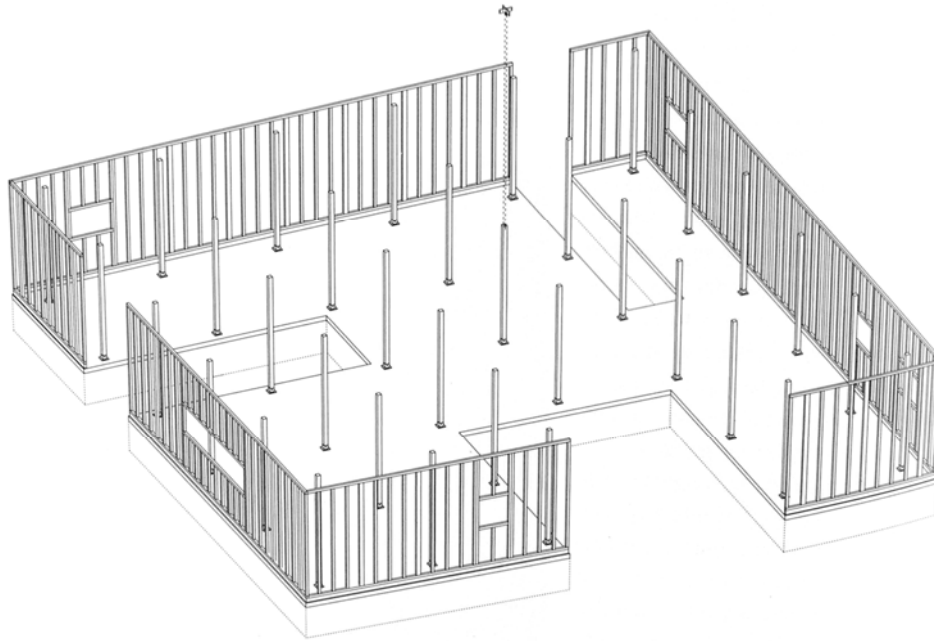
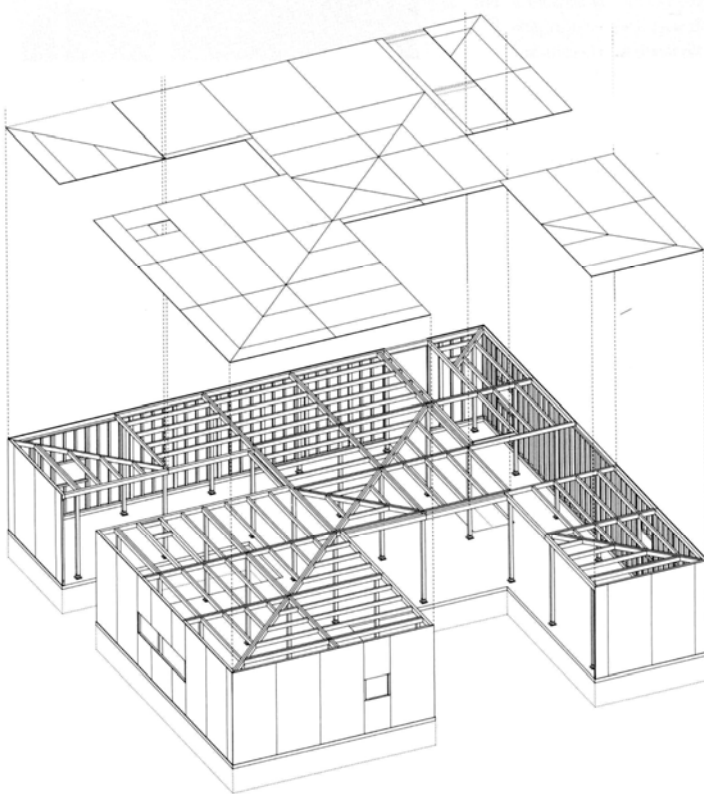


Fig. 171. Axonométrica de la estructura mostrando la retícula interior formada por los pilares y la estructura de la envolvente exterior.



Los muros perimetrales se emplean como único elemento de arriostramiento frente a esfuerzos horizontales.

Están resueltos mediante un entramado de montantes de madera de 5x5 cm de sección y 3 m de altura. Sin embargo, cada 1,20 m (mitad de la retícula estructural) se coloca un montante de mayor sección, de 9x5 cm.

