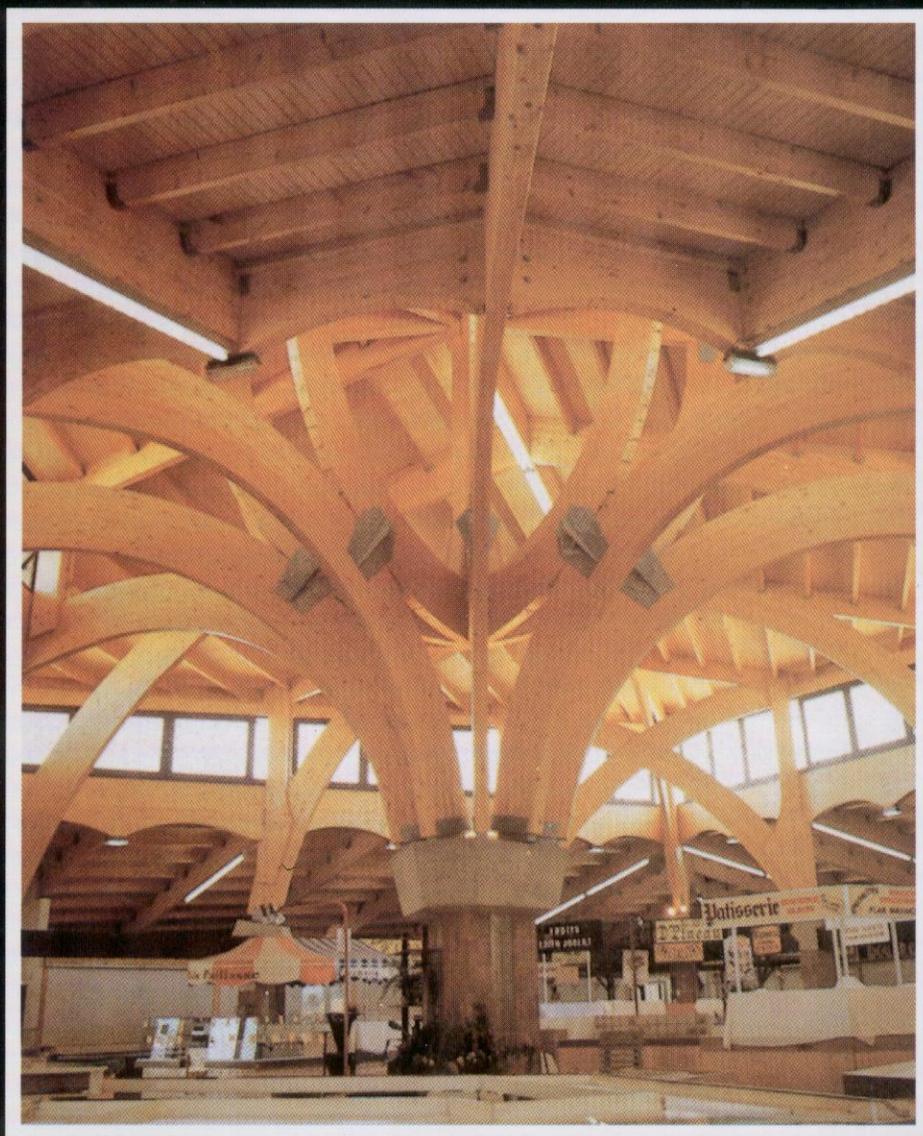


Biblioteca Atrium de la **CARPINTERIA**

Nuevas aplicaciones



COLECCION TECNICA DE BIBLIOTECAS PROFESIONALES

OCEANO/CENTRUM

Biblioteca Atrium de la CARPINTERIA

5

COLECCION TECNICA DE BIBLIOTECAS PROFESIONALES

OCEANO/CENTRUM

Sumario

| | Pág. | | Pág. |
|--|------|---|------|
| 1. LA MADERA LAMINADA | 9 | - Criterios para la elección de las maderas | 27 |
| - Evolución de una técnica | 9 | - Especies más utilizadas en la madera laminada encolada | 28 |
| - Sistema de Philibert Delorme | 9 | - Madera de Douglas. Madera de Western Hemlock. Madera de haya. Madera de pino común. Madera de pino silvestre. Madera de picea. Madera de pino negro | 28 |
| - Sistema del coronel Emy | 10 | - Clasificación de calidades de la madera laminada encolada | 30 |
| - Sistema de Otto Hetzer | 10 | - La escuela americano-canadiense | 30 |
| - Características generales de la madera laminada encolada | 11 | - La escuela europea | 30 |
| - Características mecánicas | 12 | - Clasificación de las especies. Clasificación de la normativa francesa. Clasificación de la normativa sueca | 31 |
| - Compresión | 12 | - Dimensiones de la madera | 33 |
| - Tracción | 13 | - Diferentes normativas con respecto al dimensionamiento de la madera | 33 |
| - Flexión | 13 | - Radios de curvatura | 34 |
| - Exigencias mecánicas en los planos encolados | 14 | - Nivel de humedad en la madera | 35 |
| - Características físicas | 14 | - Preparación de los planos que hay que encolar | 36 |
| - Peso específico | 14 | - Elección de las colas | 37 |
| - Inercia química | 15 | - Durabilidad de las colas | 37 |
| - Resistencia al fuego | 16 | - Fraguado de las colas | 37 |
| - Influencia del fuego en la resistencia mecánica | 17 | - Clasificación de las colas | 38 |
| - Conductividad térmica | 18 | - Caseína. Urea-formol. Resorcina y resorcina-fenol-formol | 38 |
| - Dilatación térmica | 19 | - Elección de los herrajes | 39 |
| - Conductividad acústica | 20 | - Medios de unión | 40 |
| - La transmisión del sonido en la madera. La absorción del sonido en la madera | 20 | - Clavos. Los tornillos. Los pernos. Correctores o anillos | 40 |
| - Durabilidad | 20 | - Herrajes de chapa plegada | 43 |
| - Características técnicas | 21 | - Etapas de fabricación de la madera laminada encolada | 43 |
| - Construcción de grandes luces | 22 | - El empalme de las láminas | 44 |
| - La prefabricación | 22 | - Unión transversal | 44 |
| - El mantenimiento de las piezas de madera laminada encolada | 23 | - Unión longitudinal o empalme | 44 |
| - Las cualidades estéticas | 24 | - Evolución del empalme como técnica. | |
| - Fabricación de elementos en madera laminada encolada | 25 | | |
| - La madera del norte | 26 | | |
| - Estado actual de la madera del norte y su producción | 26 | | |
| - Especies predominantes en la producción de la madera del norte | 27 | | |

Sumario

| | Pág. | | Pág. |
|--|------|---|-----------|
| - Tipologías de juntas. Unión por entalladura múltiple. Aplicación del empalme. Disposición y condiciones mínimas de un empalme. Resistencia de las juntas | 44 | - Tirafondos | 63 |
| - El encolado | 47 | - Tirafondos que trabajan a tracción | 63 |
| - El prensado | 47 | - Disposiciones constructivas de las uniones | 63 |
| - Prensas horizontales | 47 | - Nudos de pórticos y arcos mediante articulación ficticia | 64 |
| - Prensas verticales | 48 | - Nudos de pórticos y arcos mediante pernos y espárragos | 65 |
| - Modificación de la curvatura de los arcos | 48 | - Articulación en cimentación | 65 |
| - Aplicación de la presión | 48 | - Nudos de pórticos por entalladuras múltiples . | 65 |
| - Tiempos de unión | 49 | - Nudos de pórticos por sistema de corona | 66 |
| - Tiempo de prensado | 49 | - Unión entre vigas mediante placas metálicas embutidas | 66 |
| - Polimerización | 49 | - Unión en pórticos reticulares | 67 |
| - Penetración de calor en las piezas del laminado | 50 | - Unión articulada en estribo | 67 |
| - Protección de la madera y acabados | 50 | - Unión con corte oblicuo en los extremos y tirante | 68 |
| - Puesta en obra de la madera laminada encolada | 51 | - Piezas metálicas angulares para múltiples vigas | 69 |
| - Transporte y descarga en el lugar de la obra | 51 | - Tensiones admisibles en la madera laminada encolada | 69 |
| - Colocación y montaje | 52 | - Obtención de tensiones admisibles de clasificación | 70 |
| - Tipología constructiva | 54 | - Humedad de la madera | 70 |
| - Vigas | 55 | | |
| - Pórticos | 56 | 2. ESTRUCTURAS DE MADERA PARA LA EDIFICACIÓN | 71 |
| - Arcos | 57 | - Entramado lleno | 72 |
| - Voladizos | 58 | - Ensambladuras de esquina | 72 |
| - Cubiertas tipo <i>shed</i> | 58 | - Diseño de ensambladuras de esquina en prolongación | 72 |
| - Cubiertas laminares | 59 | - Diseño de ensambladuras de esquinas enrasadas | 73 |
| - Falsas láminas | 60 | - Entalladura de extremos montados. Entalladura de medios cortes. Unión con poste de esquina. Extremos en espiga con poste de esquina | 73 |
| - Cubiertas curvas | 60 | - Ensambladuras de esquina para troncos escuadrados | 74 |
| - Puentes | 60 | | |
| - Uniones en la madera laminada encolada | 61 | | |
| - Clavos de adherencia mejorada | 61 | | |
| - Pernos y espárragos | 61 | | |
| - Unión de madera con madera | 61 | | |
| - Unión de madera con metal | 62 | | |
| - Pernos que trabajan a tracción | 62 | | |

| | Pág. | | Pág. |
|---|------|--|------|
| - Entalladura escuadrada. Ensamblado compuesto a cola de milano | 74 | mercado actual de la construcción | 95 |
| - Paredes con troncos verticales | 74 | - La evolución contemporánea de la vivienda con armazón de madera | 97 |
| - Sellado de juntas | 75 | - Estructuras mixtas en la construcción de madera | 101 |
| - Sellado de juntas de troncos cilíndricos | 76 | - Vigas cajón y en doble T. Sistema <i>Troidek</i> para la construcción en paneles. Paneles aligerados resistentes, fabricados con tableros contrachapados. Tableros contrachapados reforzados con vigas de madera. Pórticos de madera aserrada con nudos de tablero contrachapado. Paneles para faldones de cubiertas | 102 |
| - Sellado de juntas de troncos tallados | 76 | - Forjados a base de madera | 104 |
| - Casas de madera en <i>kit</i> | 77 | - Principios y propiedades de una vivienda de estructura de madera | 106 |
| - Ensambladuras y sistemas de unión | 78 | - Estabilidad de la madera | 106 |
| - Protección de las piezas | 78 | - El aislamiento | 107 |
| - Detalles constructivos | 79 | - La estructura portante | 107 |
| - Cimentación y vigas de carrera. Montaje de paredes. Puertas y ventanas. Viguetas de forjado | 79 | - La cubierta portante | 109 |
| - Casas de madera en tacos | 80 | - La cubierta y el muro como superficies aislantes | 110 |
| - Características del sistema en tacos | 81 | - La cubierta y el muro como cerramiento exterior | 111 |
| - Entramado abierto | 82 | - El revestimiento interior de los muros | 112 |
| - Los tipos de viviendas rurales de madera del centro de Europa | 82 | - Cambios y tendencias de la construcción de madera en Norteamérica | 113 |
| - Tradición constructiva del entramado abierto | 84 | - Sistema de panel <i>sandwich</i> | 115 |
| - Casas de armazón o entramado de madera (generalidades) | 88 | - Ventajas e inconvenientes del sistema | 117 |
| - Construcciones de entramado visto | 88 | | |
| - La construcción por elementos de un piso (elementos cortos). La construcción para fachadas completas (elementos largos) | 89 | | |
| - Evolución estructural | 90 | | |
| - Las estructuras portantes | 90 | | |
| - Obra secundaria y estructura | 91 | | |
| - Sistemas constructivos de entramados de madera | 92 | | |
| - Construcción de entramado <i>Balloon Frame</i> o estructura cruzada | 93 | | |
| - Construcción de entramado <i>Platform Frame</i> | 93 | | |
| - Construcción de entramado con pilares y jácenas | 94 | | |
| - Tendencias actuales de las viviendas de estructura de madera | 94 | | |
| - El concepto de la vivienda de madera en el | | | |



1

La madera laminada

Si nos limitamos a una definición académica de este material compuesto, nos encontraremos con el siguiente concepto: «Se denomina madera laminada toda pieza recta o curvada, obtenida a partir de piezas menores en forma de tablas o tablillas encoladas en capas sucesivas en las tres direcciones, de tal forma que las fibras de todas las piezas sean paralelas entre sí, y a la dirección longitudinal de la pieza, predominando una dimensión en relación con las dos restantes.»

Dicha definición se refiere a un producto moderno y ya desarrollado, por lo que antes de extendernos en el tema de la aplicación y fabricación de la madera laminada, es conveniente que se den algunos antecedentes históricos de sus orígenes y evolución, tanto en los términos constructivos como en los factores sociales y económicos que la generaron.

EVOLUCIÓN DE UNA TÉCNICA

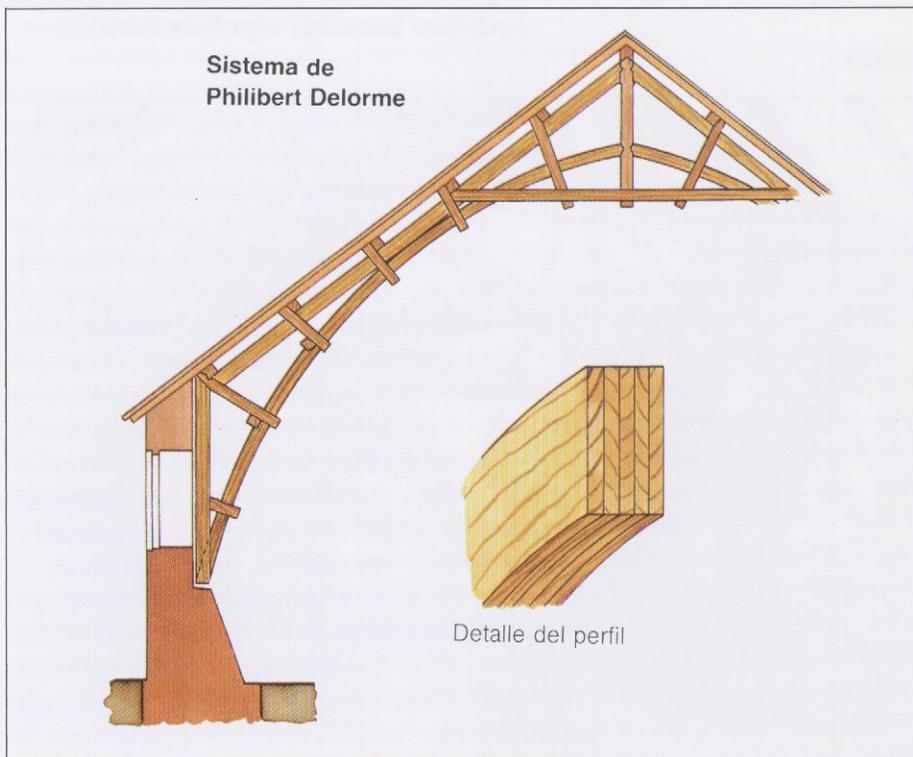
A continuación daremos los nombres y aportaciones de algunos personajes que influyeron de modo significativo en el desarrollo de la madera laminada tal como la conocemos hoy en día.

Sistema de Philibert Delorme

Para este arquitecto, el año 1548 fue muy importante, ya que Enrique II, que acababa de subir al trono, le encargó la

construcción de casi todos los edificios reales. En este mismo momento, Delorme se encuentra con que la facilidad de suministro de tablas de gran longitud se ve mermada por los diferentes conflictos sociales, con el consiguiente cierre o descuido de industrias relacionadas con la producción de maderas y tablas, lo que llevará a Delorme a utilizar las piezas existentes en el mercado, de menores dimensiones, y para lo cual desarrolla un sistema que hasta aquellos momentos aún no se había llevado a la práctica.

Figura 1



Dicho ingenio constructivo consiste en la fabricación de arcos con tablas recor-tadas y clavadas. Estas tablas se cortan en forma de camones y se clavan tabla por tabla hasta conseguir una sección sufi-ciente, con sus juntas contrapeadas. Estos arcos le permitieron construir cerchas de intradós curvo y extradós apuntado (*fi-gura 1*), para más tarde desarrollar, con este mismo sistema, bóvedas con luces equivalentes o algo mayores.

Con respecto a la naturaleza construc-tiva de estas primeras piezas, podemos decir que las tablas de madera para la construcción del arco provenían de ma-dera con mucho duramen, siendo con-veniente que el radio de curvatura fuera lo mayor posible para no cortar fibras ni requerir tablas de excesiva longitud. La longitud de las tablas empleadas era de 1,5 a 2,5 m, y se colocaban en 2 o 3 hojas uniéndolas en sus extremos mediante cla-vos forjados, a los que se les remachaba la punta.

Cuando las luces que había que cubrir eran importantes, y con el fin de evitar el pandeo y desclavado de las tablas, los arcos sucesivos se rigidizaban mediante te-leras o piezas pasantes, que se acuñaban de manera que comprimiesen las tablas y a la vez ayudaran a la estabilidad lon-gitudinal de la bóveda. En la *figura 2* pue-den apreciarse dos aplicaciones de te-leras en los arcos del sistema Delorme.

Este sistema se considera un invento revolucionario, y fue utilizado diversas ve-ces por el mismo Delorme, así como por otros arquitectos durante un largo perío-do de tiempo, y podemos considerarlo como el primer antecedente de la actual madera laminada encolada (M.L.E.).

Figura 2

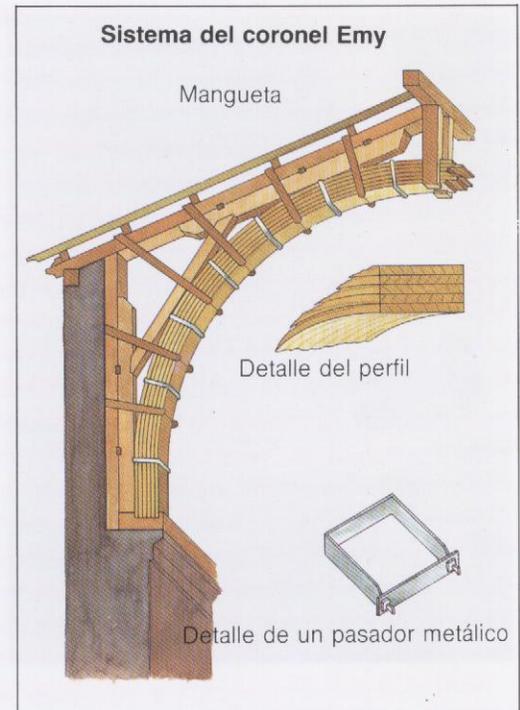
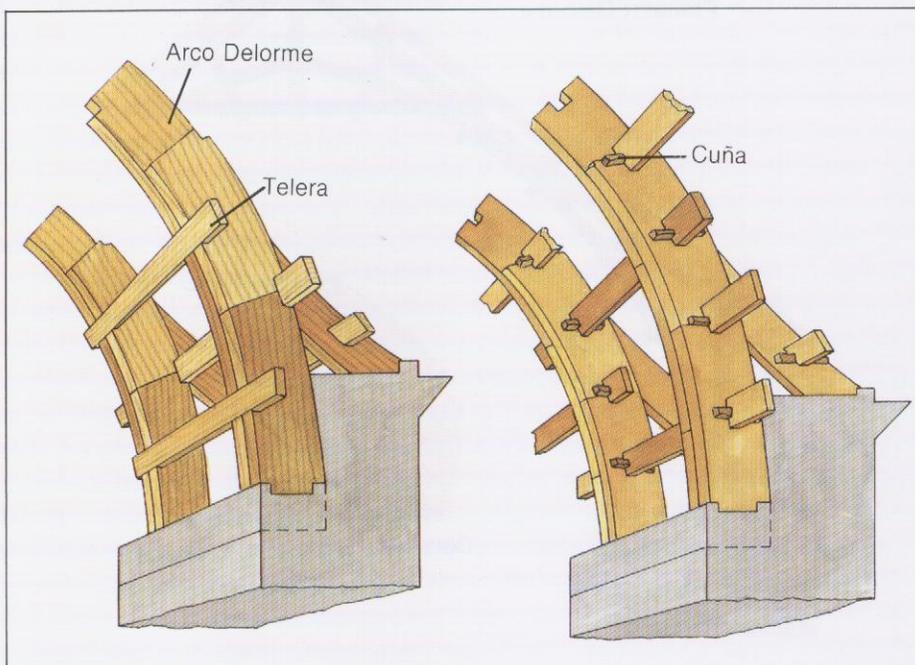


Figura 3

Sistema del coronel Emy

El coronel Emy, inspirado en lo reali-zado por Delorme, como director de for-tificaciones en Bayona, hacia 1825 realiza la construcción de un edificio militar. En dicha construcción Emy desarrolla un sis-tema constructivo que, a diferencia del de Delorme, que utilizaba las tablas de forma canteada, éste las superpone acoplándo-las en plano y en sentido horizontal. Las cinco tablas quedan trabadas con pasa-dores metálicos. De esta manera forma ballestas que constituyen el cordón in-ferior de cerchas con la parte superior rec-ta o curva, encepándose ambos cordones por manguetas dobles de madera (*figura 3*). Con este sistema se cubrieron luces de hasta 22 m.

Al contrario de lo que sucede en el sis-tema elaborado por Delorme, en el de Emy es conveniente el empleo de tablas de gran longitud, para que su flexión sea más homogénea.

En algunos casos se han combinado los sistemas Delorme y Emy, disponiendo la sección de la cercha como viga com-puesta, con el alma de los tablones can-teados y los cordones de las tablas superpuestas.

Sistema de Otto Hetzer

Este maestro carpintero de Weimar, en Suiza, proporcionó un gran adelanto a toda esta evolución, al retomar la técnica

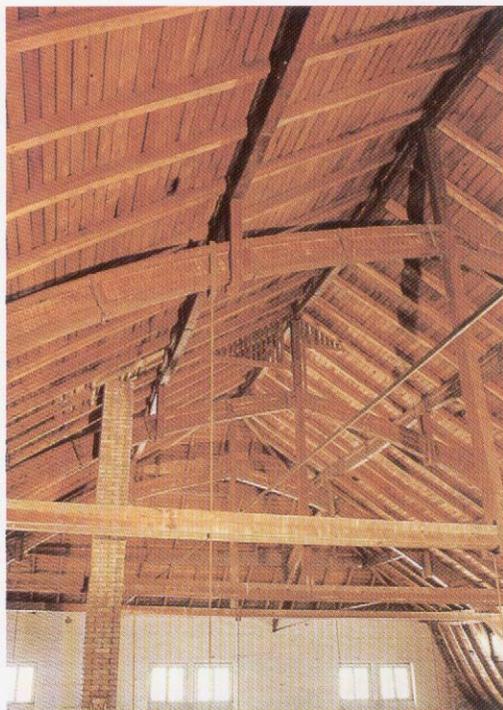


Figura 4

que décadas antes Emy había utilizado. Esto sucedió en el año 1906, momento en el que el desarrollo de la química permitió a Hetzer sustituir los medios mecánicos de unión, como pernos y bridas, por las colas de caseína. Con este sistema, Hetzer consiguió crear una sección de cercha más homogénea y unitaria, tanto o más que la madera en su estado natural, al trabajar ésta de manera solidaria en las diferentes láminas.

Con la aplicación de esta técnica pudieron lograrse piezas de sección y longitud nunca antes conseguidas, además de que se consiguió un aprovechamiento del material desde el punto de vista de resistencia.

Este sistema de cercha tomó elementos ya inventados, pero incorporó una estructura con cordón superior curvo y con sección en doble T, con un tirante como cordón inferior. En la *figura 4* se muestra una estructura de cercha construida por el propio Hetzer en el año 1915, estando considerada una de las primeras muestras de la utilización de la madera laminada como tal.

Posteriormente, los diferentes avances de la química industrial en relación con las colas resistentes a la humedad permitieron que las estructuras de madera laminada encolada se extendieran a situaciones de exposición en exteriores, inviabilidades hasta aquel momento. Existen algunas fechas importantes que marcan hitos en el avance de la técnica para encolados de intemperie.

En el año 1930 aparecen las colas de urea-formol, y en 1940 las de resorcina,

los dos tipos de colas más utilizadas en la actualidad.

Haciendo un resumen histórico, podemos decir que aunque Delorme marca los primeros logros destinados a consolidar la madera laminada, es Hetzer quien sienta las bases de una tecnología que sistematiza el uso de la madera como un sistema de piezas encoladas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

La madera laminada se define básicamente por la colocación de las tablas, es decir, su ordenación en función del conjunto en el momento de ser encoladas. Si las piezas de madera laminada resultan ortogonales al eje de giro por sus planos de encolado, en el momento en que se provoque una flexión de la sección la pieza se denominará laminado vertical. En cambio, las piezas de madera laminada, cuyos planos de encolado resultan paralelos al eje de giro por flexión de la sección, recibirán la denominación de laminado horizontal.

Esta última definición de madera laminada es la que analizaremos a lo largo de todo este capítulo, por ser la más desarrollada por las tecnologías actuales, ya que la disposición de las tablas en horizontal permite una gran variedad de curvas y contracurvas que en el sistema de laminado vertical es más difícil conseguir. Como ejemplo de esto, en la *figura 5* se muestra una estructura en madera laminada horizontal, que se arma, tanto en

Figura 5



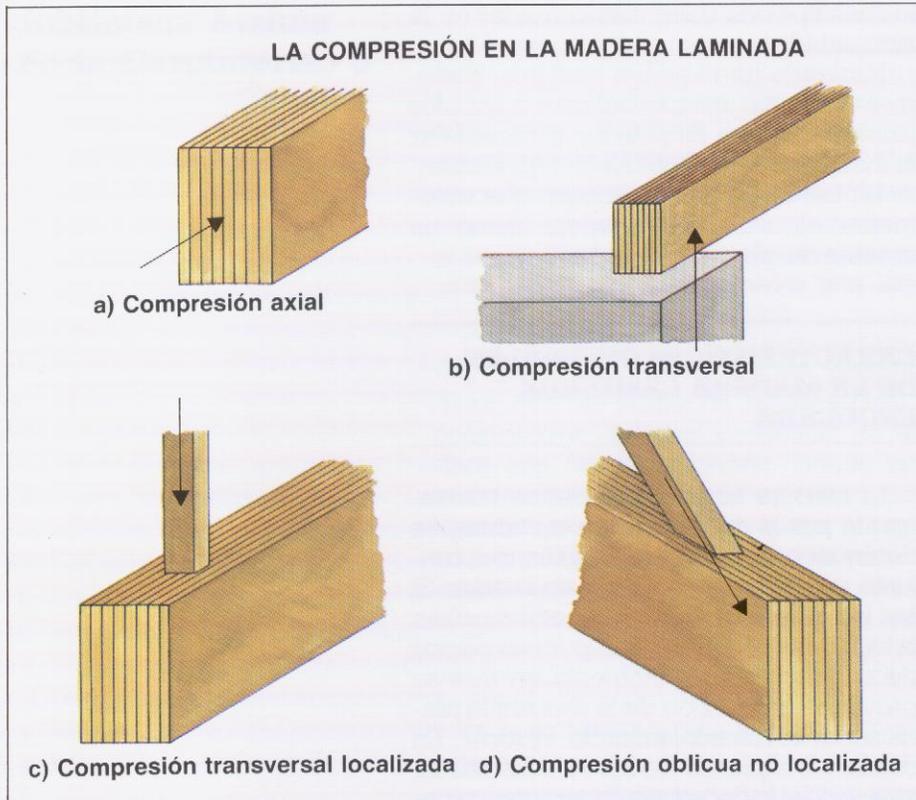
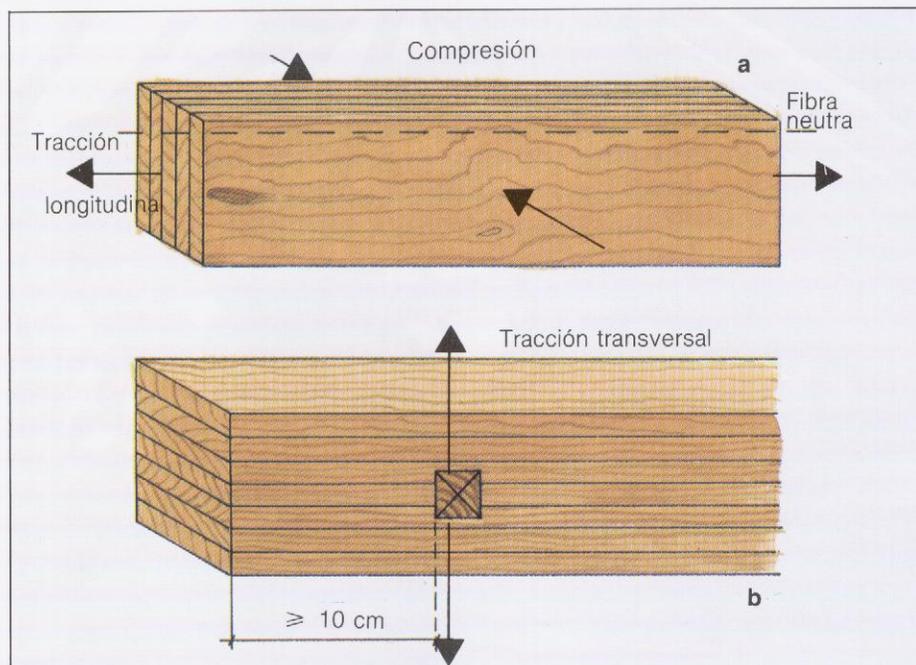


Figura 6

piezas rectas como en curvas irregulares, sin ningún deterioro de la masa leñosa o merma de su capacidad estructural.

Para definir las características generales de la madera laminada encolada, deben tenerse en cuenta dos factores constantes en toda estructura de madera: la temperatura y la humedad. Esto se debe a la capacidad anisotropa de la masa leñosa, más su límite de saturación. Todo esto determina unas características mecánicas, físicas y técnicas que es preciso detallar, para entender el compor-

Figura 7



tamiento de la madera reestructurada y unificada por colas, que en muchos casos ayudan a aumentar la calidad de respuesta de la masa leñosa frente a cualquier sollicitación.

Características mecánicas

Las tensiones admisibles para las piezas de madera laminada encolada como material acabado están reguladas por diferentes organismos internacionales, y principalmente reglamentadas en países donde el uso de este material se ha venido produciendo desde hace unos treinta años. Países como Francia, Alemania y Suecia, entre otros, tienen muy desarrollados tanto la tecnología de fabricación como todo lo relacionado con las tensiones admisibles que puede soportar uno u otro diseño.

A continuación, y de manera simple, se exponen las principales sollicitaciones a las que se ven sometidas las piezas de madera laminada encolada en sus diferentes funcionamientos al formar parte integral de una estructura, para cada una de las cuales se citarán respuestas concretas a las sollicitaciones indicadas, teniendo como referencia las limitaciones que los diferentes organismos reguladores marcan o señalan como valores mínimos necesarios. Varios factores variables son importantes cuando se observan las características mecánicas del material, como la humedad y la temperatura de la madera, entre otras que dan como resultado variaciones de dichas tensiones. Los datos aquí expresados están referidos en función de unas condiciones estándar, fijadas en un 15 % de humedad y una temperatura de 20 °C, correspondiente al material acabado.

COMPRESIÓN

Este esfuerzo puede ser de tipo axial o transversal al sentido de las fibras, ante los que la madera laminada se comportará de diferente forma, tal como lo hace una masa leñosa compacta.

La compresión axial estará definida por la resistencia que opone un trozo de madera laminada encolada a un esfuerzo paralelo al sentido de sus fibras (figura 6 a), pudiendo exigirse una fatiga admisible del orden de los 120 kg/cm². En todo caso no será posible ninguna reducción en el valor indicado si posteriores tratamientos de la pieza reducen la sección bruta en un porcentaje superior al 15 %.

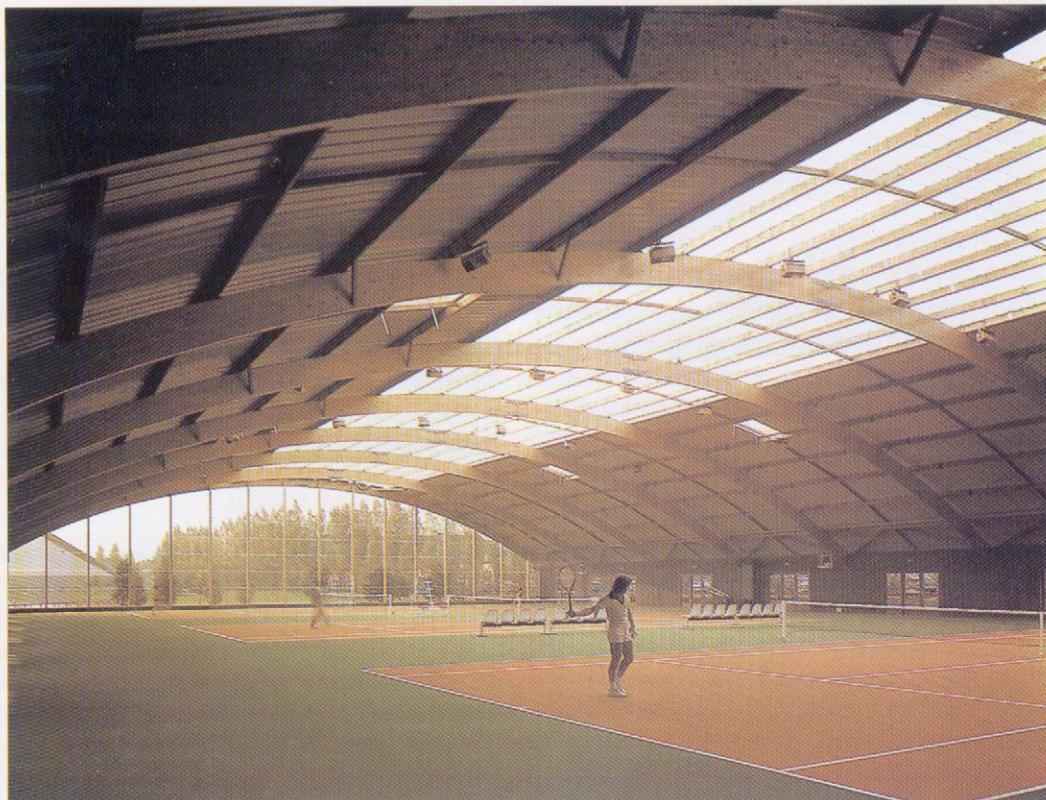


Figura 8

La compresión transversal o perpendicular a la fibra se dará en la práctica en aquellos apoyos de la pieza sobre muros o pilares (*figura 6 b*). La fatiga admisible para este caso depende de factores tales como el ángulo de incidencia. En todo caso puede darse un valor promedio que se obtiene en la tensión admisible, valor que será de 25 kg/cm^2 .

Podemos nombrar como referencia algunos tipos de compresión tales como: la compresión transversal localizada (*figura 6 c*), la compresión oblicua no localizada (*figura 6 d*) y la compresión oblicua localizada, todas ellas generadas por los diferentes papeles que llega a desempeñar una pieza de madera laminada encolada en el proceso constructivo.

TRACCIÓN

Como en el caso anterior, haremos una primera división fijándonos en la forma de actuación de la sollicitación en la pieza.

La tracción axial se experimenta bastante poco en una pieza de madera laminada encolada. Sin embargo, en términos cuantitativos, es el doble a la resistencia de la misma pieza axial frente a la compresión. En tracción, las fibras de las piezas sufren una contracción transversal que tiende a aumentar su adherencia, mientras que en compresión la rotura se presenta por separación y pandeo de

esas mismas fibras (*figura 7 a*). Como promedio, podemos definir la tensión admisible frente a la tracción axial de 120 kg/cm^2 , teniéndose en cuenta que un excesivo taladro del perfil puede reducir hasta un 15 % esta resistencia.

La tracción transversal es mucho menos factible en una pieza de madera laminada encolada, aceptándose como tensión admisible 7 kg/cm^2 como máximo, si las condiciones son las siguientes: la distancia entre la fibra extrema sobre la cual se ejerce la tracción y la fibra solicitada en tracción debe ser al menos igual a la anchura de la pieza. En caso de fuerte concentración, la longitud de apoyo nunca tenderá a absorber este esfuerzo por sí misma. La distancia desde el extremo de la pieza debe estar situada como mínimo a dos veces el ancho de la pieza en la zona solicitada y como mínimo 10 cm. En las zonas afectadas no se permitirán en ningún caso grietas, fendas u otros defectos equivalentes (*figura 7 b*).

FLEXIÓN

La flexión a la que puede estar expuesta una pieza de madera laminada encolada es de dos tipos; la flexión pura se reconoce en aquellos elementos que, colocados horizontalmente, reciben cargas verticales, soportándose como máxima tensión admisible los 120 kg/cm^2 . En la fi-



Figura 9

gura 8 puede verse un ejemplo práctico de la acción de la flexión simple o pura en un arco de madera laminada encolada que está superando una luz de 50 m, ocasionándose la máxima flexión justamente en el punto más alto de la pieza, donde ésta presenta un refuerzo metálico.

La flexión desviada es la sollicitación tipo que afecta a los soportes de paneles en cubiertas, correas o travesaños. En la figura 9 se ve cómo un travesaño de techumbre queda sometido no sólo a la presión del material de cubierta, sino también al eventual peso de la nieve que representará una fuerte sollicitación.

EXIGENCIAS MECÁNICAS EN LOS PLANOS ENCOLADOS

Las tensiones admisibles en los planos de encolado de una pieza de madera laminada dependerán, básicamente, de dos sollicitaciones o fuerzas aplicadas a esta estructura. Si la pieza está afectada por el cizallamiento, se establecerán los siguientes valores mínimos para las colas aplicadas: para la resorcina, 12 kg/cm^2 ; para las colas de caseína, de urea-formol, resorcina-fenol y formol, 10 kg/cm^2 .

Si la pieza está afectada por la tracción transversal: para la resorcina, 6 kg/cm^2 ; para las colas de caseína y de urea-formol, 5 kg/cm^2 .

Destaquemos que algunos de los valores aquí expuestos se encuentran en revisión. Otros conceptos, como la tracción a la que están sometidas las uniones por entalladuras múltiples u otras, están llevando al estudio de estos aspectos y las tensiones admisibles y válidas a sollicitar los planos de encolado; actualmente, el mayor interés se centra en todas aquellas uniones diferentes que se realizan para la conformación de las láminas, es decir, los empalmes.

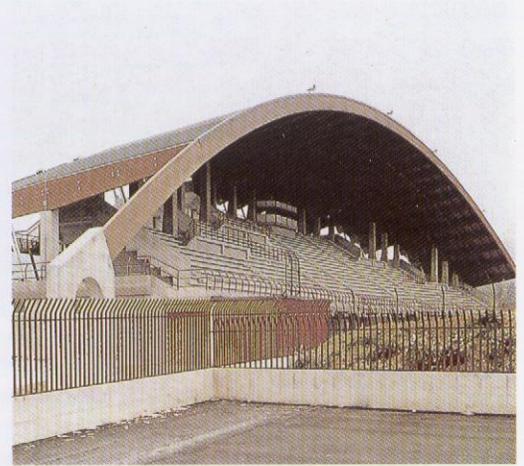


Figura 10

Características físicas

A continuación analizaremos algunos aspectos propios de la estructura física de la madera laminada encolada, tales como el peso específico, la inercia química, la conductividad térmica y la durabilidad, entre otros.

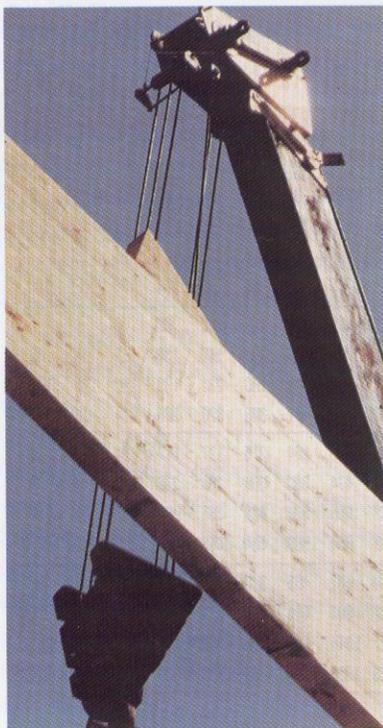
PESO ESPECÍFICO

Esta característica física, también conocida como densidad, es una de las principales particularidades que favorecen y hacen preferir, en la elección de un material de construcción, la madera laminada encolada por su baja densidad en comparación con otros materiales tradicionales.

Por definición, se considera que la madera laminada encolada es un material estructuralmente ligero, por tender como materia prima a la madera maciza que tiene un valor medio de densidad de 450 a 500 kg/m^3 , cuando se la utiliza en construcción, en relación a los 2.400 kg/m^3 aplicables al hormigón. Para una mejor comparación de la madera laminada encolada con otros materiales, le daremos a ésta un valor unitario igual a 1, ya que al contraponer valores de densidad obtenemos un 1,5 para la estructura metálica, 3,5 para el hormigón pretensado y un 5,0 para el hormigón armado. Es evidente que esta propiedad de la madera laminada encolada, entre otras cosas, permite construir estructuras que dejan salvar luces de hasta 120 m, tal como se ve en la figura 10. Estas magnitudes sólo pueden alcanzarse por un desarrollo químico muy avanzado de las colas y, sobre todo, por la baja densidad de la madera.

Esta baja densidad permite descargar la estructura y por lo tanto la necesidad

Figura 11



de menores cimentaciones, lo cual supone un ahorro inmediato, pero también la hace especialmente indicada para aquellos terrenos cuya capacidad portante sea mínima.

Esta distinción no es un obstáculo para que la madera laminada encolada pueda competir con otros materiales de construcción, en el campo de las características mecánicas, ya que incluso su baja densidad redundan en aspectos tan prácticos como la mayor facilidad para ser transportadas grandes piezas, como vigas o cerchas curvas. También se favorece mucho su puesta en obra, permitiendo la utilización de medios comunes tales como grúas o camiones (figura 11), lo que significa y racionaliza el proceso, que, con mayores pesos, en muchos casos necesitaría medios de elevación especiales, aumentándose la dificultad y el costo de ejecución.

A continuación se exponen los valores medios de las especies más comunes en la utilización de piezas de madera laminada, como son el pino rojo y el abeto, en función de la humedad (cuadro I).

| DENSIDAD EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD | | | | |
|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|
| Especie | Pino rojo | | Abeto | |
| | (mín.) | (máx.) | (mín.) | (máx.) |
| Humedad (%) | 12 | 30 | 12 | 30 |
| Densidad (kg/m ³) | 510 | 560 | 460 | 510 |

Cuadro I

INERCIA QUÍMICA

Es conocido que la madera resiste bien a los productos químicos, sean ácidos o bases, incluyendo sus vapores. Ciertos tipos de madera son reconocidos como especialmente resistentes, tales como el alerce, el pino de Douglas y el Iroko, que pueden perfectamente ser utilizados para la fabricación de la madera laminada encolada.

Esta característica es muy importante a la hora de preferir un determinado material, madera, acero u hormigón, dentro de aquellas construcciones donde el riesgo de corrosión es importante.

Cabe citar también lo necesaria que es una protección contra los insectos y hongos para garantizar una mayor resistencia y durabilidad, cuando a los fenómenos químicos de agresión se unen altas temperaturas constantes, de más de 40 °C, con humedades relativas de 80 a 120 %, y

donde el desarrollo de los ataques se combinan.

Por lo tanto, la elevada inercia química de la madera, y por ende la madera laminada, le convierte en la tipología indicada para la construcción de edificios que están destinados a: industria de productos químicos; industrias de electrólisis o galvanización, cadmiado y todos aquellos procedimientos que desprendan determinados gases tóxicos y corrosivos; la industria papelera, curtidora de pieles, lavanderías y todo quehacer relacionado con los tintes; algunos recintos destinados a la alimentación y cuidado de animales, tales como los establos y los almacenes agrícolas (figura 12).

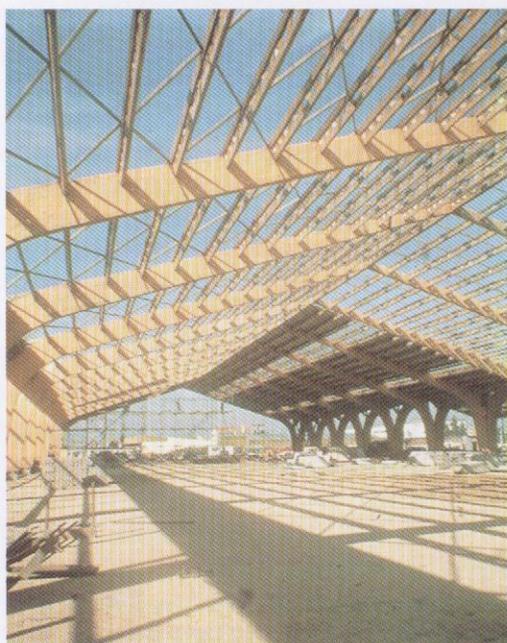


Figura 12

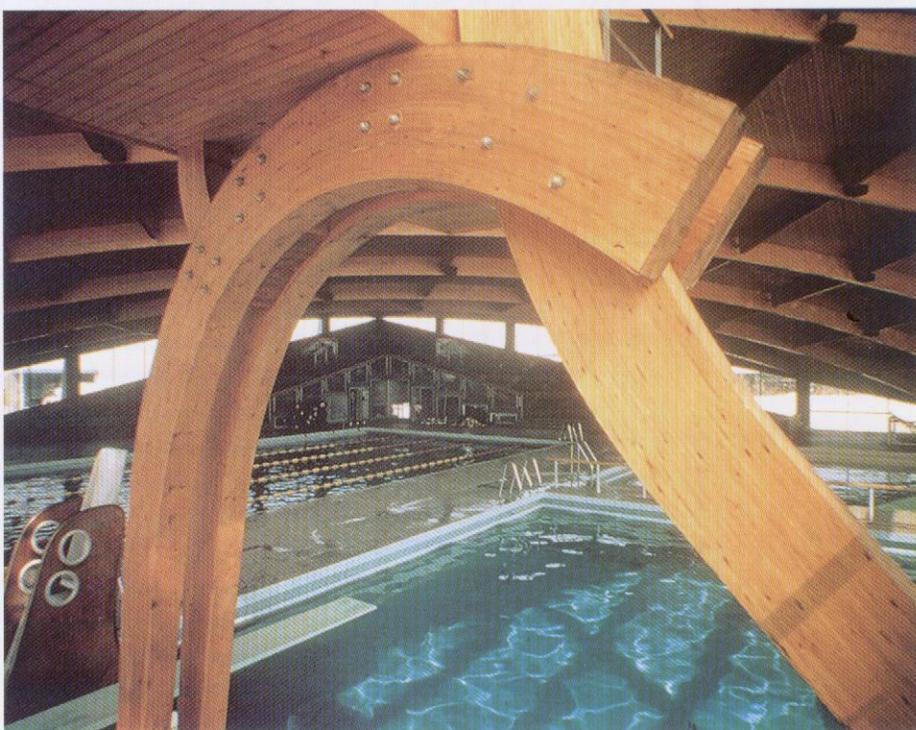


Figura 13

También en recintos deportivos, la inercia química o resistencia de la madera laminada es idónea para la construcción de cubiertas y estructuras de centros ecuestres, multicanchas, pistas de patinaje sobre hielo y muy especialmente piscinas, ya que por ser éstas temperadas están constantemente emanando sustancias químicas que se evaporan por el calor, sobre todo el cloro. En la figura 13 puede apreciarse cómo la cubierta interior y exterior de una piscina está completamente armada en torno a unas vigas a la vista de madera laminada encolada horizontal, dándole a este interior bienestar, seguridad y calidez. Es importante también señalar que los herrajes utilizados en estos casos, cuando se prevean riesgos de corrosión importante, deberán ser especialmente tratados por medio de un galvanizado u otro procedimiento de protección superficial, mientras que el mantenimiento de barnices o pinturas no tendrá otro fin que el meramente estético y nunca será considerado como una protección. Por todas estas razones, y por muchas otras según sea el

caso, puede considerarse que la madera laminada encolada es un material estable, por ser insensible a los ataques químicos de la humedad, el calor, el cloro o los ambientes corrosivos en construcciones cerca del mar o cualquier circunstancia que exponga una edificación construida con materiales tradicionales a agentes agresivos. A todo esto debe agregarse que cuando la madera laminada encolada se encuentre al abrigo de la intemperie, no necesitará ningún mantenimiento.

RESISTENCIA AL FUEGO

Es muy importante tener en cuenta que la madera tiene una mala reacción al fuego, y una buena resistencia al mismo. Esta premisa es esencial para, por ejemplo, la evacuación de bienes y vidas, ya que la madera tiene un tiempo fiable y conocido de incineración, lo cual no es característico en otros materiales comúnmente utilizados.

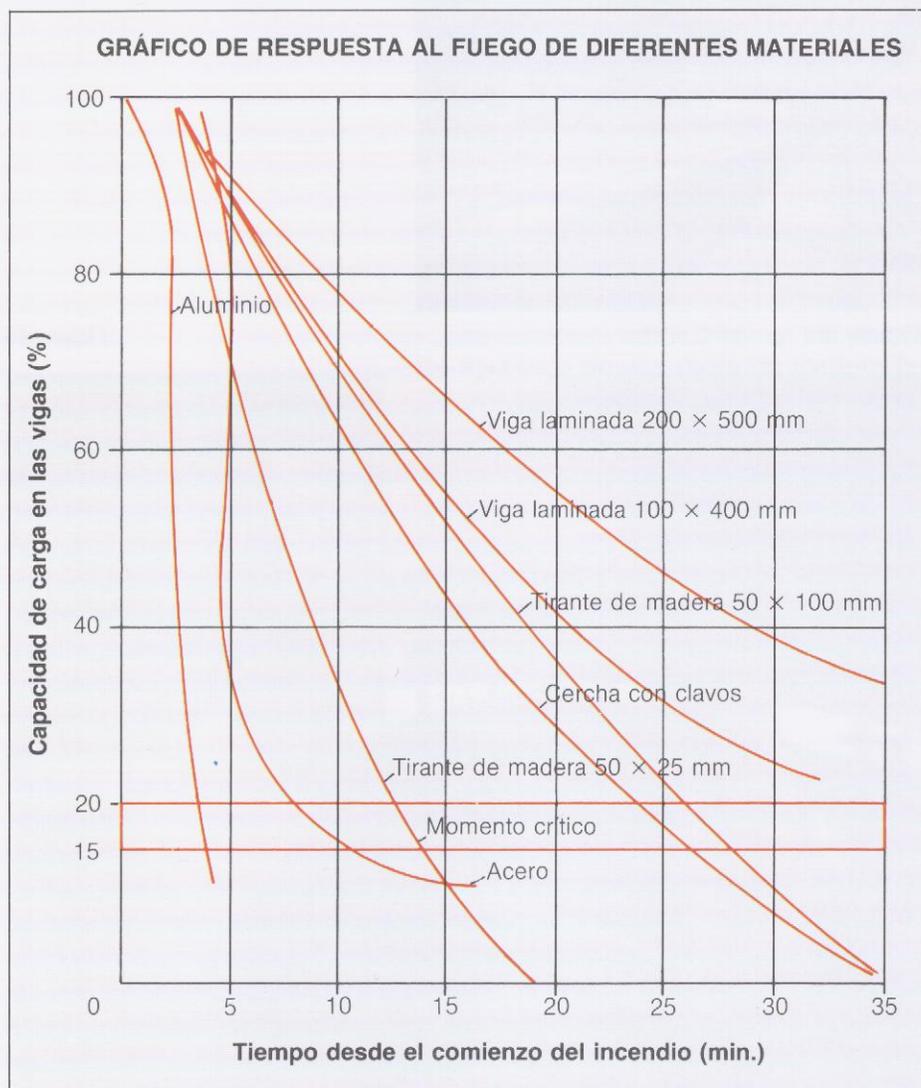
La madera laminada encolada es el único material estructural con el cual se consigue la resistencia al fuego deseada. En efecto, se conoce que la madera arde de manera constante a una velocidad aproximada de 1 cm/15 minutos por cada cara expuesta al fuego, y se sabe perfectamente que la parte no quemada conserva todas sus características mecánicas. Por lo tanto, es suficiente añadir a la sección obtenida, considerando las solicitaciones mecánicas, los centímetros necesarios para alcanzar la resistencia al fuego requerida.

El coeficiente de dilatación térmica de la madera, particularmente en el interior de sus fibras, es muy bajo y por lo tanto seguro. Esta cualidad es básica, ya que las dimensiones de los elementos no son modificadas en los incendios a causa de las altas temperaturas. De igual modo, la madera no pierde su resistencia en las mismas condiciones que, por ejemplo, un elemento metálico, ya que a medida que la temperatura se eleva, su cohesión puede aumentar en función de la pérdida de humedad interna, ya que únicamente disminuye la resistencia de un elemento estructural de madera, cuando su sección pierde material en razón de la carbonización superficial de sus caras.

En la figura 14 se muestra un gráfico de respuesta al fuego de diferentes elementos estructurales en función de su material y relación con las variables: capacidad de carga y tiempo de incineración.

Las piezas de madera laminada encolada no sólo es difícil de que entren en combustión, sino que además, una vez in-

Figura 14



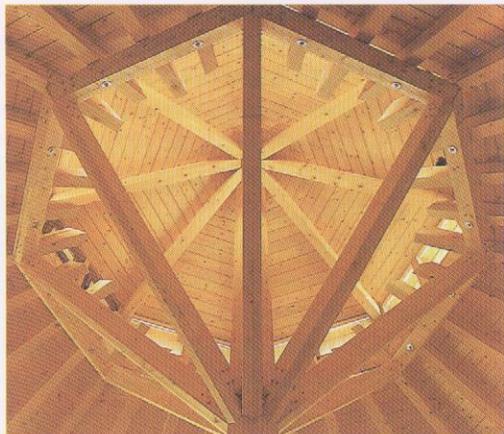


Figura 15

flamadas, se consumen muy lentamente conservándose su integridad estructural durante un incendio. La combustión periférica de una pieza desde el exterior hacia el interior de una sección de madera es de 0,6 a 0,7 mm por minuto, de manera constante, factor que también influye en la baja conductividad térmica que presenta la madera.