Estos montantes ofrecen una superficie suficientemente amplia para el clavado de los tableros que cosen y rigidizan los muros. Son tableros de contrachapado estructural de 9 mm de espesor y tiene un ancho que coincide con el módulo de 1,20 m.

Fig. 172. Despiece de los elementos de cubierta y tableros de contrachapados ya clavados a los montantes. Todos los elementos de cubierta como los de cerramiento se diseñaron para que fuesen fácilmente manipulables en obra.

Fig. 173. Distintas imágenes del montaje en obra.





## EJEMPLOS CON MADERA LAMINADA

### Casa Starkey

Autor: Marcel Breuer

Ubicación: Duluth, Minnesota, EEUU

Año de construcción: 1954-1955



Fig. 174. Vista exterior de la Casa Starkey

En este proyecto, Breuer apuesta claramente por la dimensión de *belvedere* o blacón sobre el paisaje.

Tan sólo la parte del ala de los dormitorios apoya sobre la plataforma superior del terreno, en el resto queda una fisura que permite ver el porche creado por la suspensión de la casa en el aire.

La estructura que soporta el área de la sala, el comedor y la cocina está formada por dos grandes pórticos de madera laminada, de los cuales queda suspendido el techo (ver Figs. 176 y 177). El sistema de suspensión de la

cubierta no es ajeno a los refinados proyectos de Mies, que por entonces había extendido su influencia por todo el mundo.

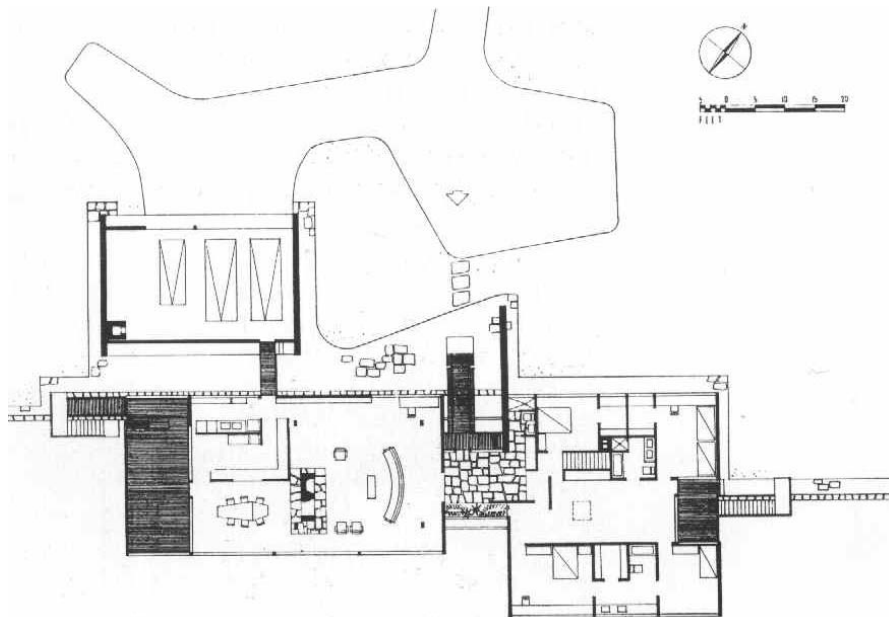


Fig. 175. Planta

La osada, aunque disciplinada estructura de madera laminada de esta vivienda, se basa en volúmenes en ménsula sobre la ladera con vistas al mar. Breuer ya había experimentado con el uso de entramados de madera y aquí el potencial de este tipo de estructura es explotado al máximo. El edificio está mayoritariamente en ménsula en las cuatro direcciones. Es de notar que el aspecto de flotabilidad del mismo es logrado sin el uso de elementos estructurales metálicos, sólo madera.

Para Breuer el gran voladizo sitúa al residente en una bandeja, plantea una suspensión en el aire y una proyección hacia el horizonte.

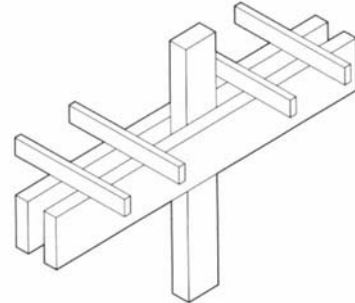


Fig. 176. Exterior de la Casa Starkey y esquema de la estructura de madera utilizada; a diferencia de la Casa Breuer I, en la Casa Starkey, son las vigas las que se duplican, dejando pasar los pilares entre ellas, también con la ventaja de que ambos elementos pueden ser continuos.

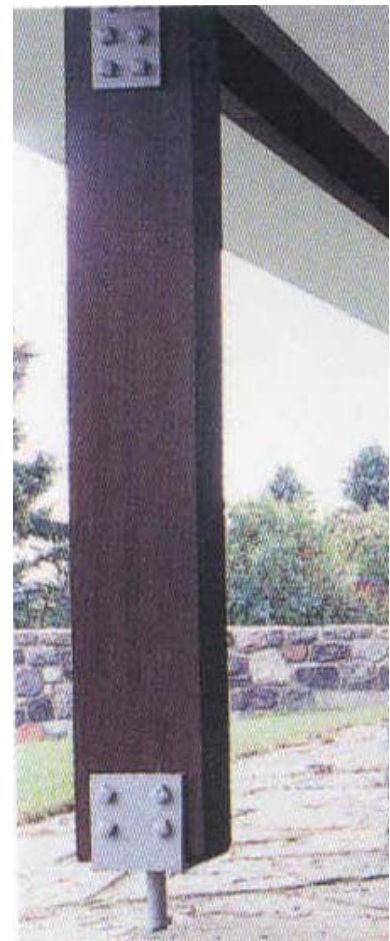
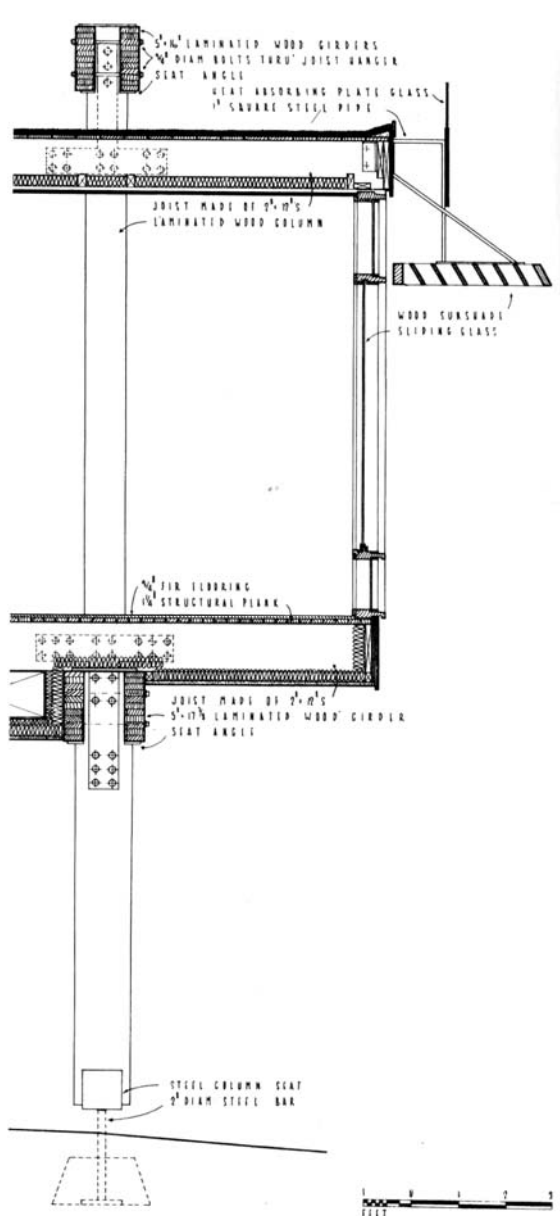


Fig. 177 y 178. Corte constructivo por el ala de los dormitorios y detalle del apoyo de los pilares de madera laminada en el suelo.

## Bodegas Ysios

Autor: Santiago Calatrava

Ubicación: Laguardia, La Rioja, España

Año de construcción: 2003



Fig. 179. Vista exterior del edificio. Fachada oeste.

continuidad entre los dos espacios fuera lograda por medio del “movimiento estático” de los cerramientos.

La fachada sur es revestida con lamas horizontales de cedro que, reflejadas en el espejo de agua, se asemejan a una hilera de barriles de vino.