Las piezas de madera laminada encolada pueden seguir siendo válidas estructuralmente hablando, en el interior o en superficie después de un incendio importante, donde las piezas muy afectadas (las de menor sección) pueden ser reemplazadas por otras de características análogas, de manera que la estructura puede seguir funcionando, previa comprobación de las secciones de las piezas más robustas. Todo esto redundará en precios de reconstrucción bastante más bajos a los de otras tecnologías como el hormigón o estructuras de metal.

Si en un incendio analizamos detenidamente el comportamiento de la madera frente al fuego, podemos darnos cuenta de que las superficies expuestas de una pieza son inflamables en pocos minutos. Sin embargo, la costra de carbón formada en la misma superficie constituye una protección que disminuye la penetración de calor hacia el interior de la madera, impidiendo la llegada de oxígeno a la zona de combustión.

En razón de la estructura no homogénea de la madera y de la presencia eventual de grietas, la velocidad de penetración de combustión dentro de la madera puede verse aumentada. De la misma manera, las piezas metálicas (tornillos, clavos y tuercas) contribuyen a activar la carbonización de la madera al estar estas piezas empotradas, y en contacto directo con la masa leñosa.

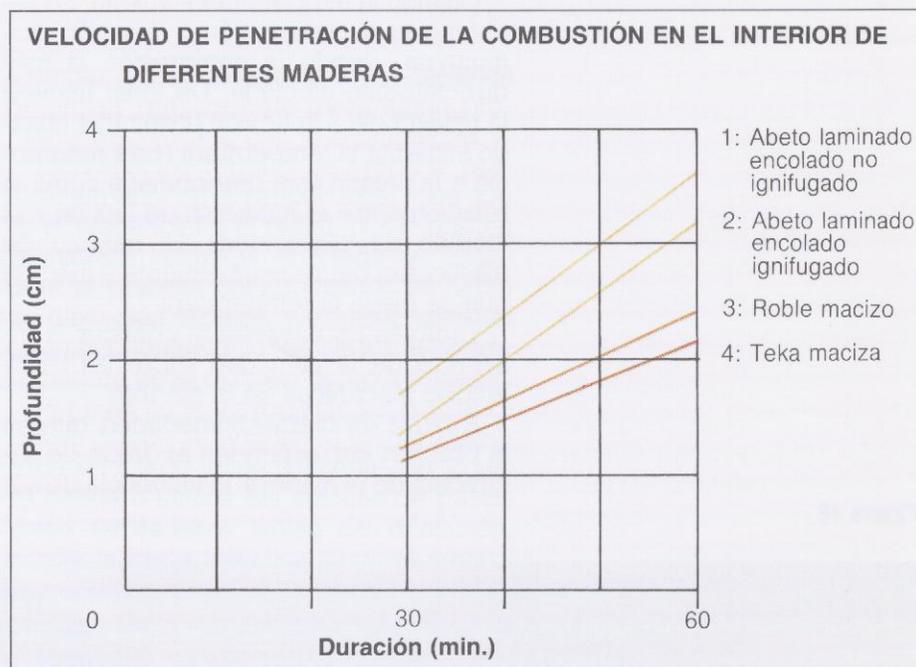
En la figura 15 se puede apreciar una compleja estructura de techumbre en madera laminada encolada que ha disminuido al máximo la utilización de piezas

metálicas para evitar así que éstas puedan ser medios de aceleración de un posible incendio.

La penetración de la carbonización es muy rápida sobre las aristas vivas, si bien en las zonas afectadas, donde se ha producido una carbonización y las aristas son redondeadas, de manera regular se forman aproximadamente arcos de radio de más o menos tres centímetros y la penetración es mucho más lenta. En lo concerniente a la madera laminada encolada en cuestión, la combustión penetra lenta y regularmente en función de la homogeneidad de la estructura.

De numerosos ensayos puede constatar que diferentes maderas, utilizadas para la confección del laminado expuestas al fuego, dan como resultado que la penetración del fuego en las piezas sea absolutamente constante. Para entender este fenómeno se muestra un gráfico en la figura 16, donde se comparan laminados de madera de abeto encolado con ignifugado y sin ignifugado, de roble macizo y de teka maciza.

Figura 16



Influencia del fuego en la resistencia mecánica

De numerosos resultados de ensayos, son conocidas las diferentes resistencias mecánicas y deformaciones del material. El siguiente gráfico traduce, para la tracción, flexión y compresión, la influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas, en una especie de madera, comúnmente utilizada en la confección de la madera laminada encolada, como es el abeto (figura 17).

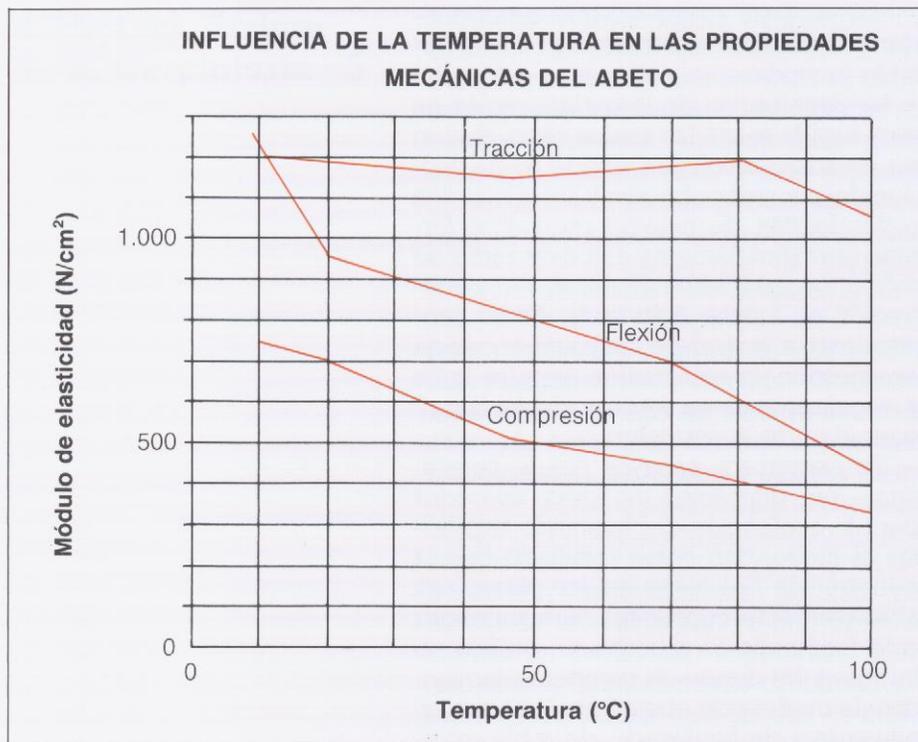


Figura 17

Cuando la temperatura aumenta, las resistencias a compresión y tracción disminuyen, siendo la compresión la más directamente afectada. De igual manera la resistencia a la flexión disminuye cuando aumenta la temperatura (esta resistencia a la flexión está determinada como la relación entre el momento de flexión y el módulo de elasticidad). El módulo de elasticidad decrece igualmente a medida que se eleva la temperatura.

También es interesante conocer la influencia de la humedad sobre las resistencias mecánicas de la madera.

A partir de ciertas humedades, que en la práctica corresponden al grado de saturación de la madera, la influencia de au-

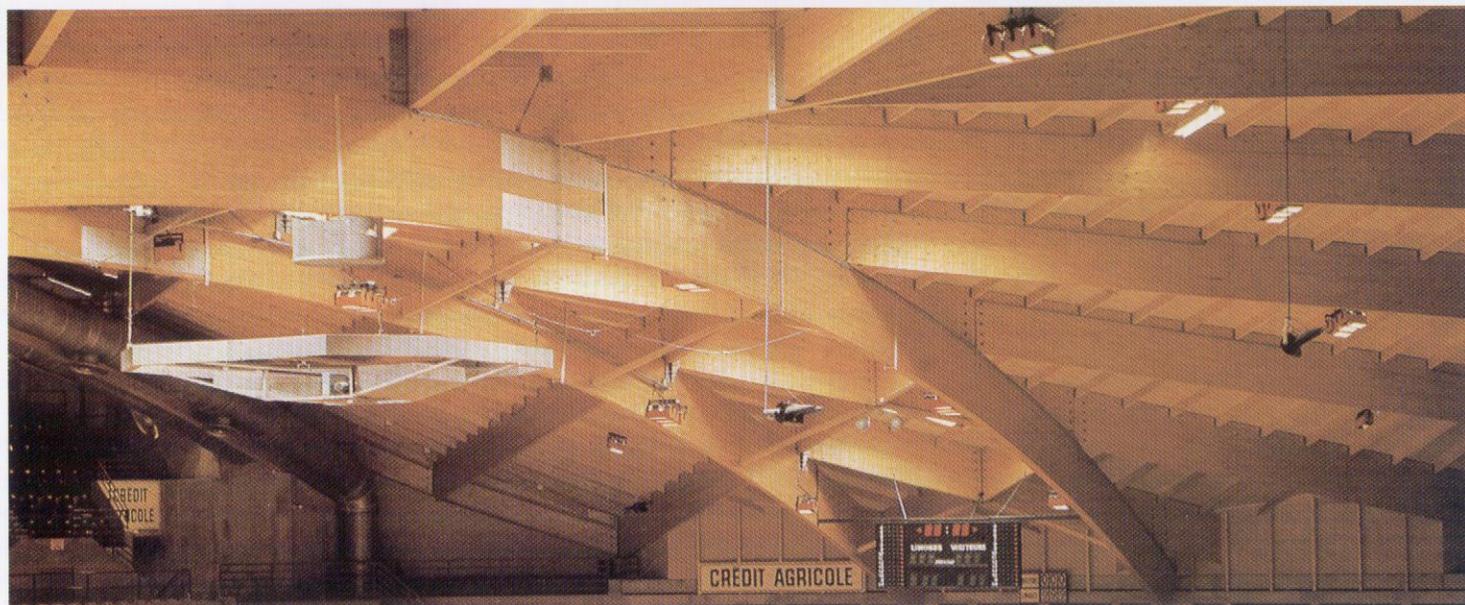
mentar aquéllas es prácticamente nula. En contrapartida, el fenómeno visto en el gráfico de la *figura 14* muestra que a medida que la humedad disminuye, las resistencias aumentan rápidamente. Por lo tanto, podemos deducir que las resistencias disminuyen al disminuir la sección, pero las resistencias características del material son mayores al aumentar la temperatura, produciéndose estos dos fenómenos, que en cierta manera se complementan y que con un correcto dimensionado de la sección al fuego, es decir, un sobredimensionado, garantizan la resistencia a la combustión requerida para estas estructuras de madera relativamente sencillas.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La madera, por su estructura anatómica y su composición, presenta un grado muy bajo de conductividad térmica, con lo que se evita el riesgo de que se generen puentes térmicos en construcciones que requieren mantener una temperatura determinada, sin provocar una condensación del ambiente. Otras de las ventajas son el ahorro de corrientes de dispersión, ausencia de cargas electrostáticas y una elevada resistencia al fuego.

En la *figura 18* puede apreciarse un ejemplo de la utilización de la madera en su forma laminada para cubrir y estructurar por completo la cubierta interior de un recinto deportivo que necesitará una temperatura determinada sin fugas térmicas y una adecuada absorción de la humedad ambiente, y de forma especial cuando este recinto esté completamente lleno de público.

Figura 18



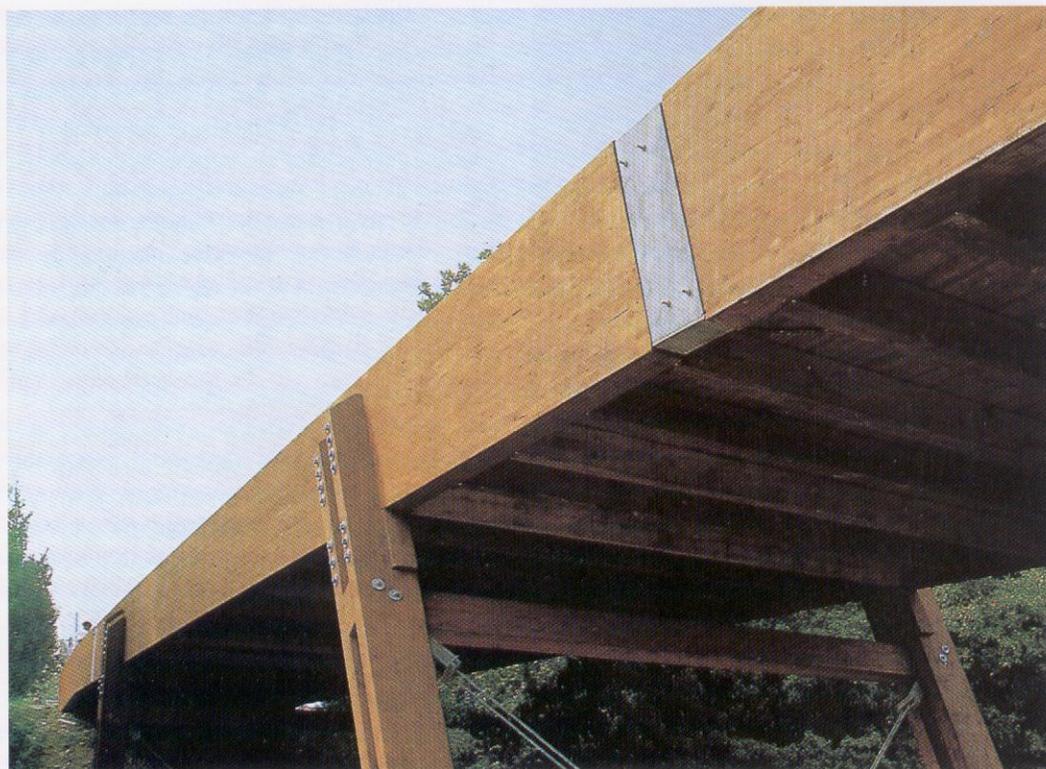


Figura 19

Como también se ha indicado en el apartado anterior, cuanto menor sea la conductividad térmica de un material, tanto más lentamente alcanzará la temperatura crítica, en caso de incendio, con lo que se retrasa de forma considerable la pérdida de características físico-mecánicas.

En la siguiente tabla pueden observarse los diferentes valores de coeficientes de conductividad térmica de los materiales más comúnmente utilizados en la construcción. Cabe resaltar, de dicha tabla de valores, la barrera protectora que supone la carbonización de la superficie de la madera en el proceso de un incendio (*cuadro II*).

DILATACIÓN TÉRMICA

Los coeficientes nombrados en el apartado anterior, conductividad térmica, junto con el citado con el nombre de dilatación térmica hacen ver que los movimientos dimensionales de la madera (según su eje: paralelo a las fibras) son inapreciables en lo que concierne a cambios de temperatura o humedad.

En consecuencia, la madera laminada encolada por definición es un material estable, en el cual la cola debe absorber todas las posibles tensiones internas. Con esto se tiene la ventaja de eliminar las juntas de dilatación de dicho material, lo que se traduce en el caso de las cubiertas, por

ejemplo, en la desaparición de sellados de juntas, que siempre traen algún problema relacionado con la estanquidad.

La dilatación térmica se produce preferentemente en el sentido axial, más que en el tangencial o el radial, por lo que en la madera laminada encolada se considera la primera opción cuando se habla de dilatación térmica, y es justamente en el sentido longitudinal de las fibras donde la madera tiene el mejor comportamiento.

Por esto en la mayoría de las construcciones donde se emplea la madera laminada encolada, especialmente las vigas, se tiende a utilizar las uniones de piezas como verdaderas juntas de dilatación, donde la pieza metálica siempre separa el material leñoso unos milímetros para de esta manera absorber la dilatación o contracción térmica; como ejemplo de esto en la *figura 19* se muestra un puente, cuyas vigas longitudinales están unidas y separadas a la vez por unos nexos metálicos que cumplen el papel de absorber el margen de movimiento inherente a la madera.

Cuadro II

| Material | en W/m ² °C | Observaciones (relación con la capacidad aislante de la madera) |
|-------------------|------------------------|---|
| Aluminio | 200 | 1.650 veces menor |
| Acero | 60 | 500 veces menor |
| Hormigón | 1,5 | 12 veces menor |
| Vidrio | 1,15 | 10 veces menor |
| Piedra | 1,05 | 9 veces menor |
| Madera resinosa | 0,12 | 1 unidad |
| Material aislante | 0,04 | 3 veces mayor |
| Carbón de madera | 0,03 | 4 veces mayor |

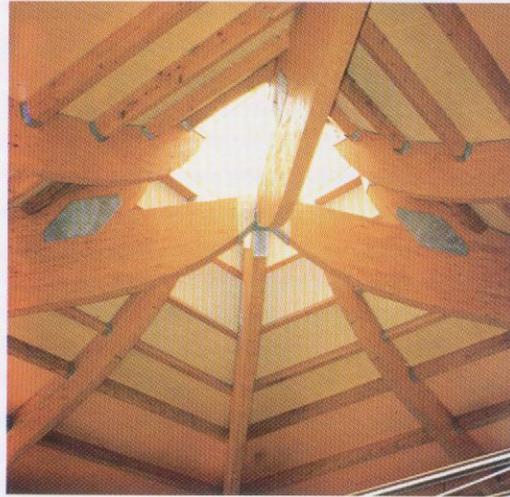


Figura 20

CONDUCTIVIDAD ACÚSTICA

Para comprender las características de la madera y su comportamiento acústico, debemos separar dos conceptos absolutamente diferentes como son la transmisión del sonido y la absorción de éste.

La transmisión del sonido en la madera

Longitudinalmente el valor de transmisión del sonido es semejante al de cualquier otro material, tales como el hormigón o el acero. Transversalmente, su capacidad de transmisión del sonido es de tres a cinco veces inferior a los materiales antes nombrados, lo cual tiene una gran importancia en la transmisión de ruidos o sonidos de impactos.

Figura 21



La absorción del sonido en la madera

Por su baja densidad, la madera no parece ser el mejor elemento con capacidad de absorber el sonido, íntimamente vinculado al concepto de masa y peso específico. Pero su estructura de fibras y poros representa y se comporta al igual que una verdadera esponja para el sonido de una amplia frecuencia.

La estructura de la madera laminada encolada es considerada como un elemento favorable dentro del balance acústico, pero no constituye una propiedad intrínseca, sino que depende en gran medida del volumen y distribución de la edificación. En la *figura 20* se muestra el interior de una iglesia donde la curvatura de los muros y techumbre está estudiada para que el sonido rebote lo menos posible, aprovechándose la capacidad de absorción de la madera, más las curvaturas que gracias a la madera laminada encolada pueden imprimirse en las superficies refractantes de sonido.

Puede concluirse diciendo que, como norma general, y a partir de su poca capacidad de transmisión transversal, la madera laminada encolada favorece que se logre una mayor comodidad acústica en la construcción en la que se incluye.

DURABILIDAD

Hoy en día es imprescindible que se edifique teniendo en cuenta la vida útil de una construcción, ya que en gran medida de esto depende el valor comercial que

puede llegar a tener lo construido, y el grado de diseño que se imprima en él. Por lo tanto, se debe situar objetivamente la madera laminada encolada por sus características como uno de los principales materiales de construcción, por su durabilidad ampliamente demostrada con el paso de los años en obras de 25 o 30 años que están en perfectas condiciones en países del norte de Europa y EE.UU. y, sin ir más lejos, en construcciones pioneras en esta tecnología que todavía están en pie (figura 4).

Una de las grandes ventajas de la madera laminada encolada es que ésta ignora por completo el fenómeno de corrosión y no sufre ninguna alteración frente a las diferentes atmósferas y medios agresivos: climas húmedos y ambientes montañosos (figura 21).

Teniéndose en cuenta los imperativos actuales de la puesta en obra, tales como la construcción de cámaras ventiladas y la aplicación de tratamientos fungicidas, la madera laminada encolada no es atacada por los hongos o insectos, lo que da como resultado que su puesta en obra en exteriores no se encuentre con más impedimentos que los problemas de índole estética.

Si compráramos la madera laminada encolada con los materiales clásicos de la construcción, los cuales siempre están amenazados por la corrosión y por ende destinados a mermar sus propiedades, nos dará como resultado que este material compuesto es el más estable, ya que se conserva con el paso del tiempo siendo al mismo tiempo un elemento elástico que puede llegar a resistir, incluso, sismos de una intensidad considerable sin cambiar su apariencia.

Características técnicas

Dentro de las características técnicas esenciales que hay que destacar está la facilidad y capacidad de trabajo de la madera, al ser uno de los materiales más dúctiles que existen. Con herramientas y útiles habituales, con simples procedimientos y a unos costes reducidos, la madera ofrece fáciles soluciones a uniones con otros materiales como son el acero, el vidrio o el metal. Una de las aptitudes más importantes de esta facilidad de trabajo la representa la buena reacción a las uniones químicas o mecánicas, destacando en nuestro caso la aptitud de la masa leñosa con respecto al encolado.

El principio de la aglomeración por laminación y encolado determina una serie de ventajas:

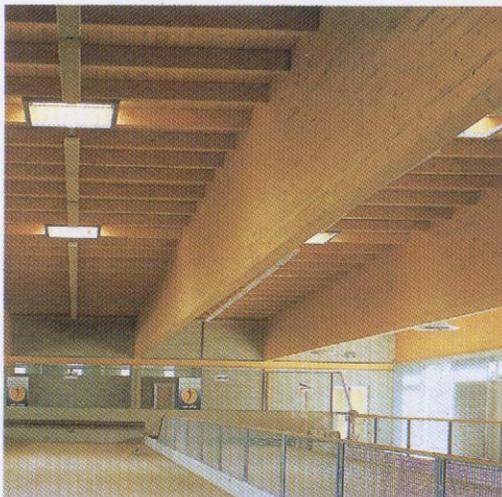


Figura 22

a) Posibilidad de realizar piezas con secciones no limitadas por las dimensiones de la materia prima original. Es así como se pueden concebir piezas estructuradas en madera laminada que a su vez, por ejemplo, sirven de vigas de una gran escuadría (en altura), llegándose a medidas tales como de 0,20 x 2,00 m por el largo deseado (figura 22).

Junto a este concepto, la madera laminada encolada tiene la capacidad de adoptar en cada caso la sección resistente, estrictamente necesaria, con el consiguiente aprovechamiento del material.

b) Posibilidad de realizar piezas sin limitaciones de longitud, y únicamente cortadas por condicionantes de transporte y costos de puesta en obra. Así es como en la actualidad pueden construirse estructuras capaces de salvar hasta 102 m por medio de una cúpula envigada con piezas de más de 40 m de largo (figura 23).

c) Posibilidad de obtener piezas, presentando radios de curvatura considera-

Figura 23

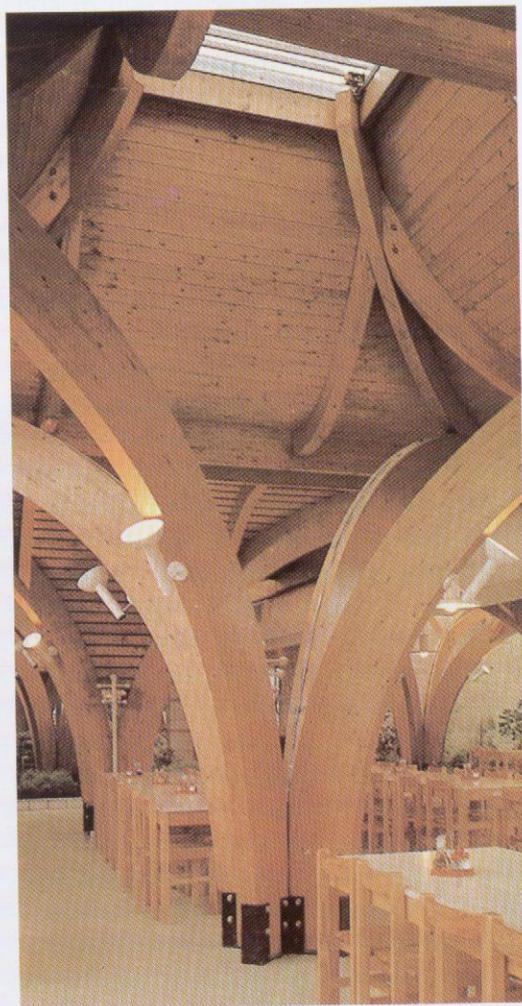


Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5

bles y variables, según las necesidades resistentes y estéticas del proyecto. En la *figura 24* se muestra el interior de un recinto que hace de esta capacidad de curvarse de la madera laminada encolada un elemento distintivo de su arquitectura, llegándose a aprovechar incluso los arcos como soportes de iluminación indirecta.

d) En uno de los diferentes procesos de fabricación se incorpora necesariamente una fase de cortado de tablas, que permite iniciar la eliminación de los defectos naturales, descartando aquellas tablas que no cumplen lo requerido por tener fendas, nudos o grietas, clasificando las restantes en diferentes grados de defectos. Una fase de reconstrucción de la pieza conduce a una distribución no aleatoria de los defectos naturales, centrando los mismos de una manera estudiada, de modo que los defectos queden situados hacia el centro de la pieza donde su efecto es menor, por estar sometido a menores solicitaciones. De todo lo expuesto, resultan unos mejores valores de las tensiones admisibles de rotura, sobre todo en flexión, tracción y compresión y una reducción aún mayor de errores en su construcción a nivel estadístico.

Figura 24



Esta selección y clasificación permite obtener, según reglamentaciones, tensiones admisibles para las estructuras de madera laminada encolada, sensiblemente superiores, casi un 10 % sobre las estructuras de madera maciza que utilizan especies de madera iguales o similares en su comportamiento.

CONSTRUCCIÓN DE GRANDES LUCES

Los métodos de estudio, fabricación, puesta en obra y control sistemático de la calidad permiten a la construcción de madera laminada encolada obtener pórticos u otros elementos de estructura de cubrición con luces del orden de los 100 metros y más, con todas las garantías constructivas del caso.

Se ha realizado un serio estudio teórico que demuestra que una construcción con una luz de 200 m sería totalmente viable, a condición de crear juntas exigidas por el montaje, y adecuado a las necesidades de las mismas.

Estas grandes luces permiten mayores posibilidades de utilización, por la eliminación de pilares o apoyos intermedios, cualidad clave en la construcción actual, donde se requieren espacios mixtos o polivalentes, capaces de adoptar diferentes disposiciones de distribución, según las variantes necesarias, y por lo tanto la eliminación de todos aquellos obstáculos que no permitan hacer un uso total del espacio. La *figura 25* muestra cómo la utilización de la madera laminada encolada en la construcción de una marquesina de una tribuna de estadio ha permitido que ésta quede absolutamente en voladizo, evitándose con esto cualquier apoyo que pueda interrumpir la buena visibilidad del espectador.

Actualmente, la demanda de espacios con gran capacidad necesitan tecnologías como la aportada por la madera laminada para satisfacer las demandas de los espacios públicos contemporáneos.

LA PREFABRICACIÓN

La prefabricación con elementos de madera laminada encolada demanda una nueva tecnología constructiva y provoca una estandarización de las juntas y los diferentes anclajes, herrajes y elementos de unión en general. Todo esto bajo severos controles cualitativos que implican operaciones de montaje ya conocidas y, por lo tanto, simplificadas en el ensamble entre la madera laminada encolada y sus



Figura 25

piezas de soporte, así como entre los diferentes elementos que configuran la propia estructura.

La prefabricación y estandarización derivan del conocimiento de los anclajes y uniones, previamente a la puesta en obra del proyecto. No obstante, como cada proyecto tendrá sus particularidades, el paquete de soluciones concretas deberá adaptarse a cada caso.

La prefabricación puede considerarse también como un inconveniente si tenemos en cuenta el aspecto del transporte de dichas piezas prefabricadas, lo que muchas veces redundará en un elevado costo de traslado de las vigas, cerchas o pilares desde el lugar de fábrica hasta el de edificación.

Muchas veces los vehículos de transporte tienen que estar especialmente acondicionados para, por ejemplo, transportar unas vigas de cielo tipo cerchas de 50 m o más (figura 26); las dificultades se incrementarán si el lugar al cual es necesario acceder es difícil en su recorrido.

Algunas empresas dedicadas a desarrollar la tecnología y la aplicación de la madera laminada encolada han concebi-

do un módulo tipo que, combinado de diferentes formas y maneras, permite obtener las superficies de edificación deseada, de manera que es cuestión de combinar los módulos existentes a modo de rompecabezas, hasta encontrar la superficie requerida para cada caso.

EL MANTENIMIENTO DE LAS PIEZAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

Haciendo referencia al apartado que mencionaba la inercia química de la madera, podremos observar que el material resiste de manera considerable todo tipo de ataques, tanto de carácter químico como biológico, si ha sido tratada de manera conveniente, como se explicará más adelante. En todo caso ya se deduce que las alteraciones o patologías deberán ser mínimas o nulas.

Cuando pensemos en la madera laminada encolada, no se deberán tomar medidas de mantenimiento en la estructura construida a excepción de algún tratamiento de barniz o pintura por necesi-

Figura 26



Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5

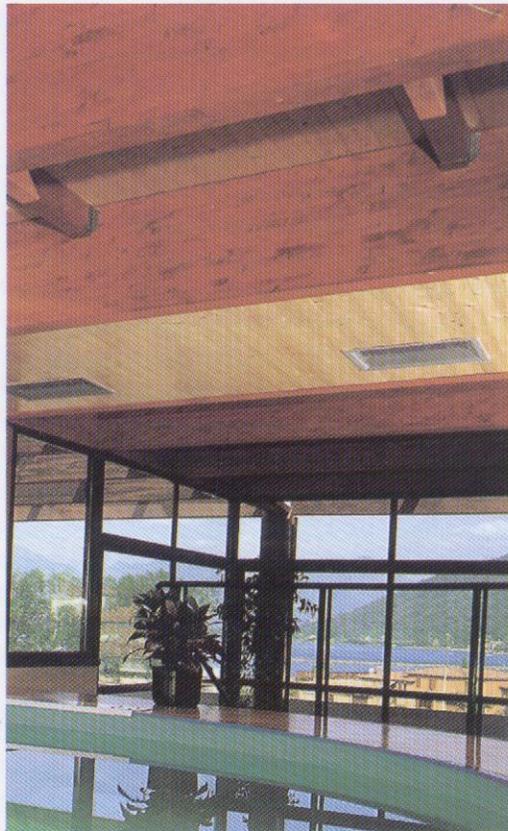


Figura 27

dades estéticas especiales, donde por ejemplo se quiera resaltar con un tinte caoba la estructura de vigas de cielo de la madera laminada, sobre un entablado de madera de pino natural (figura 27).

Sólo en pocos casos se recomienda un mantenimiento de la madera, en lo concerniente a la mejora del aspecto de la estructura situada en exteriores, donde la decoloración de la madera es notable. Un ejemplo clarísimo de esto es cuando se utilizan piezas de madera laminada encolada para puentes que no sólo deben resistir a la intemperie sino, además, un grado de humedad extra por la condensación del agua (figura 28).

Figura 28



La no necesidad de mantenimientos representa una ventaja económica importante, si bien no representativa a la hora del proyecto, donde el coste inmediato es el prioritario y este coste suplementario no es tenido en cuenta, con lo que difícilmente se puede ahorrar a medio plazo, ya que la degradación paulatina que tiene cualquier otro tipo de material va incrementando el costo original al representar la reparación o restauración de la obra a lo largo de la vida útil del proyecto.

LAS CUALIDADES ESTÉTICAS

Las estructuras de la madera laminada encolada tienen la particularidad de estar concebidas, teniendo muy en cuenta las propiedades particulares del material (la madera), con un aspecto muy versátil en función de las curvas naturales que comporta, lo cual le confieren una armonía y una calidad que se reflejan en el carácter macizo de las secciones.

El aspecto de las uniones puede tener, y admite, diferentes interpretaciones y soluciones al gusto de las necesidades estéticas; también existe la importante ventaja de seleccionar la especie de madera que por color, textura o aspecto más satisfaga al arquitecto o diseñador.

En la figura 29 se muestra un elemento de unión entre vigas que se adapta perfectamente a la convergencia de piezas, de manera que dicha unión no interrumpa el diseño propuesto por los diversos elementos que se articulan a partir de esta unión.

Por su carácter dúctil es un material capaz de adaptarse a cualquier tipo de formas o tipologías, tal como veremos desarrollado en capítulos posteriores, con la capacidad de crear formas hasta ahora no concebidas y recuperando otras que

Figura 29





Figura 30

por condicionantes de los materiales se habían perdido: vigas rectas o peraltadas (variables o constantes), pórticos, arcos, cúpulas y voladizos, todos con grandes o pequeñas luces, en definitiva todo aquello que podamos imaginar y que redunde en nuevas formas arquitectónicas que ofre-

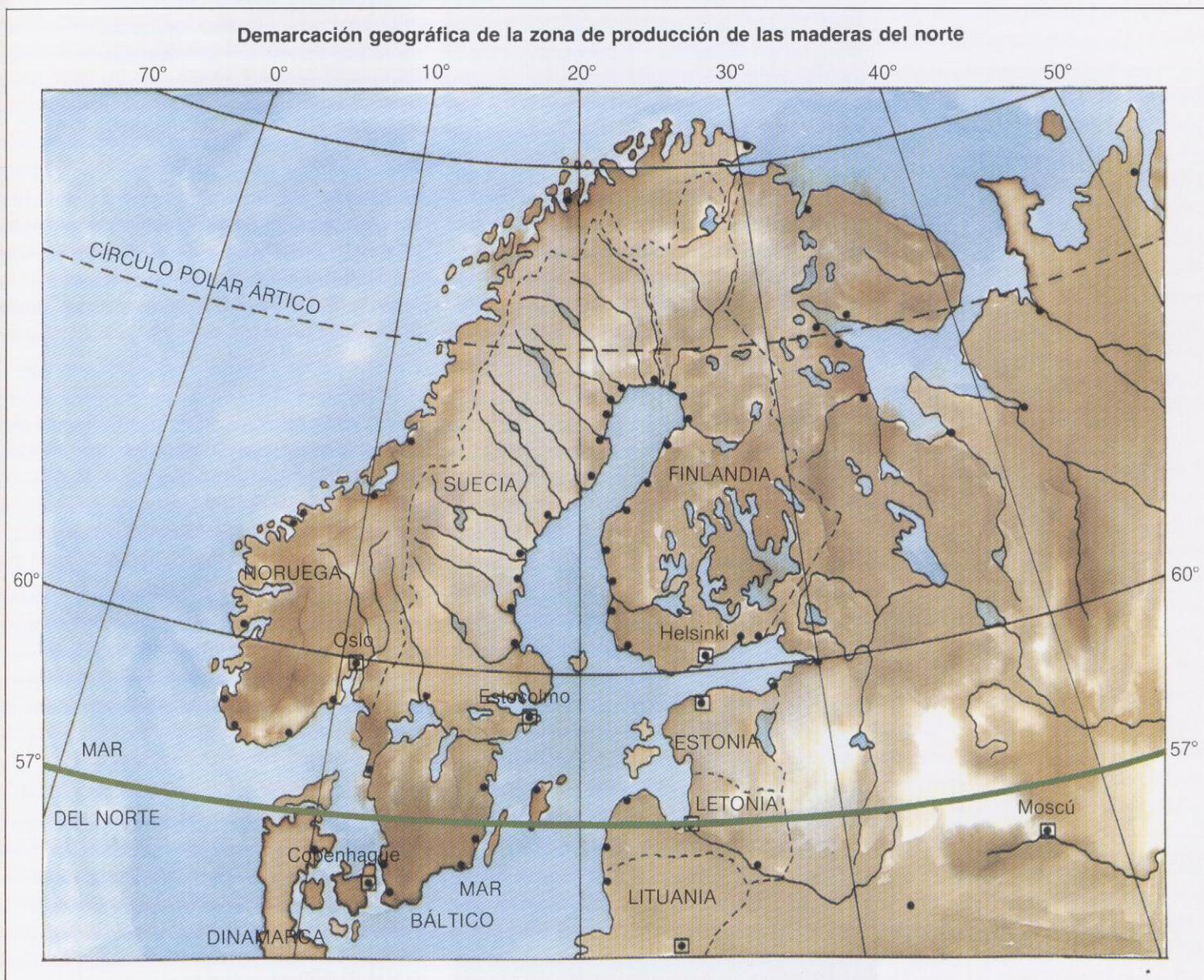
cen nuevas alternativas a la creación y puesta en obra de proyectos geométricamente muy complejos (figura 30).

FABRICACIÓN DE ELEMENTOS EN MADERA LAMINADA ENCOLADA

Como primera medida, dentro de este proceso constructivo, es menester distinguir y señalar cuáles son los procedimientos para la elección de la madera que constituirá la base del laminado.

Para clarificar cuanto hace referencia a las características físicas, mecánicas u otras aptitudes de la madera, se debe verificar la idoneidad de estas piezas para soportar los trabajos y sollicitaciones a los que se expondrán al formar parte de este material compuesto llamado madera laminada encolada. Como curiosidad, podemos destacar que el principal productor de la madera que está destinada a los procesos laminados es el norte de Eu-

Figura 31



ropa; por eso analizaremos a continuación la madera que proviene de esa zona del planeta.

La madera del norte

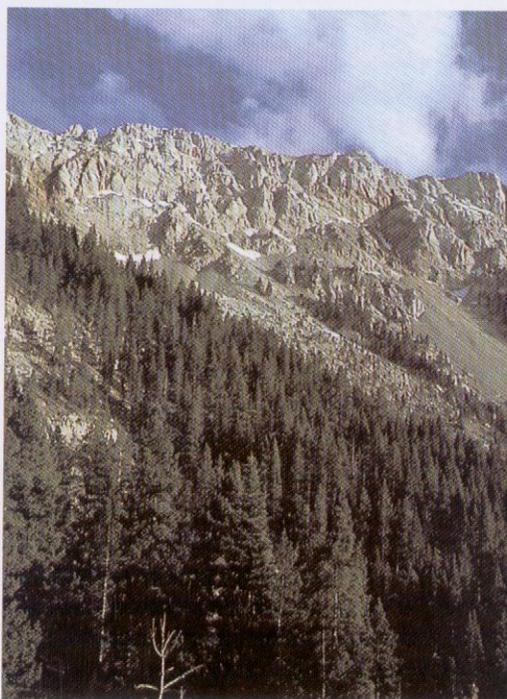
La madera del norte es en principio originaria de los países situados por encima de los 57° de latitud Norte, si bien el clima de las zonas situadas por debajo de esta latitud, como ocurre por ejemplo en Suecia, ofrece excepciones, dándose grandes aserraderos instalados en el sur, que aseguran para esta región una calidad cada vez más apreciada en los países importadores europeos.

En la *figura 31* se muestra un mapa que refleja de una manera mucho más clara la zona geográfica definida como productora de madera del norte, en el que pueden observarse los diferentes países integrados, así como las excepciones a la limitación geográfica expresada.

ESTADO ACTUAL DE LA MADERA DEL NORTE Y SU PRODUCCIÓN

El clima riguroso que reina en los países nórdicos frena considerablemente el crecimiento de los árboles, lo cual es visible en la disposición de sus anillos de crecimiento (muy juntos), lo que a su vez es primordial para entender las buenas características mecánicas que ofrece esta madera, es decir, la gran capacidad y ho-

Figura 32



mogeneidad de su masa leñosa. En la *figura 32* puede verse un típico bosque maderero del norte con algunas especies en edad de tala.

La explotación de estos bosques con fines comerciales data de la segunda mitad del siglo XIX, viéndose aumentada la tala y la repoblación, año tras año.

La tala de árboles únicamente se realizaba en invierno, en la época de mínima savia, ya que el transporte se hacía mucho más sencillo a través de los lentos cauces de los ríos, por flotación y con destino a los aserraderos. El secado al aire libre se realizaba bajo el sol, tímido, pero seco, de los países septentrionales.

Desde la puesta en funcionamiento de los secaderos artificiales que aseguran productos a prueba de la degradación de la madera, se tala durante todo el año y se transporta por camión hasta el aserradero, pasando cuatro días hasta conseguir un secado correcto de la madera.

Hablaremos un poco de los bosques y de la tala en sí, paso previo y básico a cualquier proceso de laminado.

Los árboles empleados oscilan sobre el centenar de años de edad, lo cual puede dejar ver que los bosques con este tipo de árboles cada vez son menos numerosos, sobre todo en árboles más jóvenes. Quedan aún más de cincuenta años para que puedan ser utilizados los árboles replantados, técnica vital hoy en día. La repoblación de los bosques adopta como fecha de inicio el intervalo entre las dos guerras mundiales.

La repoblación se suele realizar dos años después de la tala. Es necesario este tiempo para que plantas y refugios de insectos que pueblan las viejas cepas taladas puedan adaptarse al cambio. Para desvarar y trocear en el mismo lugar, se usa una máquina automática que alarga lateralmente un brazo de unos diez metros, armado con una pinza. Ésta coge el tronco caído y lo pasa entre dos cuchillas que trocean y podan en longitudes de 3 a 6 m. Esta máquina puede tratar hasta 500 troncos por día. Otra máquina más moderna coge el árbol en pie, lo corta y lo deposita en el suelo (*figura 33*).

Desde el lago Väinenn a Kotka, pasando por el Haut-Golfe, o desde Leningrado a Igarka pasando por el mar Blanco (*figura 31*), existen evidentemente aserraderos muy diferentes, sea por su forma, volumen de producción o maquinaria utilizada. No se encontrará entonces un método general para la producción de madera del norte, pero el funcionamiento tipo de un aserradero, situado por ejemplo en un fiordo del Báltico, alcanza una producción de 200.000 m³ de madera serrada al año.



Figura 33

Figura 34

Figura 35



Será una regla muy general, en Suecia o Finlandia, que una empresa tenga unos aserraderos y sus propios bosques, así como sus fábricas de pasta de madera, lo que las hace especialmente rentables por el aprovechamiento máximo de la madera, encontrando materia prima en los desperdicios de un proceso anterior.

ESPECIES PREDOMINANTES EN LA PRODUCCIÓN DE LA MADERA DEL NORTE

Las dos especies que de forma predominante se trabajan en los aserraderos de los países septentrionales para la fabricación de la madera laminada encolada son el pino silvestre o pino rojo (*figura 34*) y el abeto (*figura 35*). En el *cuadro III* se dan las principales características mecánicas y físicas de estas dos especies.

Criterios para la elección de las maderas

Los criterios de elección de la madera utilizada en las estructuras de madera laminada dependen, principalmente, de la aptitud de la madera ante el encolado, las

condiciones de exposición de la madera frente a la humedad, la temperatura y los ambientes agresivos.

Hay otros condicionantes, como podría ser el estético, a la hora de seleccionar una textura o cola, pero son los que antes se han citado los que definirán de una manera muy concreta las especies que hay que utilizar.

Con respecto al primero de los parámetros (encolado), cabe decir que es posible encolar todas las especies, si bien en algunos casos las sustancias aplicadas serán especiales. En principio sólo se encolarán maderas de igual especie, las más corrientemente trabajadas: el pino y el abeto, las que no presentan ninguna dificultad frente a esta substancia de pega.

Los pinos silvestres grasos y sobre todo las resinosas de gran variedad, como el alerce o el pino americano (*figura 36*), encolan con dificultad por su carácter graso, así como otras especies de singular dureza, tales como el castaño, cuyo encolado es más delicado de lo habitual.

Con respecto a las condiciones de exposición de la madera (humedad, temperatura y ambientes agresivos), es esencial hacer un estudio previo de las características a las que se verá sometida la madera, para realizar una elección que permita desarrollar de una manera completa las condiciones resistentes de la estructura.

CARACTERÍSTICAS DE LAS DOS ESPECIES MÁS COMUNES DE LA PRODUCCIÓN DE MADERA DEL NORTE

| Propiedades | Pino rojo Grado de humedad (%) | | Abeto Grado de humedad (%) | |
|---|-----------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | 12 | 30 | 12 | 30 |
| | Densidad (kg/m ³) | 510 | 560 | 460 |
| Resistencia a la tracción (MPa) | 104(3) | 60(2) | 90(2,5) | 50(1,5) |
| Resistencia a la flexión (MPa) | 87 | 50 | 75 | 43 |
| Resistencia a la compresión (MPa) | 46(7,5) | 25(2) | 40(6) | 22(2) |
| Resistencia al esfuerzo cortante (MPa) | 10 | 8 | 9 | 7 |
| Resistencia al impacto (Kj/m ²) | 70 | 90 | 50 | 65 |
| Modelo de elasticidad (MPa) | 12.000 | 11.000 | 11.000 | 10.000 |
| Condición térmica (W/m ² °C) | 0,26 | 0,32 | 0,24 | 0,29 |
| Calor específico (J/kg °C) | 1.650 | 2.000 | 1.650 | 2.000 |
| Poder calorífico (MJ/kg) | 17,3 | 14,6 | 17,3 | 14,6 |

Cuadro III

ESPECIES MÁS UTILIZADAS EN LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Para una mejor orientación, a continuación pasamos a dar las características básicas de las especies más utilizadas, según el caso, en la construcción de las piezas de madera laminada encolada.

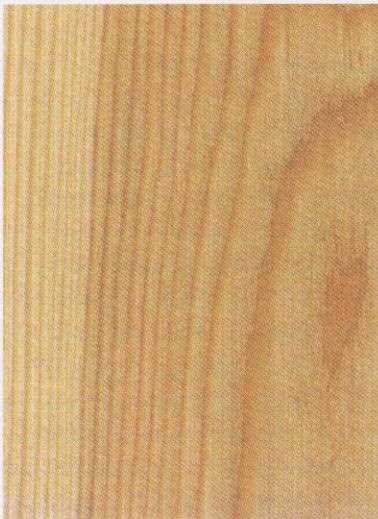


Figura 36

Madera de Douglas

Otro nombre comercial: pino de Oregón, pino de Douglas.

Situación geográfica: importado de la costa occidental de EE.UU. y de Canadá. Plantaciones experimentales en la Bretaña francesa.

Descripción somera de la madera: madera de corazón rosado, o ligeramente rojizo, muy heterogéneo, muy vetado, resinoso. Fibras rectas. Albura más clara.

Densidad, dureza y retracción: 0,50 a 0,65. Semiduro / semipesado. Retracción total media, pequeña. Muy pocos nervios.

Propiedades mecánicas: la madera de color amarillento (costas) tiene unas resistencias mecánicas superiores a la de color rojizo (montañas).

Resiste bien a la compresión, muy bien a la tracción y a la flexión. Fácilmente desfibrable, poco adherente y bastante rígida. Poco aislante.

Anillos de crecimiento entre 2 y 4 mm.

Durabilidad: madera de corazón muy duradero (figura 37).



Figura 37

Madera de Western Hemlock

Otro nombre comercial: tsuga del Pacífico.

Situación geográfica: costa occidental del Canadá, EE.UU., Bélgica.

Descripción somera de la madera: ma-

dera de color pardo oscuro. Fibras rectas en general. Textura uniforme. No resinosa. La albura no se diferencia.

Densidad, dureza y retracción: 0,45 a 0,50. Muy blanda y ligera. Retracción media. Medianamente nerviosa.

Propiedades mecánicas: sensiblemente parecidas a las del pino silvestre.

Durabilidad: madera poco duradera (figura 38).

Madera de haya

Situación geográfica: Europa occidental. Montañas y colinas de todas las regiones de Francia, en la costa Atlántica. Localizada en altitudes bajas, junto al mar Mediterráneo.

Descripción somera de la madera: madera blanca o parda muy clara, y también puede ser rojiza. Fibras muy finas y rectas, con una estructura muy homogénea. En algunos casos pueden encontrarse defectos, en aquellos que tengan el corazón rojo. La albura tiene las mismas características.

Densidad, dureza y retracción: 0,60 a 0,75. Semiduro / semipesado. Retracción total elevada, en particular para las procedentes de las montañas. Muy nervada.

Propiedades mecánicas: buenas resistencias a la compresión axial y a la transversal, y también a la flexión. Poco aislante y poco desfibrable.

Durabilidad: poco duradera. Se calienta fácilmente (figura 39).

Madera de pino común

Otro nombre comercial: pino amarillo.

Situación geográfica: sureste de EE.UU.

Descripción somera de la madera: corazón de tonos amarillentos y rojizos, siempre oscuros. Fibras bastante rectas.

Grano variable. Muy resinosa y muy homogénea. La albura se caracteriza por ser mucho más amarillenta.

Densidad, dureza y retracción: 0,55 a 0,80, según origen. Dura y pesada. Retracción total bastante fuerte. Muy nervada.

Propiedades mecánicas: excelentes. Muy buen comportamiento al pandeo y bastante bueno en flexión. Madera poco aislante y poco adherente.

Durabilidad: madera de corazón muy duradero (figura 40).



Figura 38



Figura 39

Madera de pino silvestre

Otro nombre comercial: pino, abeto del país, abeto rojo del norte.

Situación geográfica: norte y este de Europa; en Asia, montañas más cercanas a la Europa meridional; en Francia, Vosgos, Alpes, macizo central de los Pirineos; Suecia y Finlandia.

Descripción somera de la madera: madera de corazón mucho más importante que los otros pinos, rosado, rojo o rojo oscuro. Fibras generalmente rectas. Grano muy variable. Madera poco resinosa, heterogénea. Albura diferenciada, blanco-amarillenta, más clara.

Densidad, dureza y retracción: 0,40 a 0,50 para madera de llanuras; 0,55 a 0,65 para pino de montaña y del norte. Ligera y semipesada. Retracción total media, relativamente nervada.

Propiedades mecánicas: resistencias mecánicas fuertes en compresión y flexión y también al choque. Madera aislante o poco desfibrable, poco adherente transversalmente.

Durabilidad: madera de corazón bastante duradero (figura 34).

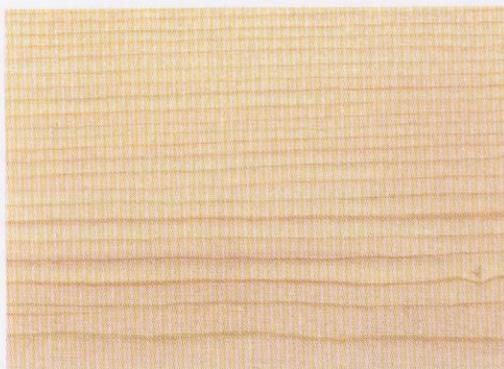


Figura 40



Figura 41

Madera de picea

Otro nombre comercial: picea común, pino blanco del norte.

Situación geográfica: norte de Europa y montañas de la Europa central; en Francia, Vosgos, alés del Norte. Plantaciones en el macizo central de los Pirineos y en diversas regiones planas de Francia. Importado de Escandinavia.

Descripción somera de la madera: madera blanca o ligeramente rosada, carácter muy resinoso en estado natural. Fibras rectas. La altura presenta las mismas características.

Densidad, dureza y retracción: 0,40 a 0,50. Ligera y frágil. Débil retracción. Nervios poco pronunciados.

Propiedades mecánicas: las mismas que las maderas de latitudes septentrionales (>57° N) o de alta altitud, con anillos de crecimiento finos y de propiedades remarcables. Muy fibrosa, poco adherente. Buena capacidad aislante.

Durabilidad: madera poco duradera, un poco más que la sabina (figura 41).

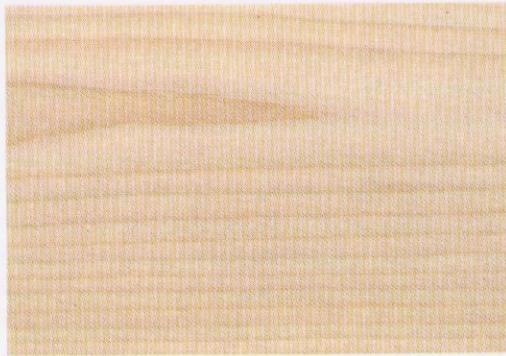


Figura 42

Madera de pino negro

Situación geográfica: laderas de las montañas del sur de Europa, Asia Menor y Argelia. Regiones de Austria.

Descripción somera de la madera: corazón rojo oscuro o bien amarillento oscuro dependiendo del origen. Fibras rectas. Grano fino. Muy resinosa, heterogénea. La albura se diferencia por ser más blanca y más desarrollada.

Densidad, dureza y retracción: 0,50 a 0,80 o 0,45 a 0,55, según provenga de Asia o Austria, respectivamente. Retracción media y bastante fibrosa.

Propiedades mecánicas: buena a la compresión y regular a la flexión y a los choques.

Durabilidad: madera de corazón muy duradero (figura 42).

Además, existen otras maderas que, aunque no se utilizan tan profusamente como las anteriores, son importantes dentro de la gama de maderas laminables, tales como el pino marítimo o pino de Flandes, el abeto y el alerce.

Clasificación de calidades en la madera laminada encolada

Respecto a la clasificación de las maderas utilizadas en los elementos y piezas de laminados, éstas variarán según las diferentes normativas y, por lo tanto, los diferentes países y asociaciones, por no contar con un órgano a nivel internacional que las englobe a todas. A pesar de las diferentes clasificaciones que podamos encontrar, se podrán distinguir dos grandes escuelas dentro del concepto de las normativas que se aplican: la escuela americano-canadiense y la escuela europea.

A continuación se esbozarán ambas tendencias, haciéndose hincapié en la escuela europea, dentro de la cual se destaque el desarrollo alcanzado por países como Suecia y Francia.

LA ESCUELA AMERICANO-CANADIENSE

Como normativa general, la madera se divide por la cuantificación de sus defectos en cada una de las especies en particular, en función de su límite de rotura, resistencia calculada y su módulo de elasticidad. En el cálculo de las construcciones se utilizan directamente los coeficientes de seguridad, e intentándose que con los valores apropiados se utilicen las características de la madera al máximo dentro de las posibilidades de la madera más corriente.

LA ESCUELA EUROPEA

Como partido general, la madera laminada encolada se divide en tres categorías diferentes, al igual que en el caso de la madera maciza. Los defectos admisibles son muy poco variables para cada una de las categorías, si bien continúa siendo un criterio de clasificación importante, con el inconveniente de que este sistema de distinción introduce un factor nuevo, como son los coeficientes reductores, que en gran número dificultan el conocimiento certero, *a priori*, de las diferentes tensiones de trabajo en la madera.

Como ejemplos de diferentes clasificaciones dentro del marco europeo, a continuación se desarrollan los casos de tabulación en España, Francia y Suecia.

Las tres categorías enunciadas anteriormente, y por ampliación todas aquellas que engloba el marco europeo, utilizan para las construcciones en madera laminada encolada las dos categorías primeras en orden a unas mejores cualidades, siendo mayoritario el uso de la categoría 2, la cual es de rango intermedio, por responder de forma correcta a las necesidades resistentes y, claro está, por condicionantes económicos que

Cuadro IV

| NOMENCLATURA DE CLASIFICACIÓN | | | |
|-------------------------------|------------|-----|-----|
| Países | Categorías | | |
| | España | LA | LB |
| Francia | I | II | III |
| Suecia | L30 | L40 | L50 |

(La clasificación sueca incluye un L20 de manera excepcional, para elementos secundarios.)

influyen en la menor utilización de la primera categoría.

Para una mejor comprensión en el cuadro IV se exponen las diferentes nomenclaturas que definen las categorías de la madera (tanto maciza, como laminada) en los tres ejemplos citados, y cada una corresponde a valores de resistencia casi equivalentes.

La madera correspondiente a la categoría 3 se excluye para la totalidad de una viga, dependiendo de los esfuerzos de cizallamiento. De igual manera, el empleo de esta última característica es restringido en razón al 50 % de la altura de la viga sometida a la sollicitación de la flexión, fundamentalmente también como generalidad de clasificación, y citando los defectos de la misma, con pequeñas variaciones en cada caso, rehúsan la utilización de maderas con fibras onduladas en su núcleo, así como todas aquellas que presentan bolsas o exudaciones de resina. De igual forma no se permitirán las pudriciones, nódulos adherentes y, de manera cuantificada, las grietas, nudos y acebolladuras que pudieran provocar tensiones internas. En la figura 43 se pueden ver algunas de estas degeneraciones en la madera, degeneraciones que no pueden estar presentes en la madera laminada encolada.

Clasificación de las especies

Dentro del desarrollo tecnológico que han emprendido los diferentes países europeos, unos antes que otros, con respecto al estudio de las diferentes especies de árboles cuya madera puede ser apta para la aplicación en la madera laminada encolada, se ha llegado a un acuerdo para unificar y distinguir en agrupaciones de diferentes maderas aquellas que tienen propiedades mecánicas similares. Toda esta tabulación se transforma en una normativa que permite al usuario, ya sea constructor, ingeniero o arquitecto, aplicar según la sollicitación a la que vaya a estar sometida la pieza proyectada, las maderas adecuadas e idóneas para dicho trabajo. En el cuadro V ofrecemos una lista de maderas ya clasificadas según las propiedades mecánicas anteriormente descritas.

En la figura 44 se muestran dos maderas del grupo 3(G3), que aunque en apariencia se ven bastante diferentes, en la práctica tienen un comportamiento mecánico muy similar. A la izquierda aparece la picea plateada de Canadá (*Picea sitchensis*) y a la derecha, el cedro rojo de Canadá (*Thuja plicata*).

| ESPECIES DE RESINOSAS CON CAPACIDADES MECÁNICAS SEMEJANTES | |
|---|--|
| G1 | Pino de Oregón (<i>Pseudotsuga douglasii</i>) Alerce (<i>Larix decidua</i>) Pino palustre (<i>Pinus palustris</i>) Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>) |
| G2 | Hemlock occidental (<i>Tsuga heterophylla</i>) Pino de Paraná (<i>Aracauria angustifolia</i>) Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>) Picea blanca de Canadá (<i>Picea alba</i>) |
| G3 | Abeto rojo europeo (<i>Picea abies</i>) Picea plateada de Canadá (<i>Picea sitchensis</i>) Cedro rojo de Canadá (<i>Thuja plicata</i>) |

Cuadro V

Figura 43

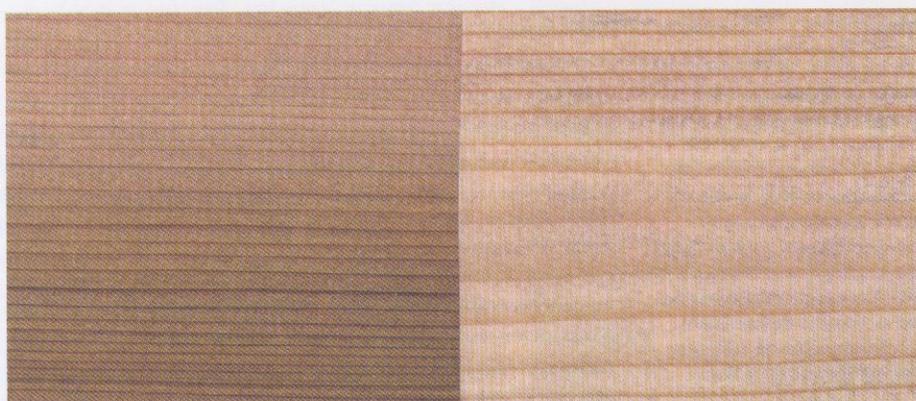
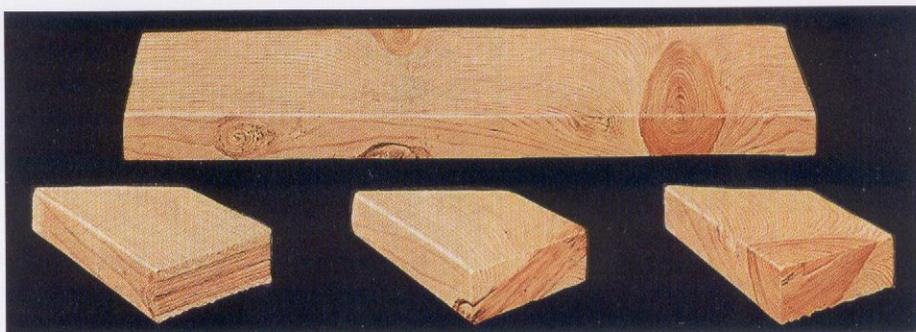


Figura 44

Dicha normativa parte de la clasificación ya realizada para la madera maciza y concluye con la definición de las tres categorías antes citadas: LA, LB y LC, en orden decreciente en cuanto a sus características y calidades.

La primera clasificación que hace la norma se produce al definir el material, en piezas de madera laminada vertical y horizontal, siendo esta última el concepto de la madera laminada encolada, más conocido y utilizado en la actualidad, y por tanto nos centraremos en él.

Los criterios de clasificación de la madera vienen definidos por dos conceptos fundamentales: la desviación de la fibra y los nudos y su tamaño relativo. De manera general, todos aquellos posibles defectos definen el grado de calidad, determinándose los parámetros de clasificación que aparecen en el cuadro VI.

| CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------|
| Grado de calidad | Desviación de la fibra | Nudos: tamaño real |
| LA | 1/18 | 10 mm |
| LB | 1/14 | 21 mm |
| LC | 1/8 | 40 mm |

Cuadro VI

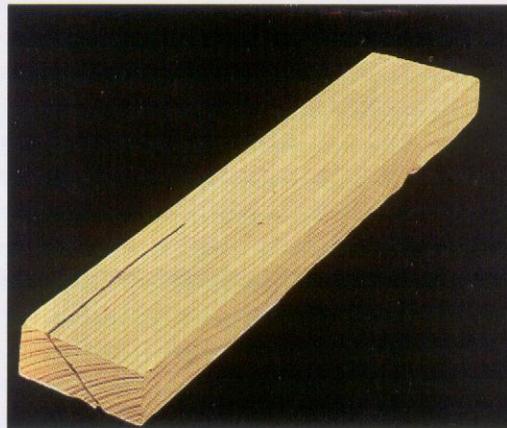


Figura 45

La misma normativa europea define otras limitaciones, como la de que no se admiten gemas, y aunque no existen limitaciones con respecto a la profundidad de las fisuras, grietas, fendas y acebolladuras, deberán cumplir: que el ángulo formado por la fisura y la cara no sea superior a 45°. En la *figura 45* se puede ver un trozo de madera con una fisura que está en el límite de su utilización.

No existen exigencias en el número de anillos de crecimiento por centímetros de madera, en forma de tablas destinadas a formar las láminas de madera encolada.

Para las tres calidades (LA, LB, LC), la norma define una serie de coeficientes, que afectan a sus tensiones básicas, para cada una de las sollicitaciones actuantes en función del número de láminas y, claro está, que resultarán con un valor diferente en función de la especie de madera que haya de utilizarse.

También se contempla la utilización de maderas de diferentes calidades, en concreto de dos tipos como máximo, lo que se refleja por la aplicación de unos coeficientes correctores, para obtener una pieza homogénea en su comportamiento mecánico.

Clasificación de la normativa francesa

Esta normativa en particular también distingue tres categorías, si bien en la práctica sólo se tienen en cuenta, como válidas, las dos primeras (I, II).

Los criterios de clasificación para estas dos categorías son los siguientes:

— Categoría I: la madera no presentará ninguna pudrición o enmohecimiento; sólo pueden tolerarse ligeras picaduras ennegrecidas (*figura 46*).

Los cortes deberán ser rectos y las aristas vivas; las fibras serán rectas, no excediendo las variaciones en las pendientes de la fibra en una cara del 7 %, y localmente de un 10 %.

Los nudos y manchas agrupadas no superarán en ningún caso los treinta milímetros de diámetro.

Sólo se tolerarán grietas o fendas cuando sean superficiales y se encuentren en los extremos de las piezas.

Las especies que contemplan esta categoría, dentro de la familia de las resinosas, son las siguientes: abeto, picea y pino silvestre.

Por lo general es una madera que proviene de zonas montañosas, y su espesor en los anillos de crecimiento deberá ser igual o inferior a 3 mm (*figura 47*).

La densidad mínima a una tasa de humedad del 20 % será de 500 kg.

— Categoría II: la madera no presentará ninguna pudrición o enmohecimiento, sólo pueden tolerarse ligeras picaduras ennegrecidas; los cortes deberán ser rectos y las aristas vivas; las fibras serán rectas, no excediendo las variaciones en las pendientes de la fibra en una cara del 12 %, y localmente de un 20 %.

Los nudos y manchas agrupadas no superarán en ningún caso los 40 mm de diámetro. En la *figura 48* se ve un nudo de 35 mm y que puede integrarse en una pieza de madera laminada encolada, siempre y cuando este nudo esté firmemente adosado o integrado a la masa leñosa. Sólo se tolerarán grietas, fendas y nudos cuando sean superficiales y se encuentren en los extremos de las piezas, ya que si existen nudos o anomalías profundas en los extremos de una tabla ya no se aceptará (*figura 49*).

Las especies que contemplan esta categoría, dentro de la familia de las resinosas, son las mismas que las consideradas en la categoría I.

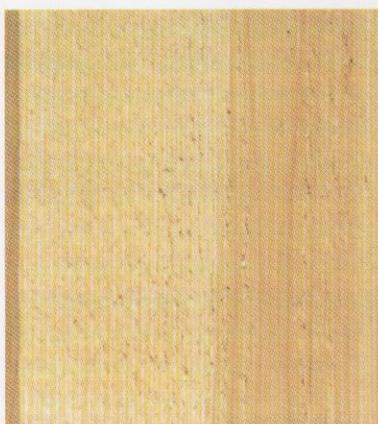
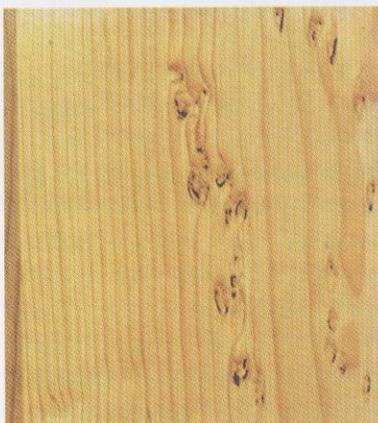
Por lo general es una madera que proviene de zonas montañosas, y su espesor en los anillos de crecimiento deberá ser igual o inferior a 5 mm.

La densidad mínima a una humedad de 20 % será de 450 kg.

Clasificación de la normativa sueca

La denominación de madera laminada L se aplica a la constituida con un mínimo de 4 láminas, según rigen los diferentes organismos oficiales.

Figura 46



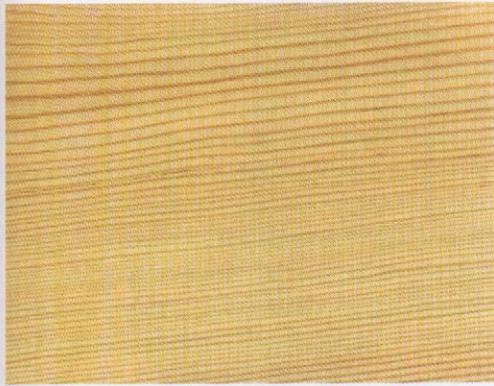


Figura 47



Figura 48

La clasificación sueca contempla cuatro tipos diferentes de madera laminada, ordenados de menos a más, en razón a sus características: L-20, L-30, L-40, L-50.

Como norma general y de correcta utilización, un porcentaje muy elevado de la fabricación se realiza con madera L-40, siendo, al igual que en otras clasificaciones, tanto la categoría de mayor y menor calidad muy poco utilizadas, bien por condicionantes económicos o porque simplemente las estructuras diseñadas no necesitan piezas superestructuradas. En la figura 50 podemos observar un interior, en el que la madera laminada encolada, además de cumplir una función estructural, aparece como un elemento que configura el carácter arquitectónico de este recinto, por lo que la calidad de este material no necesita ser extremado, puesto que las solicitaciones no guardan relación con las escuadrías (sobredimensionadas) de este caso.

En el cuadro VII se desarrollan los valores usuales medios de las diferentes categorías, a las principales solicitaciones a que se ven afectadas estas estructuras.

Dimensiones de la madera

Es muy importante definir con toda claridad el espesor y el ancho de las láminas para así definir las secciones mínimas que

permiten construir con la madera laminada encolada bajo un cierto margen de seguridad.

Es evidente que dos vigas de madera laminada encolada determinan un comportamiento estructural cuya resistencia no corresponde a la de una viga que tenga una sección dos veces mayor.

La laminación, por lo tanto, es esencial para la correcta concepción del material como tal, y su buen comportamiento. Para esto, diferentes normativas han delimitado los valores de los espesores y anchos de las secciones, de manera que se encuentren en las proporciones correctas para que su inercia sea elevada.

Por su fabricación, la sección transversal de los elementos es generalmente rectangular (figura 51), buscando una relación altura/base elevada, con el fin de obtener una sección con la mayor inercia posible (cuadro VIII).

DIFERENTES NORMATIVAS CON RESPECTO AL DIMENSIONAMIENTO DE LA MADERA

Las bases de las diferentes normativas, a la hora de delimitar los espesores de las láminas, están expresadas en el apartado anterior. A continuación se citan diferentes ejemplos, en los cuales puede verse la diversidad de criterios que se tienen en cuenta, aplicándose de manera más o menos ajustada con coeficientes de seguridad y de capacidad de trabajo de la madera.

La normativa canadiense estipula un espesor máximo (e) de 50 mm para cada una de las láminas que constituyen una pieza de madera laminada encolada; en cambio, la normativa estadounidense tie-

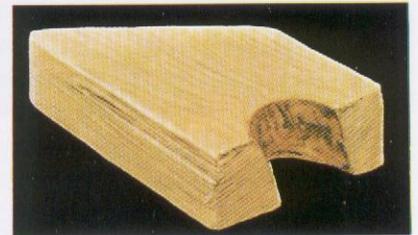
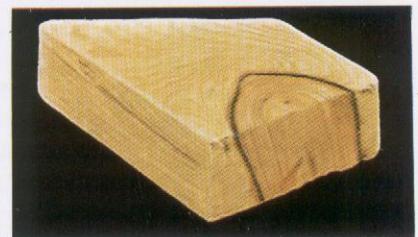


Figura 49



TENSIONES ADMISIBLES PARA LAS DISTINTAS CATEGORÍAS QUE ESTABLECE LA NORMA SUECA

| Calidad | Flexión (kg/cm ²) | Tracción (kg/cm ²) | Compresión (kg/cm ²) |
|---------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| L-20 | 130 | 80 | 120 |
| L-30 | 110 | 70 | 100 |
| L-40 | 110 | 80 | 100 |
| L-50 | 90 | 60 | 90 |

Cuadro VII

Cuadro VIII

COMPARACIÓN ENTRE LA SECCIÓN RECTANGULAR Y LA INERCIA DE UNA PIEZA DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

| B · h (cm) | Sección (cm ²) | Inercia (cm ³) |
|------------|----------------------------|----------------------------|
| 11,5 · 80 | 920 | 490,666 |
| 13,4 · 68 | 918 | 353,736 |
| 16,0 · 58 | 928 | 260,149 |

Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5

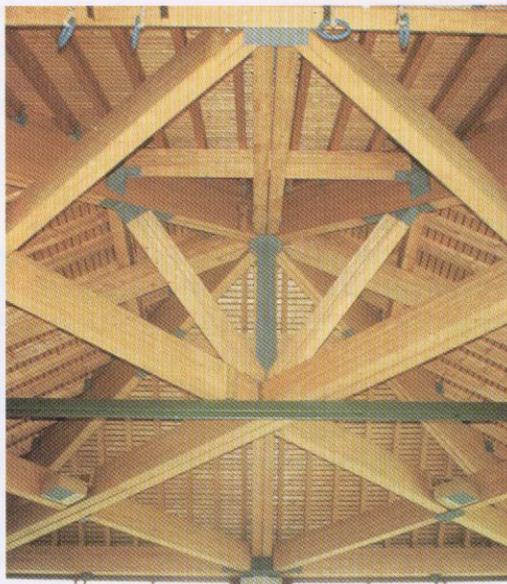


Figura 50

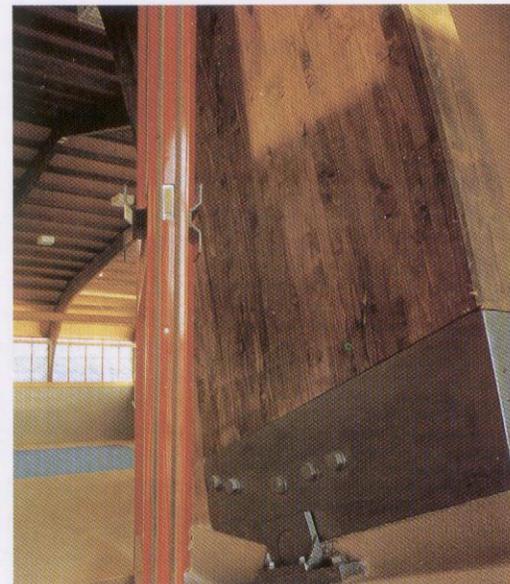


Figura 52

Figura 51



ne un espesor de 20,5 mm, no estableciéndose más parámetros; la normativa francesa ofrece los siguientes valores: espesor igual a 60 cm para maderas resinosas y blandas con una densidad menor a 500 kg/m^3 , la normativa suiza determina un espesor máximo de 20 a 25 mm.

De todo lo observado, es recomendable no exceder en ningún caso el límite de los 50 mm de espesor. Es preferible limitarse a los valores definidos, ya que es difícil secar de una manera uniforme y sin que se produzcan degradaciones en la madera con espesores superiores, pudiéndose producir en estos casos grietas y fendas de retracción, junto con un alabeo, que contribuyen a disminuir las características mecánicas de la sección.

Únicamente se emplearán los espesores mayores en el caso de vigas derechas (figura 51) o cuando por necesidades de curvatura se requieran piezas más gruesas, especialmente en el contacto de base con otros materiales de anclaje (figura 52).

Las diferentes especies de madera tienen elasticidades distintas, y el espesor máximo de las láminas puede depender también del tipo de especie elegida. Es evidentemente favorable usar láminas del

máximo espesor posible, ya que para un elemento dado, cuando el número de láminas disminuye y el coste de producción también, se aminora la cantidad de cola utilizada y la mano de obra para su aplicación, así como el uso de la maquinaria, si bien con la limitación de tener muy claro que todo ello puede llegar a repercutir en la calidad del elemento si no se guarda el debido cuidado entre la máxima calidad y el mínimo coste.

En el cuadro IX se expone una tabla donde puede verse la relación final entre los costes de la fabricación de un elemento, en función del espesor de la lámina sin cepillar, reflejado en la comparación entre el cubo bruto de madera contra el cubo neto (CB/CN).

RADIOS DE CURVATURA

En general, las dimensiones medias que se admiten para piezas de la madera laminada encolada se sitúan en los valores siguientes: ancho máximo (b) = 21 centímetros; espesor máximo (e) = 5 cm; sección mínima (s) = 70 cm^2 ; radio de curvatura (r) = $160 \cdot e$.

Cuadro IX

APROVECHAMIENTO DE LA LÁMINA DE ACUERDO CON SU ESPESOR

| Plancha bruta (e1) | Lámina cepillada (e) | R = 160e (m) | N.º de láminas (n) | Cubo bruto (CB) (m³) | Cubo neto (CN) (m³) | N.º de planchas encoladas | Superficie (m²) | Cantidad de cola 350/m² | CB / CN |
|--------------------|----------------------|--------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|---------|
| 50 mm | 44 | 7,04 | 23 | 3,450 | 2,732 | 23 | 69 | 24,15 | 1,262 |
| 40 mm | 34 | 5,44 | 30 | 3,600 | 2,754 | 30 | 90 | 31,50 | 1,307 |
| 33 mm | 27 | 4,32 | 38 | 3,762 | 2,770 | 38 | 114 | 39,90 | 1,358 |
| 28 mm | 22 | 3,52 | 46 | 3,864 | 2,732 | 46 | 138 | 8,30 | 1,414 |
| 24 mm | 18 | 2,88 | 56 | 4,032 | 2,721 | 56 | 168 | 58,80 | 1,482 |

e= espesor máximo

CN= Cubo neto de madera laminada encolada
CB= Cubo bruto de madera laminada encolada

La variable del radio de curvatura acepta valores inferiores en las siguientes condiciones:

a) Posibilidad de curvar la madera sin correr riesgo de rotura superficial, y teniendo en cuenta la humedad necesaria y compatible entre cola y madera. En la *figura 53* puede apreciarse una muestra de la capacidad de curvatura múltiple que puede alcanzar la madera laminada encolada cuando se han hecho los estudios convenientes para determinar secciones y espesores de lámina.

b) Tomar medidas de precaución necesarias en la colocación de los soportes que conformarán el molde de la pieza, siendo regular y lo más continuo posible, para producir una curvatura correcta durante la polimerización y estabilización (*figura 54*).

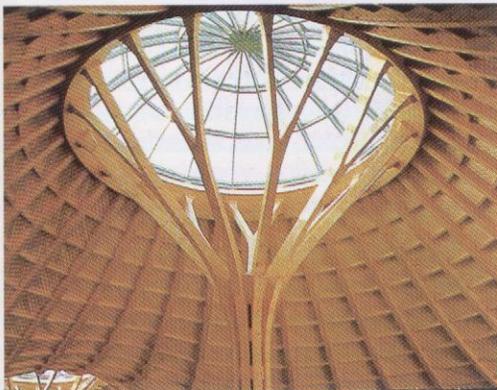


Figura 53



Figura 55

La madera tiene una de sus características principales en su higroscopicidad natural, lo cual hace necesario tener un conocimiento claro de los diferentes estados de la madera en función de su humedad.

La humedad de la madera que se ha de encolar debe verificarse con sumo cuidado, por medios electrónicos, debiendo estar comprendida entre un 7 y un 16 %, siendo de un 18 % en situaciones excepcionales, según el emplazamiento y la naturaleza de su uso.

Los valores usuales admitidos son: para edificios resguardados, un $10 \% \pm 3 \%$ (*figura 55*); para edificios resguardados, pero sin estar cerrados, un $12 \% \pm 3 \%$ (*figura 56*); para edificios abiertos, un $15 \% \pm 3 \%$ (*figura 57*).

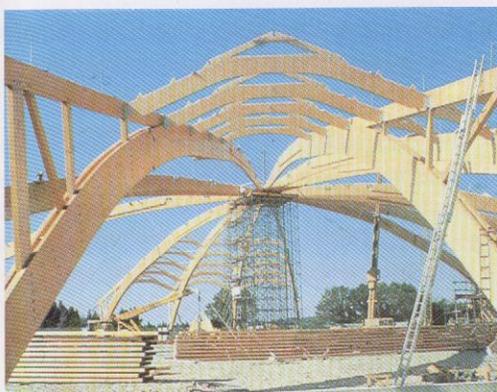


Figura 54



Figura 56

Nivel de humedad en la madera

La humedad de la madera, como se ha recordado en varias oportunidades, es fundamental en la fabricación de la madera laminada encolada, de ahí que su control y limitaciones sean también muy estrictos, evitando en lo posible deformaciones diferenciales de una pieza en función de una humedad no adecuada a lo largo y ancho de la masa leñosa.



Figura 57

Por regla general, la humedad normal de las láminas está comprendida entre un 8 y un 12 %, y es muy importante que las láminas que componen un elemento no presenten entre ellas una diferencia de humedad superior a un 5 % (figura 58).

Si en el curso de su uso una estructura de madera laminada es sometida previsiblemente a variaciones de humedad de un 10 %, conviene fabricarla dentro de condiciones semejantes a las de la tasa media que dan los dos extremos de humedad, y protegerla con un producto hidrófugo de buena calidad para que las variaciones dimensionales transversales de los elementos no sean elevadas. Dicha precaución es recomendable en cualquiera de los casos.

De una manera práctica son necesarios cuatro días de estabilización de la madera, anteriores al encolado, dentro del taller y en las condiciones adecuadas, mediante un apilado que permita la libre circulación de aire entre las diferentes tablas (figura 59).

Preparación de los planos que hay que encolar

El cuidado del trabajo de la madera depende del tipo de cola que haya que utilizar. Para las juntas delgadas se necesita, en el momento del encolado, una tolerancia de espesor, sobre una misma lámina, en cualquier punto de su superficie que no exceda para las juntas delgadas un $e < 25$ mm, donde la flecha no excederá de 8-10 mm, y con $e > 25$ mm, la flecha no superará los 10 mm. En las juntas gruesas un $e > 25$ mm, donde la flecha no excederá los 10 mm. Por lo tanto, se consigue una precisión de fabricación importante para un correcto encolado de las láminas.

Para obtener la tolerancia exigida, se necesita que las maderas se almacenen en los talleres una semana antes de su uso. Estas tolerancias deben ser observadas y controladas como máximo 48 horas antes del encolado. La fabricación debe conseguir unas superficies limpias, sin polvillos, hilos y ondulaciones entre otras cualidades.

Si el encolado y cepillado se hacen en los mismos talleres, las láminas deben limpiarse a fondo de todo polvo o partículas. Las pequeñas manchas de grasa deben evitarse. Debe mencionarse que es contraproducente corregir los errores de superficie con papel de lija.

Otra prevención que hay que tener en cuenta, si en el proceso de fabricación se utiliza vapor para curvar las piezas, son

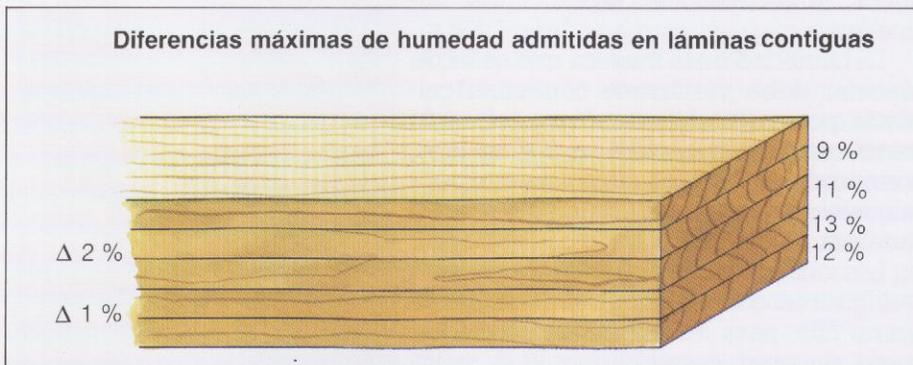
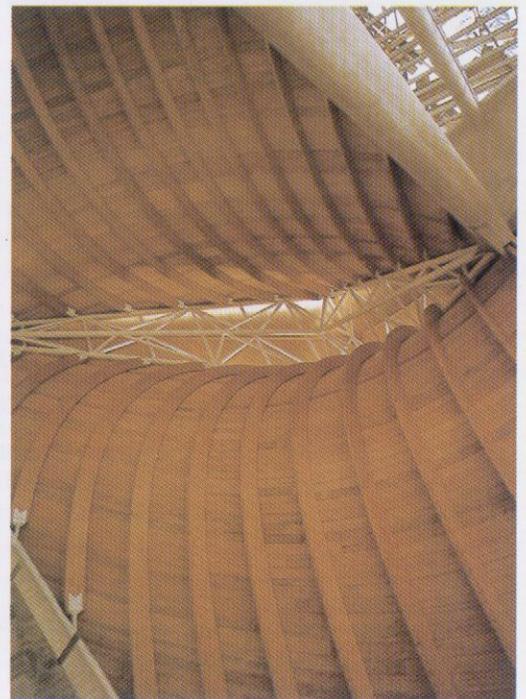


Figura 58

Figura 59

Figura 60



las condiciones de humedad de la madera, que deben vaciarse en función del tratamiento.

Elección de las colas

La elección de la cola podría llevar a pensar en un gran abanico de posibilidades, ya que de hecho son múltiples las existentes en el mercado. Pero de manera más concreta, el uso y la elección de una cola para la confección de la madera laminada encolada se reducen a tres alternativas: cola de caseína, cola de urea-formol y cola de resorcina.

Los criterios para la utilización de uno u otro producto adhesivo se basan en la respuesta de cada cola a la humedad y en general a la exposición a atmósferas agresivas y hostiles, más que a factores como durabilidad o estética.



Figura 61

DURABILIDAD DE LAS COLAS

Una cola debe durar tanto o más que los elementos que hay que unir con carácter estructural, tanto más si dicha estructura se configura en el espacio de una forma dinámica y en constante sollicitación (figura 60). Los organismos oficiales hablan de cincuenta años como plazo razonable; sin embargo, materiales como el hormigón en la actualidad garantizan a sus componentes un plazo aproximado de diez años.

Para aquellos elementos y piezas de la madera laminada sometidos al calor o la humedad, tales como las piscinas climatizadas con vigas sobre las zonas de evaporación de agua clorada, tal como se ve en la figura 61, se enfrentan dichas piezas, y las colas aplicadas, a la hinchazón y retracción. Por ello la elección de éstas se realiza en función de cada caso constructivo y programático.

Algunos tipos de colas están previstas únicamente para interiores, otras para exteriores, pero no son muy resistentes a temperaturas por encima de los 45 °C; en cambio, otras soportan todo tipo de rigores tanto internos como externos. Los ensayos de durabilidad dan en general una disminución de las resistencias de manera conjunta en la cola y en el estado de la estructura portante. No todas las colas envejecen de la misma manera. Ciertas colas pierden una gran proporción de resistencia en diez o quince años, otras pierden mínimas cualidades en un período igual de tiempo, asegurando y garantizando juntas resistentes por plazos no

concretados, pero superiores con toda seguridad a treinta o cuarenta años. La durabilidad es primordial para una correcta elección de la madera.

A modo de ejemplo teórico, podemos destacar que los laboratorios de tecnología de la madera de Princes Risborough (Gran Bretaña) y de Madison (EE.UU.) han realizado durante largo tiempo ensayos para averiguar la aptitud y durabilidad de colas en interiores.

En el cuadro X se hace una descripción comparativa entre diferentes composiciones de colas y su porcentaje de resistencia residual frente a un mismo tiempo hipotético de trabajo.

FRAGUADO DE LAS COLAS

El fraguado como definición observa el paso de gel a sólido, si bien en diferentes colas este proceso se realiza de múltiples maneras según los diferentes componentes del adhesivo.

Cuadro X

| PORCENTAJE DE RESISTENCIA DE LAS COLAS CON EL PASO DEL TIEMPO | |
|--|---------------------------|
| Tipo de cola | Porcentaje de resistencia |
| Fenol-formol a 145 °C Resorcina-formol a 100 °C Urea-formol a 100 °C Caseína en frío Cola animal en frío | 90 % |
| Fenol-formol en frío | 80 % |
| Urea-formol en frío | 65 % |

Si se utilizan colas de tipo orgánico se produce una pérdida del agente dispersante, ya que el fraguado produce su evaporación y dispersión.

Si se usa cola basada en pieles se genera una pérdida del agente dispersante al enfriarse la mezcla. Éste es reversible, y la aplicación de elevadas temperaturas es peligroso, ya que con esto se induce a un proceso de desintegración de la cola. Tampoco este tipo de reacción es el usual en el proceso de la fabricación de la madera laminada encolada.

Cuando se utilizan colas de origen químico puro, que son las más usadas en la industrialización a gran escala de las maderas laminadas encoladas, se producirá una pérdida del agente dispersante de la cola según los elementos que la componen y la temperatura a la cual están sometidos: a temperatura ambiente, la caseína y las colas que contienen melamina, fenol y formol; con aplicación de calor, las colas termoestables y las derivadas de la resorcina. Es muy usual, en este caso, la utilización de endurecedores que controlan el fraguado.

También existe una serie de factores de tipo mucho más técnico que son importantes para un correcto funcionamiento de la cola, y que pueden englobarse con las múltiples fases correctas que debe seguir el fenómeno de encolado:

a) La cola debe formar una película, de manera que fluya en todas direcciones por la superficie de la masa leñosa, una vez depositada la cantidad deseada.

b) La cola debe penetrar las dos superficies que haya que unir.

c) La cola tiene que adherirse a la madera, lo que se denomina coloquialmente como mojar la madera.

d) El proceso del fraguado debe estar cuidadosamente controlado bien por variables de temperatura o por elementos aceleradores del endurecimiento.

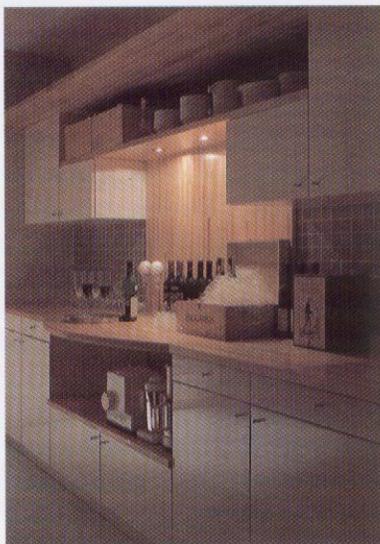
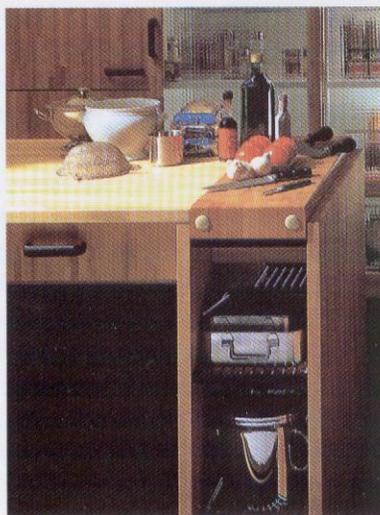


Figura 62

Figura 63



CLASIFICACIÓN DE LAS COLAS

La primera clasificación y más general establece dos grupos diferentes: colas naturales/colas termoplásticas y caucho sintético/colas termoendurecidas.

Sería muy extenso desarrollar cada uno de los siguientes grupos de colas, pero en todo caso sí podemos decir que las colas naturales son mejor conocidas por el nombre de caseína y las colas termoendurecidas por el de urea-formol y resorcina, y son éstas las que a continuación detallaremos, debido a que son las más utilizadas en el mercado de la madera laminada encolada.

Caseína

Durabilidad: en interiores protege del agua y de los microorganismos, lo cual puede ser mejorado, y aumenta su tiempo de vida con la incorporación de productos de protección. Puede emplearse para el encolado de madera cuando la tasa de humedad no sobrepase el 18%, y no debe exponerse a temperaturas superiores a 66 °C.

Presentación: suele presentarse como unos polvos para mezclar con agua; si la caseína es pura también puede mezclarse con otros productos disolventes.

Duración de almacenamiento a 20 °C: 12 meses.

Duración de la vida de la mezcla a 20 °C: 7 horas.

Tiempos de unión: de 30 a 45 minutos.

Temperatura de endurecimiento: temperatura de la pieza.

Tiempos de presión: de 4 a 6 horas para elementos ordinarios; de 16 a 24 horas para elementos portantes; de 3,5 a 7 kg/cm² para las resinosas. Alrededor de 17 kg/cm² para las frondosas.

Endurecimiento: por evaporación del agua, acompañada de una serie de reacciones químicas.

Cantidades: 350 a 500 kg/m², doble cara.

Período de estabilización a 20 °C: de 24 a 48 horas.

Posibilidad de juntas gruesas: buena.

Utilizaciones: estructuras portantes (figura 62), muebles (figura 63), interiores y contraplacados ordinarios. La caseína es fuertemente alcalina y mancha la madera, en particular ciertas frondosas. No debe mezclarse en recipientes de latón, cobre o aluminio.

Urea-formol

Durabilidad: resistente a la humedad. Puede resistir el agua fría durante un largo período y el agua caliente durante un tiempo límite con tal que mejoren sus condiciones por la incorporación de melamina o resorcina.

Presentación: bajo forma de jarabes, con endurecedores líquidos o en polvo. Bajo forma de polvos, resina y endurecedor, que deben mezclarse con agua. Para la fabricación de contraplacados se elegirán las cargas siguientes: harina de trigo, almidón, etcétera.

Duración de almacenamiento a 20 °C: 3 a 6 meses, para los jarabes, 1 a 2 años, para el polvo. **Endurecimiento:** infinito.



Figura 64

Duración de la vida de la mezcla a 20 °C: unas 48 horas, en función de la formulación y temperatura de la pieza.

Tiempos de unión: depende de la formulación.

Temperatura de endurecimiento: temperatura de la pieza. Mínimo 10 °C.

Tiempos de presión: 7 kg/cm² para las resinosas, 11 kg/cm² para las frondosas. Los tiempos de prensado dependen del endurecedor y de la temperatura.

Endurecimiento: por policondensación.

Cantidades: 350 a 600 kg/m², doble cara.

Período de estabilización a 20 °C: en principio 7 horas, aunque el tiempo puede disminuirse si la temperatura es superior a 20 °C.

Juntas gruesas: según formulación.

Utilizaciones: estructuras de madera laminada encolada en interiores, si las temperaturas no son muy elevadas (figura 64). Contraplacados corrientes. Fabricación de paneles de partículas de uso en interiores. Trabajos de ebanistería.

Durabilidad: resistentes a la intemperie y al agua caliente. Utilizables para cualquier encolado, en cualquier condición de exposición.

Resorcina y resorcina-fenol-formol

Presentación: resina de color chocolate en forma líquida, con el endurecedor en forma de polvo. Este endurecedor también puede presentarse en forma de un líquido oscuro muy viscoso.

Duración de almacenamiento a 20 °C: para la resina, 12 meses; para el endurecedor en polvo, indefinidamente; para el endurecedor líquido, 12 meses.

Duración de la vida de la mezcla a 20 °C: 3 a 9 horas.

Tiempos de unión: de cuarenta y cinco minutos a dos horas.

Temperatura de endurecimiento: 20 °C a 100 °C.

Tiempos de presión: para las estructuras de madera laminada encolada, 16 horas, como mínimo, a 20 °C mínimo para los trabajos en maderas resinosas (sabina, picea) y 25 °C para los trabajos en frondosas. Presión alrededor de 7 kg/cm² para las resinosas y 10 kg/cm² para las frondosas.

Endurecimiento: por policondensación.

Cantidades: 350 a 500 kg/m², doble cara.

Período de estabilización a 20 °C: 6 a 9 horas, si se polimeriza a alta temperatura; más de 60 °C simplemente es necesario dejar enfriar las piezas tras el prensado.

Posibilidad de juntas gruesas: es mejorable con la adición de cargas en la preparación.

Utilizaciones: todos los empleos interiores y exteriores para las estructuras en madera, trabajos portuarios o marítimos. En la figura 65 puede apreciarse un buen ejemplo del tipo de estructuras que utilizan esta cola para enfrentar un medio adverso, como es este paraje montañoso donde la estructura de la madera laminada encolada tiene que mantenerse inalterable, no obstante el frío circundante.

Elección de los herrajes

Es muy importante la elección correcta de los herrajes, y en concreto el material en que serán realizados, para evitar que éstos sean atacados por agresiones físico-

Figura 65

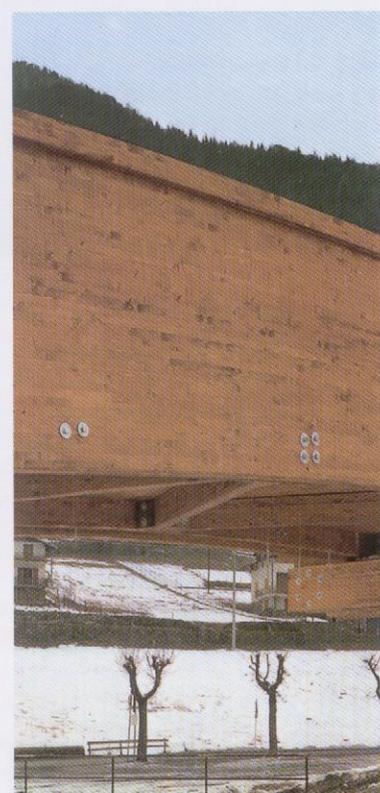




Figura 66

Figura 67



Figura 68



químicas que terminen alterando la madera, primero en su aspecto y luego en su resistencia.

Teniendo clara esta premisa, puede procederse a desarrollar y exponer los diferentes medios de unión entre piezas de madera laminada encolada (figura 66), entre una pieza de madera y un muro de ladrillo (figura 67), y entre una viga laminada y un muro de piedras (figura 68), entre otras uniones.

Los órganos de unión suelen realizarse en metal, y conviene poner especial atención a los riesgos de corrosión.

Los metales de hierro (colado y acero dulce) suelen tener muy buenas respuestas a los agentes agresivos de carácter químico, ácido o ambientes salinos, siendo muy válidos y resistentes a estos medios.

Si se prevén aguas continuadas, condensaciones por ejemplo, debe pensarse en protecciones y acabados de los diferentes herrajes, realizados a base de una pintura de protección, galvanizados comúnmente, y mantenidos periódicamente si es necesario.

Una norma fundamental es pensar en los órganos de unión como un material que debe mejorar las ya de por sí buenas

condiciones de la madera a los agentes agresivos, y por lo tanto su concepción en general, por ejemplo aleaciones inoxidables o con tratamientos semejantes.

El ya nombrado proceso de galvanización o cadmiado son los sistemas más empleados, aunque en casos extraordinarios podemos utilizar uniones de acero inoxidable o bien aluminio o bronce, cuando la situación así lo requiera.

También en casos extremos puede producirse el caso de impregnaciones asfálticas o revestimiento de uniones por medio de papel asfáltico clavado a las piezas que pueden recibir algún tipo de humedad por el contacto con el medio o estructuras de muros (figura 69). Esta solución de impregnación o revestimiento se aplica también en piezas donde prima la seguridad más que la estética, como es el caso de uniones de pilares a suelo en exteriores.

MEDIOS DE UNIÓN

A continuación daremos una breve descripción de las características principales de aquellos elementos que se usan en la unión o empalme de piezas de madera laminada encolada.

Clavos

Existen infinidad de tipos de clavos, cada uno de ellos para una determinada y específica función.

Como primera referencia, en el cuadro XI ofrecemos las cargas admitidas en función de las dimensiones de un clavo de madera laminada encolada.

Como características de estos clavos debe destacarse el diseño, el cual debe garantizar que los clavos estén cargados lateralmente, siempre que ello sea posible, ya que la resistencia a la tracción es más bien baja.

Debido a que los clavos permiten una rápida organización en filas apretadas, se consiguen uniones fuertes y rígidas (figura 70).

Con respecto a la aplicación de los clavos podemos decir que las herramientas neumáticas han revolucionado su empleo. En nuestro caso concreto, su utilización se limita a fijar las chapas metálicas dobladas que sirven de apoyo a correas o pórticos secundarios, o bien como refuerzo de otra unión (figura 71).

A continuación hacemos una breve descripción de los diferentes tipos de clavos, que actualmente están en uso:

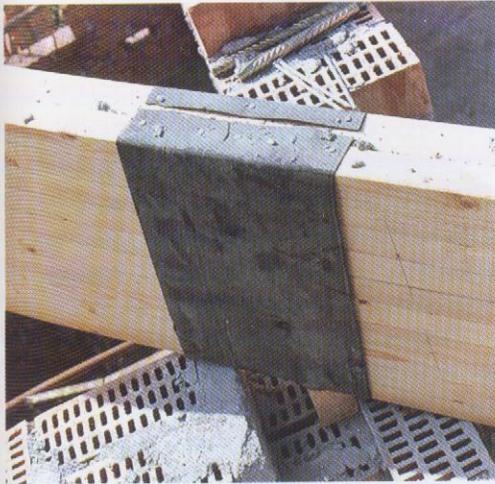


Figura 69

| CARGAS QUE ADMITE UN CLAVO DE MADERA LAMINADA ENCOLADA | | |
|--|----------------------|---------------------|
| Largo y diámetro (mm) | Simple cizallamiento | Doble cizallamiento |
| 60-16 | 35 kg | 60 kg |
| 100-20 | 70 kg | 140 kg |
| 180-25 | 180 kg | 300 kg |

Cuadro XI

pregnada por presión, y también en el resto de las situaciones en las que se desee una fijación segura y duradera.

g) Clavo mordiente (figura 72 g): fuste circular con mordeduras y cabeza achatada y hundida. Se utiliza allí donde se exija una capacidad muy buena de fijación, por ejemplo para el clavado de las placas de yeso a los pies derechos.

h) Clavo de anclaje (figura 72 h): fuste

Figura 70

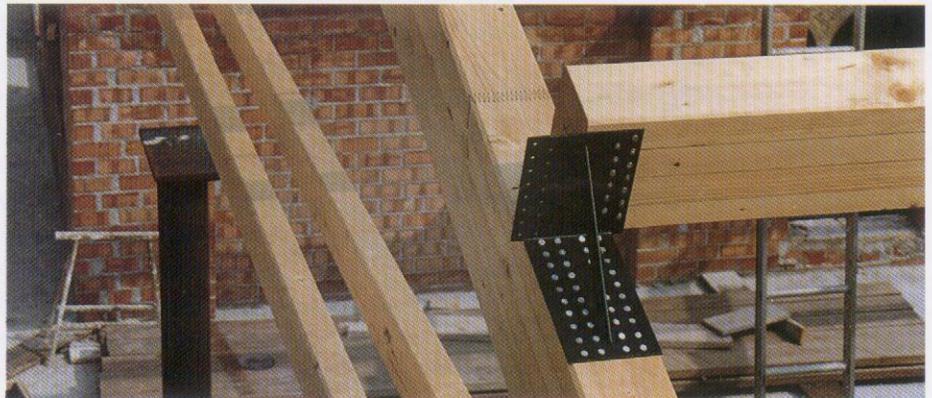


Figura 71

a) Clavo perfilado de cabeza cónica (Dyckert) (figura 72 a): fuste en cruz y cabeza cónica. Se utiliza allí donde la cabeza vaya a ser hundida (en la madera), donde interese ocultarlo.

b) Clavo peine o en diente de sierra (figura 72 b): fuste circular dentado y cabeza achatada, o bien ligeramente curva. Se utiliza donde la exigencia se concrete en la resistencia al desclavado, es decir, al arranque.

c) Clavo peine inoxidable (figura 72 c): fuste circular y dentado; cabeza ligeramente curvada. Se utiliza en ambientes húmedos y corrosivos y en aquellos lugares donde se requiera una alta resistencia al desclavado.

d) Clavo para papel (figura 72 d): fuste redondo y cabeza achatada. Se utiliza para fijar los revestimientos de papel y tablero de partículas asfálticas en techos, tejados, cubiertas y hastiales.

e) Clavo corchete (figura 72 e): fuste cilíndrico y dentado; cabeza ligeramente curvada. Se utiliza en la colocación o fijación de canalones y demás elementos de chapa, por ejemplo, vierteaguas de ventanas y puertas.

f) Clavo perfilado inoxidable (figura 72 f): fuste en cruz y cabeza achatada. Se utiliza, entre otros fines, para revestimientos exteriores y empalizadas de madera im-

circular dentado y cabeza chata hundida. Se utiliza en combinación con los conectores metálicos para la construcción.

i) Clavo perfilado de cabeza cónica inoxidable (figura 72 i): fuste en cruz y cabeza cónica. Se utiliza para los mismos fines que el clavo perfilado inoxidable, pero allí donde se exija el hundimiento de su cabeza, su ocultación.

j) Clavo mordiente hundible (figura 72 j): fuste en cruz con mordeduras y cabeza cónica. Se utiliza para el clavado de tableros aglomerados de partículas o de planchas duras de fibras de madera.

k) Clavo perfilado lacado (figura 72 k): fuste en cruz, pequeña curvatura en la cabeza. Se utiliza para el clavado de maderas ya pintadas.

l) Clavo alámbrico (perfilado) (figura 72 l): fuste en cruz y cabeza achatada. Es el tipo de clavo más utilizado para fines constructivos y de carpintería, por ejemplo, en las cerchas.

m) Clavo de doble cabeza (figura 72 m): fuste en cruz y doble cabeza. Se utiliza para construcciones provisionales y de apoyo, por ejemplo, en la fijación de puntales durante el período de construcción.

n) Clavo tradicional (figura 72 n): fuste circular y cabeza chata. Se utiliza en relación con materiales duros, como el hormigón y el ladrillo.

Diferentes tipos de clavos para la madera laminada encolada

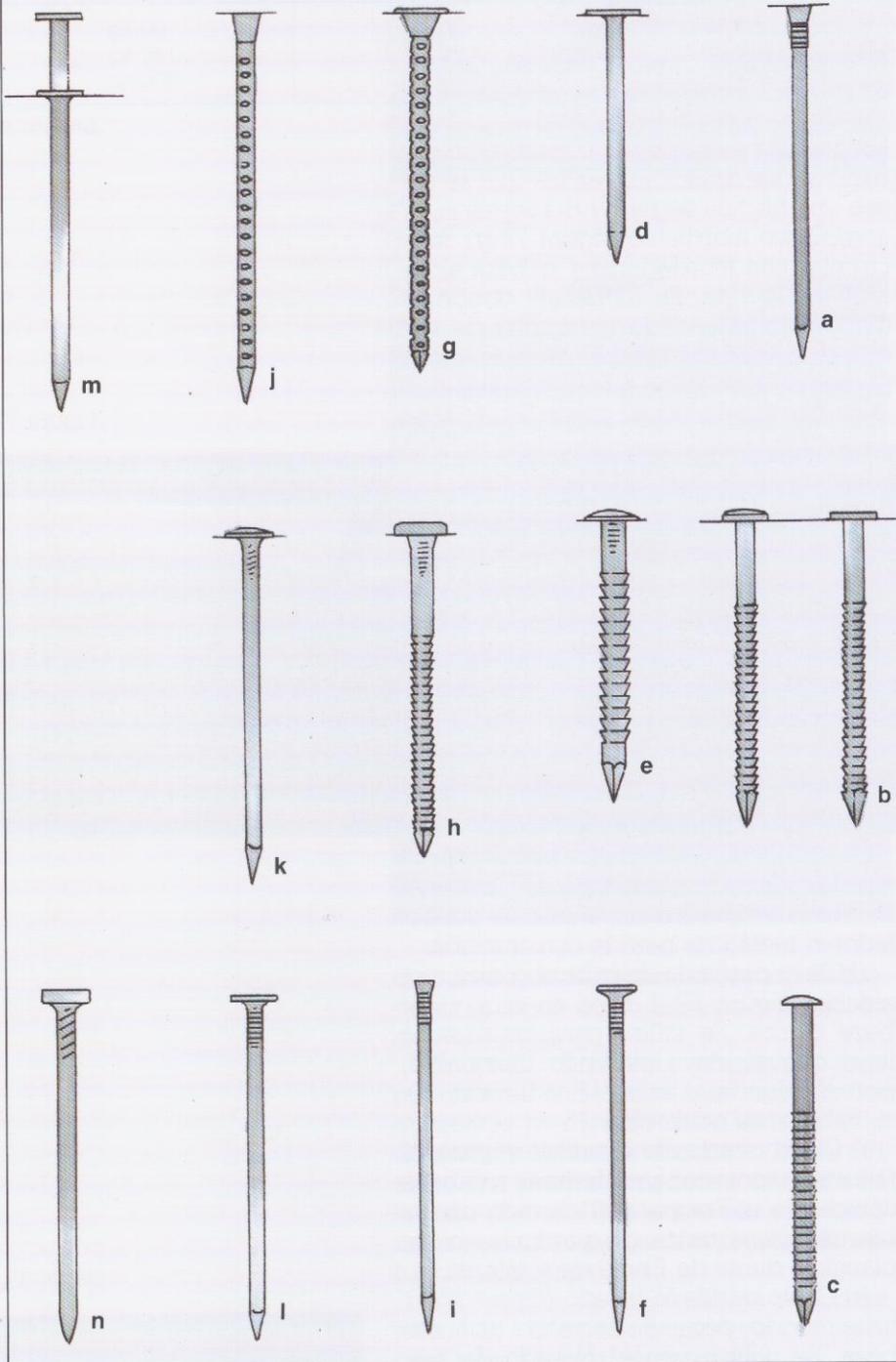
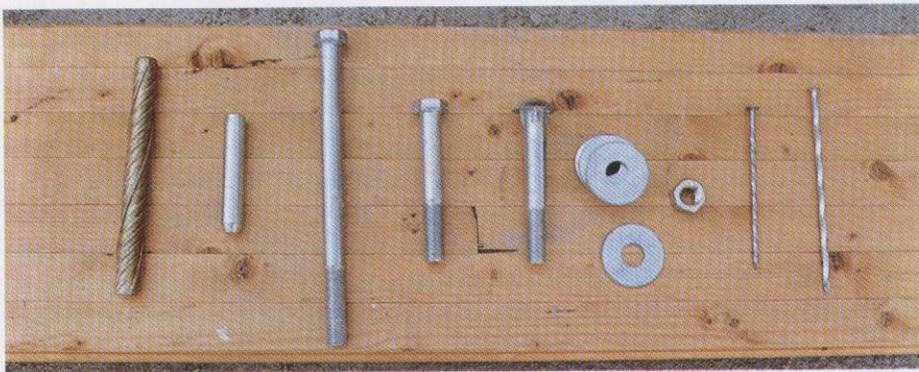


Figura 72

Figura 73



Los tornillos

Si comparamos los tornillos con los clavos, especialmente los de fuste liso, tenemos que los primeros tienen una resistencia a la extracción mucho mayor, mientras que la carga lateral es ligeramente inferior.