La estructura del techo, tratado como una continuación de los muros laterales, conforma el propio cerramiento superior, compuesto por una serie de vigas de madera laminada soportadas por los sinusoidales muros. El resultado es una superficie ondulada reglada, que combina superficies cóncavas y



Fig. 181. Estructura de madera laminada de la cubierta alabeada en fase de montaje.

Este edificio de 8.000 metros cuadrados es concebido como un elemento completamente integrado al paisaje circundante y, al mismo tiempo, como una escultura autónoma, específica del sitio.

El grupo Bodegas y Bebidas quería un edificio que fuese un icono para su nuevo y prestigioso vino “la Rioja Alavesa” y que al mismo tiempo acomodase el preciso y riguroso programa: espacios necesarios para elaborar, almacenar y vender el vino.

Calatrava adoptó la estrategia de dar un tratamiento volumétrico al techo y los muros – límites físicos entre el paisaje exterior y el lagar – de forma tal que la



Fig. 180. Fachada sur revestida con lamas horizontales de madera de cedro. La estructura del techo está compuesta por una serie de vigas de madera laminada formando una superficie ondulada reglada, revestidas exteriormente con paneles de aluminio.

convexas a lo largo del desarrollo longitudinal del edificio.

El techo es revestido con paneles de aluminio que crean un contraste material con la calidez de la madera de las fachadas. El efecto de los rayos solares acentúan el volumen del techo creando un efecto cinético en contraste con el calmo paisaje circundante del viñedo.

La fachada al norte está formada por paneles de hormigón premoldeado con unas pocas aberturas muy angostas. Las fachadas este y oeste están revestidas con chapas de aluminio grecadas.





Fig. 182. Vista exterior del edificio. Fachada norte.



Fig. 183. Interior de la bodega. Las vigas de madera laminada de la estructura del techo se dejan vistas al interior.

## Domo O

Autor: Toyo Ito

Ubicación: Odate, prefectura de Akita, Japón

Año de construcción: 1995-1997

Localizado en una remota villa al norte de Honshu, esta extraordinaria instalación deportiva es usada esencialmente para béisbol. El edificio es básicamente una gran cúpula multifuncional translúcida, con una capacidad para unas 5.000 personas sentadas (10.000 de capacidad máxima).

La cúpula está elevada completamente del suelo admitiendo la entrada de luz a través de cerramientos vidriados a nivel de suelo.

Posándose cerca de un campo, el Domo asume una apariencia irreal, casi extraterrestre, particularmente en la noche cuando es iluminado desde el interior (ver Fig. 185).

La ciudad de Odate es conocida por su industria maderera y por la producción de madera laminada. Ya en la primera fase del proyecto, se sugirió utilizar el cedro como medio de promoción de la industria local.

Las condicionantes topográficas y climáticas (nieva durante todo el largo invierno) requerían un proyecto que transmitiese la sensación de desafío a la naturaleza.

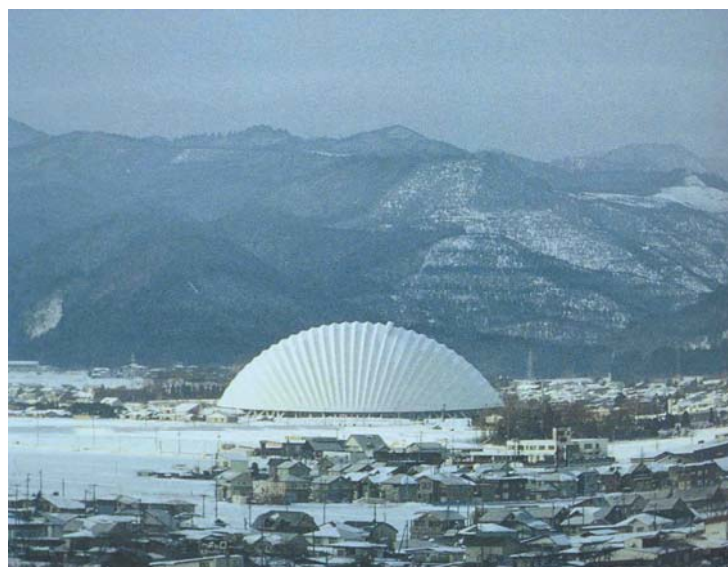


Fig. 184. Las condiciones topográficas y climáticas requerían un proyecto que transmitiese la sensación de desafío a la naturaleza.



Para la configuración de la forma de la cúpula, se basó en consideraciones matemáticas y

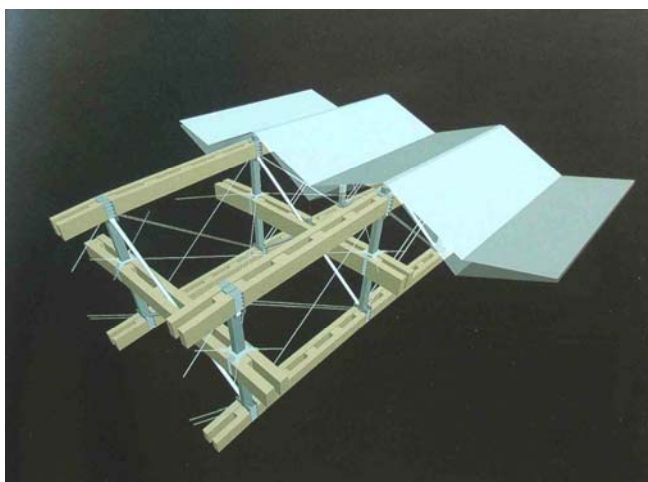


Fig. 186. Una membrana de teflón cubre por el exterior la estructura de cerchas curvas bidireccionales de madera de cedro laminada



Fig. 187. Vista interior. Liviano y translúcido, el domo está realizado de madera laminada con una cobertura de teflón combinados a través del uso de una avanzada tecnología.

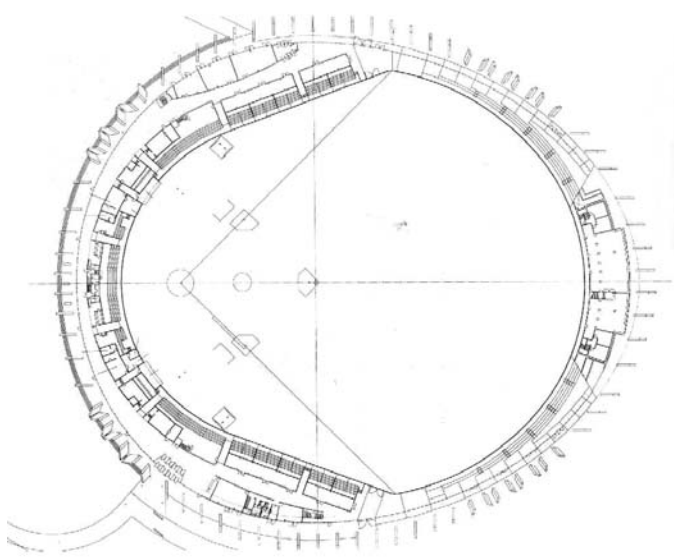


Fig. 188. Planta a nivel de suelo.

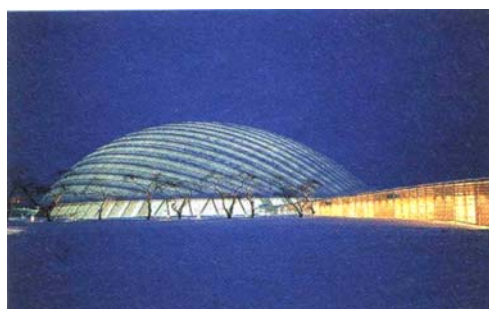


Fig. 185. El Domo en la noche.

físicas, como la adaptación aerodinámica a los vientos dominantes del sur y la nieve, así como el movimiento del aire en el interior de la cúpula, además de la trayectoria de la pelota en los partidos de béisbol. Para armonizar con la naturaleza del lugar, en la estructura se emplearon cerchas curvas bidireccionales realizadas con madera laminada de cedro fabricadas en la localidad.

Para crear un ambiente interior natural, incluso durante el rigurosísimo invierno, se utilizó una membrana de fibra de vidrio armado de una resina de fluor-etileno (teflón), a fin de introducir en la cúpula el máximo de luz natural durante el día.

Dada la naturaleza del proyecto, con un inmenso sistema estructural que requería métodos constructivos especiales, era esencial una estrecha colaboración entre el arquitecto y los asesores técnicos.



Fig. 189. La envolvente del gran espacio interior está realizada con una compleja estructura de madera de cedro laminada y acero.