En términos de aplicación, los tornillos son de un costo mayor que los clavos, lo que limita su aplicación a funciones puramente estructurales, aunque las prestaciones son considerables.

Los pernos

Los pernos son de formas variadas, de cabeza hexagonal, de cabeza cuadrada, cabeza redonda con segunda cabeza retranqueada redonda, cuadrada o cónica. A modo de comparación, en la figura 73 se muestran diferentes tipos de pernos y clavos de fuste torcido.

Como característica de los pernos, podemos destacar que las tensiones en las uniones mediante estos elementos están confinadas a un área comparativamente pequeña en la zona de contacto del espárrago, estando éste inclinado a flexar. El uso de pernos sin correctores está restringido a los casos en que las fuerzas que actúan en la unión no superan la baja capacidad de carga de la madera o perno (figura 74).

Correctores o anillos

La capacidad de carga lateral suele multiplicarse, al menos por dos, al emplear algún tipo de corrector, en comparación con la que se logra mediante la disposición de pernos aislados. Existe un gran número de factores que afectan la resistencia de la unión, tales como la forma de la misma y la del corrector, el diámetro del perno, la sección del elemento de madera y la especie de ésta, el ángulo de incidencia de la carga y las distancias al borde.

La aplicación de los correctores era la forma más corriente de proceder en las estructuras de madera para cubiertas. Las placas dentadas pueden embutirse fácilmente en las maderas blandas, y últimamente ha quedado demostrado que también en las duras. Los correctores de anillo abierto no son más que bandas circulares de acero que van alojadas en unas ranuras que se han practicado pre-



Figura 74

Se incluyen bajo catálogos comerciales un gran número de formas: escuadras, ángulos con sección en L, herrajes para articulaciones en vigas continuas, para embrochado de vigas secundarias sobre principales, apoyos de pilares y muchos más herrajes que van permitiendo que la madera laminada encolada se ensamble dentro de un proceso constructivo efectivo y rápido.

Las chapas plegadas suelen cubrir cantos de piezas desde 180 hasta 300 mm, aunque por pedido pueden fabricarse piezas especiales.

En la *figura 78* se puede apreciar una pieza que ha sido diseñada, especialmente, para un tipo de unión que requiere una angulación muy particular, entre dos piezas de madera laminada encolada que convergen, pero que no se tocan directamente.

Otra de las características importantes de estas chapas plegadas es que cuentan con una serie de orificios, como mínimo

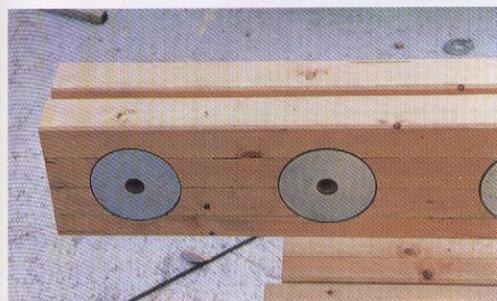


Figura 75

viamente en ambas caras de las maderas que haya que unir (*figura 75*).

Dichos correctores dan lugar a uniones más robustas que las realizadas con las placas dentadas y pueden emplearse en maderas más densas, aunque requieran un utillaje especial. Las placas de cortante se usan casi siempre para las uniones estructurales de madera con acero.

Para el caso concreto de la madera laminada encolada, se usan para aumentar la resistencia en las uniones atornilladas y también apernadas (*figura 76*).

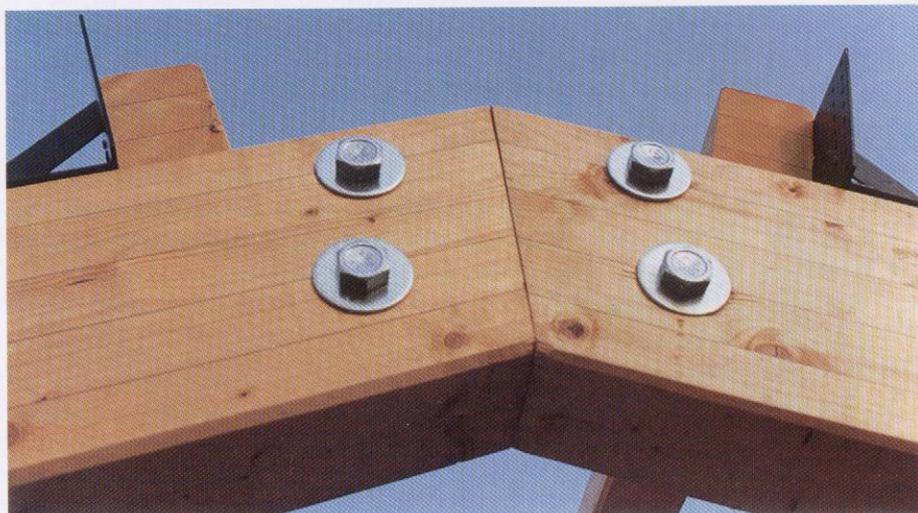


Figura 76

de dos tamaños distintos, que permiten una fijación por medio de pernos y clavos, por ejemplo entre la pieza metálica y un muro de ladrillos, o entre la chapa y la pieza de madera (*figura 79*).

HERRAJES DE CHAPA PLEGADA

En el mercado existe una amplia gama de herrajes de chapa plegada galvanizada para cubrir las necesidades de las uniones en estructuras de madera. Esta chapa se fabrica con unas perforaciones para alojar clavos o pernos para su conexión con la madera (*figura 77*). Estas chapas están constituidas por una placa metálica de 2 a 6 mm de espesor, según el caso y la solicitud a la que tenga que estar expuesta.

ETAPAS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

La producción de la madera laminada encolada necesita una organización y una maquinaria especialmente pensada para ella, y que estará en función de las necesidades y la demanda.

De forma general se pueden distinguir tres grandes etapas en el proceso de producción de la madera laminada encolada:

1) Preparación de la madera antes del encolado: consistente en la recepción de la madera, su clasificación, almacena-



Figura 77

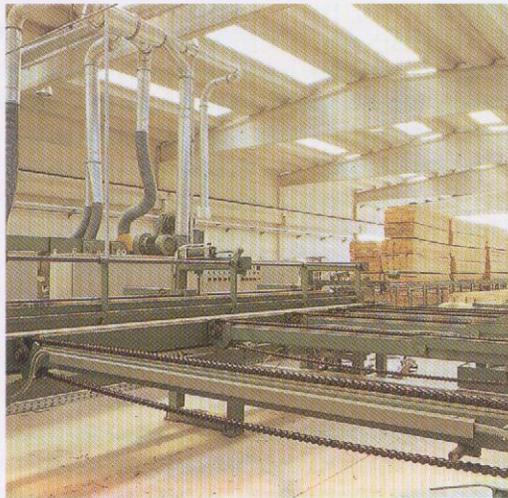


Figura 80

miento, tapado y reparación de poros, empalmado y almacenamiento anterior al encolado (figura 80).

2) Encolado, composición y prensado.

3) Finalización del proceso, clasificación y embalaje.

La principal condición que debe cumplir una industria bien equipada y organizada es el control de la temperatura y humedad, en el taller de fabricación, a unas tasas muy determinadas, para el correcto secado y encolado; estos valores se cifran de manera general en los 20 °C de temperatura y una humedad situada entre el 55 y el 65 %.

El proceso de fabricación, por tanto, partirá de tres grandes áreas, las cuales se subdividen en diferentes áreas, que realizan los múltiples trabajos.

El empalme de las láminas

Las uniones entre las diferentes tablas para conformar una pieza son posibles, a primera vista, de dos formas diferentes: uniendo las tablas por sus lados laterales (unión transversal), y lo que concretamente se conoce por empalme de tablas o unión por testa de las mismas (unión longitudinal).

Para clarificar estos dos conceptos, a continuación se desarrolla cada uno de ellos, si bien, como antes se dijo, lo que realmente se usa son las uniones longitudinales.

UNIÓN TRANSVERSAL

La unión transversal se emplea cuando queremos utilizar láminas estrechas para conformar una pieza; en estos casos el ancho mínimo es de 3 cm.

Dentro de una misma lámina todas las uniones deben conservar el mismo sentido que las fibras de la madera. Las superficies tienen que ser completamente planas y lisas, siendo encoladas antes de ser cepilladas; las condiciones y variables del tiempo de prensado o presiones necesarias se definen más adelante, en el apartado que trata del encolado propiamente como tal.

En principio, esta unión puede permitir el nexo de pequeñas piezas, si bien no serán válidas si prevemos grandes esfuerzos internos en la pieza, que sumados a cambios de humedad y temperatura podrían ser causa de graves defectos. Por lo tanto, no es recomendable este método en grandes construcciones ni en estructuras portantes.

UNIÓN LONGITUDINAL O EMPALME

La unión longitudinal es la que normalmente se denomina empalme entre láminas, y que unirá las diferentes tablas por sus testas mediante variados sistemas, los cuales permiten conseguir grandes longitudes de láminas y con ellas la consecución de grandes luces, muy características.

Es precisamente éste uno de los puntos capitales de la técnica de la madera laminada, no sólo como materia constructiva sino como potencia de formas, capaz de generar y responder a la configuración de un nuevo concepto geométrico y de diseño por ordenador.

La unión longitudinal en la madera laminada encolada es lo que ha permitido que la madera alcance protagonismos constructivos nunca logrados antes por este material (figura 81).

Evolución del empalme como técnica

El empalme de tablas no es una técnica nueva; la Finger-Jointing, ya conocida en 1941 en EE.UU., fue introducida en Europa en un catálogo de un fabricante francés en 1947, en el cual figura una máquina para tal efecto, si bien para la realidad del momento y de cara a la fabricación aún no era válida.

Sería más al este, en Alemania, donde dos fabricantes desarrollarían una maquinaria completa y con materiales necesarios para la realización de la industria del empalme (Hubel y Platzer). A partir de aquí otros países se interesan y la industria crece, sobre todo en Alemania y Francia.

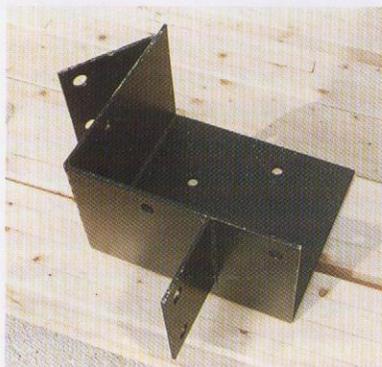


Figura 78

Figura 79



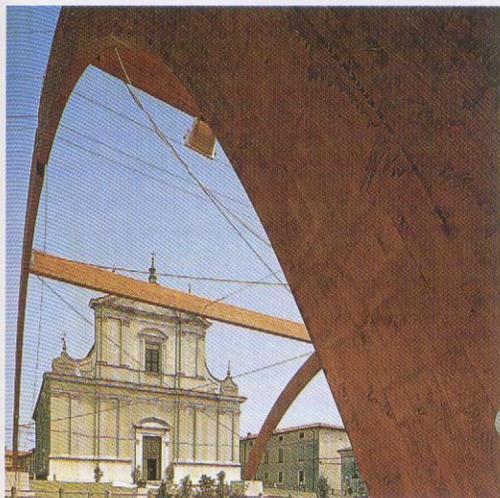


Figura 81

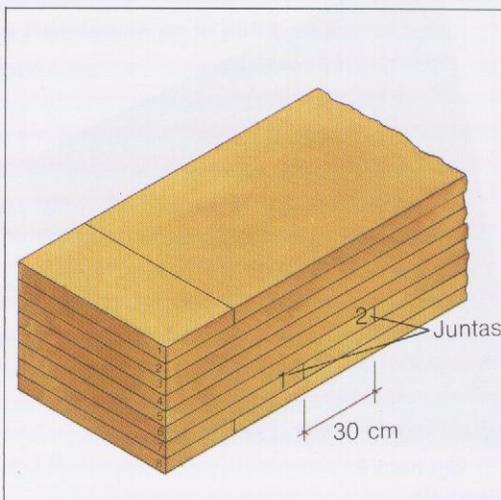


Figura 83

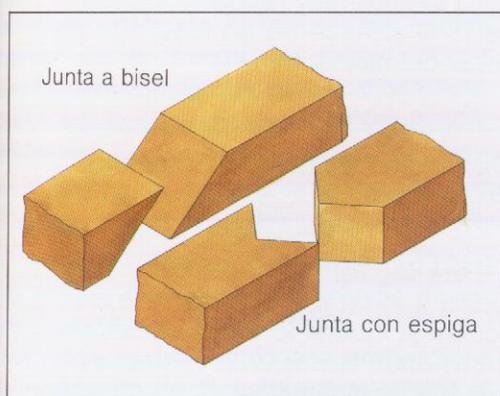


Figura 82

bajo en estas piezas. También es verdad que el perfil en espiga presenta grandes ventajas, al representar unas superficies de encolado que inmovilizan más la pieza en términos mecánicos.

De este concepto y llevado a su multiplicidad aparece lo que conocemos por entalladura múltiple, que no es más que la repetición de este tipo de junta, a mucho menor tamaño para conformar una sola unión.

Unión por entalladura múltiple

Los diferentes tipos de juntas van apareciendo sucesivamente, biseladas, con espiga o incluso testa a testa, y más modernamente, la base utilizada en nuestros días y reflejada en las juntas con entalladuras múltiples.

Tipologías de juntas

El perfil de los diferentes empalmes, para las uniones de testas, puede ser muy variado para la obtención de planos de encolado suficientes, pero efectivos. Por lo tanto, toda la técnica que se ha desarrollado al respecto está basada en la obtención de unos planos de encolado resistentes, pero a la vez mínimos. Las primeras tipologías se configuran en torno a dos sistemas: la junta biselada y la junta con espiga (figura 82).

La junta biselada permite una resistencia máxima a la tracción, mientras que la junta con espiga se aplica para evitar efectos de estribamiento o de presionamiento, que no pueden darse más que longitudinalmente, al dejarse zonas libres para la penetración de elementos de unión, aunque la ausencia de materia en estas zonas disminuye la sección de tra-

La ventaja de este tipo de junta (figura 83) se centra en la garantía de estabilidad de la junta una vez acabado el fraguado y prensado en la pieza.

En la práctica las uniones no terminan con el fraguado de la cola, si bien es suficiente este proceso para su posterior trabajo en taller o almacenamiento. Si las maderas deben cepillarse, no bastará con el calor ambiente para el fraguado y deberá procurarse una consecución de resistencia mayor para la junta, lo cual se consigue mediante aplicación de calor.

Los perfiles de entalladuras múltiples son objeto de normalización por la Norma Alemana DIN 68-140, norma que parece estar aceptada en toda Europa como válida, si bien esta norma se ve afectada por variables en función de las necesidades.

Paralelamente a estos métodos, hoy en día utilizados en el último de los casos, se ha desarrollado una técnica de empalme de láminas, que requiere una especialización muy fuerte y que se conoce con el nombre de Micro Entalladuras; esta técnica sólo es usada actualmente en EE.UU. Presenta diferentes ventajas con respecto a los actuales métodos, pero aún es pronto para saber su viabilidad como técnica sustitutoria a las hoy empleadas.

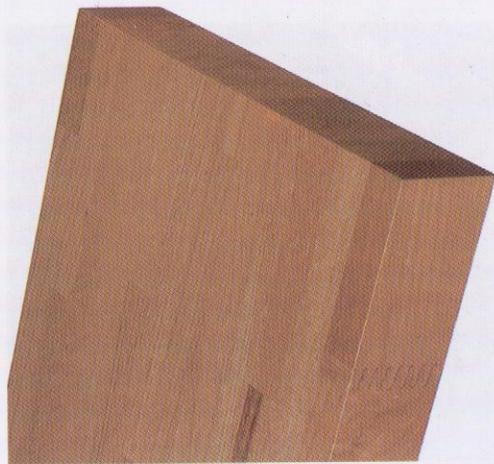


Figura 84

Aplicación del empalme

El empalme es un tipo de junta que permite recuperar los trazos residuales que se producen en el proceso de fabricación, de tal manera que se llegan a obtener piezas de madera laminada encolada de largos fijos y que permiten, además, reducir el costo de ejecución.

Varios son, por tanto, los recursos del empalme o ensamble de láminas, pero es necesario encontrar una gran cantidad de trazos de madera sin defectos, en particular de nudos, ya sea por consideraciones estéticas o de resistencia. En la *figura 84* se muestra una pieza de madera sana, sin nudos y con un tipo de empalme de entalladura múltiple ondulada que permite una gran adherencia entre cola y madera, pero que requiere de la masa leñosa una carencia casi absoluta de nudos.

En lo que a resistencia se refiere se admite frecuentemente, por seguridad, que el empalme presente un 70 % de la resis-

tencia en comparación a la madera limpia de defectos. Para este valor se tiene en cuenta la disminución de la sección efectiva por los vacíos de los extremos de las entalladuras.

Esta técnica es igualmente válida para la creación de grandes longitudes como para los largos comerciales, y su validez para todos los casos es lo que ha hecho relegar a un segundo plano los otros tipos de juntas que presentan determinados problemas, según los esfuerzos a los cuales se ven sometidos.

Para un total aprovechamiento y rentabilidad del proceso en sí, sería necesario plantear más a fondo el aprovechamiento de todos los trazos de madera que genera la fabricación, lo que resulta utópico por necesitarse una maquinaria y unos medios muy grandes, los cuales no están al alcance de las industrias madereras del momento.

Disposición y condiciones mínimas de un empalme

Para regular estas uniones y su disposición a lo largo de la pieza, consideraremos la distancia entre ellas como el tramo entre sus centros. Las prescripciones son las siguientes:

1) Dado un grupo de tres láminas continuas situadas en el 1/4 extremo de la pieza, la distancia mínima entre ellas debe ser de 305 mm para un espesor de lámina de 13 mm, y un máximo de 460 mm cuando el espesor es superior a estos 13 mm.

2) La disposición de las juntas, entre dos láminas contiguas, dentro del 1/4 exterior de la pieza, tiene que ser de veinte veces, como mínimo, el espesor de la lámina.

3) La disposición en el centro de la pieza será de doce veces el espesor de la lámina.

4) Para una longitud de 305 mm, el número de uniones no deberá sobrepasar la cuarta parte del número total de láminas (*figura 85*).

Resistencia de las juntas

Para la realización de una junta correcta, son muchos los factores que hay que tener en cuenta, principalmente los que afectan a la geometría de la misma; estos factores se pueden resumir en los siguientes parámetros, los cuales están señalados en orden de importancia: valor del ángulo de rebajado lateral; número de dientes de la junta; valor del ángulo o

Figura 85

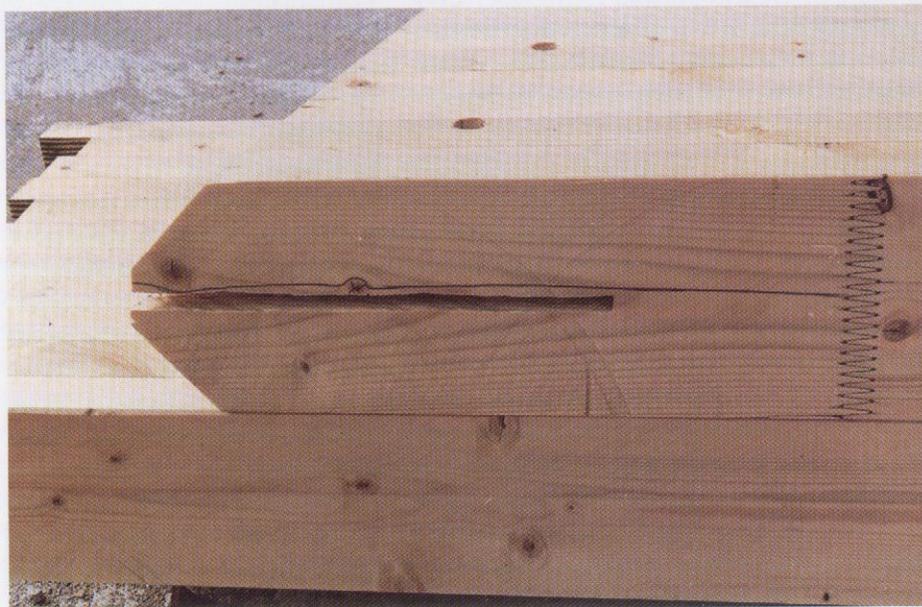




Figura 86

bisel de ataque; valor de la pendiente de las entalladuras; valor del ángulo de ataque; valor del ángulo dorsal de rebajado.

Para una mejor comprensión de estos parámetros se pasan a detallar en sus aspectos fundamentales:

1) El valor del ángulo de rebajo lateral será la característica más importante para la consecución de la resistencia; cuanto mayor sea la dureza del rebajo, mayor será la resistencia que haya que alcanzar, salvo en el caso de las maderas engrasadas.

2) El número de dientes existentes en la junta aumentará a medida que queramos aumentar la resistencia.

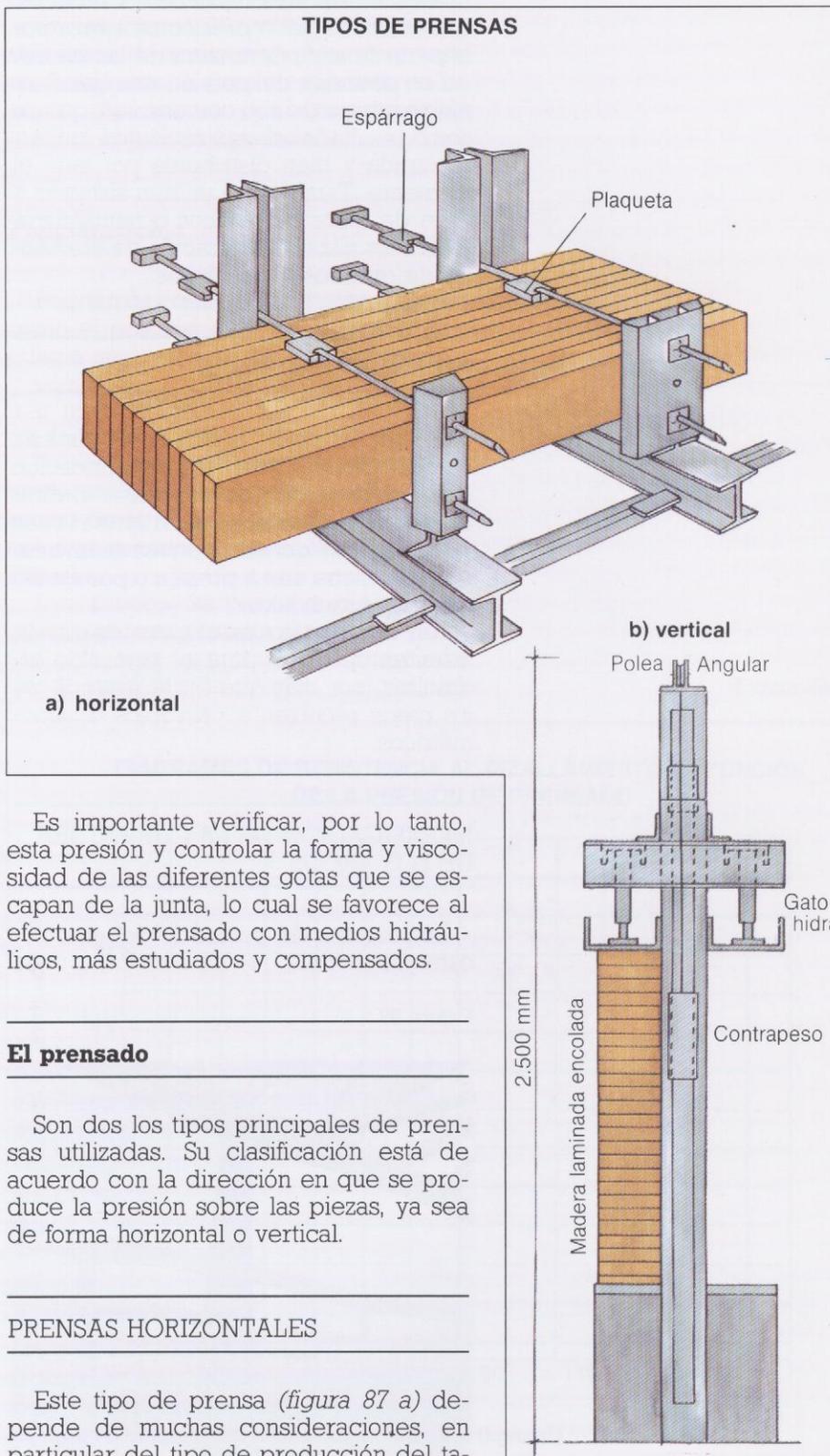
3) En la medida que el valor del bisel de ataque aumenta, la resistencia de las juntas disminuye (figura 86).

4) El valor del ángulo que proporciona la pendiente de la entalladura revela la influencia directa que tiene este factor en la resistencia de la junta; por ejemplo, podemos decir que ésta disminuye de un 15 a un 20 % cuando el ángulo de ataque pasa de ser nulo a tener 30°.

El encolado

Es casi imposible determinar todos los condicionantes necesarios para realizar un buen y correcto encolado, ya que están en función del producto que hay que utilizar y éste puede ser muy diferente en su forma y características. Es muy importante tener en cuenta que un dato muy válido son las indicaciones del fabricante de la cola utilizada. Aún y con todo lo dicho, a continuación se intentan establecer una serie de conceptos y normas generales válidas para todos los casos.

Si teóricamente puede procederse al encolado de varias formas, con la ayuda de una cepilladora, una raspadora o una encoladora, será esta última la solución que habrá de adoptarse. Hay que tener en cuenta para el encolado de dos láminas que el tiempo de unión abierto no puede sobrepasarse. Por otra parte, la presión de prensado debe obtenerse con la ayuda de las prensas adecuadas.



Es importante verificar, por lo tanto, esta presión y controlar la forma y viscosidad de las diferentes gotas que se escapan de la junta, lo cual se favorece al efectuar el prensado con medios hidráulicos, más estudiados y compensados.

El prensado

Son dos los tipos principales de prensas utilizadas. Su clasificación está de acuerdo con la dirección en que se produce la presión sobre las piezas, ya sea de forma horizontal o vertical.

PRENSAS HORIZONTALES

Este tipo de prensa (figura 87 a) depende de muchas consideraciones, en particular del tipo de producción del ta-

Figura 87

ller del que se dispone, como todo el proceso de producción en general. Los tipos más usuales están realizados con soportes metálicos y con fijaciones autorroscantes. Los soportes están generalmente anclados en el suelo, por cualquiera de los sistemas normales y su posición estará en función de la forma de las piezas que haya que trabajar. Existe un gran número de variantes según se tengan que prensar pórticos rectos o curvos, arcos o vigas y pilares, entre otros. Todas estas variantes condicionan que la presión se ejerza por la parte frontal o la trasera de las piezas.

Los sistemas de presión son generalmente a base de aire comprimido, que da como resultado una aplicación de la fuerza rápida y bien distribuida por todo el elemento. También se utilizan sistemas a base de gatos hidráulicos o neumáticos, indicados para la fabricación de elementos de grandes dimensiones.

PRENSAS VERTICALES

Existen también prensas de sistema vertical (*figura 87 b*) para la fabricación de pórticos rectos; estas prensas permiten polimerizar uno o dos pórticos a la vez y la presión se obtiene a través de un tubo que suministra aire a presión o por medio de gatos hidráulicos.

Hay dos aparatos en el mercado con diferentes opciones para el prensado hidráulico, por más que en la mayoría de los casos recurren a principios dinamo-métricos.

MODIFICACIÓN DE LA CURVATURA DE LOS ARCOS

Los moldes de prensado deben colocarse de manera que los elementos en la

Figura 88



madera laminada encolada alcancen su perfil correcto. Generalmente suele intercalarse entre molde o plantilla una plancha de repartición, el espesor de la cual debe tenerse muy en cuenta.

Cuando las piezas son curvas, la plantilla se distribuye según el radio de la curvatura de la pieza, en el intradós. Esto se generaliza para los arcos de tres articulaciones, las cuales se acaban con el aserrado de la pieza.

Si las piezas son de sección constante, es indiferente si la plantilla está por el intra- o extradós. Cuando la pieza sea de sección creciente (*figura 88*), el prensado se hace de forma automática y el moldeo o plantilla se aplicará por el extradós.

Existe una dificultad para la fabricación de piezas curvas, en razón a la ligera modificación de forma que se produce al sacarlo del molde o plantilla y que debe tenerse en cuenta. Este concepto se denomina en EE.UU. *Stringblack*. Esta modificación de curvatura está estudiada por algunos laboratorios ingleses, utilizando planchas de roble y haya, con un espesor máximo de 12,50 m, resumido en la ecuación siguiente:

$$r = \frac{n^2}{n^2 - 1} \cdot r_1$$

donde r es el radio de curvatura final, r_1 el radio de curvatura del molde y n el número de láminas.

APLICACIÓN DE LA PRESIÓN

Para evitar que la primera y la última lámina no se adhieran a las planchas de repartición o a otros elementos, si prensamos dos o más a la vez, es recomendable utilizar papel de parafina o un material similar para intercalar entre estas láminas y los elementos de contacto, ya sean planchas de repartición u otras láminas de otro elemento.

Cuando la presión se obtiene por la ayuda del método de prensado, como los espárragos o pasadores, se debe prever que los bloques y planchas de repartición tengan unas dimensiones que puedan asegurar una distribución uniforme de la presión en las juntas de encolado, sin dañar las fibras de la madera que son paralelas al esfuerzo.

El prensado se puede empezar por cualquier punto, en cambio cuando se trate de piezas de sección irregular es preferible empezar la presión por la zona de la sección más robusta y de mayor espesor para que esta parte tenga consolidado su laminado.

Las presiones del prensado se dan en función de las especies de madera utilizada y del tipo de cola que se especificarán más adelante. La operación de prensado se consumará cuando la cola esté extendida en las láminas, especialmente por aquellas que han sido las primeras, y cuando éstas todavía estén pegajosas. Las sobras que salen de las juntas del encolado suponen una indicación de su estado.

TIEMPOS DE UNIÓN

El buen resultado de la operación de prensado depende en gran medida de los diferentes tiempos de unión.

El tiempo que pasa entre el encolado de la primera lámina y la aplicación de la presión se denomina tiempo de unión total. Todas las operaciones deben estar realizadas durante este período de tiempo, mientras la cola todavía está pegajosa en la primera lámina encolada. No debe confundirse este tiempo de unión con la vida útil de la cola para su utilización una vez mezclada y preparada, y después del cual sus componentes pierden sus aptitudes y pierden validez para un correcto encolado.

Dentro del tiempo de unión total se distinguen dos tiempos diferentes de unión:

a) tiempo de unión abierto: es el período entre el encolado de una lámina y su puesta en contacto con otra;

b) tiempo de unión cerrado: se llama así al intervalo de tiempo entre la puesta en contacto de dos láminas y la aplicación de la presión final.

La cola extendida en las láminas expuestas al aire sobre grandes longitudes de madera debe ponerse rápidamente en contacto con la lámina posterior, ya que el tiempo de secado disminuye considerablemente.

TIEMPO DE PENSADO

Es esencial que las láminas unidas a las plantillas estén correctamente presionadas con una presión uniforme y a la temperatura y estado higrométrico indicado, durante el tiempo necesario, para que los planos de encolado obtengan una resistencia suficiente sin modificación de sus condiciones físicas.

Los tiempos de prensado son diferentes, según que los planos de encolado estén o no expuestos al calor, y también depende del tipo de cola que se haya utilizado. Sin embargo, es corriente dejar

bajo la acción de la prensa los elementos que haya que encolar, durante una jornada completa y sin ningún aporte de calor complementario.

Las colas no obtienen nunca su máxima resistencia durante el tiempo de prensado y es necesario cuidar su manipulación en el momento de salir de la prensa.

El tiempo de estabilización varía según el tipo de cola y para una correcta fijación de este tiempo son esenciales las indicaciones del fabricante de las mismas.

En las figuras 89a y 89b se muestran dos casos de resistencia al cizallamiento en función de la presión aplicada en un tiempo determinado por la prensa para la madera laminada encolada.

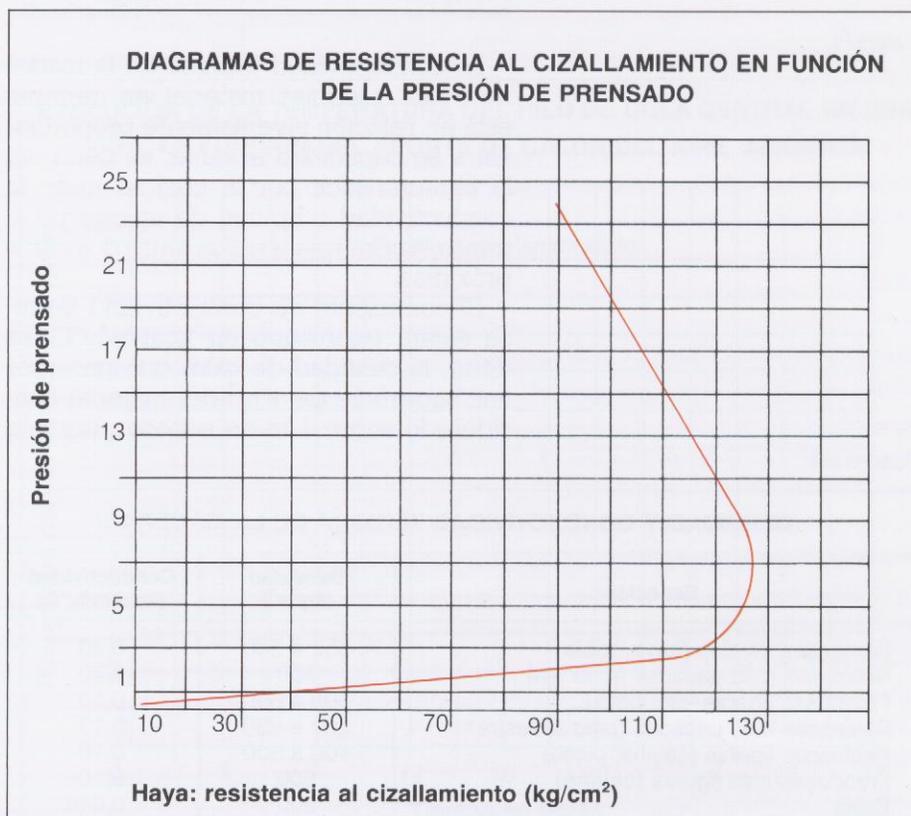
Polimerización

Podríamos definir la polimerización como el proceso durante el cual la cola adapta sus características de resistencia y estado más permanente, pasando a formar un todo estable con las láminas de madera que une.

Por lo tanto, dicho término puede entenderse, dentro del proceso de elaboración de la madera laminada encolada, como su secado y su estabilización como materia.

Este proceso se produce en dos fases diferentes, una primera durante el prensado, la más importante y controlada, donde mediante la presión y algún otro

Figura 89a



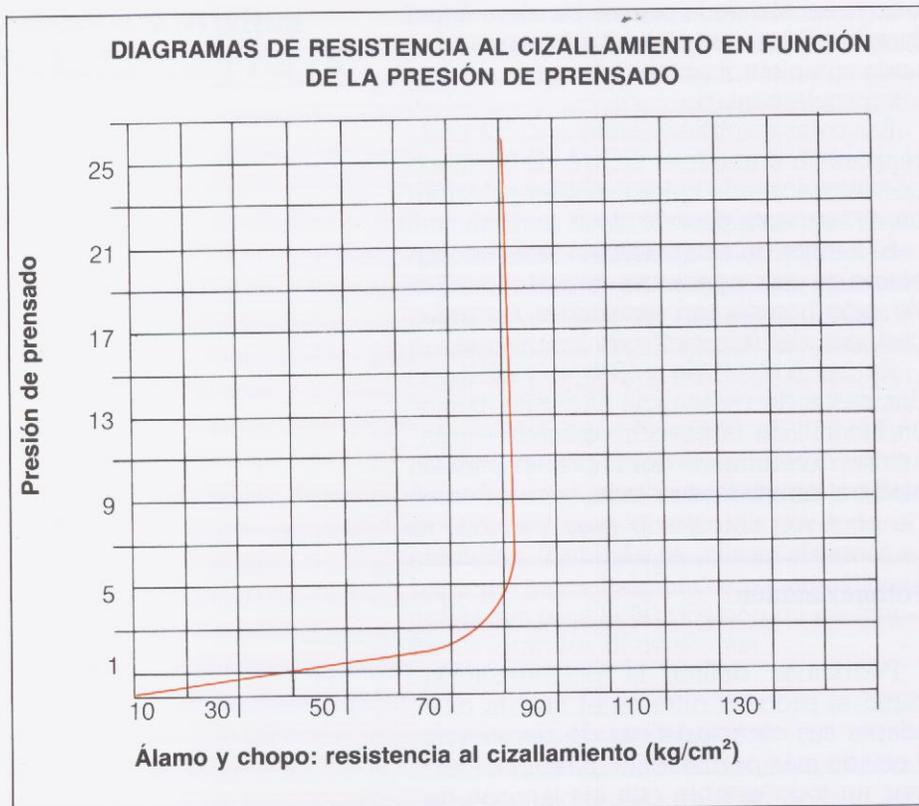


Figura 89b

medio la cola alcanza las suficientes características como para poder ser desprendida de sus moldes y ser trabajada en procesos de acabado mientras se completa su estabilización.

PENETRACIÓN DE CALOR EN LAS PIEZAS DEL LAMINADO

La conductividad térmica de la madera, y de cualquier material en general, está en relación inversamente proporcional a su capacidad aislante, es decir, es la característica por la cual se mide la conductividad o aptitud de un cuerpo al transmitir energía térmica entre dos caras próximas.

El coeficiente de conductividad térmica estará expresado en kcal/m/h/°C, es decir, la cantidad de calor que pasa por una superficie de 1 m² del material considerado sobre 1 m de espesor, durante

Cuadro XII

| DENSIDAD Y CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA MADERA | | |
|--|-------------------------------|-----------------------------|
| Especies | Densidad (kg/m ³) | Conductividad (kcal/m/h/°C) |
| Frondosas medias (haya, roble) | 650 a 800 | 0,20 |
| Resinosas más pesadas (pino tea) | 700 | 0,20 |
| Frondosas ligeras (tilo, haya) | 500 a 650 | 0,13 |
| Resinosas más pesadas (pino silvestre) | 500 a 650 | 0,13 |
| Resinosas ligeras (sabina, picea) | 400 a 500 | 0,10 |
| Frondosas más ligeras (okumé) | 500 | 0,10 |
| Balsa | 200 | 0,045 |

una hora, hasta conseguir una diferencia de temperatura en las caras opuestas.

Estos valores pueden variar de manera sensible, según la dirección de las fibras, la densidad de la madera, la tasa de humedad, la repartición de los extractos químicos, la distribución de nudos, grietas y fendas, entre otras variables.

La conductividad aumenta a medida que aumenta la masa, por lo tanto las maderas densas tendrán un coeficiente de conductividad mayor que las ligeras.

Ésta es una de las razones importantes por las cuales se elige madera ligera, como la de pino silvestre, para la construcción de vigas de techumbre que garanticen una conductividad térmica más baja (figura 90).

Si la madera está muy humedecida, para una especie dada, el coeficiente prácticamente se dobla, e inversamente la capacidad de aislamiento térmico disminuye de igual forma.

En el cuadro XII se muestra de manera comparativa la densidad y la conductividad térmica útil de las maderas frondosas y resinosas, en el sentido perpendicular de las fibras leñosas.

Si comparamos una misma especie, según el sentido de sus fibras, nos daremos cuenta de que existen variaciones notables; por norma general, aquellas fibras paralelas al crecimiento del árbol son las que ofrecen una mayor permeabilidad al calor (cuadro XIII).

El tiempo más usual para que el interior del plano de encolado alcance la temperatura de polimerización deseada dependerá de los factores antes citados.

Como puede verse en el gráfico de la figura 91, un pequeño elemento requiere varias horas a una temperatura relativamente elevada, alrededor de 38 °C. Sin embargo, es interesante que se pueda suprimir el aporte de calor cuando la temperatura necesaria se ha obtenido en los planos de encolado, ya que la temperatura alcanzada puede mantenerse por varias horas en los túneles de secado.

Los elementos encolados, si bien fríos en sus partes más exteriores, pueden todavía estar tibios en sus partes internas y es preferible dejarlos estabilizar, de manera que tanto el interior como el exterior alcancen la misma temperatura, sin variar las condiciones de pensado.

Protección de la madera y acabados

La protección a la que se verán sometidas las piezas de madera laminada debe considerarse en dos formas diferentes, pues ha podido ser tratada en ins-

tancias anteriores a la de la fabricación de este material oleoso y compuesto.

La madera en los aserraderos ya recibe, generalmente, un tratamiento contra insectos y hongos xilófagos, por lo que a los talleres de laminado ya llega con un cierto grado de protección.

Una vez que la madera se ha transformado en un laminado encolado, puede volver a ser tratada, de hecho lo es en la mayoría de los casos, pero de manera mucho más superficial, generalmente con impregnaciones o pintadas que no alcanzan en ningún caso el nivel de penetración conseguido en el primer tratamiento, pero que ayudan a reponer cierta protección en las piezas que debido al cepillado o rebajado han producido un desgaste en las barreras protectoras.

En la madera laminada encolada se utilizan muchos de los procedimientos de protección que ya se aplican a la madera, tanto en interiores como en exteriores.



Figura 90

La madera laminada

Puesta en obra de la madera laminada encolada

Es un proceso de vital importancia, sobre todo cuando se trata de estructuras de grandes tamaños, y donde el control y el montaje, en cuestión de arriostramiento y atirantados provisionales, es de máxima atención y cuidado.

TRANSPORTE Y DESCARGA EN EL LUGAR DE LA OBRA

El transporte se realizará en vehículos apropiados, que tengan la suficiente longitud para que los elementos estructurales de la madera laminada encolada no sufran daños en el mismo transporte.

Las distintas piezas se acuñarán e irán protegidas adecuadamente frente a los agentes atmosféricos, a ser posible con papel kraft impermeabilizado por una cara, desistiendo de materiales de plástico o materiales similares que produzcan condensaciones y eviten la respiración de la madera.

La descarga se efectuará en el lugar de la obra, bien por grúas móviles o fijas, pero mediante abrazaderas adecuadas de plástico con bandas anchas. En el supuesto de emplear los medios habituales, se preverán guarda-cantos de hierro, colocados en las distintas piezas de la madera laminada encolada, con el fin de evitar muescas y rozaduras.

El almacenamiento de los distintos elementos en la obra será el adecuado con

VARIACIONES DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN DE LA ESPECIE Y DEL SENTIDO PARALELO O PERPENDICULAR (h=15%; t=20 °C)

| Especie | Densidad (kg/m ³) | Fibras paralelas (kcal/m/h/°C) | Fibras perpendiculares radiales (kcal/m/h/°C) | Fibras perpendiculares tangenciales (kcal/m/h/°C) |
|---------|-------------------------------|--------------------------------|---|---|
| Roble | 0,75 | 0,262 | 0,151 | 0,140 |
| Acajú | 0,70 | 0,266 | 0,144 | 0,133 |
| Nogal | 0,65 | 0,284 | 0,126 | 0,118 |
| Picea | 0,41 | 0,199 | 0,104 | 0,090 |
| Balsa | 0,20 | 0,104 | 0,058 | 0,038 |

Cuadro XIII

Figura 91

EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL HILO DE COLA CENTRAL EN UNA VIGA, EN FUNCIÓN DEL APORTE DE CALOR DEL AIRE AMBIENTE

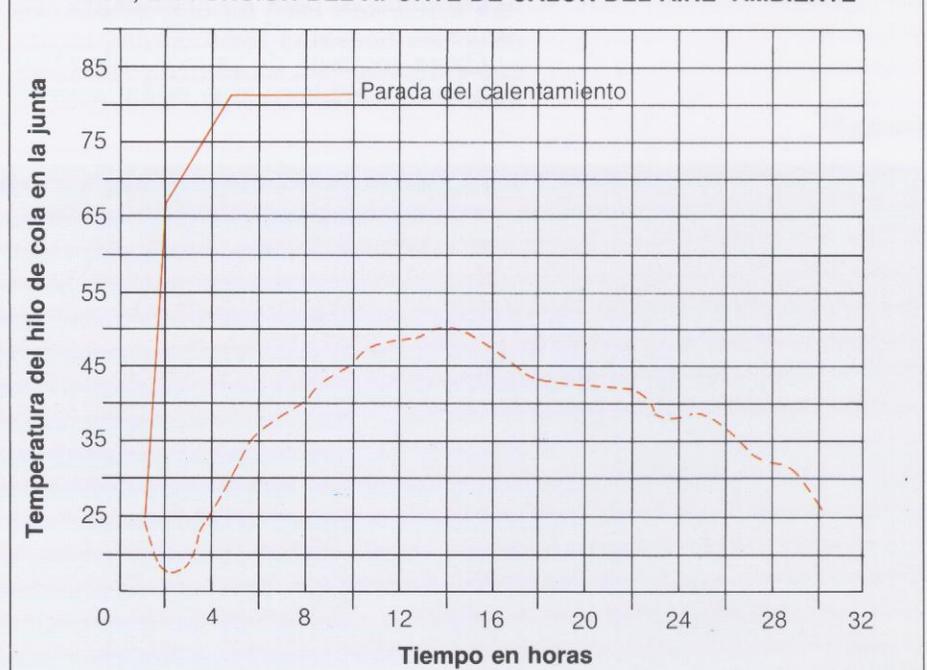




Figura 92

el fin de evitar los consiguientes desperfectos que podría ocasionar un mal acondicionamiento.

Si la colocación se efectúa sobre una superficie, el terreno debe estar lo más nivelado posible y limpio de cascotes y elementos rígidos. Si, por el contrario, por imposibilidad de espacio se efectuara en vertical, la colocación se realizaría en el sentido del trabajo, tal como han sido calculadas, apoyadas en los correspondientes camiones o traviesas de sujeción (figura 92).

La calidad del levantamiento de una estructura es consecuencia de la calidad de la zona de preparación.

COLOCACIÓN Y MONTAJE

El personal que realice esta función deberá ser especializado, ya que las estructuras de madera laminada son de tipo mecano y de rápido montaje, lo que requiere también que dicho personal verifique ciertas normas de seguridad, tales como cinturones y cuerdas de sujeción, especialmente para los instaladores que trabajen en altura (figura 93).

Como requisito de primer orden figurarán los ensamblajes, que están concebi-



Figura 93

dos y dimensionados de manera que aseguren la transmisión de esfuerzos tenidos en cuenta en los cálculos con el coeficiente de seguridad requerido, quedando las deformaciones funcionales concomitantes, en el interior del terreno admisible.

Los siniestros en las estructuras de madera casi siempre son debidos al hecho de que las ensambladuras son insuficientes o están mal realizadas.

El concepto de un ensamblaje se refiere a los ensamblajes sencillos activos y a los neutros. Los primeros han sido concebidos y dimensionados para resistir los esfuerzos locales principales a los que están sometidos.

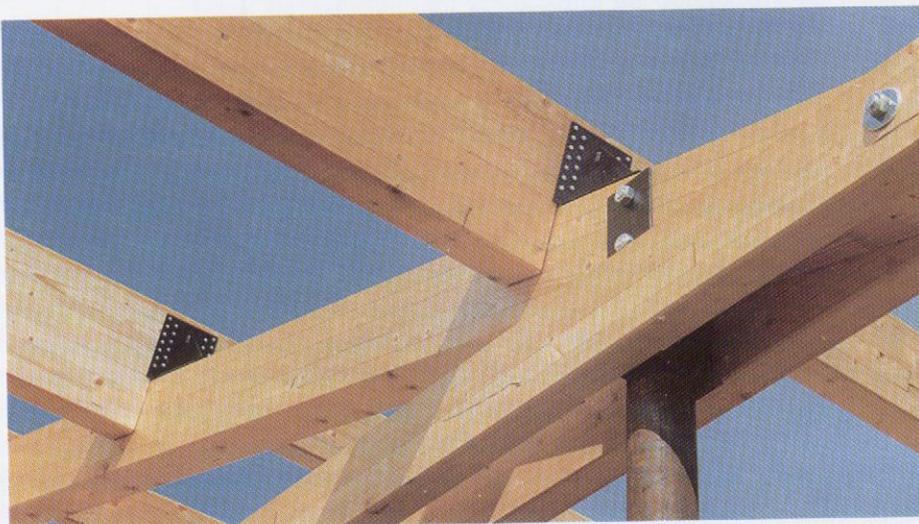
Los ensamblajes neutros han sido concebidos y dimensionados para resistir los trabajos secundarios previsibles, pero en general mal conocidos o aleatorios. Por una parte, no existe ninguna relación entre ensamblaje y pieza complementaria de ensamblaje.

La distinción entre ensamblaje activo y neutro se refiere a la diferencia de funcionamiento desde el punto de vista de resistencia de los materiales, mientras que la distinción entre piezas de ensamblaje y complementarias se refiere al campo de la concepción.

Los ensamblajes metálicos se refieren necesariamente a piezas tales como clavos y bulones, entre otras; también puede tratarse de piezas complementarias de ensamblaje, como pueden ser los anillos y crampones.

Existen varios tipos de ensamblajes, todos ellos de acero galvanizado, para las diferentes funciones que haya de realizarse, tales como anclajes o cimientos, rótulas o cabezas, corona de bulones, en unión de pilares con vigas, casquillos de correas, soportes de correas, escuadras y tensores para vigas contravientos (figura 94) y rampas, entre otras. Existen otros ensamblajes galvanizados auxiliares, necesarios para la buena colocación de la estructura sólo a efectos de nivelación, y acoplamiento, como son placas de correas y semijuntas (figura 95).

Figura 94



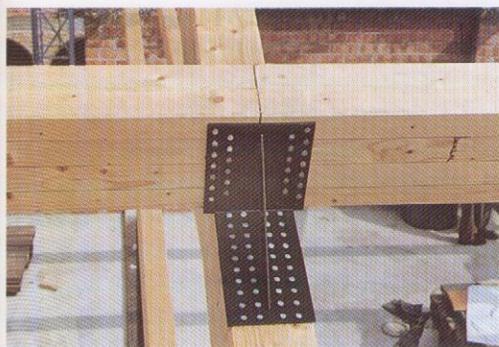


Figura 95

Al llegar a la obra, la madera vendrá de la fábrica con los taladros necesarios que permiten los ensamblajes o encastres principales, con el fin de que únicamente quede al operario de montaje la labor de acoplamiento y apriete, no excediendo el 1,5 mm, las holguras de paso.

En las cimentaciones de este tipo de estructuras de madera laminada, sobre los dados o zapatas de hormigón se aplicarán soluciones para el encastrado de la madera con los anclajes metálicos, de manera que dicha unión se realice de forma simultánea al vertido de hormigón (para lo cual se colocará una platabanda de chapa con ligera pendiente, y de esta forma se evitarán estancamientos de agua, que sirve de plantilla y a su vez impide el traspaso de las humedades propias del hormigón), o en el caso más comúnmente empleado, se dejará en el dado de hormigón la caja necesaria para el posterior recibido de anclaje con hormigón expansivo.

Las tolerancias admisibles en las cimentaciones de estas estructuras de madera son las siguientes:

- sobre la luz del pórtico ± 2 cm;
- sobre la transversal ± 1 cm;
- sobre el nivel rasante ± 2 cm;
- sobre las escuadrías de la edificación ± 1 cm.

Estas tolerancias se reducen a la mitad en el caso del presellado de los herrajes de anclaje, en el momento del vertido del hormigón.

Una vez se han recibido los anclajes, y por lo tanto se ha efectuado la cimentación, se procederá al levantamiento de la estructura.

Como medida de precaución a la llegada de la madera a la obra se tendrá en cuenta el tiempo de secado de la obra civil anteriormente realizada.

Los operarios que procedan al montaje y levantamiento de la estructura efectuarán en la obra, como labor previa, el replanteo y trazado sobre los pórticos o arcos de la distribución de las correas, vigas, contravientos o riostras necesarios de la estructura.



Figura 96

En dicho levantamiento de estructura, los ensamblajes que hay que emplear irán con bulones pasantes o ángulos para la recepción de correas en el caso de las cerchas, previamente fijados en los nudos de unión (figura 96).

Se debe asegurar la estabilidad de la carpintería hasta la fase definitiva, es decir, hasta el montaje de todos los contravientos de techumbre y riostras intermedios y hasta que los sellados de los empotramientos de cimientos estén hechos, y que los morteros de sellado tengan una resistencia suficiente, de ocho a quince días.

Durante el período de levantamiento, ningún otro instalador deberá trabajar en la obra, ya que dicho sector no debe ser considerado de tránsito o tráfico.