Fig. 190. La gran cúpula durante su construcción



*Los ejemplos que siguen son una muestra general de grandes espacios techados, puentes y pasarelas en los que se utilizaron estructuras de madera laminada.*

## **Espacios deportivos**



Fig. 191. Piscina olímpica techada en Capisco, Burgos, España. Arcos biarticulados. Luz libre: 20 metros.



Fig. 192. Polideportivo en Molina de Segura, Murcia, España. Vigas curvas biarticuladas de sección variable. Luz libre: 38 metros



Fig. 193. Canchas de tenis cerradas en Oporto, Portugal. Arcos biarticulados atirantados. Luz libre: 40 metros.



Fig. 194. Canchas de tenis cerradas. Vigas atensoradas. Luz libre: 40 metros





Fig. 195. Polideportivo. Pórticos biarticulados. Luz libre: 25 metros

## Espacios públicos



Fig. 196. Centro comercial en Álava, España. Arcos biarticulados. Luz: 15 metros



Fig. 197. Edificio público en Málaga, España. Vigas tipo “vientre de pez” biarticuladas. Luz libre: 10 metros

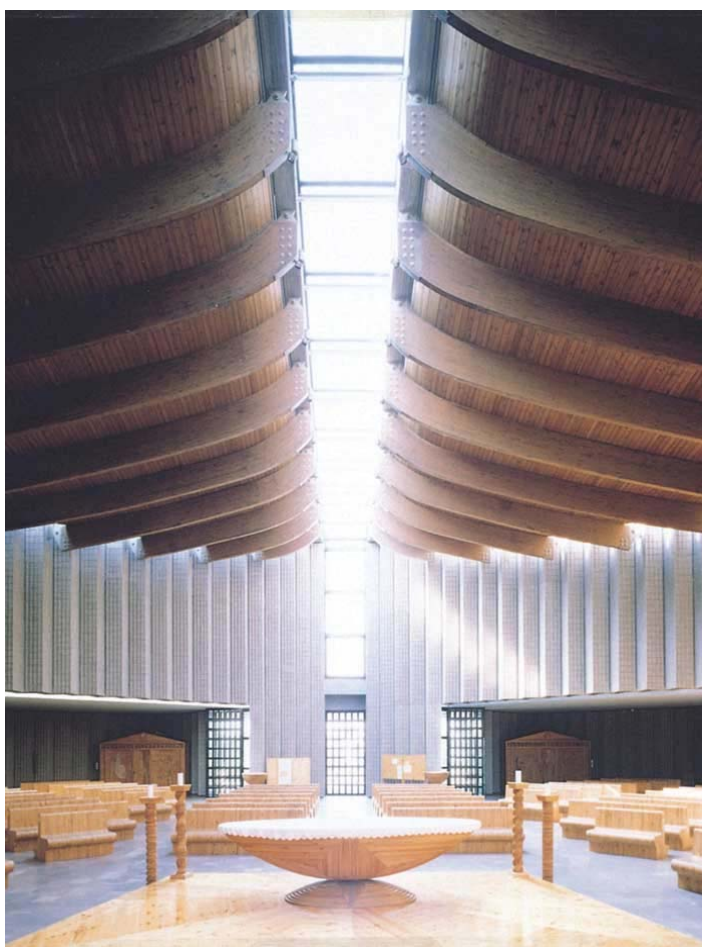


Fig. 198. Iglesia de Santa María del Redentor, Roma, Italia. Vigas curvas biarticuladas. Luz máxima: 28 metros





Fig. 199. Complejo termal Daymán, Salto, Uruguay. Pórticos triarticulados. Luz libre: 18 metros.



## Puentes y pasarelas



Fig. 200. Pasarela en La Coruña, España. Luz: 40 metros



Fig. 201. Pasarela de Castilla, Valladolid, España. Luz: 26 metros



Fig. 202. Puente en Ciudad Real, España. Luz: 33 metros



Fig. 203. Puente, España. Luz: 25 metros

## BIBLIOGRAFÍA

### Textos y sitios Web consultados para la realización de este capítulo (orden alfabético):

*2G Revista internacional de arquitectura*, Nº 2: Toyo Ito, Nº 7: R.M. Schindler, Nº 12: Craig Ellwood y Nº 17: Marcel Breuer. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1997 (Nº 2), 1998 (Nº 7), 1999 (Nº 12) y 2001 (Nº 17)

*Building a new millennium*, Philip Jodidio, Editorial Taschen, Köln, 2000

*El croquis*, Nº 60: Herzog & De Meuron y Nº 99: Kazuyo Sejima, Ryue Nishizawa, Editorial El croquis, Madrid, 1994 (Nº 60) y 2000 (Nº 99)

*Jean Nouvel*, Olivier Boissière, Éditions Terrail, Paris, 1996

*Machiya: The town houses of the townspeople*, J. Kanzaki y A. Shintani, Japan, 1998

*Minimalisms*, A. Zabalbeascoa y J. Rodríguez Marcos, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2000

*Modern architecture since 1900*, William J. R. Curtis, Phaidon, 1997

*Tectónica Nº 7 y Nº 13: monografías de arquitectura, tecnología y construcción*, ATC Ediciones, Madrid, 1998 (Nº 7) y 2002 (Nº 13)

[www.arcspace.com](http://www.arcspace.com)

[www.archilab.com](http://www.archilab.com)

[www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)

[www.greatbuildings.com](http://www.greatbuildings.com)

[www.mathiasklotz.com](http://www.mathiasklotz.com)

[www.sammlung-goetz.de](http://www.sammlung-goetz.de)

[www.znonz.blogspot.com](http://www.znonz.blogspot.com)

### Figuras:

Figs. 131, 132 y 133: *Machiya: The town houses of the townspeople*, J. Kanzaki y A. Shintani, Japan, 1998

Figs. 134 y 136: *2G Revista internacional de arquitectura*, Nº 7: R.M. Schindler, 1998

Figs. 135, 137 y 141: *Modern architecture since 1900*, William J. R. Curtis, Phaidon, 1997

Figs. 138, 139, 140 y 142: *Modern architecture since 1900*, William J. R. Curtis, Phaidon, 1997

Figs. 140, 141, 142, 143, 174, 175, 177 y 178: *2G Revista internacional de arquitectura*, Nº 17: Marcel Breuer. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2001

Figs. 144 y 176: [www.greatbuildings.com](http://www.greatbuildings.com)

Figs. 145, 146, 147, 148, 149, 150 y 151: *2G Revista internacional de arquitectura*, Nº 12: Craig Ellwood, Editorial Gustavo Gili, 1999

Figs. 152 y 164: *Minimalisms*, A. Zabalbeascoa y J. Rodríguez Marcos, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2000

Figs. 153: [www.sammlung-goetz.de](http://www.sammlung-goetz.de)

Figs. 154 y 155: *El croquis*, Nº 60: Herzog & De Meuron, Editorial El croquis, Madrid, 1994



*Figs. 156, 157, 158 y 159: Tectónica Nº 7: monografías de arquitectura, tecnología y construcción, ATC Ediciones, Madrid, 1998*

*Figs. 160, 161, 162 y 163: Jean Nouvel, Olivier Boissière, Éditions Terrail, Paris, 1996*

*Fig. 165: [www.archilab.com](http://www.archilab.com)*

*Fig. 166: [www.mathiasklotz.com](http://www.mathiasklotz.com)*

*Figs. 167, 168 y 169: El croquis, Nº 99: Kazuyo Sejima, Ryue Nishizawa, Editorial El croquis, Madrid, 2000*

*Figs. 170, 171, 172 y 173: Tectónica Nº 13: monografías de arquitectura, tecnología y construcción, ATC Ediciones, Madrid, 2002*

*Fig. 179: [www.znonz.blogspot.com](http://www.znonz.blogspot.com)*

*Figs. 180 y 182: [www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)*

*Figs. 181, 191, 192, 193, 196, 198, 200 y 203: [www.holtza.es](http://www.holtza.es)*

*Fig. 183: [www.arcspace.com](http://www.arcspace.com)*

*Figs. 184, 186, 187, 188, 189 y 190: 2G Revista internacional de arquitectura, Nº 2: Toyo Ito, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1997*

*Fig. 185: Building a new millennium, Philip Jodidio, Editorial Taschen, Köln, 2000*