Los elementos constructivos que acometen las piezas de madera, tales como fábricas de ladrillo, bloques de hormigón y tabicones, durante su elaboración se colocará, en las caras de madera acometidas, porexpan, cartón embreado, lámina de plástico o cualquier otro material impermeable. Para su unión y traba con los materiales reseñados en los elementos de madera se colocan unas cantoneras metálicas galvanizadas, formando una boca de perro, atornilladas a la madera y con un sellado de masilla de silicona, evitando

Figura 97

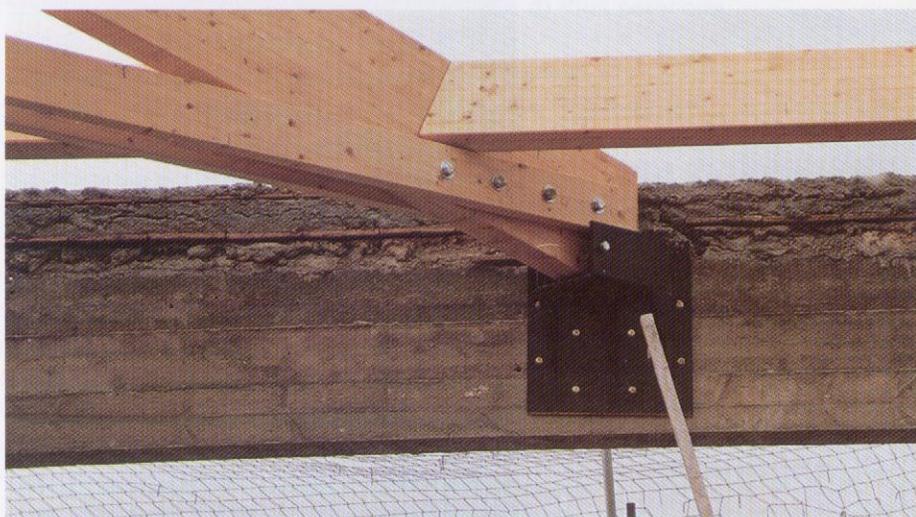




Figura 98

lo máximo posible las manchas de mortero, yeso u óxido (figura 97). Una vez colocada la estructura, los cantos vivos que figuran al exterior, donde los encolados de las láminas de madera queden en sentido vertical, se protegerán por cantoneras metálicas, bien galvanizadas.

En algunos casos el soporte metálico que se ancla a un muro se une a la pieza de madera laminada por medio de una placa insertada en un sacado de 3 a 4 cm que separa el extremo de la pieza laminada en dos, con lo cual se protege el metal del soporte y también se protege el cabezal de la viga laminada al interponerse entre el muro de hormigón y la masa leñosa la base metálica de sujeción (figura 98).

Especial cuidado se debe tener con los dados de hormigón en su unión a los pilares de madera, protegiéndolos de humedades producidas por capilaridad u otras causas.

Como resumen, para el levantamiento correcto de una estructura de madera la-

Figura 100

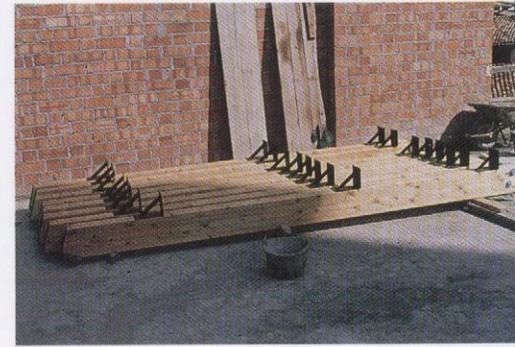
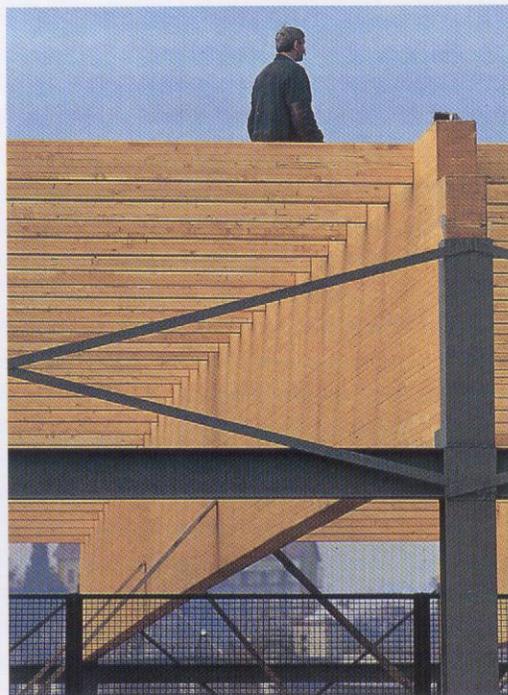


Figura 99

minada es necesario aplicar las siguientes normas:

- Personal especializado con experiencia en este tipo de obras.
- Correcto transporte y descarga de los elementos de madera.
- Lugar adecuado de almacenamiento que evite deformaciones, golpes y manchas.
- Exactitud del replanteo y alineación de los herrajes de los cimientos y techumbres (figura 99).
- Colocación de pórticos con el debido arriostramiento afectuado por las correas o vigas riostras.
- Replanteos *in situ* de casquillos para correas, taladros de bulones, efectuados antes de la colocación.
- Vigilancia sobre la colocación de la cubrición que lleve la cubierta.
- Apeos auxiliares y protección, que se efectuará cuando las condiciones atmosféricas sean desfavorables, tales como lluvia, nieve, heladas y viento del orden de 60 km/h.
- Protecciones contra la humedad por medio de material que no produzca condensaciones.
- Colocada la estructura, se da una última mano de barniz y protector.

TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA

Las posibilidades arquitectónicas de la madera laminada encolada se desprenden de las características técnicas expuestas en los apartados anteriores. La más conocida es la posibilidad de realizar grandes luces libres, particularmente dentro de las formas de arco curvado.

La técnica de la madera laminada encolada es utilizada de manera muy diferente en la construcción, desde su uso como encofrado para hormigón, para la creación de cubiertas laminares de formas muy variadas, pasando por la creación de tribunas para estadios deportivos o la cubrición de una piscina, y en la construcción de iglesias, teatros o escue-

las en función de sus buenas características estáticas.

A continuación se exponen las tipologías más usuales que este material ofrece, pero, como podrá verse, todos estos ejemplos sólo son el punto de partida que permite concebir infinitas formas y combinaciones espaciales. También se incluye, junto a la visión de la forma, un breve predimensionado de las mismas que puede dar una primera idea en cuanto a magnitudes.

Vigas

Desde el punto de vista económico, la utilización de vigas rectas supone cierto ahorro de madera y cola en la fabricación de los elementos; sin embargo, esta solución limita las luces a 30 m (figura 100).

Dentro de esta clasificación todas las diferentes variantes se comportan esencialmente trabajando con dos apoyos libres, existiendo variaciones en la forma concreta de la viga, sobre todo en su aspecto recto o curvado, variable o constante en lo referente a espesor.

Las vigas pueden ser de uno o varios tramos, en cuyo caso se recomienda que como mínimo exista un apoyo cada 15 m. También puede permitir vigas continuas de apoyos múltiples del tipo cantiléver; en este caso las luces libres entre apoyos pueden atender unos 20 m.

A continuación se describen algunos de los casos más corrientes de vigas existentes, como elementos comunes y de características conocidas y estudiadas, a través de unos cuadros con datos básicos para su aplicación:

- viga recta de canto constante (figura 101 a, cuadro XIV);
- viga a un agua (figura 101 b, cuadro XV);
- viga a dos aguas (figura 101 c, cuadro XVI);
- viga peraltada. Intradós curvo-recto. Extremos de canto constante (figura 101 d, cuadro XVII);
- viga en vientre de pez (figura 101 e, cuadro XVIII);
- viga atirantada (figura 101 f, cuadro XIX);
- viga continua de canto constante (figura 101 g, cuadro XX);
- viga continua con aumento del canto con apoyos intermedios (viga cantiléver) (figura 101 h, cuadro XXI).

También es posible combinar en alguna configuración estructural vigas simples, como la viga recta de canto constante ordenada en una trama reticulada, tal como se ve en la figura 102.

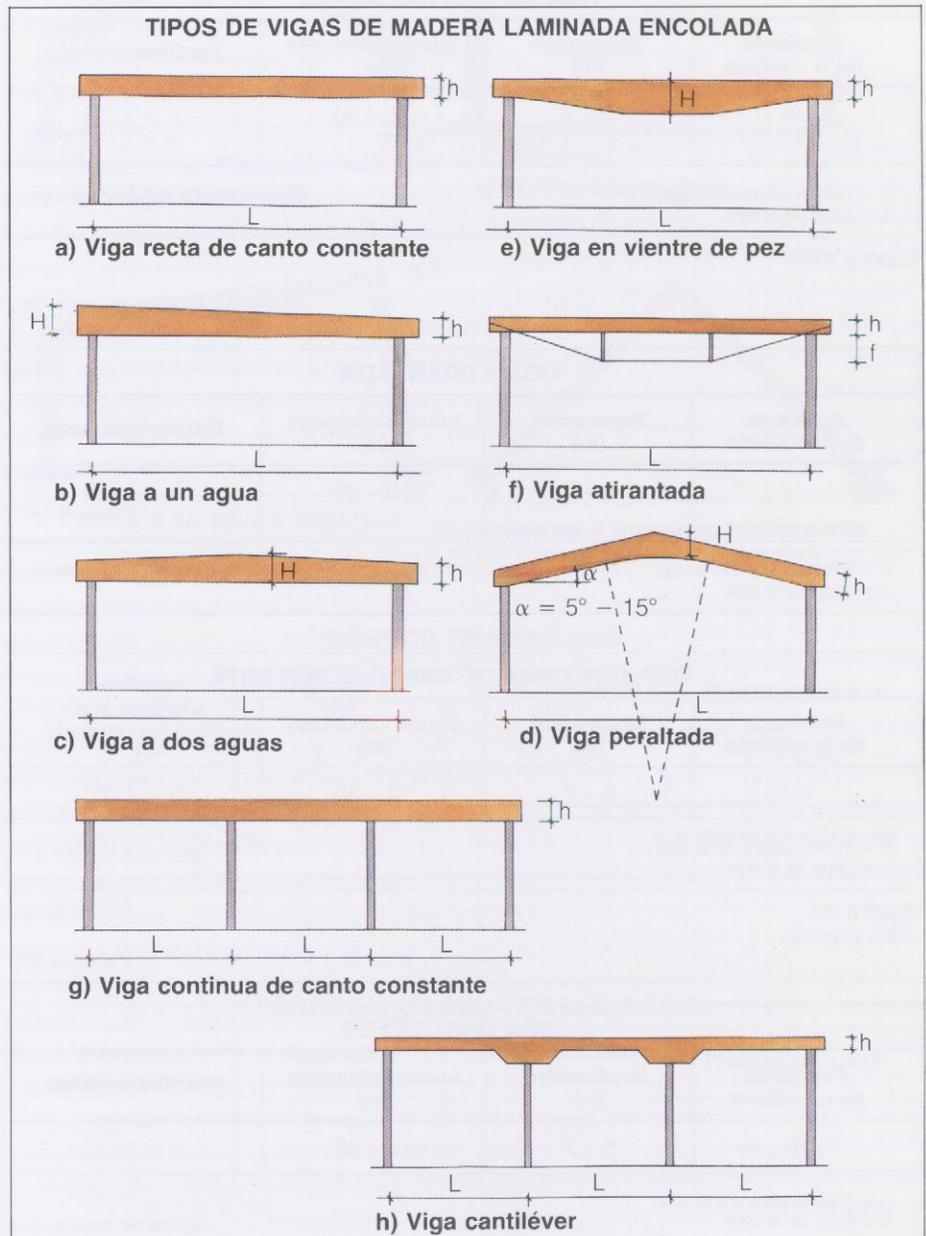
| VIGA RECTA DE CANTO CONSTANTE | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 0° | 5 - 7 | 10 - 30 | $h = L/17$ |
| <small>h = mínima altura de la viga L = largo de la viga</small> | | | |

Cuadro XIV

Cuadro XV

| VIGA A UN AGUA | | | |
|--|----------------|---|--------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 3° - 15° | 5 - 7 | 10 - 30 | $h = L/30$ $H = L/15$ |
| <small>h = mínima altura de la viga L = largo de la viga</small> | | <small>H = máxima altura de la viga</small> | |

Figura 101



| VIGA A DOS AGUAS | | | |
|--|----------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 3° - 15° | 5 - 7 | 10 - 30 | $h = L/30$ $H = L/15$ |
| $h = \text{mínima altura de la viga}$ $L = \text{largo de la viga}$ | | $H = \text{máxima altura de la viga}$ | |

Cuadro XVI

Cuadro XVII

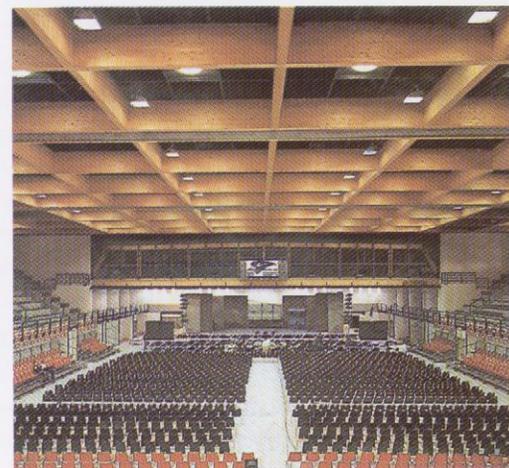


Figura 102

| VIGA PERALTADA | | | |
|--|----------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 5° - 15° | 5 - 7 | 10 - 35 | $h = L/30$ $H = L/15$ |
| $h = \text{mínima altura de la viga}$ $L = \text{largo de la viga}$ | | $H = \text{máxima altura de la viga}$ | |

| VIGA EN VIENTRE DE PEZ | | | |
|--|----------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| — | 5 - 7 | 15 - 30 | $h = L/30$ $H = L/15$ |
| $h = \text{mínima altura de la viga}$ $L = \text{largo de la viga}$ | | $H = \text{máxima altura de la viga}$ | |

Cuadro XVIII

Cuadro XIX

| VIGA ATIRANTADA | | | |
|--|----------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| — | 5 - 7 | 10 - 30 | $h = L/40$ $f = L/12$ |
| $h = \text{mínima altura de la viga}$ $L = \text{largo de la viga}$ | | $f = \text{altura de los tirantes}$ | |

| VIGA CONTINUA DE CANTO CONSTANTE | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| — | 5 - 7 | 10 - 30 | $h = L/20$ |
| $h = \text{mínima altura de la viga}$ $L = \text{largo de la viga}$ | | | |

Cuadro XX

Cuadro XXI

| VIGA CANTILÉVER | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 0° | 5 - 7 | 10 - 30 | $h = L/25$ |
| $h = \text{mínima altura de la viga}$ $L = \text{largo de la viga}$ | | | |

Pórticos

Por pórtico se entiende un sistema de dos o tres articulaciones, con unas traviesas horizontales u oblicuas, con empotramientos de pilares con uniones adecuadas en cada caso.

En general, tanto pórticos como arcos suelen hacerse triarticulados, con rótulas en arranque (figura 103) y clave (figura 104), para facilitar su montaje. Los pórticos a dos vertientes triarticulados se hacen de sección variable, con espesor máximo en la iniciación del dintel y coronación del pilar, y mínimo en arranques y clave. Naturalmente, todas las secciones intermedias entre arranques y claves están sometidas a compresión excéntrica, y sus secciones transversales deben ser capaces de resistir estas sollicitaciones. En arranques y clave, es el esfuerzo cortante el que predomina. En la práctica, el canto en arranque y clave viene a estar comprendido entre 5/8 y 3/4 del espesor correspondiente a las secciones extremas de la zona curvada. Estas dimensiones pueden ser más reducidas, pero no es conveniente, ya que a veces se alcanzan deformaciones importantes y, además, hay que verificar un gran número de secciones intermedias.

La dificultad de este tipo de estructura reside en la unión viga-pilar, que necesita órganos de unión importantes y con una fabricación muy delicada teniendo en cuenta la diferencia de movimientos dimensionales de la madera y estos nexos de unión. El concepto de cruzar fibras, producido en estas uniones, es contrario debido a las retracciones, introduciendo esfuerzos importantes y que son difíciles de controlar.

A continuación se muestran los tipos más comunes de pórticos utilizados en la actualidad, con las condiciones generales

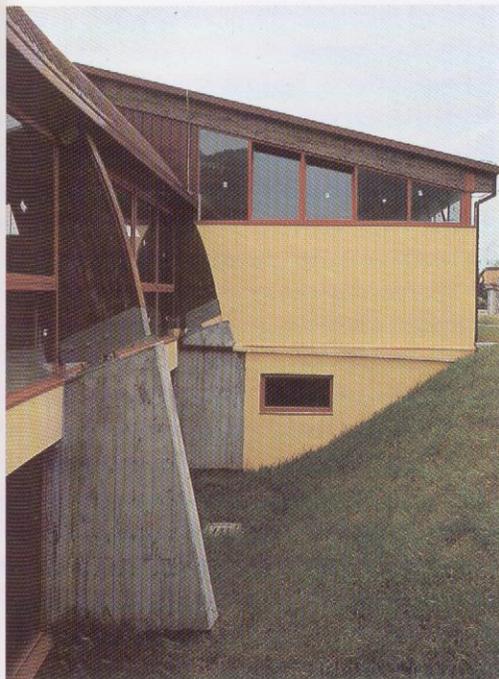


Figura 103

que tienen cada uno de ellos para su instalación:

- pórtico triangulado (figura 105 a, cuadro XXII);
- pórtico a un agua triangulado (figura 105 b, cuadro XXIII);
- pórtico biarticulado (figura 105 c, cuadro XXIV);
- pórtico en V invertida, triarticulado (figura 105 d, cuadro XXV).

Arcos

En este caso es donde las condiciones de trabajo, particulares de la madera laminada encolada, permiten la cubrición de luces importantes, superiores a 100 m, sin ninguna dificultad y siguiendo los métodos usuales de fabricación, limitado generalmente por la misma forma y no por su funcionamiento.

Distinguiremos dos funcionamientos diferentes de la misma tipología según sean su número de articulaciones:

- Isostático. Con tres articulaciones.
- Hiperestático. Dotado de dos articulaciones.

Para la realización de las estructuras que se apoyan en muros, la técnica del arco, partido o continuo, es una de las más interesantes, con la posibilidad de ser atirantados.

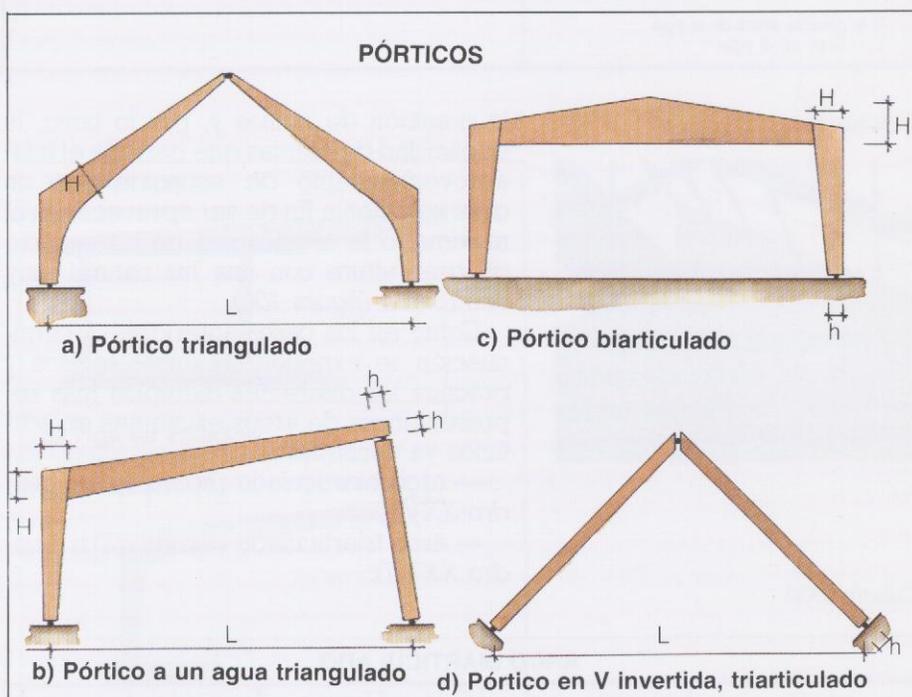
La elección de la forma arco presenta diferentes ventajas, ya no sólo por ser la forma que permite conseguir grandes luces de la manera más sencilla, sino por permitir la creación de arcos con gran altura, que generan espacios polivalentes,



Figura 104



Figura 105



| PÓRTICO TRIANGULADO | | | |
|--|----------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 5°-30° | 5 - 7 | 10 - 20 | $h = L/40$ $H = L/17$ |
| $h = \text{mínima altura de la viga}$ $L = \text{largo de la viga}$ | | $H = \text{máxima altura de la viga}$ | |

Cuadro XXII

Cuadro XXIII

| PÓRTICO A UN AGUA TRIANGULADO | | | |
|--|----------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 30°-40° | 5 - 10 | 8 - 20 | $h = L/45$ $H = L/20$ |
| $h = \text{mínima altura de la viga}$ $L = \text{largo de la viga}$ | | $H = \text{máxima altura de la viga}$ | |

| PÓRTICO BIARTICULADO | | | |
|--|----------------|------------------------------|--------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 0°- 5° | 5 - 10 | 10 - 20 | $h = L/45$ $H = L/20$ |
| h = mínima altura de la viga L = largo de la viga | | H = máxima altura de la viga | |

Cuadro XXIV

| PÓRTICO EN V INVERTIDA, TRIARTICULADO | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 45°- 60° | 5 - 10 | 10 - 30 | $h = L/25$ |
| h = mínima altura de la viga L = largo de la viga | | | |

Cuadro XXV

la creación de altillos y, por lo tanto, la duplicidad de plantas que permite el total aprovechamiento de espacios con un gran volumen a fin de ser aprovechado al máximo, o la articulación de un espacio de gran altura con una luz natural muy controlada (figura 106).

Como en los casos anteriores, a continuación se exponen de forma teórica y práctica los diferentes ejemplos más representativos de arcos existentes en edificios ya construidos:

— arco biarticulado (figura 107 a, cuadro XXVI);

— arco triarticulado (figura 107 b, cuadro XXVII);

Cuadro XXVI

| ARCO BIARTICULADO | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| — | 5 - 10 | 20 - 100 | $h = L/50$ |
| h = mínima altura de la viga L = largo de la viga | | | |

| ARCO TRIARTICULADO | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| — | 5 - 10 | 20 - 100 | $h = L/50$ |
| h = mínima altura de la viga L = largo de la viga | | | |

Cuadro XXVII

| ARCO CARPANEL TRIARTICULADO | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| — | 5 - 10 | 20 - 60 | — |

Cuadro XXVIII

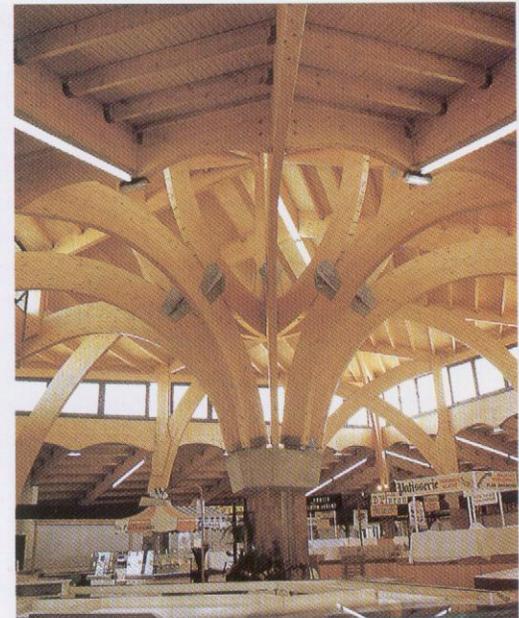


Figura 106

— arco carpapel triarticulado: (figura 107 c, cuadro XXVIII).

Voladizos

Este tipo de estructura, utilizada en aquellas edificaciones donde se necesita un espacio totalmente abierto por uno de sus lados (figura 108), se adapta perfectamente a la madera laminada encolada; sin embargo, es necesario una correcta elección del método de anclaje del pilar o soporte a la cimentación, a menos que la presencia de ciertos elementos funcionales, como soportes de tribuna (figura 109), permitan resolver la cuestión de manera adecuada y simple.

Esta tipología suele verse acompañada de un pórtico, como final de uno o de ambos laterales del mismo.

A continuación pueden observarse varios ejemplos de utilización, como tipología por ella misma o como combinación a un pórtico u otro, como ya ha sido mencionado:

— viga en voladizo (figura 110 a, cuadro XXIX);

— voladizo con base empotrada (figura 110 b, cuadro XXX);

— voladizo tipo tribuna (figura 110 c, cuadro XXXI).

Cubiertas tipo shed

Es relativamente sencillo, utilizando la técnica de la madera laminada encolada, construir la cubierta tipo *shed*, en cualquier tipo de forma y dimensiones, cons-

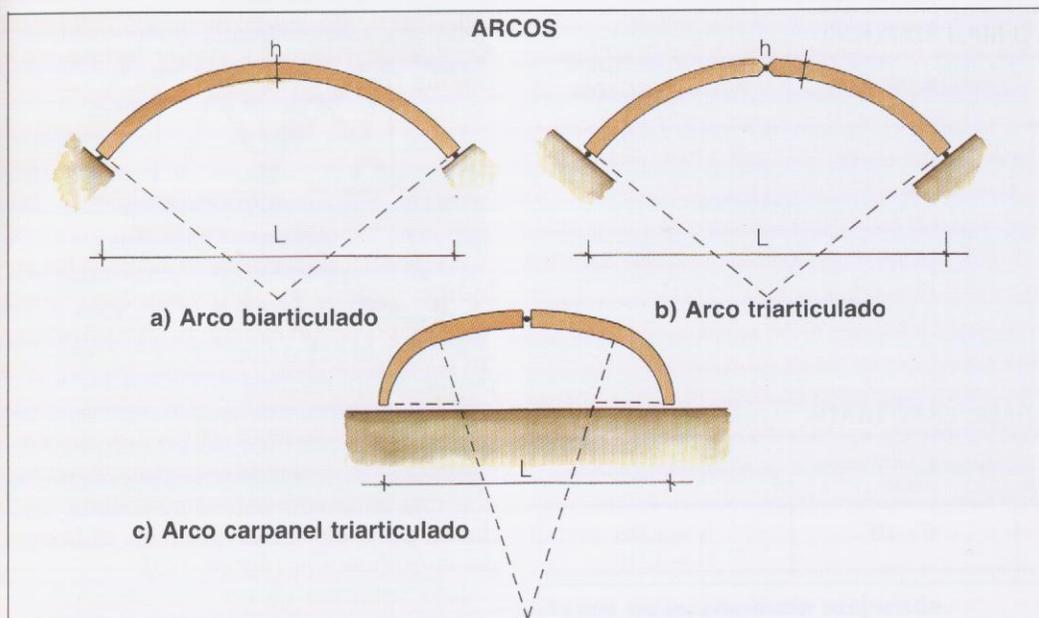


Figura 107

Figura 108

Figura 110

Figura 111

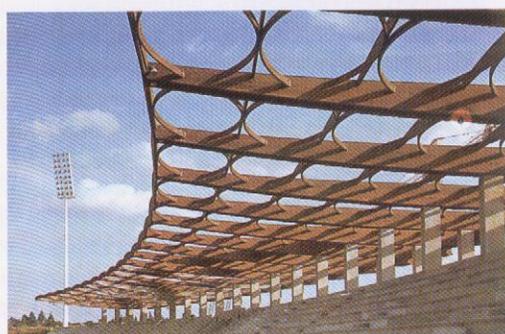
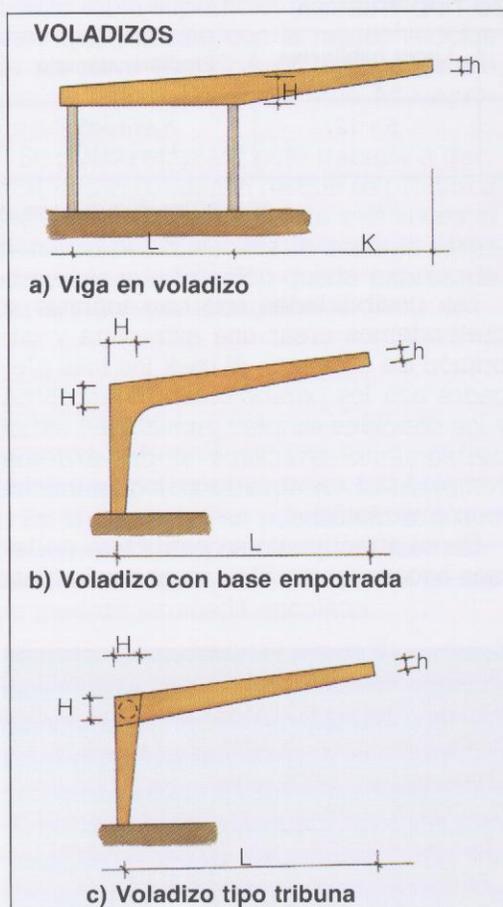


Figura 109

tituyendo un sistema de cubierta válido para espacios con necesidades de ventilación e iluminación (figura 111).

Cubiertas laminares

La técnica de las cubiertas laminares y también cúpulas de madera no se ha tratado hasta hace muy poco tiempo en aquellos países donde la madera laminada encolada es una técnica con muchos



años de experiencia y tradición; en concreto en un país como Francia, no se experimentó hasta hace unos diez años, y con no más de una veintena de ejemplos.

Si bien esta tipología no está directamente vinculada al concepto de madera laminada encolada, es muy válida para la construcción de las estructuras soporte de dichas cubiertas y cúpulas, vigas o soportes, que sirven de apoyo a estructuras.

| VIGA EN VOLADIZO | | | |
|--|----------------|--|-----------------------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 2° - 12° | 5 - 7 | K = 10 - 30 | L/K = 1/3 h = K/45 H = K/10 |
| h = mínima altura de la viga L = largo de la viga | | H = máxima altura de la viga K = largo de la viga en voladizo | |

Cuadro XXIX

| VIGA CON BASE EMPOTRADA | | | |
|--|----------------|------------------------------|----------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 2° - 12° | 5 - 7 | 5 - 10 | h = L/45 H = L/10 |
| h = mínima altura de la viga L = largo de la viga | | H = máxima altura de la viga | |

Cuadro XXX

| VOLADIZO TIPO TRIBUNA | | | |
|--|----------------|------------------------------|----------------------|
| Pendiente de la cubierta | Separación (m) | Luces habituales (m) | Predimensionado |
| 2° - 12° | 5 - 7 | 5 - 12 | h = L/45 H = L/10 |
| h = mínima altura de la viga L = largo de la viga | | H = máxima altura de la viga | |

Cuadro XXXI

Las posibilidades son casi infinitas si pretendemos crear una estructura y cubierta de este tipo, si bien los más plegados son los paraboloides hiperbólicos y los conoides simples y múltiples, indiscutiblemente atractivos y de extrema complejidad en otras tecnologías mucho menos versátiles.

De su atractivo como estructura podemos hacernos una idea mucho más ajus-

Figura 112



tada mediante la visión de los diferentes ejemplos y presentación de formas construidas (figura 112).

Falsas láminas

Se desarrollan paralelamente a las cubiertas laminadas. De formas muy diversas, generalmente están basadas en la utilización de dos familias ortogonales de piezas laminadas de madera, traccionadas y comprimidas, que permiten obtener, al mismo tiempo, el aspecto exterior más puro de una cubierta laminada, junto con una situación extremadamente agradable para un observador en el interior de la edificación (figura 113).

Cubiertas curvas

Dentro de esta tipología, por lo general pensada por la combinación de arcos, no debe considerarse sólo así, sino como una constitución y, por lo tanto, tipológicamente diferente.

Las combinaciones obtenidas con los diferentes arcos, generalmente circulares y de dimensiones estándar, quiere obtener con formas simples resultados agradables y con unas posibilidades que van desde 6 a 35 m. El único inconveniente del sistema es el empotramiento de los travesaños, que usualmente son inferiores a 3,5 m (por lo general de 3 m).

Dentro de la misma tipología, las formas existentes son variadas en forma y conceptos:

— Formas geodésicas. Constituyen la más usual variación y combinación de los arcos de forma cruzada o reticular, con el concepto de división de esfuerzos en las tres direcciones, y obtenidas a partir de elementos tipo.

— Estructuras plegadas o arcos curvados, y también con formas cóncavas.

Puentes

La madera laminada encolada, por sus aptitudes, responde de manera perfecta a las necesidades de los tipos más usuales de puentes, generalmente de unas dimensiones medias, pero también con la posibilidad, tal como puede observarse en la (figura 114), de alcanzar grandes dimensiones, en lo que a grandes luces se refiere.

Las necesidades de un puente, por norma general, se centran en:

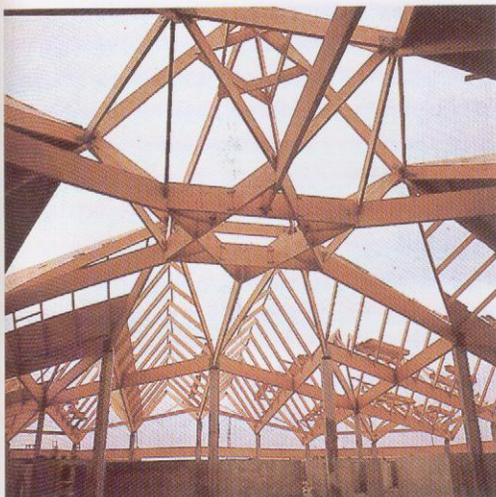


Figura 113

a) Por supuesto, en su carácter resistente, y la madera laminada responde perfectamente a dicho requerimiento.

b) Resistencia a la intemperie, y en general a los agentes agresivos que circulan por la atmósfera, cualidad que ya ha sido tratada en apartados anteriores, en la cual la madera laminada encolada tiene plena validez.

c) Estética. Ahí es tal vez donde la madera laminada encolada tiene más ventajas con respecto a otros materiales, en su adecuación al entorno por tratarse de un material natural, que la hace muy indicada si no queremos alterar el paisaje natural.

UNIONES EN LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

En general, los elementos de madera están formados por piezas independientes, unidas entre sí. Estas uniones constituyen, dentro de toda estructura laminar, posibles puntos débiles que es necesario estudiar con todo detalle, ya que el agotamiento de una estructura se puede presentar simplemente por la falta de resistencia de cualquiera de sus ensambladuras o empalmes.

Es necesario hacer una distinción entre los diferentes tipos de uniones, ya que se denominarán empalmes cuando las piezas se enlacen por sus testas, y ensambles si las piezas forman un ángulo, y acoplamiento cuando los distintos elementos se unan por sus cantos.

En todas las uniones de la madera laminada encolada interesa conocer la carga de rotura y rigidez, es decir, su grado de deformabilidad bajo las cargas de servicio, cuando dichas piezas están unidas por medio de clavos, pernos o chapas metálicas de múltiples formas.



Figura 114

Clavos de adherencia mejorada

Existe un tipo de clavo que presenta un resalto en la superficie, el cual es un herraje que permite con la misma sección de un clavo liso alcanzar una carga admisible superior en un 40 % de éste, aproximadamente.

Se puede emplear para trabajar a tracción, con la condición de que se produzca una penetración mínima de seis veces el diámetro del clavo. Por lo tanto, la carga admisible a la tracción queda expresada por la siguiente fórmula:

$$F = 18 \cdot S \cdot d$$

donde F es la carga por clavo en kilogramos, S la longitud de la penetración en centímetros y d el diámetro del clavo.

En la figura 115 se puede ver un clavo de este tipo, en posición para ser introducido a modo de unión entre dos piezas de madera laminada encolada.



Figura 115

Pernos y espárragos

Estos elementos de unión van a ser analizados en diferentes circunstancias de acuerdo con el tipo de materiales que implican.

UNIÓN DE MADERA CON MADERA

La unión con pernos debe respetar las siguientes condiciones, cuando se haga un empalme: un diámetro del perno igual al 1/6 del espesor mayor de madera que haya que unir, que el espesor más delgado de madera sea aproximadamente 1/2 del mayor, y que la anchura de la pie-



Figura 116

za empalmada sea mayor o igual a seis veces el diámetro del perno.

Otra de las condiciones que hay que cumplir es que el perno deberá ser colocado sobre una arandela o placa cuadrada, para que la presión de unión del perno sobre la madera sea mayor y más repartida (figura 116).

La relación dimensional entre el perno y las arandelas tiene que cumplir las siguientes características: que el diámetro de la arandela sea igual a tres veces y media el espesor de la misma, y tres veces en el caso de que la arandela sea cuadrada para determinar su lado.

Figura 117

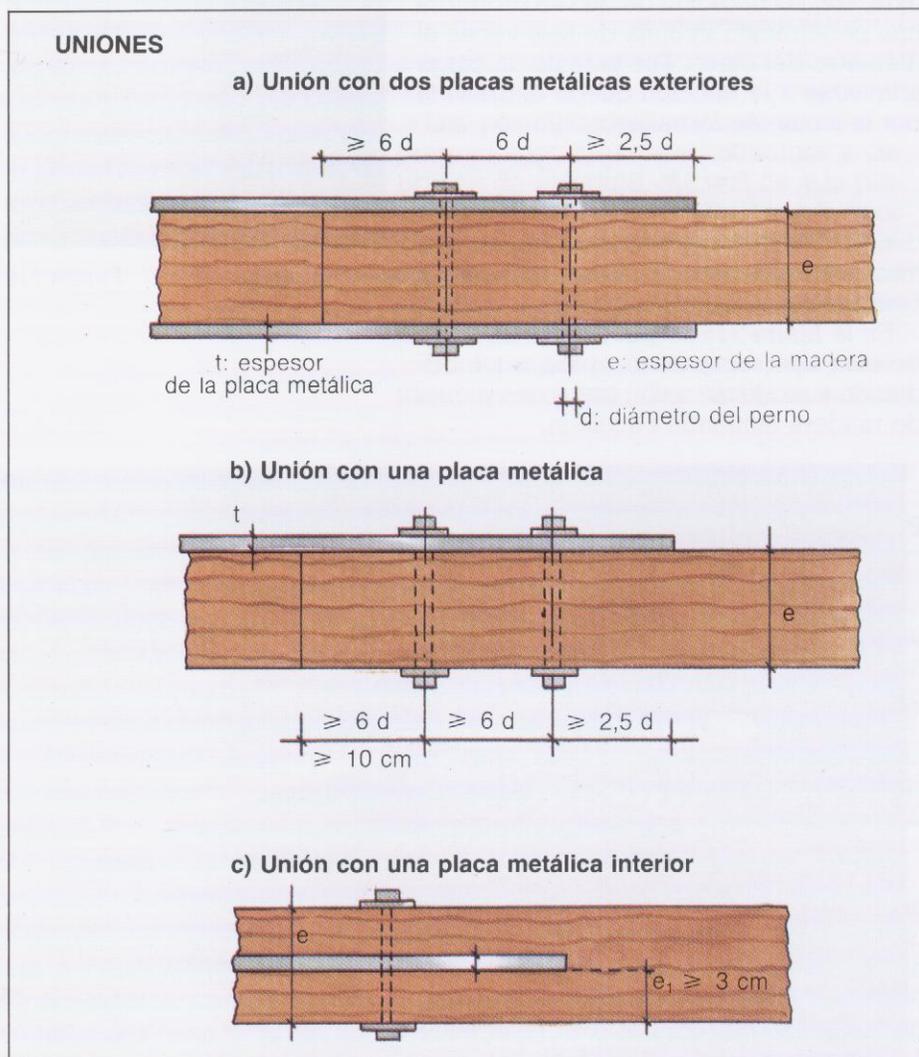


Figura 118

Con respecto a las separaciones mínimas de los pernos sobre una unión, tenemos que la distancia recomendable es la equivalente a tres veces el diámetro de un perno, como mínimo, y seis veces el mismo, como máximo.

UNIÓN DE MADERA CON METAL

En caso de utilizar placas metálicas en la unión de piezas de madera, se pueden emplear los siguientes valores:

a) En el caso de dos placas exteriores donde la carga admisible es un 25 % mayor que para el doble cizallamiento, donde la carga admisible (en kilogramos) por perno es igual a 250 por el diámetro del perno y por el espesor de la pieza de madera unida (figura 117 a).

b) En el caso de una placa exterior (figura 117 b) donde la carga admisible es un 25 % superior al caso del simple cizallamiento y la carga admisible (en kilogramos) por perno queda expresada de la siguiente forma:

$$F = 100 \cdot d \cdot e$$

c) En el caso de una placa interior, donde la carga admisible es la siguiente:

$$F = 200 \cdot d \cdot e$$

siendo e igual al espesor total de la pieza de madera y e₁ igual a tres centímetros (figura 117 c).

PERNOS QUE TRABAJAN A TRACCIÓN

En algunos casos, los pernos pueden trabajar a tracción, de tal manera que deban cumplir las siguientes condiciones:

a) Que la placa del reparto esté dimensionada de tal forma que no produzca tensiones superiores a las admisibles en su apoyo contra la madera.

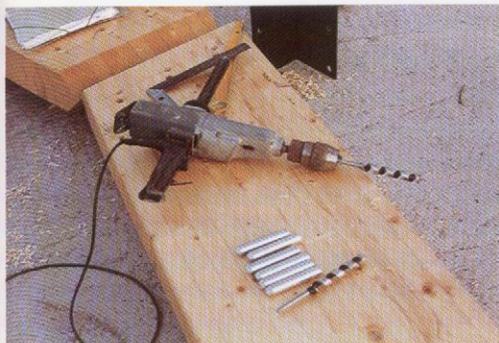


Figura 119

b) Que la sección neta de los pernos enroscados sea suficiente para el acero empleado.

En la *figura 118* se ve un caso de unión entre las piezas que conforman una cumbrera a cuatro vertientes, en la cual los pernos del vértice actuarán a tracción según ciertas sollicitaciones puntuales y esporádicas.

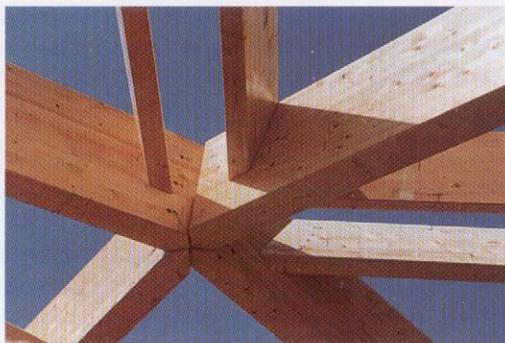


Figura 120

Para la reducción de las cargas admisibles se aplicarán los mismos coeficientes de reducción definidos en el apartado correspondiente a los pernos.

DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS DE LAS UNIONES

En este apartado se desarrolla una selección de las diferentes uniones tipo que nos encontramos en el estudio de la madera laminada encolada como tecnología.

Las siguientes descripciones no pretenden ser la solución a todos los detalles que nos encontraremos a la hora de seguir los principios fundamentales de toda unión, expuestos a continuación dentro de un marco concreto y de aplicación.

El dimensionado de cada una de las uniones y sus elementos de unión están en función de cada caso particular, ya que son varios los aspectos que van a influir en el momento de diseñar una unión por parte del técnico, siendo los principales problemas los siguientes:

a) Relativos a la resistencia: habrá que tener en cuenta el dimensionado de los medios de unión en función de las sollicitaciones, así como el ángulo formado entre la dirección de la fibra y el esfuerzo; también son importantes las tensiones en la madera que se originan en la unión, tales como las de compresión perpendicular a la fibra o las tangenciales a la misma y, finalmente, la comprobación de las tensiones en la madera que se originan en los elementos auxiliares de la unión, como pueden ser pernos traccionados o placas metálicas que trabajan a flexión o esfuerzos axiales.

b) Relativos a la deformación: debe tenerse en cuenta que las uniones en estructuras de madera en general producen unas deformaciones adicionales en la masa leñosa, por deslizamiento de los medios de corrección. Esto ocurre incluso en los nudos con unión rígida, tales como el que se muestra en la *figura 120*, donde un grupo de vigas de madera la-

Tirafondos

Con respecto a estas piezas de unión podemos decir que para su colocación se debe introducir un taladro, previamente a la instalación, para que con unas brocas especiales que dejan un orificio con hilos (*figura 119*) se puedan atornillar posteriormente, y en ningún caso clavar, estos tirafondos.

La longitud efectiva en la unión debe ser al menos de ocho veces el diámetro del tirafondo.

La carga admisible para esta pieza de unión queda expresada por:

$$F = 40 \cdot e \cdot d$$

Para poder utilizar la fórmula anterior, el tirafondo deberá estar introducido en la última pieza al menos una distancia igual a la longitud efectiva.

Si la penetración es inferior a cuatro veces el diámetro del tirafondo no se puede tener en cuenta ningún esfuerzo de cizallamiento.

Para las longitudes intermedias de penetración se interpolará linealmente.

TIRAFONDOS QUE TRABAJAN A TRACCIÓN

Se pueden utilizar tirafondos en esfuerzos de tracción con la condición de respetar las especificaciones definidas en el apartado referido a la colocación de los tirafondos.

Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5

minada encolada confluyen en un solo punto o nudo estructural; por otro lado deben considerarse los movimientos de la madera debidos a cambios volumétricos por variación del contenido de humedad. Estos movimientos de hinchazón y merma son de valor significativo en la dirección perpendicular a la fibra.

El coeficiente de contracción unitaria de una conífera como el pino silvestre tiene el valor de 0,12 % en la dirección radial, y de 0,92 % en la dirección tangencial. En la madera laminada en general, ambas direcciones quedan mezcladas cuando el corte de las tablas es indiferenciado.

Este fenómeno tiene repercusión en aquellos tipos de uniones donde se restringe la movilidad de la masa leñosa en la dirección transversal de sus fibras, debido a placas o piezas metálicas que están fijas al canto de la pieza (*figura 121*).

Así, por ejemplo, para un canto de una pieza igual a 100 cm, una variación de humedad del 5 % en la madera y un coeficiente de contracción unitario de 0,2 % se produciría un incremento o disminución de la longitud del canto de 1 cm.

Por esta razón se tiende a limitar el canto máximo de aquellas piezas en las que se empleen uniones que restringen el movimiento.

c) Sobre la protección contra el fuego, los sistemas de unión deben tener al menos la misma resistencia a la llama que la correspondiente a la propia pieza. Para aumentar la resistencia al fuego de los

elementos metálicos de unión se les recubre con pintura ignífuga. Es evidente que los medios de unión que queden embutidos en la madera tendrán un mejor comportamiento al fuego, tal como lo evidencia la unión con placa metálica interior; también se evitará el contacto directo de la madera con los materiales de construcción que puedan aportar humedad; por esta razón, por ejemplo, se suele colocar impermeabilizante o una placa metálica entre la viga de madera y la mezcla de albañilería (*figura 122*).

d) Cambio de signo de los esfuerzos: las estructuras de madera en ciertos casos son tan ligeras que puede darse el caso que por la acción de la succión del viento se inviertan los esfuerzos y reacciones. En estos casos los apoyos de las piezas deberán diseñarse para resistir y permanecer estables ante la posibilidad de levantamiento o empujes laterales.

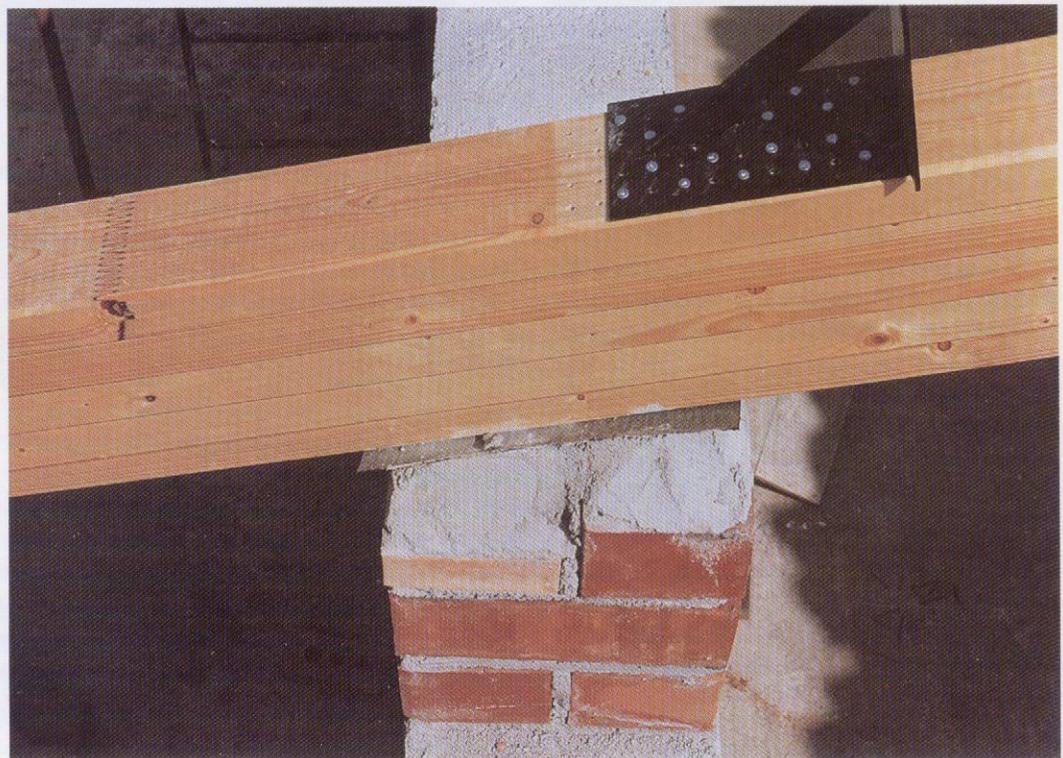
Nudos de pórticos y arcos mediante articulación ficticia

Este tipo de unión suele aplicarse en pórticos o arcos con luces inferiores a los 40 m, o cuando la resultante de las fuerzas es inferior a 30 toneladas. Esta unión debe permitir una ligera rotación de las piezas. La tensión de compresión sobre la pieza de madera dura o metal debe limitarse a un 50 % de la tensión admisible en la madera (*figura 123 a*).

Figura 121



Figura 122



Nudos de pórticos y arcos mediante pernos y espárragos

Cuando la pendiente de las piezas es elevada, puede utilizarse el sistema definido en la *figura 123 b*. Su aplicación se limita a luces inferiores a los 40 m y a resultantes de fuerzas que sean inferiores a las 40 toneladas.

Esta unión transmitirá las fuerzas verticales (cortante) y horizontales (tracción y compresión). Consiste en conectores que son atravesados por espárragos roscados cuyas cabezas se embeben en cajeados realizados en las piezas. El valor de la resistencia al cortante de los pernos y conector se reduce a un 60 % del valor que tendría para el ángulo formado si estuviera en el lateral de la pieza.

Los bordes de las piezas, especialmente el superior, deben quedar biselados para evitar las presiones de giro de las mismas.

Cuando el cortante es demasiado alto para una sola fila de conectores o cuando el canto de la pieza requiera otra fila de conectores se hará asegurar la alineación (puede recurrirse a la solución indicada en la misma figura).

Articulación en cimentación

En este tipo de unión es muy conveniente que los pernos que unen la base de las piezas que forman el nudo o pórtico con las bases de cimentación permitan un cierto giro del nudo.

Es aconsejable que el zapato o funda metálica de apoyo tenga su base con perforaciones que ayuden a la ventilación de la testa de la pieza de madera laminada encolada.

En la *figura 123 c* se ve cómo los pernos se sitúan cercanos al eje de la pieza para así disminuir los efectos de los movimientos por humedad de la madera.

Los esfuerzos normales o cortantes pueden ser absorbidos directamente por contacto con el cajón metálico que transmite el esfuerzo íntegramente a la rótula. La introducción del esfuerzo cortante en la cimentación puede realizarse, por ejemplo, mediante espárragos de anclaje o pernos de articulación.

También existe un apoyo realizado mediante elastómero, donde la reacción de apoyo resultante se descompone de acuerdo con las dos direcciones perpendiculares a la superficie de contacto. La relación de estos dos componentes y sus valores puede verse modificada por la in-

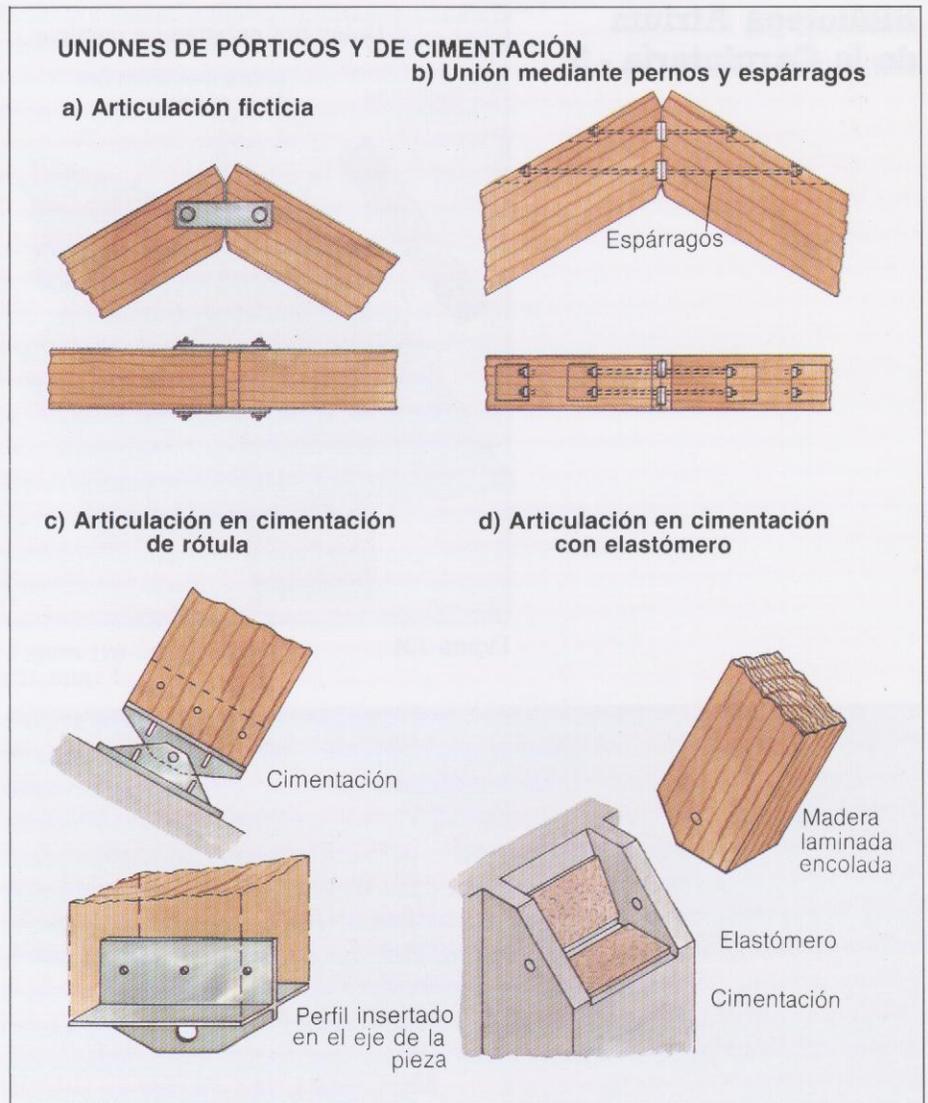


Figura 123

clinación respectiva de las dos superficies de apoyo.