*Fig. 192: [www.lanik.com](http://www.lanik.com)*

*Figs. 195, 197, 201 y 202: [www.mediamadera.com](http://www.mediamadera.com)*

*Fig. 199: proporcionadas por Raices S.R.L., Montevideo, Uruguay*

**BIBLIOGRAFÍA GENERAL** (orden alfabético)

*2G Revista internacional de arquitectura*, Nº 2: Toyo Ito, Nº 7: R.M. Schindler, Nº 12: Craig Ellwood y Nº 17: Marcel Breuer. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1997 (Nº 2), 1998 (Nº 7), 1999 (Nº 12) y 2001 (Nº 17)

*Building a new millennium*, Philip Jodidio, Editorial Taschen, Köln, 2000

*Cubiertas de tejas con estructura de madera*, C. Meyer, M. Calone, P. Nogara y S. Torán, ICE, Facultad de Arquitectura de la Udelar, 2003

*El croquis*, Nº 60: Herzog & De Meuron y Nº 99: Kazuyo Sejima, Ryue Nishizawa, Editorial El croquis, Madrid, 1994 (Nº 60) y 2000 (Nº 99)

*Estructuras metálicas y de madera*, apuntes de la cátedra homónima, Facultad de Ingeniería de la Udelar

*Estruturas de madeira*, Walter Pfeil, Livros técnicos e científicos, São Paulo, 1980

*Expoforesta 2003*: Artículos varios, marzo 2003

*Jean Nouvel*, Olivier Boissière, Éditions Terrail, Paris, 1996

*La madera en la arquitectura 2*, Bernardo M. Villasuso, El Ateneo, Buenos Aires, 1997

*Las maderas de construcción*, G. Froment, Editorial Victor Leru, Buenos Aires, 1954

*Machiya: The town houses of the townspeople*, J. Kanzaki y A. Shintani, Japan, 1998

*Maderas*, publicación realizada por la Cátedra de Construcción I, Facultad de Arquitectura de la Udelar, 2002

*Manual de construcción de viviendas en madera*, Centro de transferencia tecnológica, Corporación chilena de la madera CORMA, Chile

*Manual de recomendaciones prácticas para la construcción*, Masisa Argentina S.A., 2003

*Minimalisms*, A. Zabalbeascoa y J. Rodríguez Marcos, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2000

*Modern architecture since 1900*, William J. R. Curtis, Phaidon, 1997

*Norma Oficial Chilena para el Cálculo de construcciones en madera*, NCh 1198.Of.91

*Norma Para Proyectos de Estructuras de Madera para Edificios*, IE4-50, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería de la Udelar

*Primer Congreso Uruguayo de Patología y Gestión de Calidad en la Construcción*, trabajo presentado por el Per. Agr. Hugo O'Neil, 2004

*Tablas y ábacos para el proyecto de estructuras*, ICE, Departamento de Estabilidad, Facultad de Arquitectura de la Udelar, 1995

*Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción*, varios números, ATC Ediciones, Madrid, 1996 a 2002

[www.aginco.fr](http://www.aginco.fr)

[www.arcspace.com](http://www.arcspace.com)

[www.archilab.com](http://www.archilab.com)

[www.auxitesa.com](http://www.auxitesa.com)

[www.awc.org](http://www.awc.org)

[www.bierbach.de](http://www.bierbach.de)  
[www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)  
[www.corma.cl](http://www.corma.cl)  
[www.finnforest.com](http://www.finnforest.com)  
[www.gescoinsa.com](http://www.gescoinsa.com)  
[www.greatbuildings.com](http://www.greatbuildings.com)  
[www.halfen.com](http://www.halfen.com)  
[www.holtza.es](http://www.holtza.es)  
[www.holzverbindung.de](http://www.holzverbindung.de)  
[www.huettemann-hotz.de](http://www.huettemann-hotz.de)  
[www.lignotrend.de](http://www.lignotrend.de)  
[www.maderasmedina.com](http://www.maderasmedina.com)  
[www.masonite-beam.se](http://www.masonite-beam.se)  
[www.mathiasklotz.com](http://www.mathiasklotz.com)  
[www.mediamadera.com](http://www.mediamadera.com)  
[www.merk.de](http://www.merk.de)  
[www.mitek.fr](http://www.mitek.fr)  
[www.nailweb.com](http://www.nailweb.com)  
[www.osbguide.com](http://www.osbguide.com)  
[www.strongtie.com](http://www.strongtie.com)  
[www.tecnaria.com](http://www.tecnaria.com)  
[www.znonz.blogspot.com](http://www.znonz.blogspot.com)