La máxima rotación del apoyo está limitada de manera práctica al ángulo de rotación admisible del apoyo elastómero, y esto puede verse aumentado al incrementarse el espesor de las placas de sustentación (*figura 123 d*).

Nudos de pórticos por entalladuras múltiples

Este sistema consiste en realizar una entalladura múltiple o junta dentada a las piezas que haya que unir, de manera similar al empalme de láminas (*figura 124*).

De esta manera se consiguen los siguientes resultados:

- Sólo se fabrican piezas rectas.
- Una apariencia externa más limpia sin elementos metálicos auxiliares.

También tiene inconvenientes:

- Algunas normativas limitan mucho su utilización.

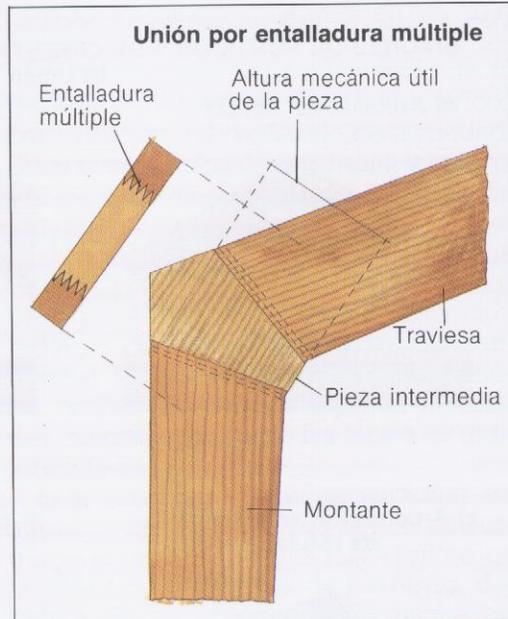


Figura 124

Figura 125

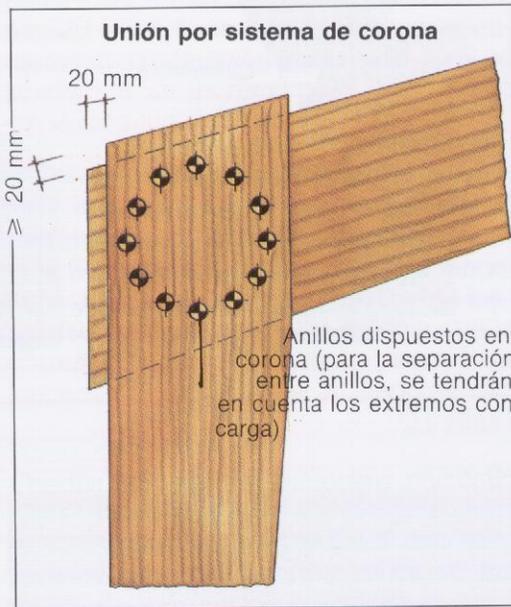


Figura 126

— Las luces con este tipo de unión se limitan a 30 m.

— Se verá afectada su resistencia por coeficientes reductores en el cálculo, y se estima una disminución de un 20 % en la eficacia de la junta.

— Requiere maquinaria especial. Se realiza en taller, con lo cual se transporta la pieza completa.

Generalmente las entalladuras tienen una profundidad de unos 50 cm. El canto máximo aconsejado para esta unión es de 150 cm.

Nudos de pórticos por sistema de corona

Se trata de una unión rígida entre las dos piezas que constituyen el pilar y la pieza que forma la viga. Esta última queda abrazada por las secciones del pilar y se une mediante una serie de pernos o pernos con conectores, según las necesidades (figura 125).

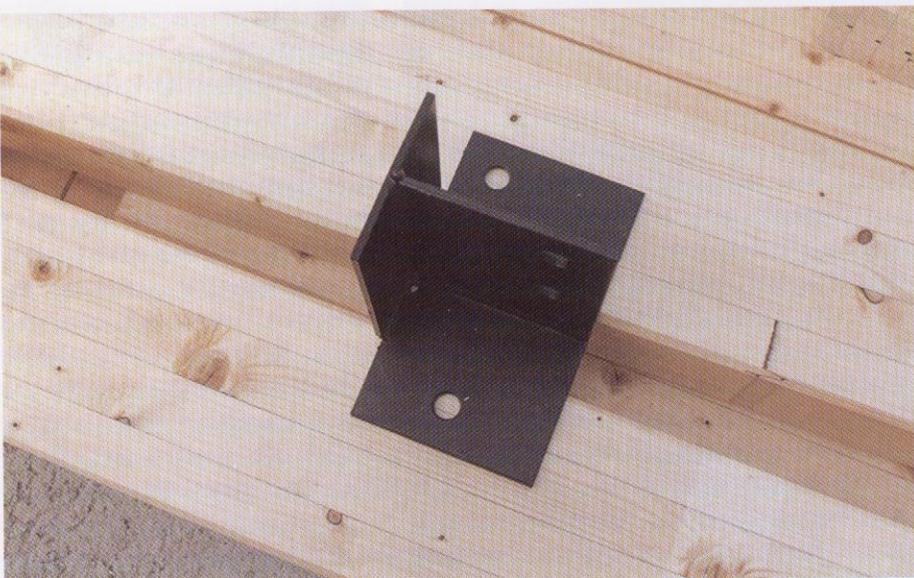
Es una solución que permite la fabricación del pórtico, únicamente valiéndose de laminados rectos que pueden montarse en la obra. Tiene los inconvenientes derivados de los movimientos por cambios de humedad en la madera. Hay que tener presente que las fibras de la viga y el pilar están dispuestas sensiblemente perpendiculares, de tal forma que mientras en sentido transversal la contracción es fuerte, en sentido longitudinal es despreciable. Esto origina esfuerzos en los medios de unión que pueden agrietar la zona de unión.

Por todo esto su uso se limita a piezas con cantos inferiores a 100 cm y en ambientes donde las variaciones de humedad no superen el 5 %.

Unión entre vigas mediante placas metálicas embutidas

En la figura 126 puede verse un detalle constructivo con un comportamiento correcto a todos los efectos y con la particularidad de que el herraje queda oculto al embeber su alma en un cajeadado, realizado en la pieza soportada. Los pernos que atraviesan la pieza principal deben tener sus cabezas embutidas en rebajes efectuados en la testa de la pieza secundaria. La placa de apoyo puede quedar oculta en su vista inferior. En la misma figura se muestra una pieza que tiene una base de sustentación que permite a la viga un soporte adicional.

También es posible usar una placa em-



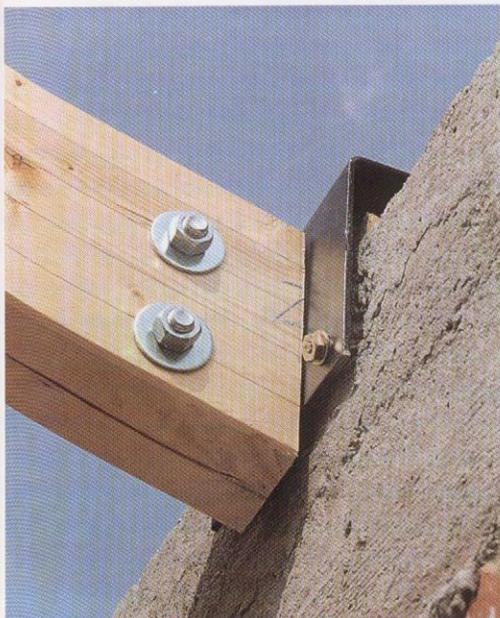


Figura 127

butida semioculta para la unión entre una viga y un muro, sin un soporte adicional de la madera con respecto al metal; sin embargo, dicha pieza aumenta su superficie de apoyo al apoyarse de forma angular sobre el muro de adosamiento, trasladándose el esfuerzo a una mayor superficie de albañilería.

En la *figura 127* se muestra el caso de una viga de techumbre cuyo enlace se ha realizado mediante este sistema de unión semioculta.

Unión en pórticos reticulares

Este tipo de uniones permite una total rigidez en esfuerzos horizontales. Dos de los ejemplos más usuales son los de reticulado ortogonal y hexagonal.

Los esfuerzos de tracción resultantes del momento de flexión son absorbidos por los clavos de la unión, la compresión está asegurada por el contacto directo de un hormigón de relleno de alta resistencia y poca retracción.

La transmisión del cortante es absorbida por los pivotes que se encuentran rodeados del relleno de hormigón.

Si los encuentros de las vigas de techumbre se producen en un reticulado ortogonal y no hexagonal (donde sí se necesita un relleno de hormigón en el espacio de convergencia), bastará con una pieza en forma de cruz que unirá las cuatro piezas laminadas que convergen en ella (*figura 128*).

Los reticulados pueden ser reforzados mediante piezas laminadas que triangulizan la trama, y que son fijados a las vigas principales mediante tirafondos o tornillos

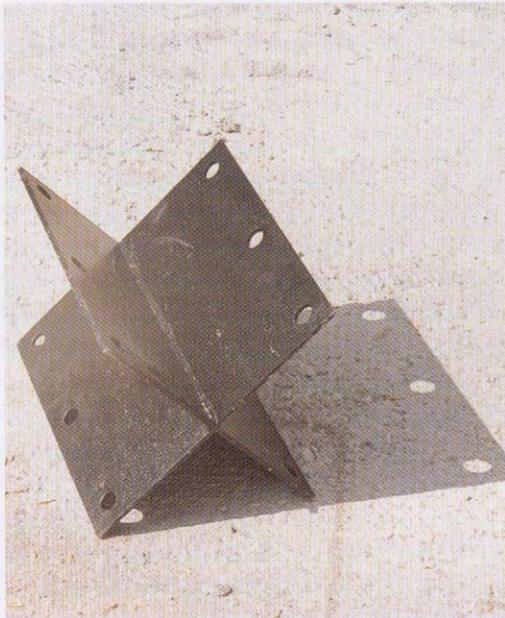


Figura 128



Figura 129

especiales que resisten muy bien a la tracción y al cizallamiento.

Si el reticulado va al exterior, es recomendable hacer unos sacados en la masa leñosa donde van las piezas de unión para protegerlas de la intemperie. En la *figura 129* se muestra un reticulado de este tipo, con las debidas protecciones a los tirafondos, especialmente.

Unión articulada en estribo

En la unión articulada en estribo (con placa tirante en vigas Gerber y en articulaciones cantiléver), los extremos de las piezas se cortan a escuadra. Se trata de una unión con ligeras diferencias respecto a la anterior.

La reacción vertical del elemento soportado es resistida por la pieza metálica de estribo y transmitida a las piezas soportante y soportada como una compresión perpendicular a la fibra repartida en la superficie de la placa de apoyo. De este modo se obtiene una reacción de las piezas, donde es preciso que la placa de apoyo esté embebida en la madera, dentro de un rebaje.

Otra forma de coartar el giro es disponer unos tirafondos que equilibren el par generado por la excentricidad.

Las placas laterales se emplean para resistir la fuerza que tiende a separar las

piezas por el efecto del par citado, y también sirve de tirante cuando existe tracción entre las vigas.

En la *figura 130 a* se muestra un ejemplo en frontal y lateral de este tipo de unión, aplicada a una viga laminada.

Unión con corte oblicuo en los extremos y tirante

Puede utilizarse en cargas ligeras, medias y pesadas. El encuentro entre las testas de las piezas es un corte oblicuo, para permitir el enlace con la barra que hace de tirante.

La relación vertical que ejerce la pieza soportada es transformada en una tracción en la barra metálica. Este tirante debe resistir dicho esfuerzo. Las placas de apoyo del tirante deben ser dimensionadas para transmitir dicha reacción vertical a una tensión admisible de compresión perpendicular a la fibra en la madera, en ambas piezas.

Las chapas separadoras se deben situar próximas al eje neutro de la pieza. Tienen como función mantener una separación entre los extremos de las vigas y permitir un giro de éstos sin que se produzca el contacto en los bordes superior e inferior de las testas. Estos separadores son de acero, de sección rectangular y están unidos al extremo de la viga con clavos que atraviesan agujeros pretaladrados en las placas.

Las placas laterales se emplean para mantener alineados los extremos de las vigas y servir como tirantes cuando existen esfuerzos de tracción (*figura 130 b*).

Figura 130

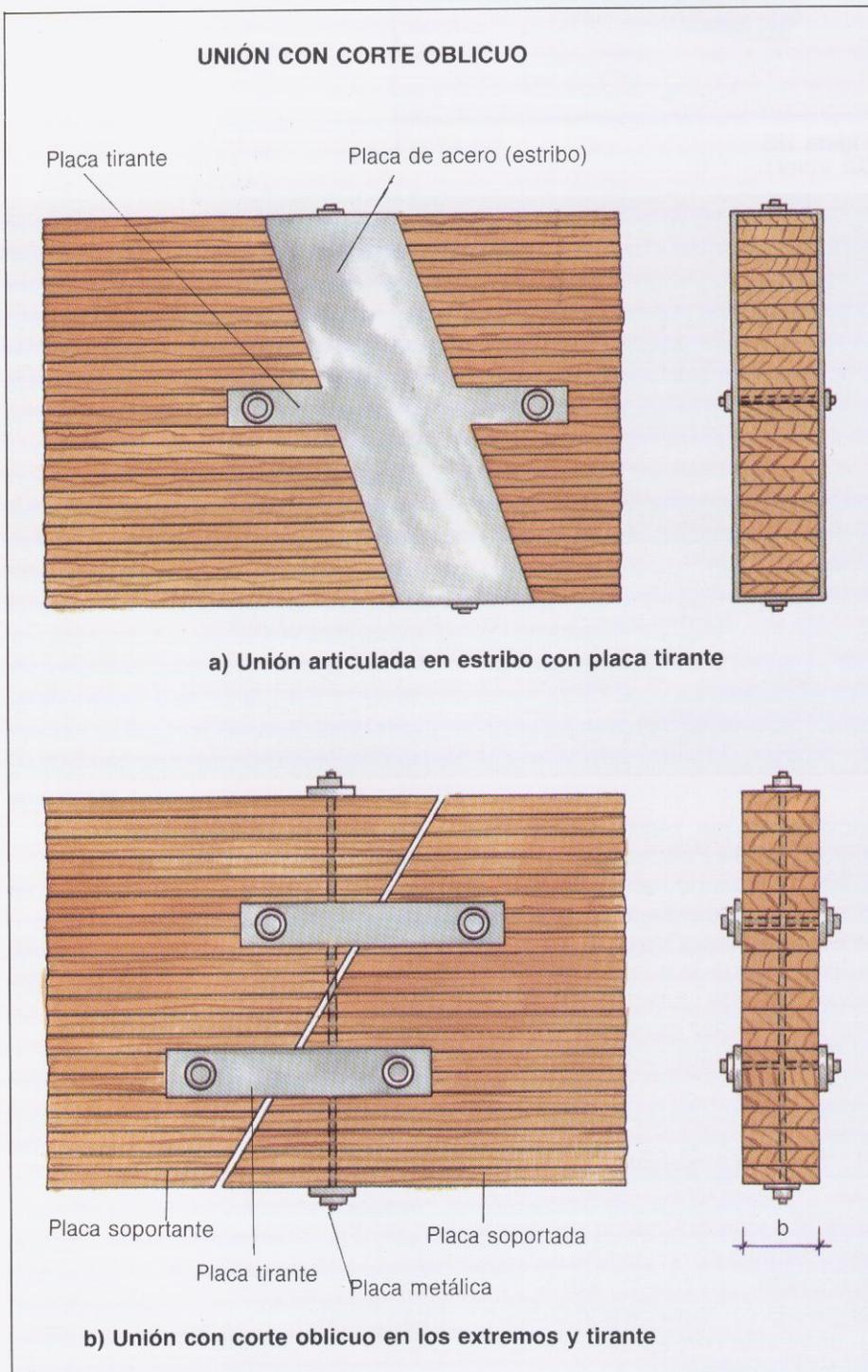
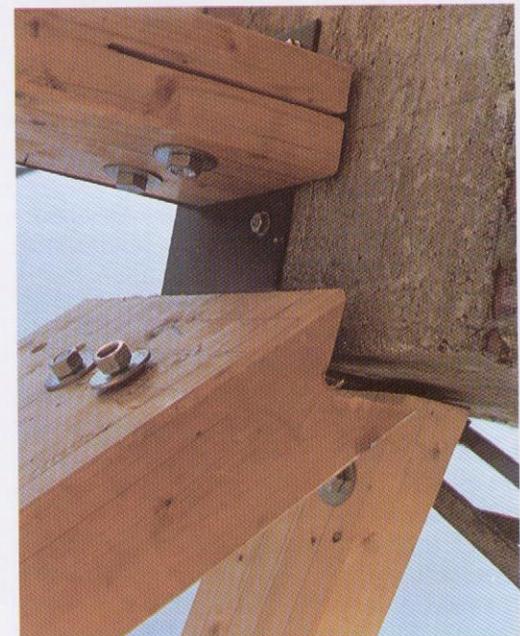


Figura 131



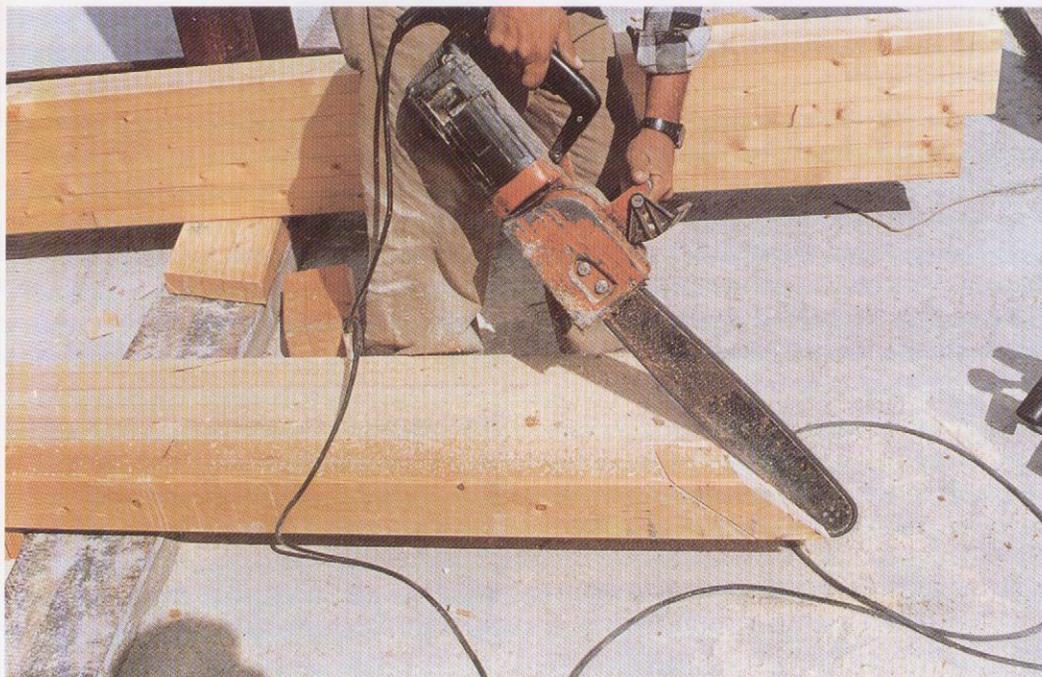


Figura 132

Piezas metálicas angulares para múltiples vigas

Si la construcción de la estructura de techumbre incluye múltiples vertientes en su conformación y la planta de la edificación es irregular, es muy probable que en una esquina confluyan dos o tres vigas, las que se unirán al muro, por ejemplo de albañilería, por medio de unas placas embutidas y en disposición angular de acuerdo con el desarrollo de las cubiertas. En la *figura 131* puede verse un ángulo metálico de tres láminas de unión, donde, al ser el ángulo abierto, necesita que la viga intermedia se corte un sacado en 90° para que el cabezal pueda recibir adecuadamente en su rebaje el herraje laminar.

Es importante destacar que los sacados en las piezas de madera laminada encolada, tanto en uniones de madera, ángulos o cortes laminares, para utilizar los herrajes anteriormente descritos, se harán en la obra, previa verificación de la colocación de éstos y utilizando para su realización una sierra eléctrica, tal como se ve en la *figura 132*.

TENSIONES ADMISIBLES EN LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Las tensiones básicas de la madera pueden considerarse como tensiones admisibles sólo cuando las condiciones se muestren idóneas en trabajo y calidad. Difícilmente será perfecta, y tampoco

TENSIONES BÁSICAS DE ALGUNAS ESPECIES (en kg/cm²). VALORES ORIENTATIVOS

| Solicitud | P. insigne <i>P. radiata</i> (kg/cm ²) | P. gallego <i>P. pinaster</i> (kg/cm ²) | P. silvestre <i>P. sylvestris</i> (kg/cm ²) | Abeto <i>Picea</i> (kg/cm ²) |
|-----------------|--|---|---|--|
| Flexión | 152 | 134 | 168 | 168 |
| Compresión II | 105 | 105 | 140 | 140 |
| Compresión I | 20 | 21 | 33 | 33 |
| Cortante | 28 | 25 | 19 | 19 |
| Esfuerzo medio | 105.000 | 89.000 | 118.000 | 118.000 |
| Esfuerzo mínimo | 50.000 | 53.000 | 80.000 | 78.000 |

Cuadro XXXII

coincidirán el grado de humedad y duración de la carga con las que sirven de referencia a las tensiones básicas (12 % y duración permanente). Por lo tanto, deben modificarse las tensiones básicas de la madera como tal.

Algunos de los valores más usuales establecidos para las distintas especies de madera más utilizadas se muestran en el *cuadro XXXII*, para llegar a las tensiones básicas admisibles.

Los factores que intervienen en el ajuste de las tensiones básicas a las admisibles son:

— Calidad de la madera: en función de los defectos de la pieza, se verán afectadas recibiendo el nombre de tensiones admisibles de clasificación.

— Contenido de humedad en la madera: en función de la humedad de uso y teniendo en cuenta como referencia un 12 % de humedad base.

— Duración de las cargas: en función de las hipótesis realizadas, en este caso la referencia será suponer cargas permanentes.

**Obtención de tensiones admisibles
de clasificación**

Los diferentes conceptos que valoran y miden los diferentes defectos de la madera no suponen ninguna particularidad para el caso que nos ocupa (la madera laminada). Por eso no se incluyen en esta obra, si bien son de fácil acceso en cualquier tratado de madera y clasificación de la misma.

Se denominan tensiones admisibles de clasificación los valores obtenidos a partir de las tensiones básicas multiplicadas por unos factores de modificación variables, según el grado de calidad y el tipo de sollicitación.

Estos factores serán diferentes según tratemos madera aserrada o laminada, lo que se debe a los diferentes criterios de clasificación que se han seguido, en uno y otro caso, acordes con la forma de trabajo en la pieza, tal como se ha visto reflejado en apartados anteriores.

En nuestro caso nos ceñiremos a los diferentes valores que hay que tener en cuenta en el caso de la madera laminada, en las dos definiciones posibles que ofrece la norma de laminado vertical y la del laminado horizontal.

a) Piezas de laminado vertical: en estas piezas se aplican las tensiones admisibles de clasificación en función del número de láminas y según la calidad de la madera, considerada como madera serrada, por lo

cual no será más ampliada y se dedicará especial interés al concepto de laminado tal como hoy es conocido: el laminado horizontal.

b) Piezas de laminado horizontal (madera laminada): clasificada según LA, LB, LC, en función de los defectos y características mecánicas. La composición de láminas de los elementos fabricados en madera laminada encolada podrá realizarse con una disposición de láminas simple: todas las láminas de la sección de igual calidad; o compuesta: situando las láminas de mejor calidad en aquellas zonas que estén más sollicitadas a flexión.

Humedad de la madera

Influye significativamente en las propiedades mecánicas de la madera, tal como ha podido observarse en apartados anteriores.

Los contenidos de humedad entre el 8 y el 30 % aportan una relación lineal de pérdida de características mecánicas, existiendo por encima de este 30 % un punto de saturación donde las características no varían.

Por lo tanto, se dan una serie de coeficientes que afectarán a las tensiones básicas de la madera en función de la humedad, y que será diferente según se trate de maderas frondosas o coníferas y del tipo de propiedad mecánica (*cuadro XXXIII*).

Cuadro XXXIII

| FACTORES DE MODIFICACIÓN POR HUMEDAD, POR LOS QUE HAN DE MULTIPLICARSE LAS TENSIONES ADMISIBLES DE CLASIFICACIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Humedad de la madera % | 8 | 10 | 20 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 25 | 30 |
| Coníferas | | | | | | | | | | |
| Compresión cortante Tracción | 1,14 | 1,07 | 1,00 | 0,92 | 0,86 | 0,78 | 0,70 | 0,63 | 0,53 | 0,66 |
| Flexión Tracción Módulo elástico Compresión | 1,08 | 1,04 | 1,00 | 0,96 | 0,92 | 0,89 | 0,84 | 0,81 | 0,76 | 0,66 |
| Frondosas | | | | | | | | | | |
| Compresión cortante Tracción | 1,11 | 1,05 | 1,00 | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,71 | 0,69 | 0,58 | 0,43 |
| Flexión Tracción Módulo elástico Compresión | 1,08 | 1,04 | 1,00 | 0,96 | 0,92 | 0,89 | 0,84 | 0,81 | 0,76 | 0,66 |



2 Estructuras de madera para la edificación

La madera ha sido un material importante para la construcción de edificios en la historia de todas las regiones del mundo. La naturaleza nos ha dado un material de excelente resistencia, adaptabilidad y otras grandes propiedades idóneas para múltiples utilizaciones, pero también hace falta tener en cuenta los problemas que el uso de este material comporta, problemas con su combustibilidad, contracciones y deterioro. Con todo ello la madera, como material, representa un reto y se necesita capacidad y destreza para un uso correcto, tanto si se trabaja sola como combinada con otros materiales. La nueva técnica de encolado, las nuevas combinaciones con diferentes materiales y un mejor conocimiento en la técnica de la construcción han incrementado considerablemente las posibilidades de un uso más eficaz de la madera.

Su facilidad de adaptación a los diferentes niveles de prefabricación y la mejora de las técnicas de protección hacen de la madera un material deseable para procesos de construcción limpios, secos y rápidos, haciendo, consecuentemente, las casas de madera competitivas tanto por su coste inicial como por su bajo coste de mantenimiento, aspectos que se combinan con la idoneidad de este material para ajustarse a nuevas funciones.

Tradicionalmente, las construcciones de madera son numerosas y de gran importancia en los países escandinavos. En los últimos años, más de un 80 % de las nuevas viviendas se han hecho con madera, construcciones que han llegado a un altísimo nivel de perfección. La dureza

climática y la competitividad con otros materiales hace necesario el desarrollo de métodos de construcción y aspectos para reforzar su durabilidad, facilidad de mantenimiento y su coste razonable.

Antes que nada es necesario hacer una breve reseña histórica, a modo de referencia, para entender el proceso que ha generado los actuales sistemas de casas de madera, de muy rápida instalación y de excelentes características acústicas, térmicas y mecánicas, sin dejar de lado la creciente libertad de diseño que, paulatinamente, algunos sistemas han ido brindando al profesional de la construcción.

No es posible componer en detalle una lista cronológica de las técnicas y procedimientos de construcción en madera, ni tampoco es sencillo apuntar el desarrollo de las tendencias y estilos por medio de los cuales se llevaron a cabo, ya que los métodos empleados varían y variaron de un lugar a otro, de acuerdo con la disponibilidad, la calidad y la especie de madera. Esto dio lugar a que en diferentes puntos del planeta se fueran desarrollando sistemas racionalizados de construcción en madera, en diferentes escalas y formas, aunque todas, en mayor o menor grado, buscaban armar y construir sistemáticamente.

Así es como puede hacerse un análisis de esta evolución a partir de dos grandes grupos de sistemas, los cuales, históricamente, pueden resumirse en: el entramado lleno, el cual fue evolucionando hasta generar el entramado abierto (aunque también se pueden entender dentro de un proceso paralelo). Existen sistemas

Pilares que no entran en contacto con el suelo para que la humedad no afecte a la estructura de madera





Figura 133

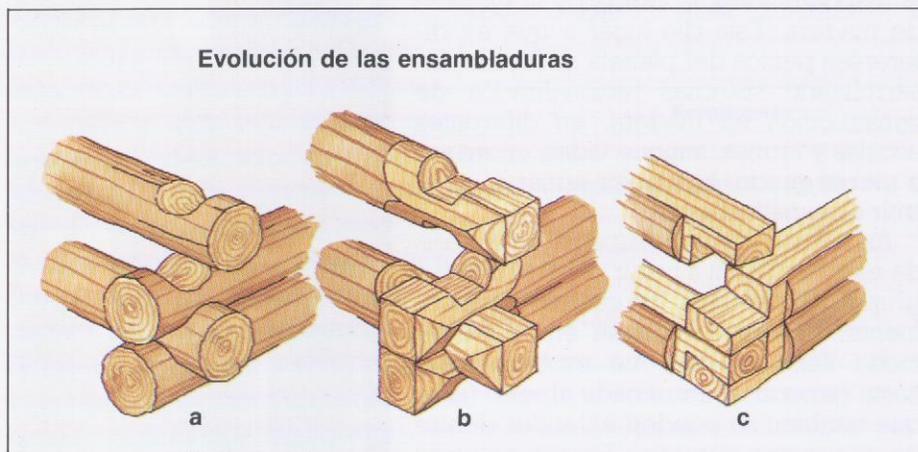
más concretos y localizados culturalmente como el de arquitrabado o de viga y pilar, cuya mejor expresión se desarrolló en China y Japón, desde donde se extendió a la India, llevada por los monjes budistas. En todo caso este sistema oriental tiene como característica que los paneles sean no portantes.

ENTRAMADO LLENO

En términos muy generales, este método se basa en la disposición de troncos enteros muy próximos entre sí, cuya característica es que en un principio estaban muy poco labrados. Este sistema se originó en las regiones del este de Europa, donde la abundancia de bosques permitía el uso masivo y sin medida de árboles. Este método ha continuado vigente en todo el norte de la ex Unión Soviética, Finlandia y las zonas alpinas (figura 133).

Esta técnica es conocida popularmente con el nombre de cabaña de troncos, y su sistema de enlace y unión se basa en buscar la trabazón de las esquinas del edificio mediante diversas clases de ensambladuras, y en darles forma aumentando o reduciendo progresivamente la longitud de los troncos o piezas dispuestos de forma horizontal.

Figura 134



Desde tiempos inmemoriales se han elaborado medios de unión que buscan obtener mayor estabilidad de las paredes a través de la mayor o menor cohesión de los vértices. En la figura 134 pueden verse tres ensambladuras de esquina que, de izquierda a derecha, construyen un enlace, estructuralmente más estático.

Ensambladuras de esquina

Éste es uno de los aspectos fundamentales de la construcción del entramado lleno y, por lo tanto, es el aspecto constructivo que más cambios ha sufrido en pos de una mayor estabilidad e impermeabilidad con respecto al entorno medioambiental. Precisamente debido a que existen varias configuraciones diferentes de troncos, susceptibles de ser empleados en la construcción de cabañas, puede recurrirse también a varios diseños diferentes de ensamblados de troncos en las esquinas.

En la figura 135 se muestran seis dibujos de las uniones de esquinas. Figuran ordenados con arreglo a dos grandes grupos: esquinas en prolongación y esquinas enrasadas.

DISEÑO DE ENSAMBLADURAS DE ESQUINA EN PROLONGACIÓN

— Entalladura encaballada: bastante sencilla de realizar con herramientas manuales. Un paso de través de medio grueso, sólo en la parte inferior de cada tronco. Buena estanquidad. No precisa clavos (figura 135 a).

— Entalladura doble: entalladuras redondas de aproximadamente un cuarto de grueso a través de la parte superior e inferior de cada tronco. Entalladura superior no estanca. No precisa clavos (figura 135 b).

— Entalladura en ángulo agudo: parte superior del tronco biselado en forma de V, parte inferior con entalladura de acoplamiento en V. Puede tallarse usando únicamente el hacha. Estanca. No precisa clavos (figura 135 c).

— Entalladura en espiga: entalladuras de asiento plano en la parte superior e inferior de cada tronco. Puede tallarse usando el hacha. Estanca. No precisa clavos. Fácil de ajustar (figura 135 d).

— Ensamblado común a cola de milano: extremos de los troncos escuadrados y ensamblados a cola de milano simple (clavada) o compuesta. Esta última, al igual que la correspondiente a troncos es-

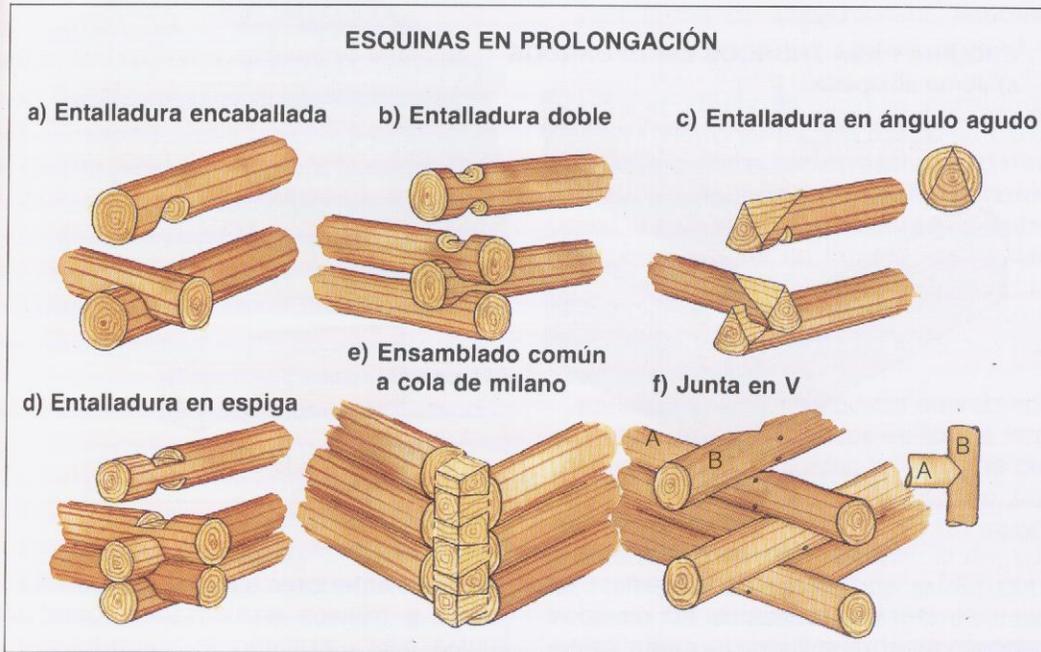


Figura 135

cuadrados, no precisa la utilización de clavos (figura 135 e).

— Esquina con juntas en V: uno de los troncos se corta a tope y su punta se talla en forma de V. El otro sobresale de la esquina y tiene una muesca de acoplamiento en V lateral. Requiere clavos. Existen variantes de la forma de la muesca, pero la muesca en V resulta la más sencilla de realizar (figura 135 f).

Unión con poste de esquina

Este tipo de unión puede ser en dos modalidades: una simple, en donde los troncos escuadrados por los extremos se ajusten contra el tronco de esquina en ángulo recto de contacto. Existe una disposición más segura e impermeable, la cual consiste en que el tronco de esquina lleve

Figura 136

DISEÑO DE ENSAMBLADURAS DE ESQUINAS ENRASADAS

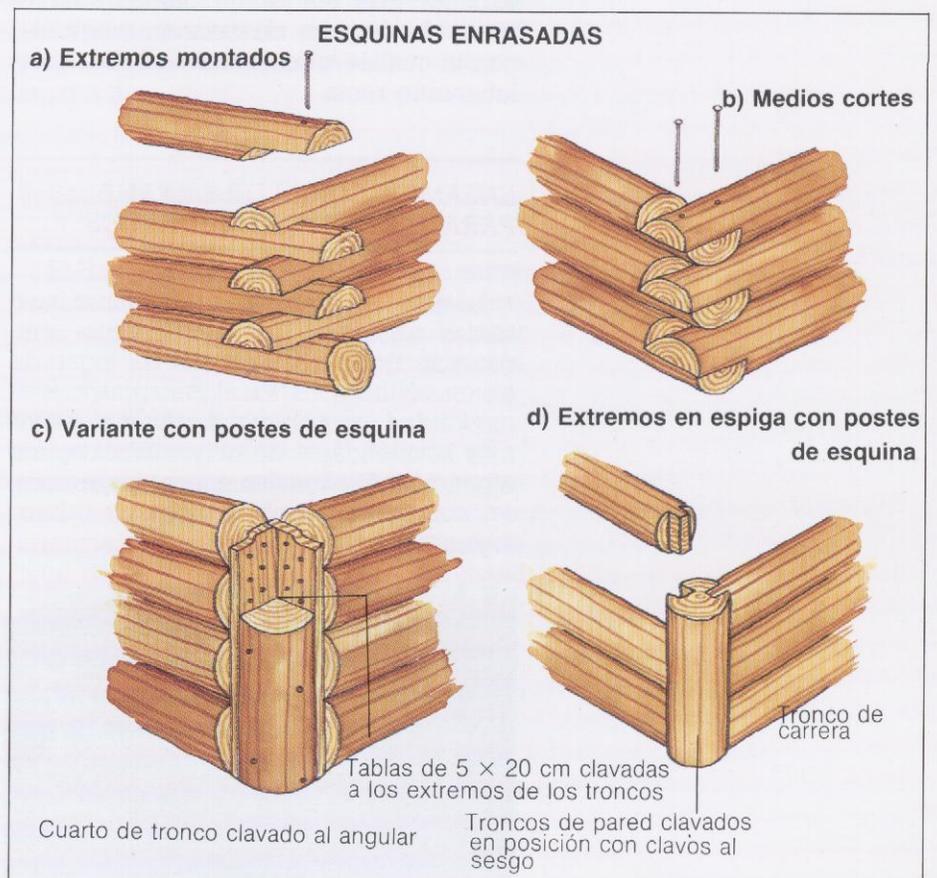
Al igual que los elementos anteriores, estas uniones se hacen a partir del tronco cilíndrico.

Entalladura de extremos montados

La entalladura es semejante a la mostrada en la entalladura encaballada, pero se practica en el extremo del tronco, para facilitar su ejecución. Este ensamblaje requiere clavos y tiene propiedades de estanquidad (figura 136 a).

Entalladura de medios cortes

Se escuadran los extremos de los troncos cortando la mitad de través para que ajusten de forma adecuada. Su fijación requiere clavos y precisa, asimismo, un importante sellado posterior en las esquinas (figura 136 b).



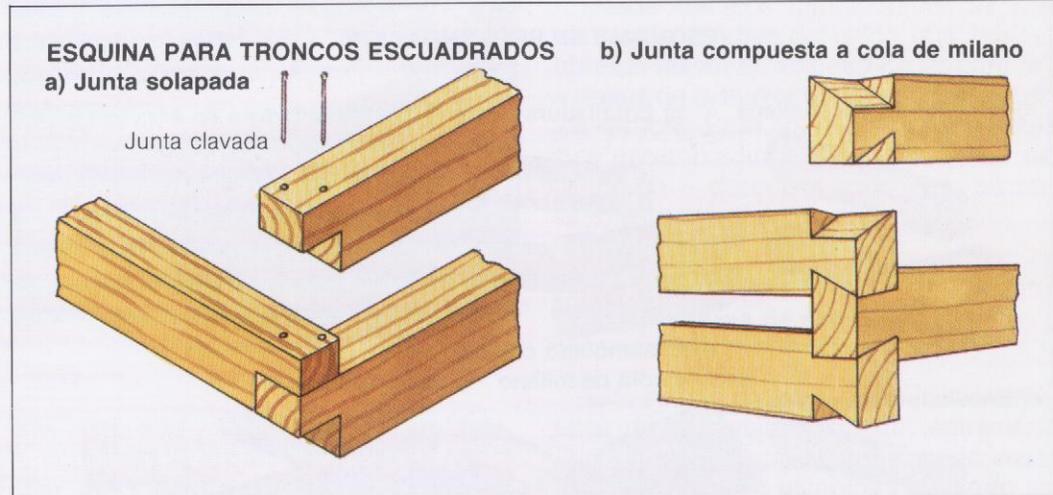


Figura 137

unas tablas que sirvan de superficie de contacto con los troncos de las paredes, generándose un sellado de mejor estanquidad (figura 136 c).

Extremos en espiga con poste de esquina

Se hace un corte en espiga en el extremo de cada tronco, de modo que se pueda hacer un acoplamiento al poste vertical por la acanaladura vertical de este último para clavar todas las piezas que en ella convergen. Puede existir una variante más elaborada que es con el poste de esquina de sección cuadrada, con lo cual se genera una esquina absolutamente recta.

ENSAMBLADURAS DE ESQUINA PARA TRONCOS ESCUADRADOS

La mayoría de las ensambladuras mostradas aquí pueden reproducirse empleando troncos aplanados en lugar de troncos cilíndricos. En algunos casos, esta modalidad contribuye a generar juntas más herméticas y de mayor facilidad de ejecución. De igual manera, las ensam-

Figura 138



bladuras anteriores también pueden aplicarse a troncos escuadrados, pero las juntas más ampliamente utilizadas para construcciones de cabañas de troncos son las que se exponen a continuación.

Entalladura escuadrada

Esta unión de esquina es equivalente a la entalladura de extremos montados (figura 136 a), ya que en este caso se convierte en una simple punta solapada. Este amarre ortogonal requiere clavos para su fijación (figura 137 a).

Ensamblado compuesto a cola de milano

Este ensamblaje constituye el máximo logro en ensambladuras de esquina, y se puede considerar como el resumen de los casos anteriormente detallados. Se han empleado en muchas cabañas antiguas con muy buenos resultados, ya que estanca el agua, traba los maderos en ambas direcciones, no precisa clavos ni grapas de ninguna especie. Su variante es el ensamblado común a cola de milano tan utilizado en ebanistería y en carpintería fina (figura 137 b).

En la figura 138 se ve la utilización de este sistema en una antigua casa noruega.

Paredes con troncos verticales

Además de las construcciones tradicionales realizadas a base de troncos cilíndricos o escuadrados, dispuestos horizontalmente, es conveniente también citar los tipos estructurales que emplean



Figura 139

Figura 140

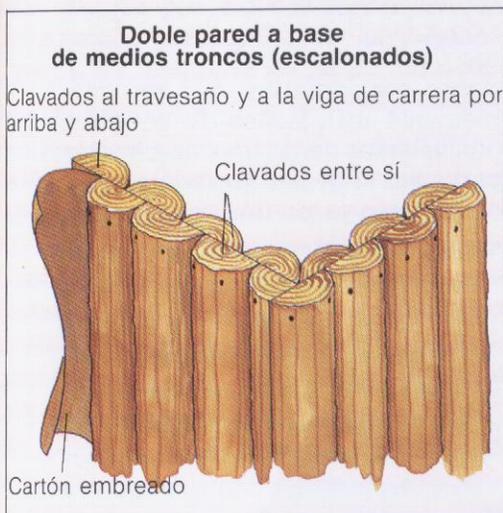
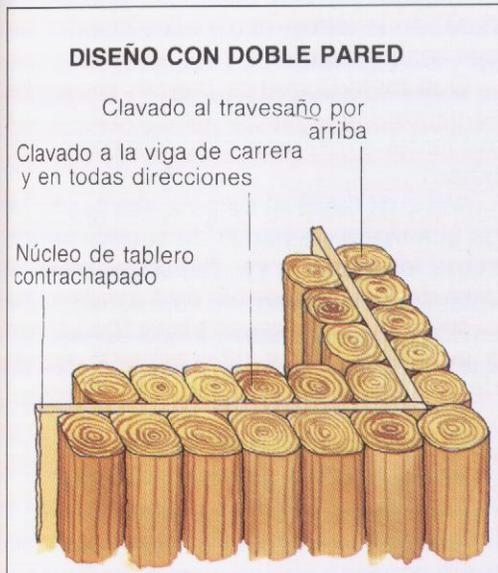


Figura 141

troncos colados en posición vertical, ya que en algunos casos dicha posición resulta más ventajosa que la horizontal (figura 139).

Las ventajas más evidentes pueden ser que su puesta en obra no precisa de ensambladuras complejas en las esquinas y permite el uso de troncos cortos que en contadas ocasiones superan los 2,50 m, lo cual representa una mayor facilidad de manejo, incluso por un solo hombre.

Esta forma de construcción, también llamada tipo estacada, puede recurrir a algunas soluciones originales a base de troncos hendidos, tal como se muestra en la figura 140, donde cada tronco se clava en posición entre los travesaños superior e inferior, para formar un diseño de doble pared en cuya alma o separación entre troncos se coloca un tablero contrachapado con propiedades resistentes a la humedad y que permite obtener una pared consistente y de buenas condiciones térmicas y acústicas.

En la figura 141 se muestra otro diseño que utiliza medios troncos en forma vertical, los cuales encierran un forro de papel fieltro mediante un claveteado por ambos lados.

Este último sistema, aunque es de más fácil y rápida colocación, tiene el inconveniente de ser menos resistente a las eventuales perforaciones de su material aislante, ya que pequeños objetos cortantes o insectos podrían romper el papel fieltro, disminuyéndose la capacidad de estanquidad del muro. Para evitar en parte esta posibilidad se colocan los medios troncos de forma alternada, tal como se muestra en la figura 141.

También se puede contribuir a una mayor hermeticidad mediante el aplanado de los bordes de los troncos hendidos, es decir, escuadrando los bordes antes de proceder al montaje de la pared. Esta solución requiere doble cantidad de elementos, pero cuenta con la ventaja de incorporar troncos de pequeño diámetro y no sacrifica el índice de aislamiento de la pared.

Sellado de juntas

El diseño en el punto de contacto entre los troncos, tanto dispuestos en forma vertical como horizontal, es una parte muy importante dentro de la construcción total, ya que la hermeticidad de un habitáculo es fundamental para su uso prolongado. Conjuntamente al sellado efectivo de juntas, en casos de mucha humedad o de lugares donde nieva con frecuencia, es necesario que la estructura total de la vivienda se separe del suelo mediante unos pilotes de madera impermeabilizados (figura 142).

A lo largo de los años se han ido perfeccionando una serie de soluciones ingeniosas y efectivas que permiten obtener juntas cada vez más herméticas.

A continuación se muestran algunas formas de sellar dichos intersticios, en paredes de troncos referidas a los diferentes sistemas de unión de los mismos.



Figura 142

**SELLADO DE JUNTAS
DE TRONCOS CILÍNDRICOS**

Los troncos sin tallar, es decir los rollizos tradicionales, precisan una forma también tradicional para su sellado, como es el calafateado. Pero es necesario decir que ninguna de estas soluciones es efectiva y segura si los troncos tratados aún están verdes, ya que al existir un ambiente mínimamente cálido, dichos troncos se contraerán, con el consiguiente desprendimiento del mortero. Por ello es aconsejable esperar hasta que la edificación esté acabada, para así darle tiempo al secado de la madera.

Los métodos son de bastante fácil comprensión, aunque es necesario decir que tanto el detalle *a* como el *b* de la figura 143 muestran juntas rellenadas primero con fibra de vidrio, estopa (una sogá de cáñamo empapada en brea) o pedazos de chilla que a continuación se recubren con tiras de renuevos, enteros o hendidos. En cambio, en el detalle *c* de la misma figura aparecen un par de variantes

más que recurren al uso de un enlucido de mortero aplicado sobre una banda de chapa metálica clavada a los troncos continuos o bien aplicada sobre juntas clavadas a medias a los troncos, cuya función es retener el mortero.

En general, es posible mejorar las juntas repelando las protuberancias más prominentes de los troncos con una motosierra en el momento de la preparación de los rollizos como material de construcción, colocando sobre caballetes los troncos que deban ocupar posiciones contiguas antes de situarlos en la pared, pasando la sierra entre ellos cuantas veces sea necesario.

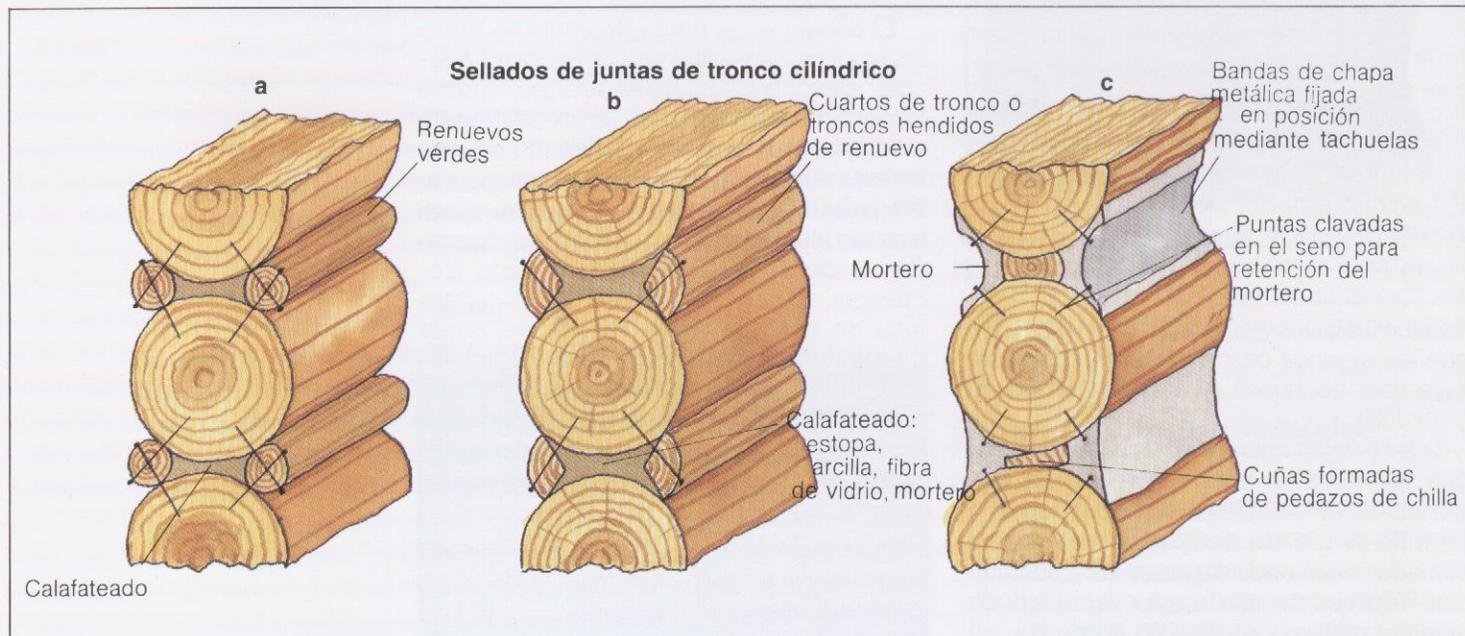
Otro método que da buenos resultados es utilizar lana mineral afirmándola contra las juntas sobre una capa de barniz pegajoso.

Sea cual fuere el sistema empleado, se da una mano de barniz de secado rápido sobre el mortero ya dispuesto, y en el caso de la lana mineral, éste ayuda a que el sellado mantenga su elasticidad frente a la contracción y dilatación de la madera, que siempre se manifestará.

**SELLADO DE JUNTAS
DE TRONCOS TALLADOS**

Existen métodos adicionales de sellado de juntas aplicables a troncos que han sido aplanados o escuadrados. Estos troncos tienen superficies planas de dimensiones considerables que resultan notablemente más fáciles de sellar que las equivalentes de los troncos cilíndricos, en particular si se han serrado planos, pues en ese caso ya tendrán por sí mismos bas-

Figura 143



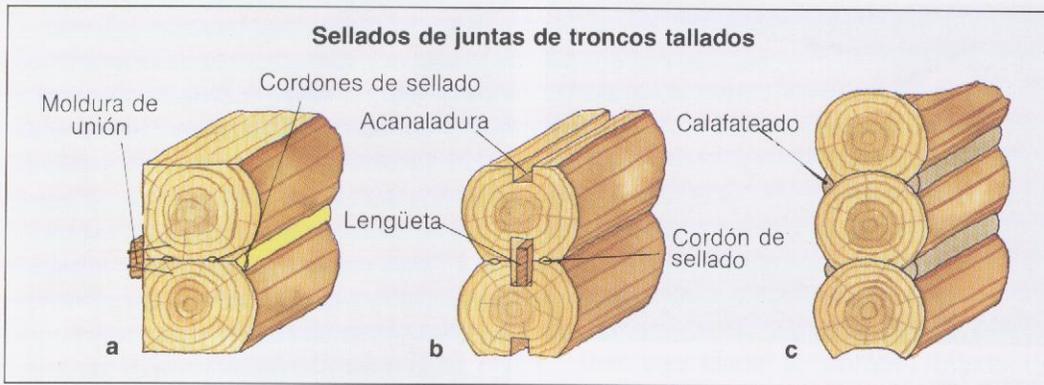


Figura 144

tante estanquidad. En los detalles *a* y *b* de la figura 144 se ven algunos de estos métodos. Consisten en un sellado simple y elástico combinado con el uso de lengüetas, latas o listones de madera. Pueden idearse otros tipos de sellado de juntas con un poco de imaginación. En el detalle *c* de la misma figura se ilustra el método de calafateado y moldurado de juntas a cuarto de bocel como una de las posibles soluciones para sellar los troncos con superficie cóncava labrada.

Los cordones elásticos de espuma de plásticos dan excelentes resultados para el sellado entre troncos y pueden graparse fácilmente a la superficie superior de los troncos a medida que se levantan las paredes, con lo cual después quedarán ocultos a la vista. Este tipo de sellado se emplea con frecuencia en las construcciones preparadas en *kit* y tiene la virtud de mantener las juntas herméticas al aire, incluso cuando se produce retracción en los troncos, siempre y cuando los resquicios que aparezcan entre ellos no excedan el grueso del cordón (13 cm aproximadamente).

Si en el sellado se usa mortero o alguna argamasa basada en el cemento, especialmente si es cemento plástico, puede amasarse a mano o adquirirse ya preparado. El mortero necesitará arena limpia y mezclado debe contener aproximadamente una parte de mortero de cemento por cada tres de arena y el agua suficiente para obtener una mezcla pastosa y de fácil aplicación.

Con respecto a la aplicación del mortero, éste debe extenderse en seguida con ayuda de una paleta de acero, pero no conviene que cuelgue de la junta al aplicarlo.

La mezcla puede amasarse en cantidades considerables en una carretilla de acero con una azada y una pala de mango corto. Si se amasa una cantidad mayor que ésta, el mortero deberá ser aplicado por más de un hombre, ya que el fraguado no daría tiempo para una aplicación más lenta.

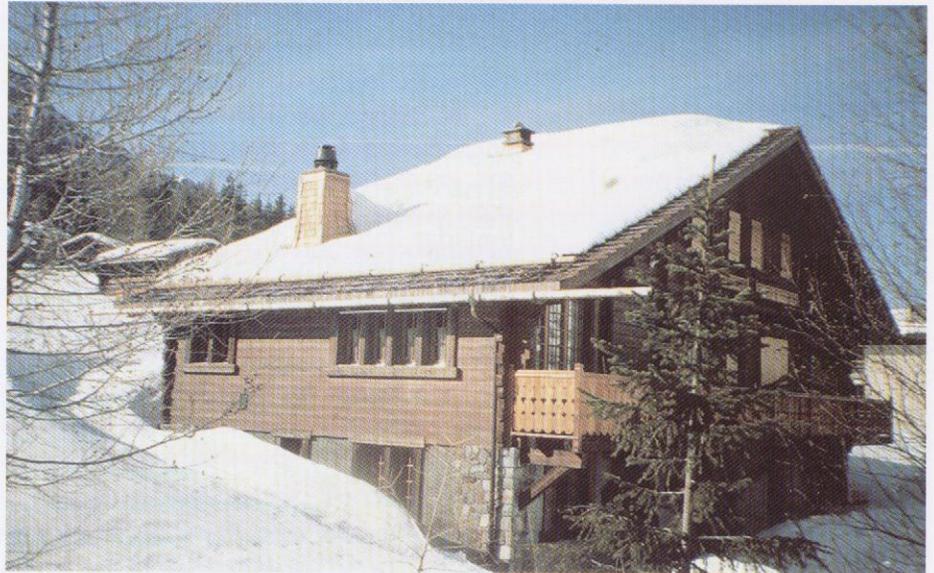


Figura 145

Casas de madera en *kit*

Las casas en *kit* resultan muy atractivas para quien gusta del aspecto rústico de la construcción a base de troncos (figura 145). Las casas fabricadas con este sistema están hechas realmente de troncos partiendo de cero, pero ofrecen la ventaja de un montaje mucho más rápido, ya que los troncos se entregan descortezados, curados y precortados para su ensamblaje sin necesidad de ulteriores trabajos de ajuste. Estos *kits* o paquetes para armar permiten un ahorro sustancial en los costos, en relación con la construcción convencional, siempre y cuando el propietario esté dispuesto a efectuar por sí mismo parte o la totalidad del montaje de la casa.

Las casas en *kit* ofrecen a cualquier persona que tenga ciertos conocimientos básicos en construcción de madera la posibilidad de edificar con sus propios medios. Este método de abordar la construcción de la propia vivienda en los momentos de tiempo libre constituye un importante argumento de la comercialización de este sistema.



Figura 146

ENSAMBLADURAS Y SISTEMAS DE UNIÓN

Las configuraciones más ampliamente utilizadas para las casas de madera en *kit* son los troncos aplanados al menos por dos caras con diversos tipos de juntas patentadas, tanto las de unión entre troncos como las ensambladuras de esquina. Por lo general los troncos vienen a tener entre 10 y 20 cm de canto, es decir, sobre la base, y de 10 a 30 cm de grueso, de frente a fondo. Algunas piezas son aplanadas por tres caras, conservando tan sólo una cara al exterior que mantenga su cara menos labrada para dar al total de la edificación un aspecto rústico, y al menos uno de los tipos es plano únicamente por las caras superior e inferior. Todos los tipos recurren invariablemente a uniones del tipo machihembrado o de ranura y lengüeta, para de esta manera conseguir un adecuado grado de estanquidad, y en consecuencia una buena resistencia a la intemperie. En la *figura 146* se puede apreciar el encuentro de una esquina del sistema *kit*, que garantiza la hermeticidad del sistema por su doble espiga de unión montante.

En la mayoría de las uniones se emplea la junta en espiga para las esquinas, existiendo en algunos casos determinados una entalladura encaballada que utiliza una de las uniones llamada entalladura en espiga.

Dado que todos los troncos son uniformes, la hilera de troncos que conforman una pared se suceden a nivel. Las juntas entre troncos están pensadas para que puedan sellarse a medida que se van levantando los paramentos. Como en el caso de las paredes de entramado lleno, explicadas en el apartado anterior, se emplearán diversos sistemas de sellado tan efectivos como el que permita equiparar el grado de confortabilidad de este tipo de construcciones con la de entramado abierto, especialmente en los interiores de casas unifamiliares. No parece existir una superioridad manifiesta de una



Figura 148

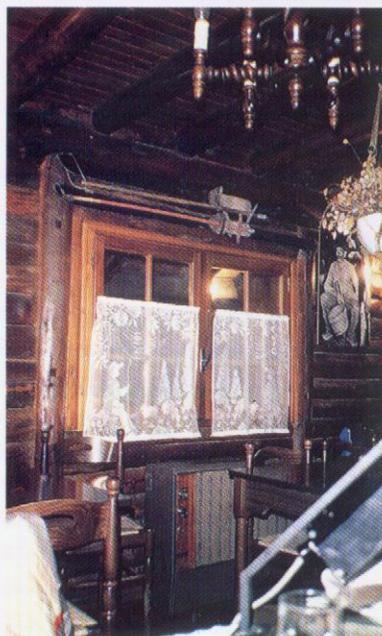
configuración de tronco, de una ensambladura de esquina o de una junta entre troncos sobre las demás. La lengüeta móvil, en lugar del diseño a base de junta machihembrada, puede hacer más fácil el ajuste en el caso que represente cierto alabeo en algún tronco, y el sistema de sellado a base de espuma plástica elimina los problemas de retracción y agrietado, comunes a la mayor parte de los materiales de calafateado, y es más fácil de disimular (*figura 147*).

PROTECCIÓN DE LAS PIEZAS

En todos los casos los troncos se utilizan descortezados, algunos de ellos manualmente y otros a máquina. De ordinario los troncos se tratan con modernos productos de protección, cuyo ingrediente activo suele ser el pentaclorofenol.

En las casas de troncos en *kit* se emplean diversas clases de madera, tales como el cedro blanco, el pino canadiense, el pino rojo, la picea, el álamo amarillo y el pino de Banks. El tratamiento de protección se aplica generalmente sumergiendo los troncos en el líquido protector. El grado de protección que ofrece este sistema es bastante variable y depende del grado de inmersión y del contenido de humedad del propio tronco. Es recomendable volver a aplicar sustancias contra los parásitos e insectos xilófagos después de cinco años de la última aplicación o armado de la vivienda.

Figura 147



A continuación se darán algunos datos básicos y generales acerca de las diferentes etapas de la construcción de una casa prefabricada mediante el sistema *kit*. No se seguirá una descripción exhaustiva de todos los pasos ni tampoco un orden correlativo dentro del proceso de edificación, ya que sólo se pretende dar una idea del potencial y versatilidad de esta manera de armar un espacio habitable que pueda reunir todas las mínimas exigencias que requiere un hogar mediante, por ejemplo, la combinación de colores y la posibilidad de aplicar diversos materiales de revestimiento en interiores (figura 148).

Cimentación y vigas de carrera

Una vez que se ha procedido a la preparación del terreno mediante excavaciones y se haya conseguido traer hasta el emplazamiento el suministro provisional de energía eléctrica, puede empezarse a construir la cimentación para la casa en *kit*. Si el proyecto exige una cimentación a base de pilotes, se tendrán que adaptar las vigas maestras, ya que la mayoría de los modelos en madera *kit* presuponen que se construirá sobre una cimentación continua para las paredes. El procedimiento para cimentación a base de pilotes tendrá que prever jácenas que unan las cabezas de los pilares por debajo de las vigas de carrera. También se puede utilizar el sistema de fundaciones sobre un cimiento y sobrecimiento de muro continuo sobre el cual se irán disponiendo las piezas, vigas de muro (figura 149).

Por lo general, los *kits* no incluyen las viguetas de forjado correspondientes a la primera planta, por lo que la opción más inmediata consiste en recurrir a vigas de carrera y viguetas de forjado hechas a partir de madera de construcción de dimensiones normalizadas.

Montaje de paredes

Una vez instalado el recubrimiento a base del pavimento sobre las viguetas de forjado podrá procederse a levantar las paredes de troncos. Para imprimir mayor velocidad a la madera de la obra le resultará práctico al instalador reunir previamente los troncos de varias hiladas y apilarlos sobre la superficie nivelada don-

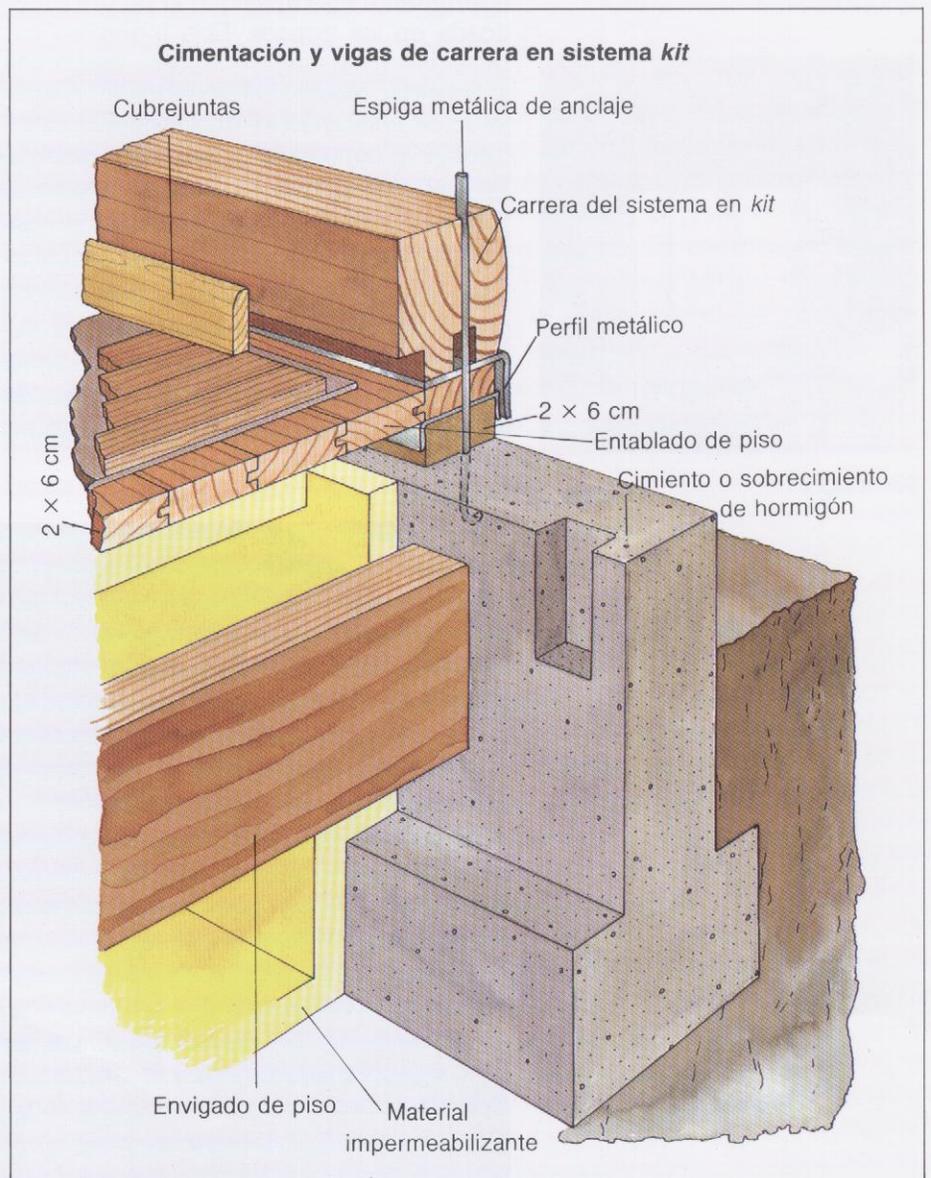
de habrá que construir el piso de la casa, lugar en el que estarán más a mano y podrán manipularse y moverse sin que se dañen o ensucien. En primer lugar se coloca toda la hilera inicial de troncos intercalando el correspondiente material de sellado y las lengüetas, en el caso de que las haya. A continuación se sitúan los marcos de puerta en posición vertical y se apuntalan mediante tornapuntas clavados con tachuelas sobre el recubrimiento de forjado.

Una vez fijada la primera hilada de troncos, se colocarán las sucesivas de la misma manera.

Puertas y ventanas

Las unidades de puertas y ventanas (marcos y hojas) se van colocando en las paredes en la medida que éstas van completándose. De este modo es posible integrar las lengüetas y las bandas sella-

Figura 149



Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5



Figura 150

doras con las testas de los troncos. En la *figura 150* se muestra la disposición de acoplamiento de un marco de puerta o ventana, análogo al que se emplea en la fabricación de casas de troncos o trozos precortados, que se verán en un apartado posterior.

Algunos sistemas incorporan lengüetas ligeramente más finas que la ranura practicada en los troncos. Esta ingeniosa característica permite lograr pequeños ajustes dimensionales que facilitan y mejoran la estanquidad de las juntas entre troncos y conseguir mayor precisión en las medidas totales. La dimensión vertical de las puertas y ventanas es, de ordinario, ligeramente más pequeña que la abertura correspondiente, quedando cierta holgura entre la parte superior y el trono del dintel, lo cual tiene como razón de ser el hecho de que los troncos de la pared se puedan retraer sin que el peso de las hiladas cargue sobre los marcos.

Figura 151



Viguetas de forjado

Una vez levantadas las paredes hasta la altura del techo, la última de éstas tendrá preparada una ranura para la colocación de las viguetas de forjado de la segunda planta o para los cuchillos si se trata de un *kit* cuya armadura de cubierta vaya a quedar a la vista.

En este punto es donde las viguetas de forjado del segundo piso se incorporan a los cuchillos de la cubierta, según los casos. En general las viguetas se apoyan sobre las dos exteriores y sobre una o más vigas maestras, las cuales llevarán talladas las correspondientes espigas para su encaje en la pared de troncos.

Todos los detalles concernientes a la colocación de hastiales, cabrios y tejados no se explicitarán por ser, en términos generales, una prolongación de los procedimientos anteriormente descritos, siendo la techumbre por lo general una cubierta de entramados muy similar a la que se utiliza en las construcciones de casas de madera corrientes, tal como se ve en la *figura 151*.

Casas de madera en tacos

Este sistema de prefabricación viene a ser el proceso de construcción evolucionado del sistema anteriormente explicado, ya que, mediante piezas escuadradas de reducido tamaño con un sistema de perfil, permite lograr una buena estan-



Figura 152

quidad y gran absorción de los movimientos dimensionales propios de la madera. En la *figura 152* se ve cómo este sistema de tacos, en la unión de las esquinas, utiliza procedimientos similares al aplicado (aunque menos rústico) en los encuentros angulares de las casas de madera *kit*.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA EN TACOS

A continuación se detallan las principales propiedades y características de este proceso de construcción:

— Tratamiento químico protector mediante hidrofugantes, fungicidas y antitermitas antes de la puesta en obra.

— Absorción de los movimientos de la madera, por su descomposición en piezas de dimensiones reducidas, tal como puede apreciarse en el detalle de pared de la *figura 153*.

— Ensamblaje de piezas mediante dobles machihembrados en todas las caras, lo cual confiere a las uniones una doble trabazón, generándose unas paredes robustas.

— Una simple yuxtaposición de piezas para el montaje, con sellado del ensamblaje entre ellas, mediante colas adhesivas y elásticas. Esta propiedad permite que en muchos casos pueda efectuarse la autoconstrucción de toda la armazón que haya que habitar.



Figura 153



Figura 154

— Versatilidad en el diseño de construcciones y posibilidad de ampliaciones posteriores, debido a la continuidad estructural de la pared.

— Aislamiento térmico, que es cinco veces más aislante que el cemento y siete veces más que la tierra cocida. Las propiedades acústicas son buenas debido a las propiedades físicas de la estructura orgánica de la madera. De ello se desprende la posibilidad de lograr interiores absolutamente confortables y sin puentes térmicos entre el interior y el exterior (*figura 154*).

— Un buen aprovechamiento del espacio interior (del 5 al 20%), a igualdad de superficie construida, por el menor grosor de muros (12-15 cm).

— Se constituye una obra seca al no intervenir ni morteros ni enyesados, con lo cual la edificación es de habitabilidad inmediata.

Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5



Figura 155

— Con respecto a los acabados, se puede obtener una pared terminada con la calidad y la belleza propias de la madera barnizada por ambas caras, por lo que se hace innecesaria la utilización de terminaciones adicionales tales como el revoque, pinturas y empapelados.

— Una total comportabilidad del sistema en tacos con los materiales propios de las instalaciones de cocinas y baños (figura 155).

Figura 156



— Ligereza y elasticidad de la construcción con lo que respecta a la economía de cimentación, aprovechamiento de terrenos con poca capacidad portante o fuertes pendientes. También existe la posibilidad de la fabricación en taller y el transporte de una casa ya terminada.

— Excelente comportamiento frente a movimientos telúricos.

— Con respecto a la durabilidad, se cuenta con madera maciza tratada con excelente comportamiento a lo largo del tiempo sin los problemas de fisuras y condensación o penetración de humedad tan propios de la albañilería y del hormigón.

— Es importante destacar que el grado de terminación interior hace compatible la fácil adecuación de muebles, repisas y revestimientos.

ENTRAMADO ABIERTO

En términos generales, tenemos que el desarrollo de los entramados abiertos dentro del campo de la construcción en madera es el que más avances y difusión ha tenido en el mundo de la edificación desde sus inicios hasta nuestros días.

En una casa se trata de organizar un entramado estructural de madera, por lo general de especies no resinosas, que posteriormente se recubre mediante un enlistonado, entablado o sistemas análogos. Dichas piezas se suelen prefabricar, para luego efectuar el montaje de las mismas *in situ* por zonas o sectores ya constituidos por la trama.

En la figura 156 se puede apreciar, a modo de ejemplo, una trama vertical a punto de ser revestida para constituirse en muros perimetrales.

Históricamente, el más alto grado de perfeccionamiento de esta forma de construir se alcanzó en los países del norte de Europa occidental, constituyendo el fundamento de los sistemas *balloon* y otros que se desarrollaron en Norteamérica y Escandinavia.

Dentro de esta evolución histórica es importante destacar, como ejemplo, el desarrollo que, en el centro de Europa, tuvo la construcción de madera, con estilos que se fueron perfilando hasta convertirse en tipologías arquitectónicas.

Los tipos de viviendas rurales de madera del centro de Europa

La tradicional casa rural del centro de Europa la podemos identificar con uno de sus principales exponentes como es el

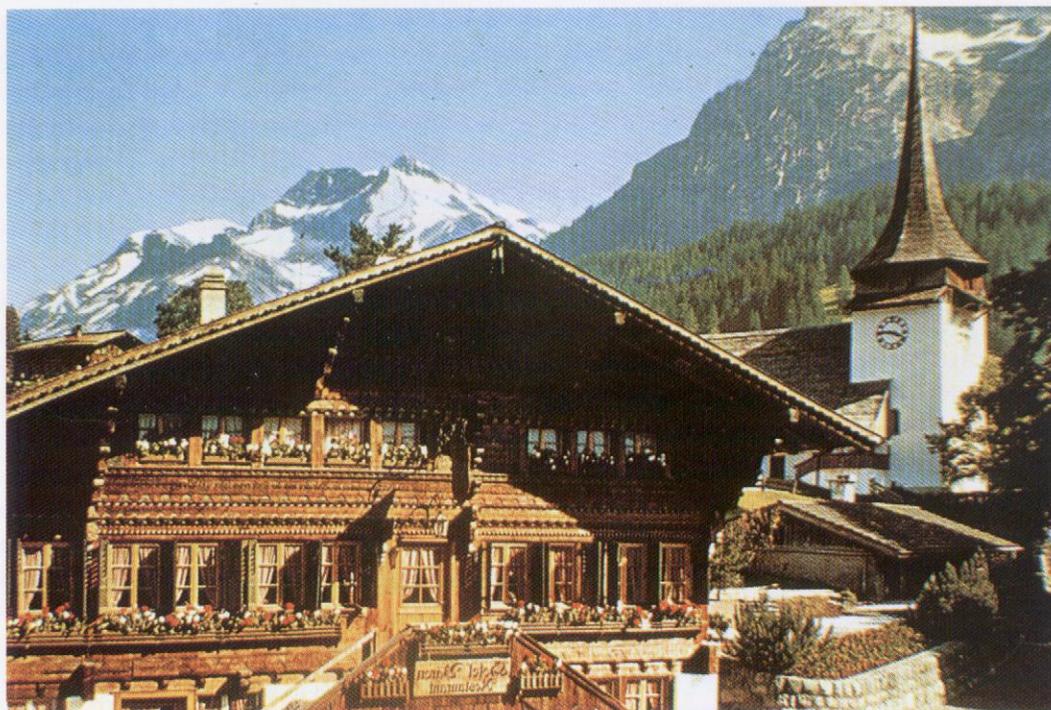


Figura 157

chalé suizo, cuyo desarrollo en técnicas constructivas de madera se fue definiendo en cada uno de los cantones que constituyen desde hace 700 años la Confederación Helvética.

Aparte la posible referencia a las edificaciones suizas, para la mayoría de la gente hablar de chalé suizo supone irremediablemente la visión de multitud de casas unifamiliares —por lo general segundas residencias fuera de los cascos urbanos— con tejados a dos vertientes, gran alero rozando el suelo, balconcitos, profusión de madera, y rodeados de jardines o galerías floreadas (figura 157).

El propio Diccionario de la Real Academia Española define la palabra chalé como la casa de madera y tabique a estilo suizo. En realidad, en Suiza se utiliza escasamente el término chalé. Pero, además, allí chalé suizo, entendido como típica casa rural, no responde a un solo tipo de construcción, sino a muchos, en función de las diferentes características de las regiones y cantones que forman la Confederación.

De este modo, en el cantón de Zurich, por ejemplo, es habitual encontrar casas con una estructura vista de postes y vigas de madera rellena con mampostería, un sistema constructivo condicionado por los bosques caducos del entorno.

En el cantón de Appenzell, al noroeste, se presentan construcciones totalmente de madera, considerablemente apaisadas, donde vivienda y establos quedan unidos y alineados, diferenciándose por el cambio de sentido de las cubiertas, y por las ristas de pequeñas ventanas en

la fachada de la primera (figura 158). En las zonas de alta montaña de la región de Berna, las viviendas destacan por sus fachadas de madera con las cenefas talladas que recorren todo el largo de la casa por encima y debajo de las ventanas, con una planta por lo general cuadrada. En muchos de los valles alpinos sorprenden conjuntos de pequeñas construcciones de madera, que responden a una división de la propiedad, para que en caso de aludes el resto no fuera afectado. Junto a la sencillez general, también se encuentran ejemplares de contenida ostentuosidad. Un tipo de construcción muy común en la zona central de Berna son las granjas de inspiración barroca, coloreadas de gris

Figura 158

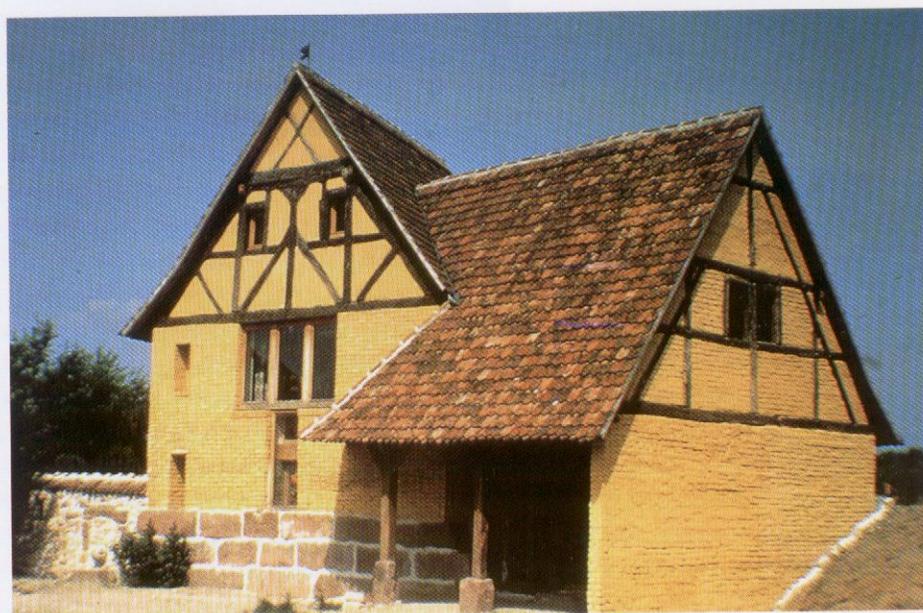




Figura 159

para emular las edificaciones de piedra de las ciudades, con decoraciones pintadas en las fachadas bajo una cubierta con alero que desafía las leyes de la gravedad, en las que quedaban alojados establos, graneros y vivienda.

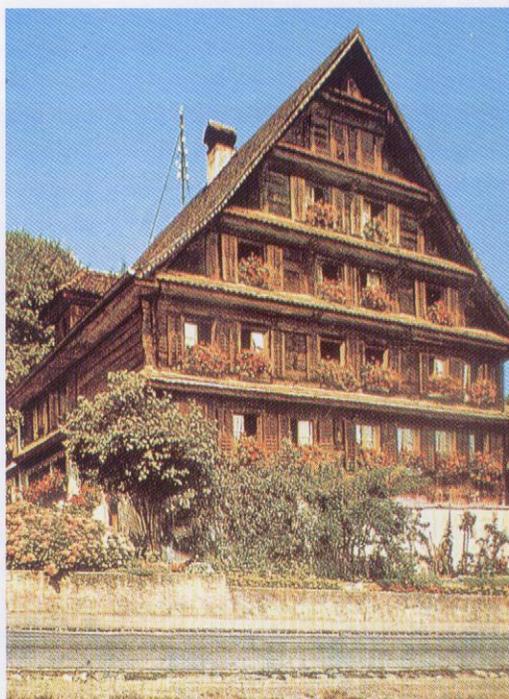
Espectaculares aparecen las casas de techumbre de paja en forma de tienda de campaña, propias de la zona central de baja montaña, donde la cubierta es soportada por tres poderosos pilares. Estos suaves y mullidos tejados comenzaron a desaparecer hace unas décadas ante estrictas normas de seguridad (figura 159).

Por su parte, las formas arquitectónicas en la parte suiza de habla francesa se encuentran influidas por el país vecino. La

prosperidad de la zona a finales del siglo XVIII dio como resultado magníficas granjas con exteriores de piedra, aunque la madera se utilizase en los interiores hasta principios del siglo XIX.

Seguramente es el cantón de Obwalden, región situada en el centro de los Alpes y conocida como la cuna de la Confederación, donde se hallan las edificaciones que mejor se corresponden con la imagen que se tiene de una casa suiza y, por lo tanto, prototipo del mundialmente aplicado chalé. Casas de madera con base de mampostería y tejado a dos vertientes más o menos pronunciadas. Puertas de entrada laterales y elevadas. Balcones corridos a lo largo de fachadas laterales, protegidos por aleros. Fachadas salpicadas de pequeñas ventanas ordenadas alineadamente, carpinterías cuadrículadas y porticones (figura 160). Todas estas características son compartidas en mayor o en menor medida por otras tipologías desarrolladas a partir del chalé suizo, y que hoy en día se aplican en diversos lugares donde se construyen viviendas de madera.

Figura 160



Tradición constructiva del entramado abierto

Así como señalamos a Suiza como un centro de difusión estilística en algunas de las tipologías utilizadas actualmente a través del modelo arquitectónico de chalé, también es necesario pensar en el Reino Unido como referencia para ver la tradición constructiva de madera en los demás países occidentales. Esto se debe a que la calidad, antigüedad y variedad de edificios que se han conservado hasta

la actualidad dan testimonio de la importancia de la madera como material de construcción.

En el Reino Unido se forjó esta tradición constructiva en el período anglosajón, de difícil delimitación cronológica. Lo que sí es cierto es que en torno al siglo X las magníficas edificaciones de madera en Inglaterra no tenían rivales en ningún lugar de Europa ni probablemente en ningún lugar del planeta, con excepción de la historia china y nipona, que indudablemente tienen una tradición milenaria.

Las luchas internas, cada vez más frecuentes, que precedieron a la invasión romana impulsaron la evolución de los modelos arquitectónicos hacia formas cada vez más complejas y ricas en variedad de elementos estructurales y arquitectónicos.

El estudio de los restos arqueológicos es el único medio viable para determinar las proporciones y el carácter de los edificios de madera del período posromano. Las denominadas casas largas (*long house*) y los pabellones de los acaudalados terratenientes dan una idea de la arquitectura prenormanda. Por ejemplo, los pabellones a los que hacemos referencia solían estar constituidos por un amplio espacio central y su perímetro quedaba completado por naves laterales, cuyas paredes estaban constituidas a base de maderos verticales escuadrados, embebidos directamente en una zanja de cimentación, no existiendo carreras, durmientes ni otros elementos horizontales de madera a nivel de terreno, ya que dichos elementos fueron introducidos en Inglaterra por los anglosajones. En la *figura 161* se ve un ejemplo de la construcción en ensamble de los primeros elementos horizontales entre los pilares de muro y el suelo.

La cultura bizantina llegaría a las Islas Británicas con la conquista normanda; sin embargo, el estilo de las construcciones de madera locales se mantendrá fiel a la tradición europea.

A partir del siglo XII el carpintero se vio obligado a la elaboración y cubrición de grandes luces aplicadas a las construcciones de piedra, tales como castillos e iglesias, que ya hacían notar su verticalidad gótica.

El carpintero volvería a conseguir una situación reconocida en el siglo XIV, cuando una incipiente clase media comenzaba a conformarse como una clase social. Dicho estrato social no podía darse el lujo de edificar con piedra, por lo que poco a poco se iría elaborando una arquitectura en madera propia de esta clase, emprendiéndose un amplio programa de edificación, en el que el artesanado local fue

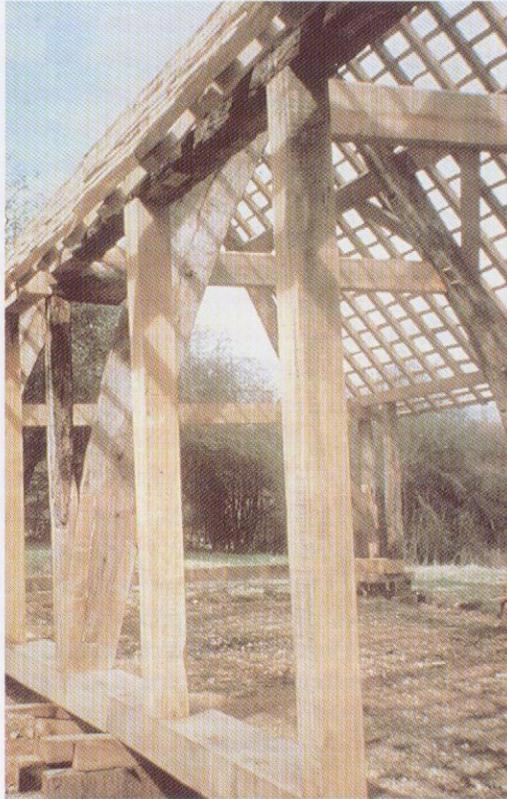


Figura 161

puesto a prueba hasta el límite de su capacidad técnica, al exigírsele la emulación de las imponentes edificaciones en piedra de los grandes señores, más una decoración digna de su condición social emergente (*figura 162*).

Figura 162





Figura 163

Frente a este desafío, los carpinteros elaboraron métodos de atado y arriostramiento, especialmente de los elementos de cubierta, de forma que también contribuyeran a la rigidización del empanelado inferior, cuya resistencia era considerada más baja que la de edificios construidos con piedra. Las diferentes versiones de los empalmes y juntas en cola de milano producidas en este período son, probablemente, las mejores que se hayan diseñado jamás en su género, siendo utilizadas para solucionar diversos problemas de rigidización y de arriostramiento (figura 163).

Entre estos, uno de los encuentros más practicados fue el de los pies derechos de la estructura inferior con la de la cubierta. En estos puntos se formarían cer-

chas o armaduras para atar los pares y permitir sobre ellos el apoyo de correas y vigas que salvaran la luz entre aquéllas y que, a su vez, sirvieran de apoyo a los cabios. Estos se disponían de dos en dos, uniéndolos en el extremo superior y atándolos mutuamente hacia la mitad de su longitud, mediante un falso tirante. En la figura 164 puede verse una variante de falso tirante que dispone una pieza curva que cumple la misma función, es decir, recibir el esfuerzo de flexión al cual está sometido el tirante y que es transmitido por medio del pendolar al falso tirante.

Las viguetas de piso eran colocadas normalmente de plano, circunstancia que, unida a la costumbre de dejar volados los extremos de las mismas, conformarían uno de los rasgos característicos de la arquitectura Tudor: los cuerpos en voladizo (figura 165). Esta técnica constituye el antecedente del sistema constructivo llamado hoy *platform framing*, que consiste básicamente en la estructuración independiente de cada planta sobre el armazón de la anterior. Volando ciertos sectores del edificio y manteniendo otros sectores en rasante con respecto al perímetro del primer piso, se obtuvo una gran cantidad de tipos en el tratamiento volumétrico que se le quería imprimir a cada edificación.

De la Europa de los siglos xv y xvi, al igual que hoy en día, los edificios de mayor altura se construían en el centro de las ciudades, cuyas estructuras de planta baja estaban usualmente destinadas a los recintos comerciales, mientras que los usuarios vivían en los pisos superiores. Es

Figura 164





Figura 165

importante dejar en claro que no llegó a consolidarse una tipología formal dependiente del uso previsto, por lo que edificaciones destinadas a escuelas, comercio y lugares de reunión mantuvieron una apariencia similar. No obstante, la posada destaca por llegar a tener características de caballeriza, con lo cual se hicieron típicos los arcos y patios interiores. También es común encontrar posadas cuyo primer piso está absolutamente reservado a las caballerizas, constituyéndose la arquitectura de estilo como tal desde el segundo piso hacia arriba (*figura 166*).

El medio rural ofrece una mayor variedad tipológica a través de los caserones y mansiones construidos en los siglos XVI y XVII, incorporándose como elemento de singularidad arquitectónica las grandes escaleras y las chimeneas. Y es aquí donde la utilización de la madera como material fundamental, no solamente en el Reino Unido sino también en toda Europa, empieza a declinar, ya sea por una mayor utilización del ladrillo o por la paulatina escasez de madera en aquellos lugares en los que tradicionalmente era muy abundante.

Figura 166





Figura 167

Casas de armazón o entramado de madera (generalidades)

Se denomina casas de estructura de armazón a las construcciones en lienzos de madera donde los vacíos son rellenos por una albañilería ligera de ladrillos o de yeso, por adobe o tapial. Cuando a principios de siglo se hablaba de casas de madera se aludía a las construcciones de estructura de entramado. Posteriormente, esta denominación de estructura de entramado se ha ido limitando en general a las construcciones en las cuales la madera que constituía el elemento principal de la estructura quedaba en estado aparente o visto. Las construcciones de en-

Figura 169

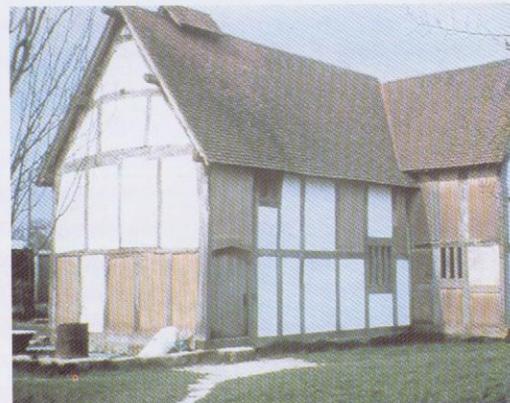
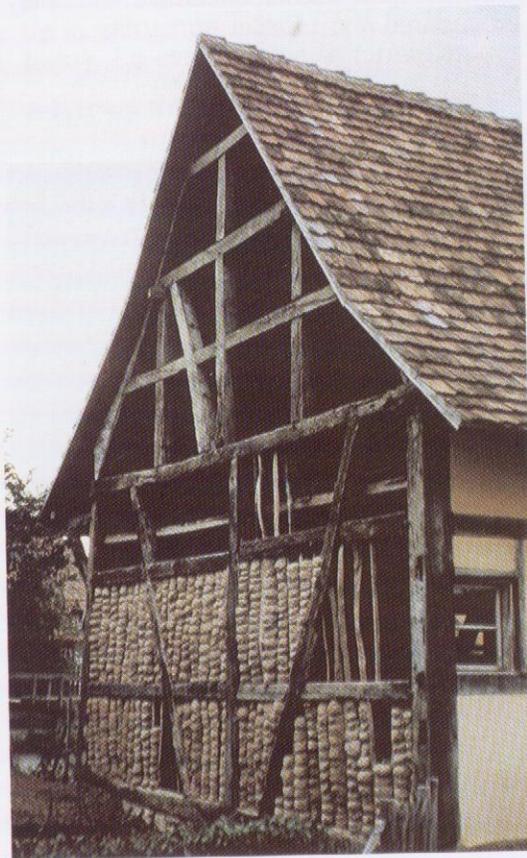


Figura 168

tramado de madera se clasifican en dos categorías: casas de entramado visto, caracterizadas por los tipos de casos normandos y alsacianos entre otros, y casas con el entramado oculto o llamadas también de estructura o esqueleto de madera, que en la actualidad son las más numerosas. Este tipo conlleva un revestimiento interior y exterior y no se distingue visualmente de otras construcciones de albañilería.

Las casas contemporáneas de entramado son una actualización muy mejorada de la casa antigua del mismo tipo, teniendo en cuenta las exigencias actuales de bienestar. Es muy importante subrayar que los edificios de entramado de hoy en día no son construcciones provisionales, sino que se construyen con la misma esperanza de vida que las casas de piedra o albañilería. A título de definición, las casas de estructura de entramado de madera son unas construcciones cuyas funciones portantes son asumidas por los elementos de la estructura, que son de madera o de materiales derivados de la misma. Estos elementos estructurales absorben todos los esfuerzos aplicados al edificio: cargas perimetrales, esfuerzos eólicos, esfuerzos horizontales y los transmiten a las cimentaciones. Las funciones de separación y de cercamiento pueden ser realizadas con madera, pero también con otro tipo de material.

**CONSTRUCCIONES
DE ENTRAMADO VISTO**

Este tipo de estructura (*figura 167*) ha sido muy utilizada en Europa, puesto que en su momento fue muy económica. Los elementos estructurales quedan vistos y los espacios libres entre ellos se rellenan de un material entre los cuales cabe citar: el adobe o tapial de paja y arcilla (*figura 168*), las tejas planas, los ladrillos, la mampostería y la madera (*figura 169*). Las for-

mas de los paramentos varían según sean las regiones y las épocas. Sin embargo, se distinguen dos formas de construcción a partir de los lienzos de fachada.

La construcción por elementos de un piso (elementos cortos)

Los elementos de la estructura de un solo piso quedan ensamblados con el piso inferior. En efecto, los pisos descansan los unos sobre los otros de manera independiente. Este sistema permite, por consiguiente, el empleo de maderas cortas y las fachadas pueden estar en voladizo. En contrapartida, se necesita una altura de forjado envigado considerable entre los dos pisos. Gracias a esta técnica se ha logrado construir edificios de varios pisos (*figura 170*).

La construcción para fachadas completas (elementos largos)

Este procedimiento se ha utilizado en edificaciones de dos pisos, como máximo, permitiendo un grueso de forjado más reducido.

Los pies derechos de esquina son de una sola pieza y ascienden desde el suelo a la cubierta (*figura 171*).

Las vigas maestras se unen a los pies derechos por medio de ensambladuras de espiga pasante, que no aparece vista en la fachada.

Los inconvenientes de las maderas largas son las importantes escuadrías necesarias por la estructura. La evolución de este sistema constructivo, a base de pies derechos continuos, ha dado origen a la construcción de modernos edificios de esqueleto de madera. Mediante este sistema de columnas portantes de madera unidas a base de caja y espiga o clavijas, los carpinteros, que de esta forma daban testimonio de su calidad profesional, construían en un tiempo récord el esqueleto de una casa.

Desde finales de la Edad Media, en las ciudades se edifican casas de varios pisos. El entramado es, con gran diferencia, el sistema de construcción más utilizado en razón de las amplias posibilidades arquitectónicas que ofrece y de su interés económico.

El método más antiguo es el de elementos largos o casas de columnas, que utiliza los pies derechos de esquina de una sola pieza, a los cuales se ensamblan las piezas horizontales por medio de una espiga reforzada.



Figura 170

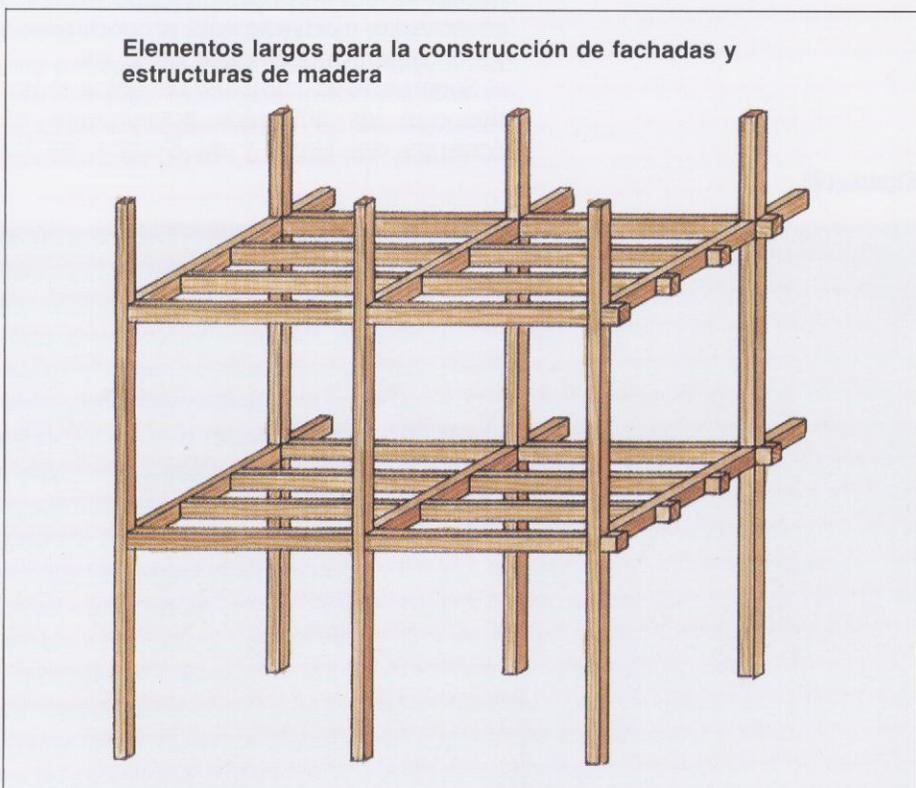
Este método presenta el inconveniente de su peso; además necesita troncos sólidos y rectilíneos de 7 a 10 m de longitud; asimismo es bastante difícil ensamblar correctamente las largas piezas horizontales (soleras) con los pies derechos. De este modo, y debido a razones de dificultad técnica de montaje, dichas casas son poco adaptables a las callejuelas, que por lo general eran estrechas.

Finalmente, el sistema no permite la construcción en voladizo, tan práctica en los pueblos donde los terrenos de construcción son de nivel irregular o en donde es necesario construir en altura en varios niveles.

Hacia la mitad del siglo XVI se adopta el método llamado de elementos cortos, en el cual los pies derechos de esquina no tienen más que una altura de piso, por tanto su longitud es interrumpida por las

Estructuras de madera para la edificación

Figura 171



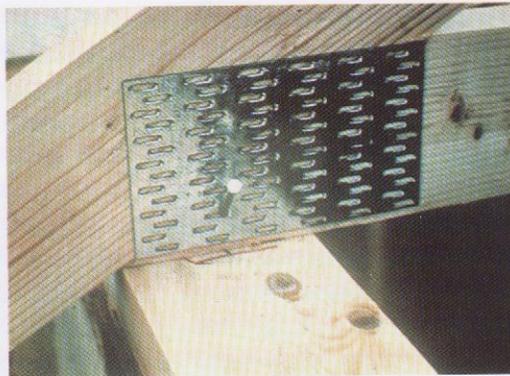


Figura 172

soleras con las cuales se ensamblan a media madera.

La ventaja innegable de este procedimiento unida a su ligereza y solidez está incrementada por los lienzos verticales y horizontales, que, estrechamente imbricados los unos dentro de los otros, transforman el entramado en un conjunto rígido.

Esta técnica de elementos cortos presenta la ventaja de utilizar piezas menos rectilíneas, lo cual es beneficioso en las regiones de plantaciones de frondosas (roble, castaño), donde se pueden emplear maderas escuadradas y trabajadas con la azuela, provenientes de talas.

A partir de esta época y gracias a esta técnica, los edificios pueden elevarse hasta los cinco o seis pisos, en los cuales la estructura horizontal de cada uno sirve de plataforma de trabajo para la edificación del piso siguiente.

Hoy en día calles antiguas de ciudades europeas cuentan con muchos edificios contruidos mediante este procedimiento y que datan de los siglos XVI al XIX.

Sorprende la similitud de estos métodos con los utilizados actualmente en América del Norte y en Europa, en las

construcciones con vigas y pilares de esqueletos con plataformas que están destinadas a la edificación de inmuebles de varias plantas.

La construcción de estructuras modernas de madera a partir de pies derechos y riostras retoma las ventajas de las antiguas estructuras de pies continuos y evita sus inconvenientes al utilizar ensamblajes metálicos entre los pies derechos y los tirantes (figura 172). El dimensionamiento de las secciones no responde más que a los imperativos de la estática, puesto que no son debilitadas en los puntos de unión y ensamble.

Evolución estructural

La construcción de estructura o esqueleto de madera viene caracterizada por una retícula portante a la cual se adosan elementos planos que tienen por función el cerramiento de los planos y no son elementos portantes. Sus ventajas están basadas en la existencia de unos pocos elementos de estructuras derivadas de las sollicitaciones estáticas, y de la forma de construcción abierta con libertad de concepción.

La disposición de las paredes, en principio, no depende de la retícula constitutiva de la estructura; los subespacios que se forman son libres. Se considera la edificación en esqueleto como la técnica más antigua de construcción.

La necesidad económica de racionalizar los métodos de construcción ha permitido a los paneles portantes tener importancia en el mercado de sistemas constructivos. Dado un sistema de este tipo, la función portante de los muros deja poca libertad para la concepción y creación de los espacios.

Para conseguir mayores posibilidades de creación arquitectónica, sin renunciar a las ventajas de prefabricación, han sido modificados hacia una estructura portante constituyendo una retícula más exenta y dejando de esta forma una mayor libertad para la disposición de fachadas y tabiquerías (figura 173).

LAS ESTRUCTURAS PORTANTES

Las estructuras portantes están constituidas de una manera sencilla por pies derechos, vigas maestras y forjados que se apoyan sobre las jácenas o están ensamblados lateralmente.

La estructura reticulada, que puede modificarse libremente en el campo de la

Figura 173





Figura 174

construcción en madera, deja una gran libertad para la división y utilización del espacio (figura 174). La función principal de los muros no es otra que la separativa, siendo su colocación arbitraria y pueden ser modificados por nuevas necesidades. Los pies derechos se elevan a cubierta, las jácenas son ensambladas al nivel de los pisos en la dirección perpendicular a los de las viguetas de los forjados o cubiertas.

La separación de los soportes de las viguetas de forjado puede alcanzar los 5 m y la distancia entre los pies derechos en la dirección de las jácenas puede llegar hasta casi los 8 m. La acción contraviento queda asegurada por los pies derechos empotrados, ya sea por enlace con el plano de techo de los forjados o de los muros. Los anclajes horizontales se realizan por medio de ensambles planos de acero y paneles de contraplacado o por entarimado en diagonal. Si la cubierta y los forjados constituyen planos de contraviento horizontal son suficientes, en teoría, tres planos de contraviento por piso, a condición de que sobre cada plano sus ejes no sean concurrentes. Ejemplos de contravientos en los planos verticales son la cruz de San Andrés, elementos de madera en diagonal, vistos u ocultos, y elementos de construcción de albañilería (figura 175).

Las construcciones de madera a partir de dos pisos deben tener una estructura ignífuga. No obstante, los elementos portantes son considerados como resistentes al fuego, sin un tratamiento particular. Puesto que su sección mínima es suficiente, ésta depende de las posibilidades de ser atacada por el fuego, es decir, sobre uno, dos, tres o cuatro lados, así como de la clase de madera.

OBRA SECUNDARIA Y ESTRUCTURA

La obra secundaria es independiente de la estructura; se puede hacer uso de

elementos prefabricados que permiten acabados artesanos y de buen precio realizados eventualmente por el propio usuario. Los elementos de muro o pared pueden disponerse entre los pies derechos (figura 176) así como entre los elementos entramados y también delante o detrás de ellos para constituir los paneles continuos mediante un número bastante reducido de juntas.

Los pies derechos pueden ser continuos para dos pisos en la construcción de estructuras portantes; los revestimientos

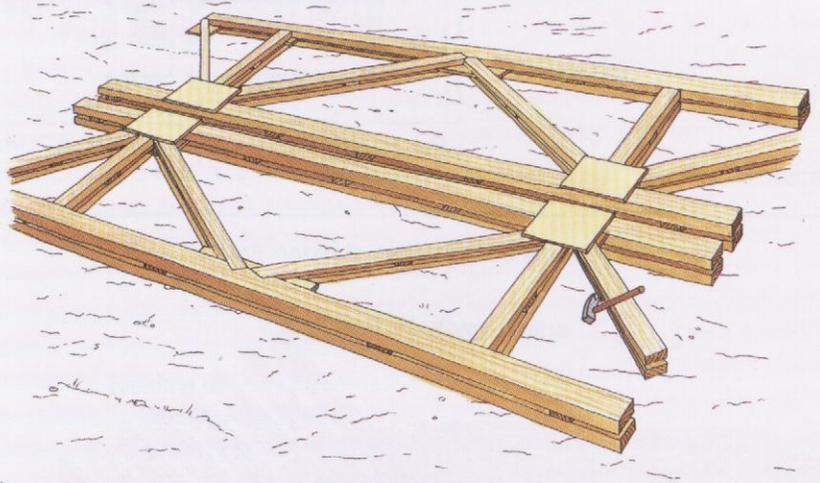
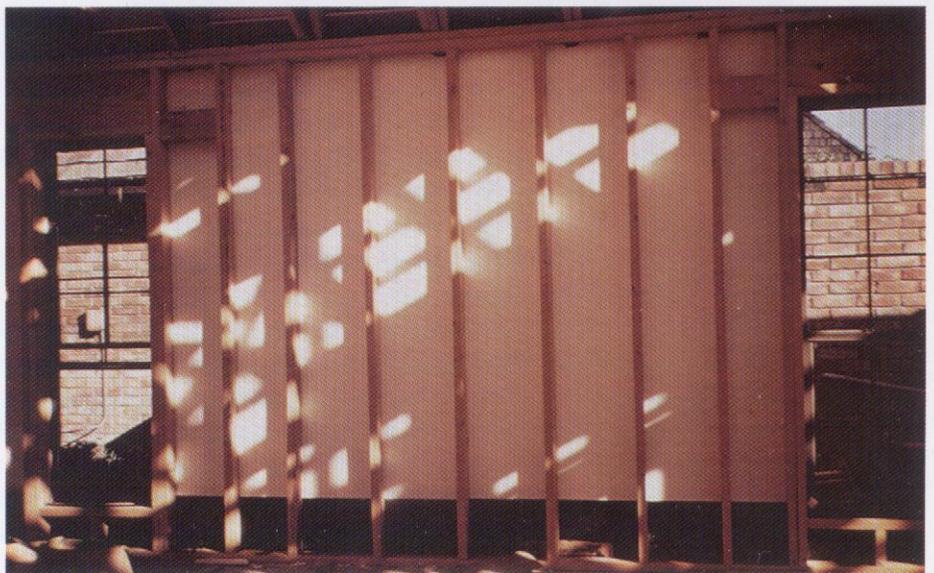


Figura 175

de fachada pueden serlo también. La ventaja decisiva de la construcción en madera es la composición de espacios personalizados y liberados del sistema portante y no vinculada a dimensiones fijas previas. La posibilidad de separación de los pies derechos introduce dos variantes suplementarias. En su expresión máxima, se puede ir hasta una planta cir-

Figura 176



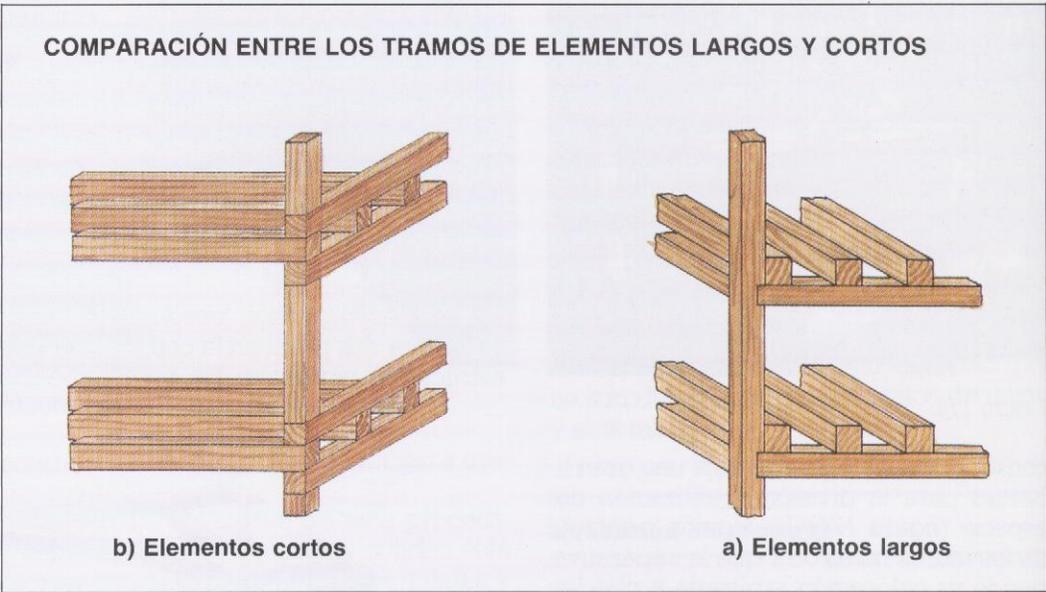


Figura 177

Figura 178



cular disponiendo los pies derechos según direcciones no paralelas. La elección de la estructura se realiza en función de elementos de estática pura e igualmente desde aspectos arquitectónicos. Las potencialidades múltiples del sistema ofrecen soluciones óptimas para cada proyecto en particular. Al emplear los componentes estructurales típicos de este modo de construcción los costos pueden resultar inferiores a los valores normales.

La alta resistencia mecánica de la madera se conjuga con un peso reducido, lo cual favorece el montaje rápido de la estructura o entramado.

La elaboración en taller permite ensamblajes muy fáciles, lo mismo con respecto a los elementos de madera como a otros materiales de construcción. Al objeto de la protección contra el incendio, las normativas y reglamentos de construcción que se aplican a los edificios de estructura de madera de dos pisos, como máximo pueden ser observados sin tomar medidas especiales.

En lo que concierne al aislamiento acústico y térmico, las normas más exigentes serán respetadas sin dificultad ni pérdida de rentabilidad por la puesta en obra de los componentes de los muros y de los forjados.

Sistemas constructivos de entramados de madera

Este tipo de construcción es muy utilizado en Estados Unidos y en los países escandinavos. Toda la estructura está compuesta por piezas de madera de sección relativamente pequeña y formando espacios de 40 a 60 cm.

Esta estructura puede revestirse o acabarse por diferentes elementos de recubrimiento: contraplacados o paneles de partículas.

Se distinguen entre las tipologías de esta clase de construcción el *Balloon Frame* y el *Platform Frame*, sistemas inspirados en la evolución de los sistemas de elementos largos y elementos cortos explicados anteriormente (figura 177).

CONSTRUCCIÓN DE ENTRAMADO BALLOON FRAME O ESTRUCTURA CRUZADA

Esta técnica (figura 178) ha sido desarrollada y generalizada a finales del siglo XIX en EE.UU. y es una derivación del método medieval de elementos largos. Se caracteriza por una repetición de retículas de pequeñas medidas formadas por los pilares, viguetas de forjados y jácenas. Se distingue por la utilización de madera de pequeña escuadría así como montantes que tienen la misma altura de los muros y por elementos secundarios que forman montantes y travesaños del entramado. En este tipo de entramado no se presenta la jerarquía habitual entre elementos principales y secundarios, tal como se puede ver en la figura 179, donde se ven escuadrías equivalentes entre los diferentes elementos que conforman el muro y el piso. Se puede pensar que en el espíritu de los proyectistas y constructores de finales del siglo pasado, la construcción del entramado *Balloon Frame* representaba un avance sobre el entramado clásico: reducción del volumen de madera utilizado, disminución del tiempo de edificación y disminución de los gastos de mano de obra (la madera no necesita ser preparada en el taller del carpintero puesto que viene directamente del aserradero). Con respecto a la reducción de la mano de obra se puede decir que el coste de la misma en el montaje resulta más económico que el de un carpintero de la mayor calificación profesional capaz de realizar trabajos de ensamble.

CONSTRUCCIÓN DE ENTRAMADO PLATFORM FRAME

En EE.UU. (y en algunos países de Europa), constituye una evolución del *Balloon Frame*. Éste es un sistema más adaptado a la prefabricación plana (figura 180). Se caracteriza por paredes con montantes cortos de una altura máxima de

Estructuras de madera para la edificación

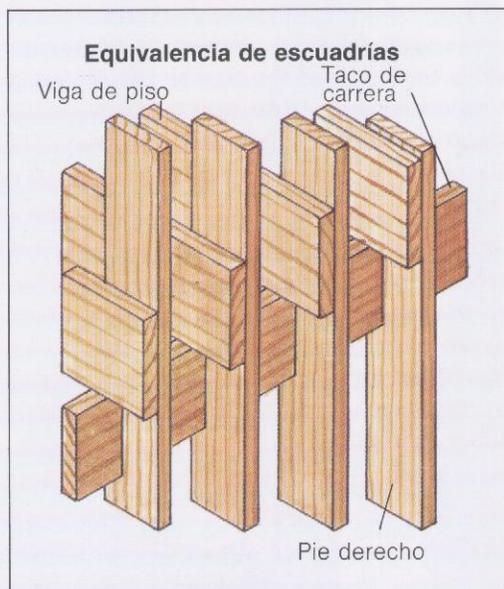


Figura 179

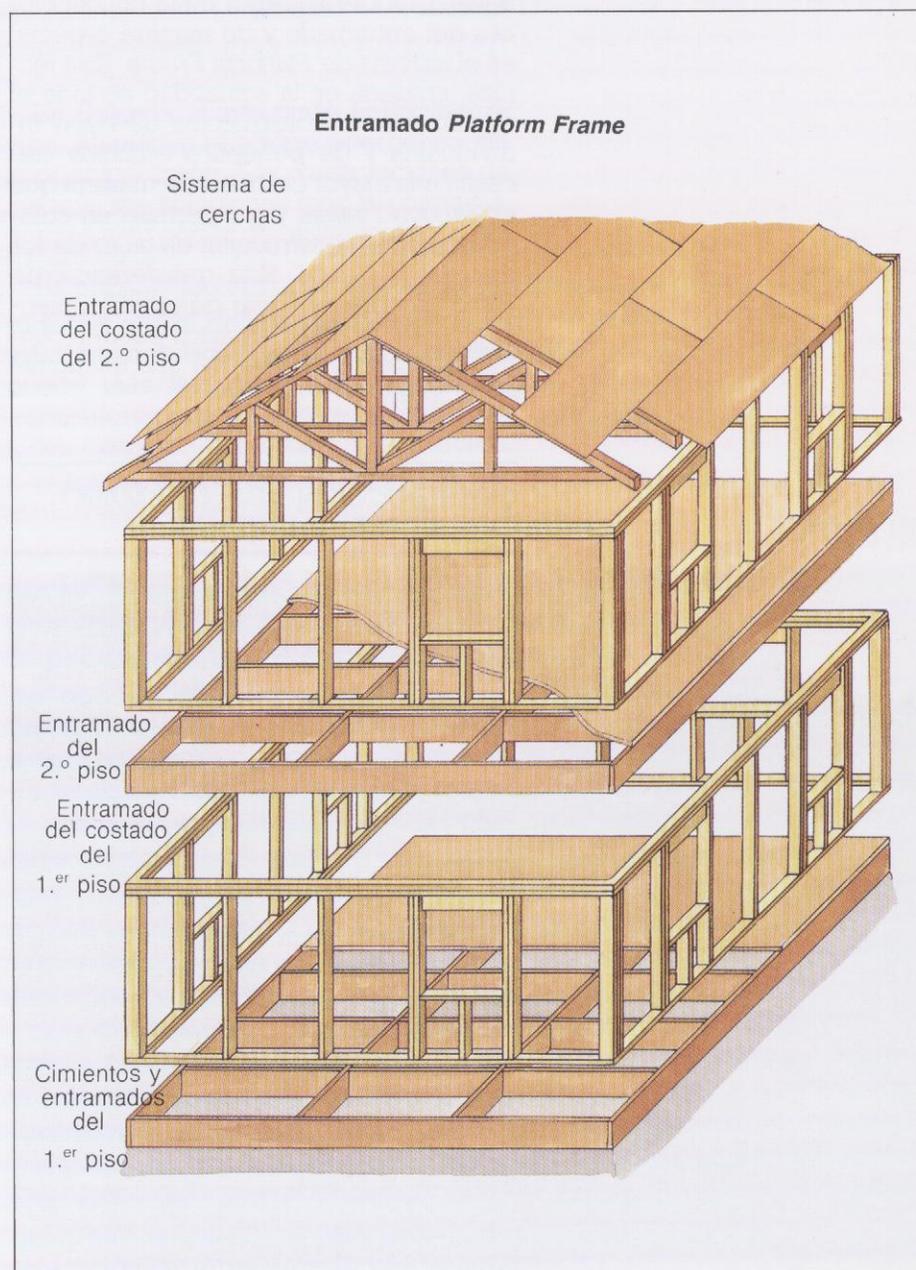


Figura 180

un piso, unidos con elementos de solera o travesaños (por el ensamble de los ángulos de las paredes planas entre muros y forjados de manera que se constituyen zonas independientes, por el hecho de que la armadura, al igual que los pisos, es independiente y por una contribución del elemento de relleno a la estabilidad general). En este tipo de construcción, por lo tanto, los pisos y las armaduras son independientes los unos de los otros. Cada forjado formado por viguetas constituye una plataforma sobre la cual los muros y tabiques de un mismo nivel son distribuidos y montados.

Este sistema permite una prefabricación en taller de las paredes, así como el sistema *Balloon Frame* es interesante, de manera especial, en concepto de la técnica pura. Resulta difícil su industrialización debido a la obligatoriedad de ser construido *in situ*, razón por la cual esta técnica ha derivado en otras concepciones del entramado y de manera especial en el sistema de *Platform Frame*. Esta técnica, utilizada en la actualidad en todo el mundo para la construcción de casas individuales y de pequeños edificios, necesita una mayor cantidad de madera que el *Balloon Frame*, pero permite en compensación la construcción en taller de los elementos planos. Esta transferencia de mano de obra del lugar de emplazamiento al taller, donde los gastos pueden controlarse mejor, representa una economía apreciable.

CONSTRUCCIÓN DE ENTRAMADO CON PILARES Y JÁCENAS

Este entramado constituye una de las variantes del sistema moderno. La estructura está constituida por elementos principales portantes de gran sección en donde la separación de los elementos es importante. Los pórticos simples o por plantas constituyen la estructura de base. Los elementos secundarios (montantes, soleras, travesaños) pueden completar los espacios libres para absorber esfuerzos localizados. Los elementos principales son de madera maciza y en ciertos casos los paneles o elementos de acabado pueden asumir la función contrario de estas construcciones.

Tendencias actuales de las viviendas de estructura de madera

La madera sigue siendo uno de los materiales que más utiliza el hombre, aun-

que sus campos de aplicación vayan variando con el tiempo y se adapten a la demanda y a las características y posibilidades forestales. Sin embargo, en los países desarrollados, el empleo en construcción sigue siendo el más importante. Si comparamos la producción mundial de madera con la de otros materiales usados en la construcción, tenemos que frente a los 1.600 millones de toneladas de madera se producen 683 millones de toneladas de acero y 50 millones de toneladas de plástico.

De esta madera, aún en pleno siglo xx, el consumo como combustible sigue siendo elevado: un 46 % a nivel mundial. Con respecto a la transformación mecánica de la madera, alcanza los 619,2 millones de toneladas, siendo un 95 % de este valor utilizado en el sector de la construcción. Por lo tanto, si la cantidad de acero para la construcción la comparamos con la madera destinada al mismo fin, descubriremos que por sólo 60 millones de toneladas supera el primer material al segundo.

La tecnología actual de la madera está tan avanzada como la de cualquier otro material. Incorporados a su tecnología las colas y los plásticos, el estudio de su coste y el íntimo conocimiento de ella, se han abierto prácticamente todos los campos de aplicación.

Algunas de las ventajas y posibilidades que hoy ofrece la madera tecnificada se pueden resumir en:

— Como madera sólida, con finalidades de resistencia y de tipo decorativo, principalmente.

— Como madera laminada, eliminando la imposibilidad de obtener piezas de grandes dimensiones. Conservando las ventajas y desventajas de la madera sólida, pero apurando al máximo la ventaja resistencia/peso. La madera laminada, sin duda, es la expresión más avanzada de la tecnología de la madera.

— La de los tableros en sus tres vertientes, que por orden cronológico son el tablero contrachapado, tableros de fibras y tableros de partículas. Tendentes a suprimir el defecto de su anisotropía y abriendo la posibilidad de cubrir grandes superficies.

— La de su tratamiento, tanto de secado de la madera como de su protección contra la agresividad del medio ambiente, la luz, el calor, los agentes biológicos y la humedad.

— Los complejos plásticos-madera, en que aquéllos pueden cubrir su superficie o introducirse en su interior reforzando y endureciendo su estructura interna.

— Los complejos de madera-cemento, uniendo las propiedades de cada uno de ellos (*figura 181*).



Figura 181

EL CONCEPTO DE LA VIVIENDA DE MADERA EN EL MERCADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Durante los últimos años las viviendas de madera han sido, dentro del mercado de la construcción, las únicas que han aumentado en Europa occidental. El número total de viviendas de nueva construcción ha disminuido. La inversión en las industrias y en el comercio aún no ha causado efecto alguno. Por contra, las viviendas de madera han aumentado, no sólo en cifras relativas respecto a la disminución experimentada por el mercado, sino también en cifras absolutas. En Escandinavia, el interés por las viviendas de estructura de madera ha sido siempre muy elevado, incluso en los últimos años se han producido importantes aumentos, pasando del 80-85 al 90-96 % (en Noruega 98 %), del total de viviendas uni- y bifamiliares construidas.

En el campo de las edificaciones concretas, como una iglesia, también ha aumentado considerablemente la tendencia a utilizar la madera como material expresivo y capaz de sumir en un ambiente de meditación (figura 182).

Son varias las razones de este crecimiento. En Inglaterra, país en el que comenzó este aumento, el principal factor fue el menor coste de este tipo de construcción. El sector social podía edificar más viviendas con la misma cantidad de dinero. En la actualidad, las viviendas de estructura de madera se han divulgado a todos los niveles de inversión.

En Holanda, y más tarde en Inglaterra y en Alemania, el ahorro energético fue la principal razón. Las construcciones de madera son soluciones muy económicas, gracias a su poder de aislamiento y a sus bajos costes.

En Francia, por ejemplo, otra de las razones es que el trabajo con la madera es más limpio y fácil. Esto supone que uno puede más fácilmente abastecerse de trabajadores que cuando se trata de métodos constructivos sucios y peligrosos. En Francia, al igual que en Alemania, desean utilizar su propia madera, pero esto

Figura 182

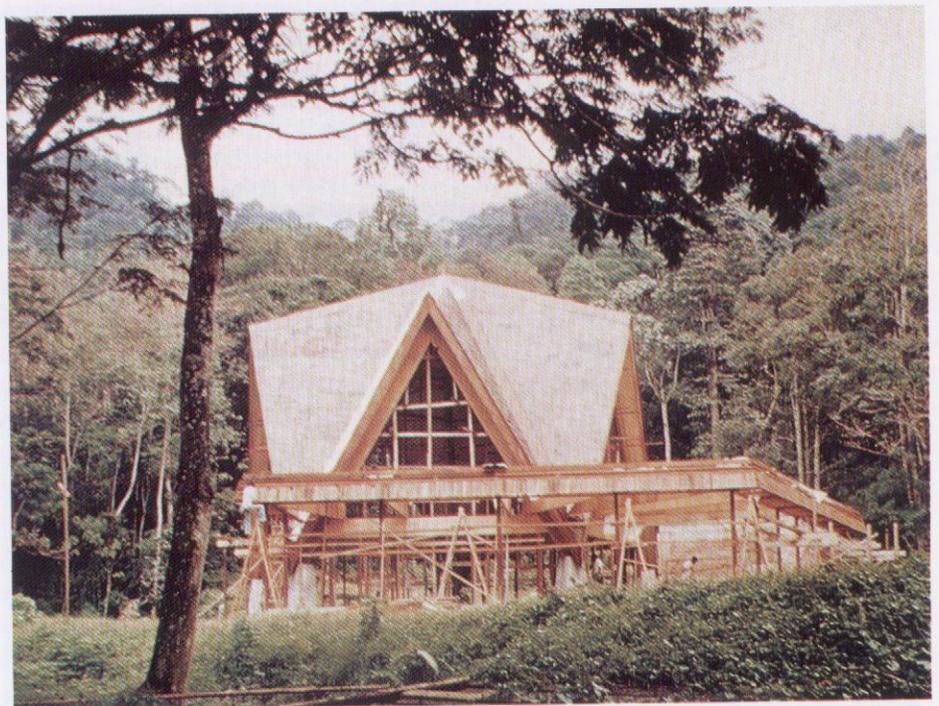




Figura 183

no tiene un efecto positivo a largo plazo, debido a la falta de homogeneidad de su materia prima.

Las construcciones de madera son, con diferencia, las edificaciones más seguras en aquellos lugares con peligro de movimientos sísmicos. Esta característica ya se conocía en América Central, donde actualmente aún se conservan técnicas de construcción a base de troncos y armazones con cuerdas vegetales que constituyen una buena solución antisísmica (figura 183).

El consumo energético en las industrias que procesan la madera es muy pequeño, al igual que los niveles de contaminación ambiental que se producen en este tipo de industrias.

Casi todas las viviendas de estructura de madera construida en Europa, a excepción de Escandinavia, lo son mediante componentes prefabricados. Los trabajadores, los inspectores, los controladores y

los consultores no están todavía capacitados para la fabricación *in situ* de una manera racional.

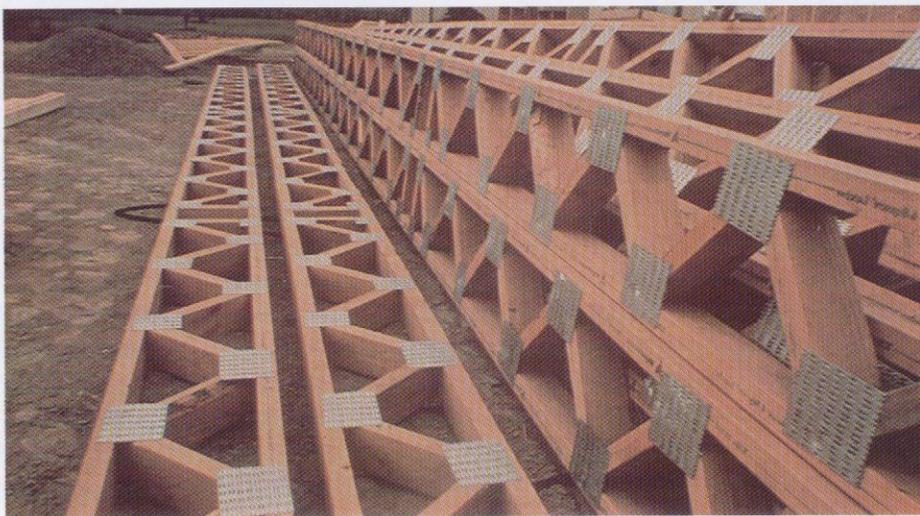
El factor más importante es la mano de obra. Es una política comercial muy en boga el hecho de utilizar mano de obra del lugar donde se realiza la construcción, debido a lo cual tienen que usarse componentes estructurales de diferentes tamaños y niveles de prefabricación. El método más adecuado parece ser construir con secuencias completas de componentes prefabricados recibidos con sus correspondientes instrucciones de montaje. Un ejemplo de esto es la recepción en el lugar de obra de partidas de cerchas prefabricadas preparadas para el montaje (figura 184).

Numerosos constructores y asesores están muy interesados en este método constructivo con un mercado en auge, pero a la vez dudan en la decisión de adaptarlo debido al desconocimiento de los métodos de construcción de este tipo de viviendas. El interés existente cubre todos los sectores y profesionales de la construcción, como son arquitectos, fabricantes, aparejadores, ingenieros técnicos, etcétera.

En Francia, por ejemplo, hay muchos productos de material prefabricado, manufacturado para grandes constructores, pero no para clientes particulares. La instalación de ciertos productos prefabricados algunas veces requiere una maquinaria especializada, como por ejemplo grúas (figura 185).

Es una realidad indiscutible que los constructores en toda Europa están o quieren adoptar el sistema de construcción por subcontratas, para centrar sus actividades y esfuerzos en problemas ta-

Figura 184



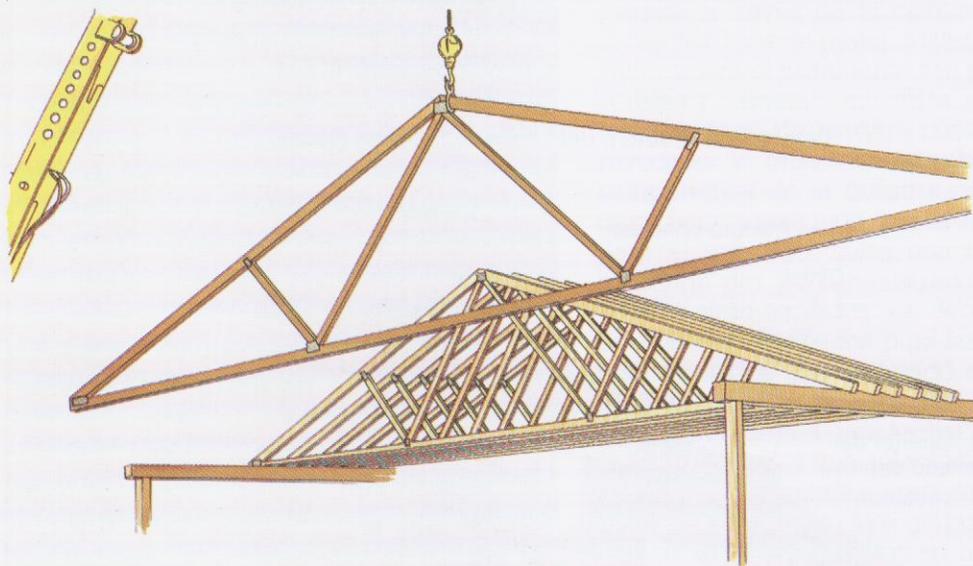


Figura 185

les como el suelo, planes de montaje, financiación y ventas.

Por lo tanto, parece haber un mercado abierto para la creciente subcontratación de trabajos y por ende para componentes prefabricados.

LA EVOLUCIÓN CONTEMPORÁNEA DE LA VIVIENDA CON ARMAZÓN DE MADERA

Este tipo de construcción fue reintroducido en el Reino Unido a inicios de los años cincuenta y hoy en día se considera como una forma usual de construcción. La construcción tradicional, o sea de muro sordo de ladrillos y bloques celulares de cenizas y cemento, se hace cada vez menos popular, y la falta de albañiles, junto con los problemas asociados con la construcción por métodos que ocasionan el uso de agua, han determinado un aumento de popularidad de la construcción con madera. Además, los altos niveles de aislamiento térmico adquiribles con esta forma de construcción han provocado su uso, debido a la crisis de energía. Existen distintos métodos de esta construcción, y el que se encuentra con más frecuencia es el conocido como la armazón de plataformas o *Platform Frame*, descrito anteriormente, cuyo detalle constructivo se muestra en la *figura 186*, llamado así porque la vigería del piso superior se emplea como una plataforma para el trabajo que sigue.

El otro método de construcción, que ya hemos analizado antes, pero utilizado con menos frecuencia, es el *Balloon Frame*, o sea, la armazón de globo, un sistema de

construcción ya mencionado y que, utilizando tablas de hasta dos pisos de altura, permite una construcción aún más rápida que la que usa armazón de plataformas. Hay variaciones dentro de estos dos métodos básicos de construcción.

Dos formas de construir con la armazón de madera son:

a) Emplear paneles hechos en la fábrica, entregados por camión y levantados sobre fondos preparados (*figura 187*).

b) Edificar a palos. Este sistema gasta más tiempo en el solar, y se puede interrumpir por fenómenos de la intemperie, pero puede ser económico si se emplean maderos preparados y cortados antes para facilitar el montaje de entramado en el solar.

Para edificios de más de dos pisos se usa el armazón de plataformas o una combinación de los dos métodos.

Los maderos estructurales se elaboran por lo general de madera aserrada, cuyas dimensiones nominales son 100×50 mm o 75×50 mm, espaciados a una distancia de 400 o 600 mm entre sus centros. Se clavan con sencillas juntas a tope a las soleras de fondo y de arriba, los cuales tienen un tamaño igual. El largo de estos armazones o paneles puede ser de un muro o pared entero, con aperturas donde se requieran, o por otra parte los armazones pueden ser tramos distintos, por ejemplo para una puerta o ventana, sujetos con clavos o pernos y tuercas, con una sola solera superior coronando todos los elementos. La determinación del tamaño del armazón o panel depende de una decisión temprana sobre el método de levantarlo, por grúa o a mano.

El diseño de contraventamiento sitúa un revestimiento de chapas, normalmente

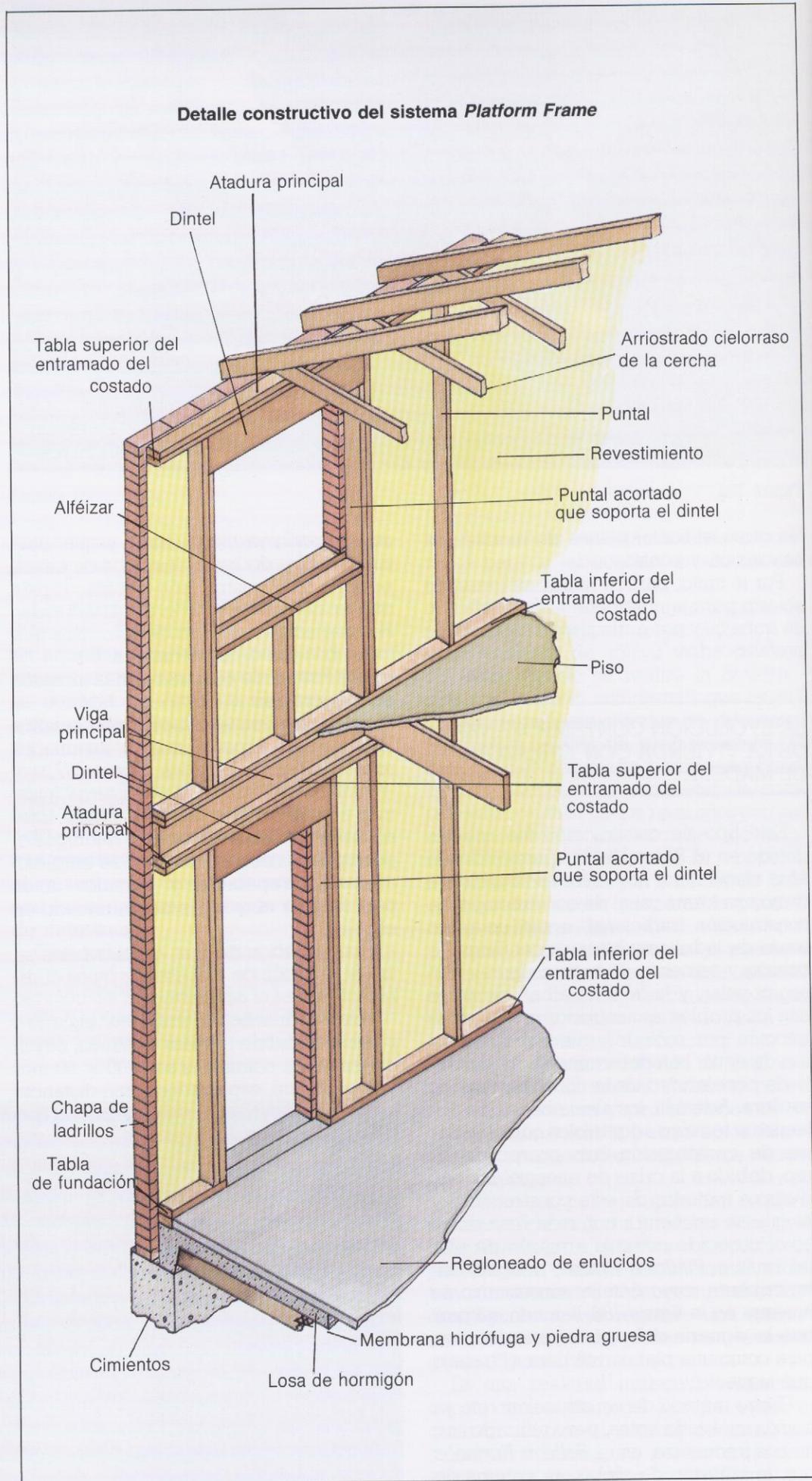


Figura 186

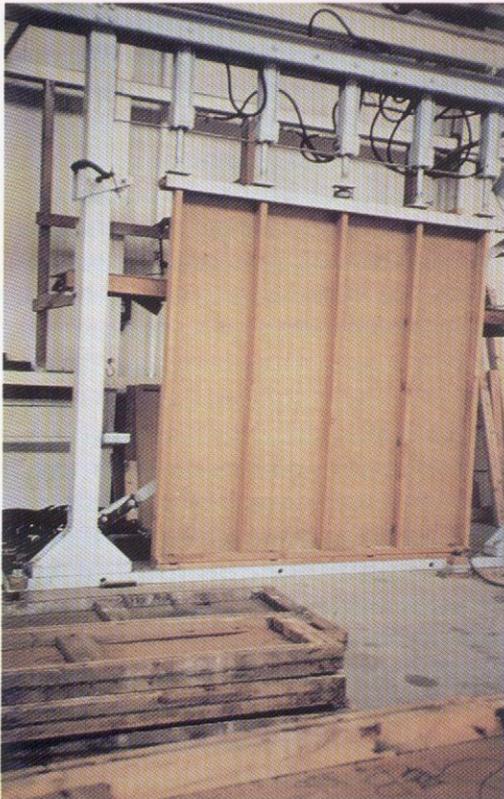


Figura 187

de madera contrachapada de una calidad adecuada, clavado a la faz exterior del entramado. En el diseño es raro tener en cuenta la contribución a la resistencia a la flexión de tales elementos como los revestimientos interiores o exteriores. Para el revestimiento principal se pueden utilizar otros materiales en vez de madera contrachapada, tales como tablas de fibra prensada o cartones de pasta de madera, del tipo indicado. También es usual, en caso de diferencias de temperatura muy marcadas entre el interior y el exterior, que las placas se cubran con un revestimiento de muros con papel de aluminio capaz de refractar el calor excesivo (figura 188).

Sobre la faz exterior del entramado, el revestimiento de madera contrachapada se protege por una barrera contra la humedad. Ésta consiste en un papel respiratorio que se dispone antes de colocarse el paramento exterior. Suministra una protección contra la intemperie mientras sigue la construcción del paramento exterior, y después actúa como una segunda línea defensiva contra cualquier lluvia o humedad que pueda penetrar en el paramento exterior. Sin embargo, si la madera contrachapada es hidrófuga, a veces el papel respiratorio no se incluye, pero luego hay que encintar las juntas entre los paneles.

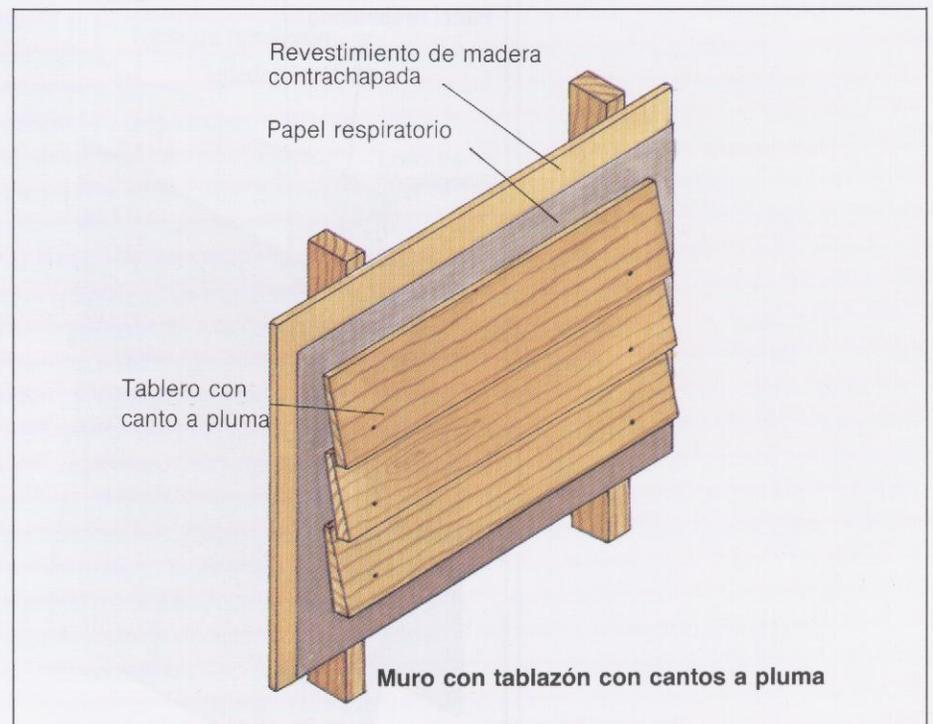
Como se mencionó antes, un paramento de ladrillos es el tipo más corriente en el Reino Unido. Se junta a la armazón de

madera a través de la cavidad con ataduras flexibles de metal. Materiales alternativos para el paramento son bloques de cenizas y cemento enlucidos, o metal sobre una base de madera contrachapada revocado y enlucido. Los laboratorios competentes en la construcción de madera han investigado bases alternativas para el enlucido, hasta una base recomendada por los suministradores de revoques premezclados, es decir, listones de madera. Acabados populares para el piso de arriba son un tejado colgado en listones de pino tratados con un preservativo, un tablazón para techar o solapado o unido a tope, y una selección ancha de materiales patentados que son inatacables por los agentes atmosféricos. Un surtido de tales paramentos se muestra en: muro con tablazón con cantos a pluma (figura 189); muro con tablas con rebajo lon-



Figura 188

Figura 189



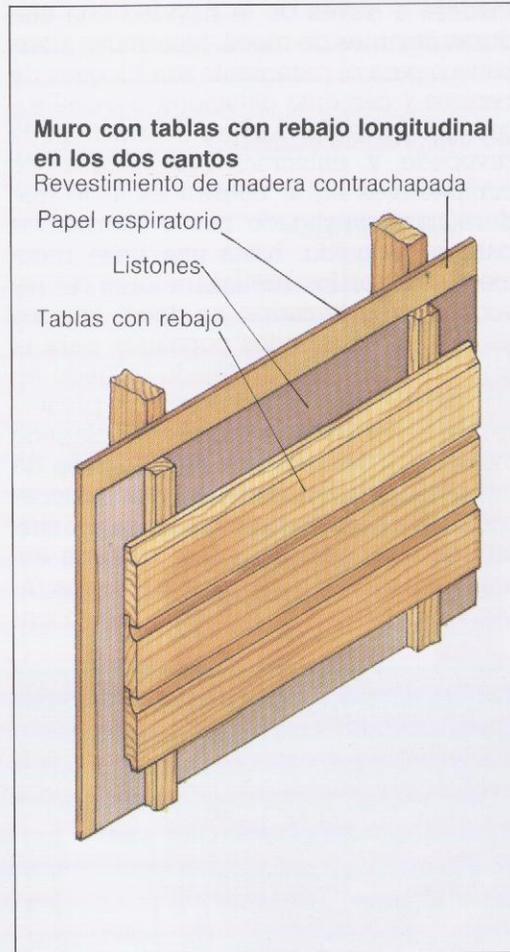


Figura 190

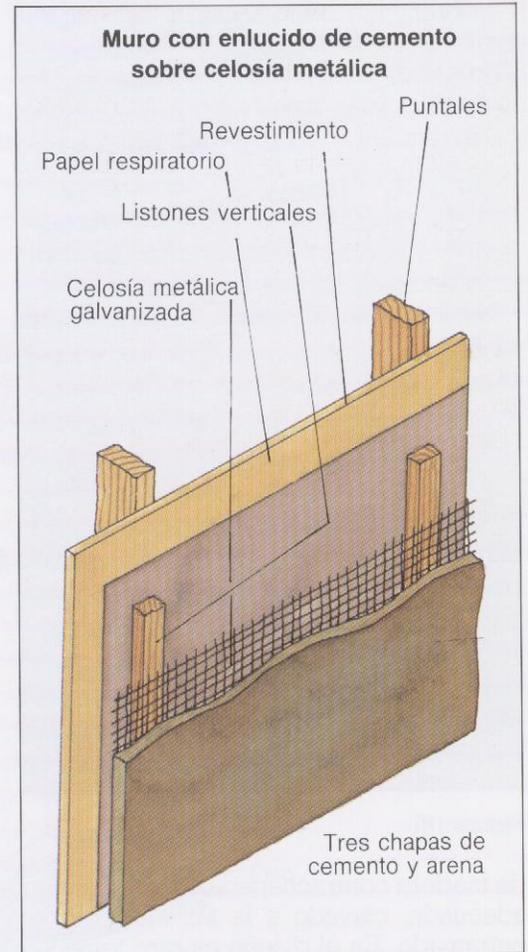


Figura 192

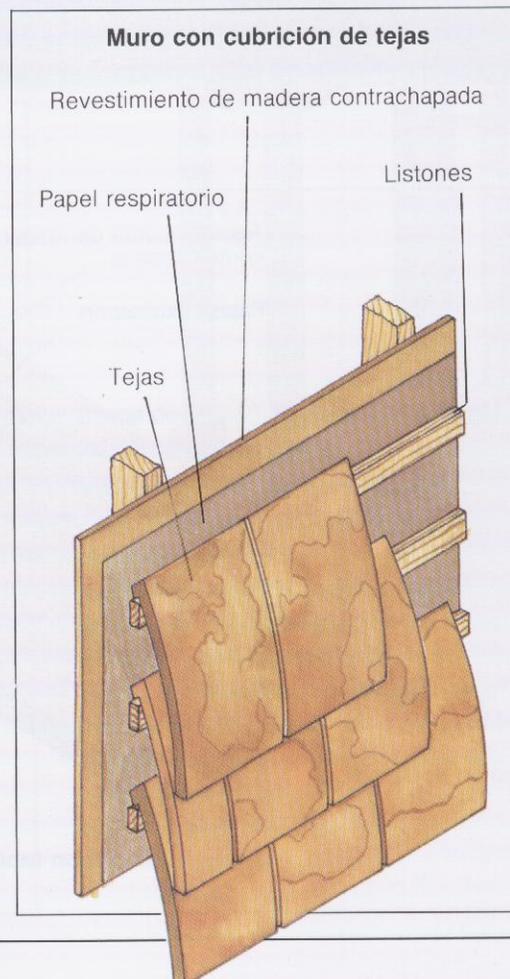


Figura 191

gitudinal en los dos cantos (figura 190); muro con cubrición de tejas (figura 191) y muro con enlucido de cemento sobre celosía metálica (figura 192).

Las paredes consisten por lo general en una armazón de maderos cuyos dos lados están cubiertos de cartón-yeso. Típicamente, la pared constaría de dos revestimientos de cartón-yeso de 12,7 mm de espesor sobre una armazón de madera clasificada para el uso estructural y con dimensiones adecuadas para soportar la carga durante un incendio por un tiempo especificado en la Ordenanza de Edificación, por regla, una media hora. Las cargas se calculan desde arriba hacia abajo, y tienen en cuenta el peso muerto de los materiales, la carga temporal debida al viento, cargas temporales debidas a la nieve o a un obrero sobre el techo, y la carga permanente impuesta sobre los pisos. Aperturas en paredes que soportan cargas tienen dinteles de madera que tiran sobre puntales acortados, arreglados según se indica en la figura 193.

Para darse cuenta de lo práctico del sistema de construcción de casas hechas con armazón de madera, se verifica en la práctica que dicha estructura soporta todas las cargas verticales y las debidas a

la deformación de la sección transversal por el viento.

No obstante, se sabe bien que el paramento y el revestimiento contribuyen materialmente a la resistencia de la casa, a la deformación bajo la plena carga sobre el techo y las cargas propias:

a) con solamente los puntales de madera y el revestimiento de madera contrachapada;

b) con *a* más el revestimiento de cartón-yeso;

c) con *b* más un paramento de ladrillos hasta el nivel del segundo piso;

d) con *c* más un paramento de madera encima de listones alrededor del segundo piso.

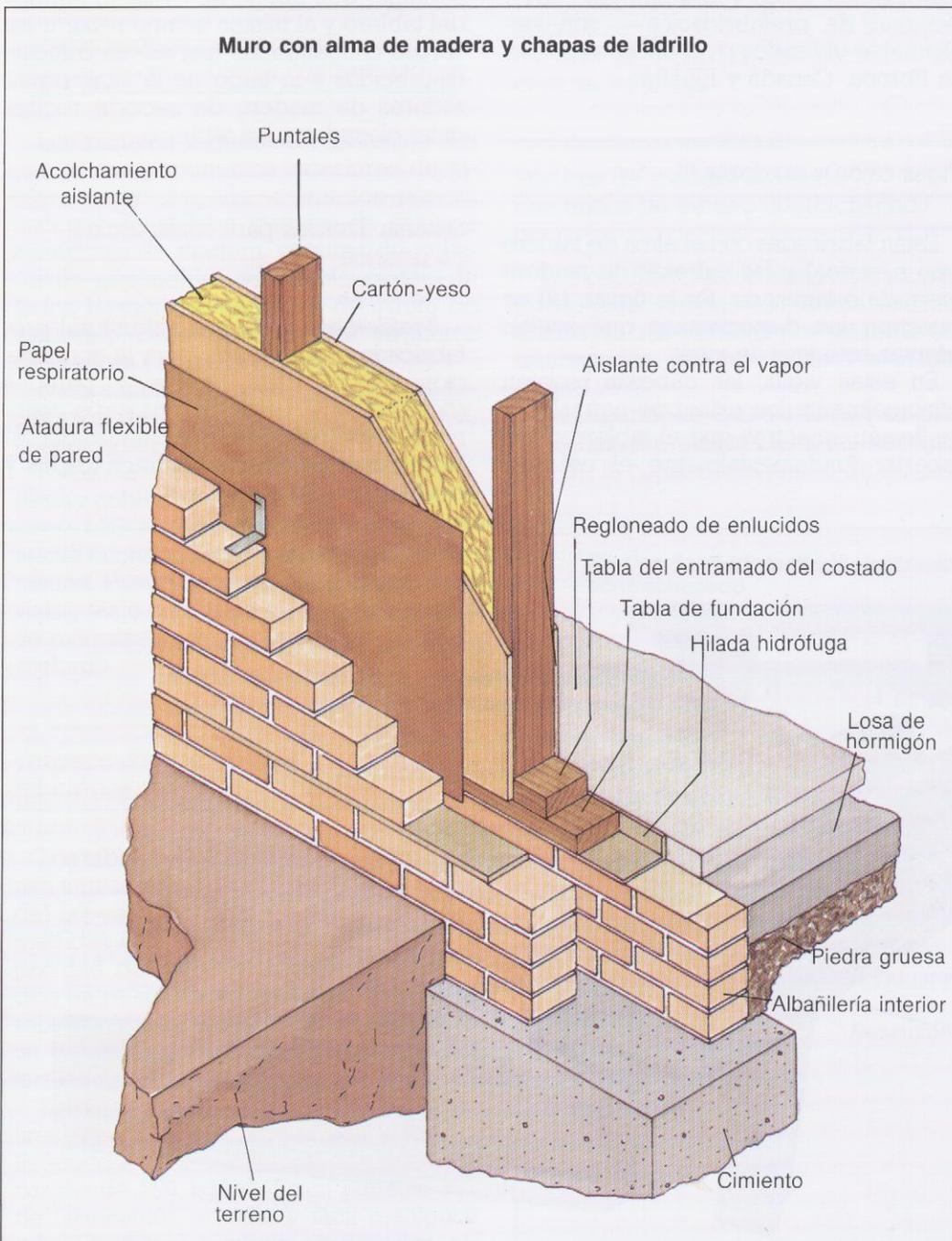
Entre las ventajas de este sistema de construcción con armazón de madera se puede mencionar que, al añadir los revestimientos de cartón-yeso a las superficies interiores de los muros y a ambas superficies de las paredes, aumenta la resistencia general de la casa de armazón de madera por encima del 60 %.

ESTRUCTURAS MIXTAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE MADERA

Analizaremos seguidamente los elementos estructurales mixtos formados por madera serrada o laminada y tableros,

Estructuras de madera para la edificación

Figura 193



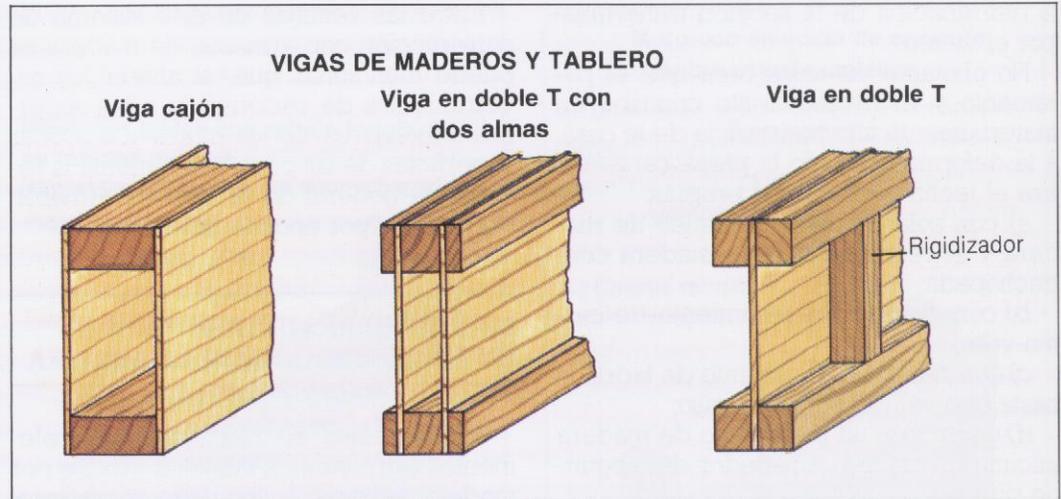


Figura 194

que, debido a sus ventajas —ligereza y facilidad de prefabricación—, son ampliamente utilizados para diferentes usos, en Europa, Canadá y EE.UU.

Vigas cajón y en doble T

Están fabricadas con el alma de tablero (uno o varios) y las cabezas de madera aserrada o laminada. En la *figura 194* se muestran las disposiciones que suelen adoptar este tipo de vigas.

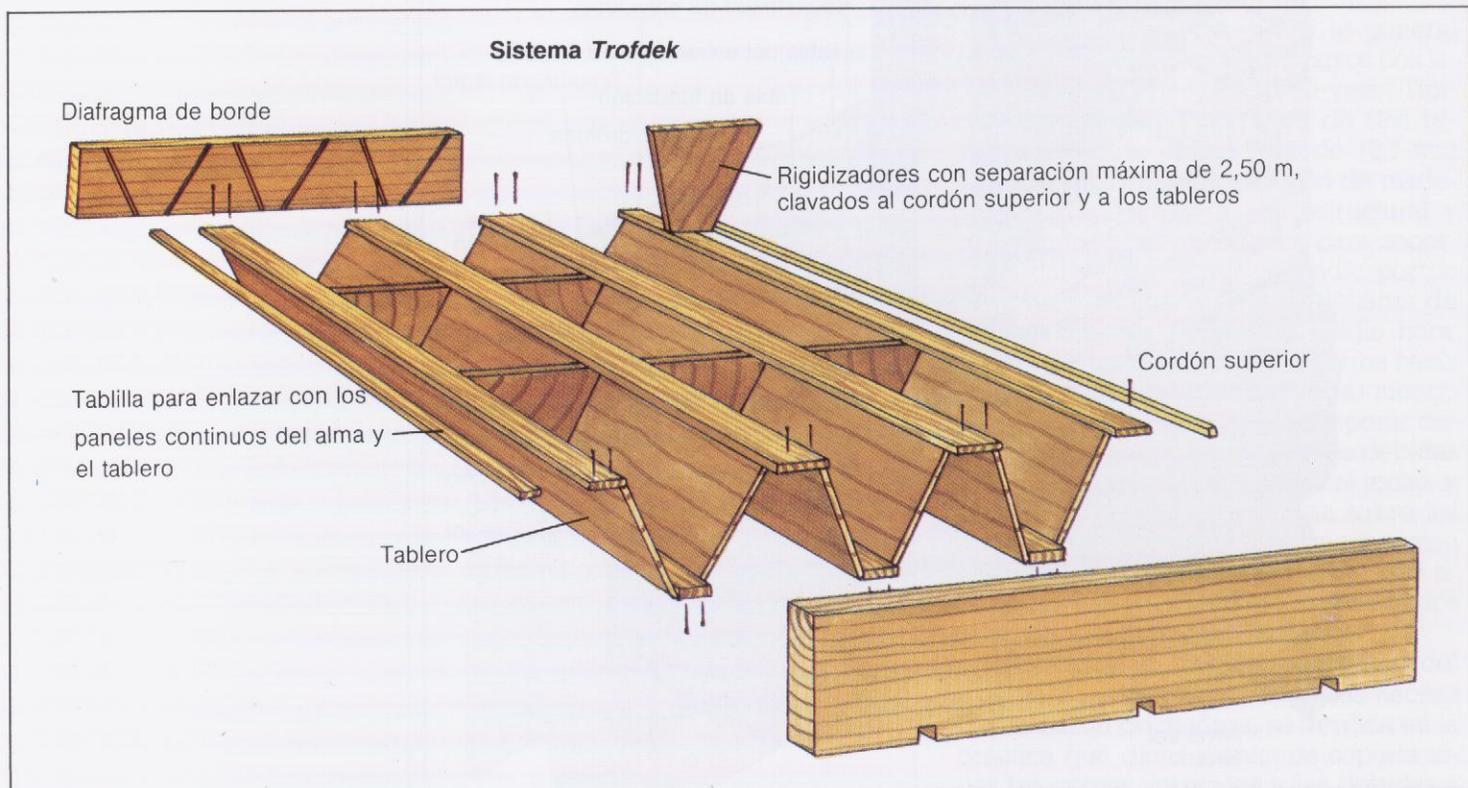
En estas vigas, las cabezas resisten principalmente los esfuerzos normales y de flexión, mientras que el tablero debe soportar fundamentalmente el esfuerzo

cortante. Con objeto de evitar el pandeo del tablero y al mismo tiempo repartir las cargas concentradas fuertes, se colocan, distribuidos a lo largo de la viga, rigidizadores de madera de sección rectangular clavados a los tableros.

Sistema *Trofdek* para construcción en paneles

Trofdek es un sistema estructural prefabricado que se utiliza para la construcción de cubiertas, suelos y paredes (*figura 195*). Consiste en una serie continuada de vigas de sección trapezoidal, fabricadas con tableros contrachapados y

Figura 195



tablas secadas en cámara, en unidades estándar, con un módulo de anchura de 16 pulgadas (40 cm).

La separación entre apoyos puede llegar a luces de 10,50 m. El ancho del panel estándar es 1,21 m, y comprende tres aristas, de 16 pulgadas de módulo. La longitud de los paneles varía según la luz y la estructura deseada.

El tablero y los cordones se unen bajo presión, utilizando un adhesivo impermeable. Los diafragmas de borde y los rigidizadores son de 2,5 cm a 5 cm de espesor.

Para facilitar el embalaje se suministran separadamente los diafragmas de borde y rigidizadores y posteriormente se unen a pie de obra con el resto de los paneles.

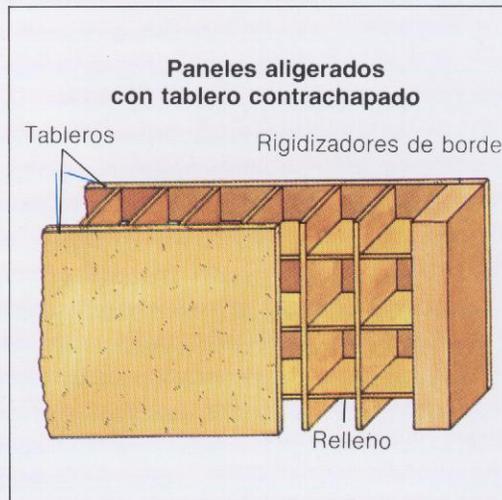


Figura 196

Paneles aligerados resistentes, fabricados con tableros contrachapados

Los paneles aligerados resistentes son placas con paramentos exteriores de tablero contrachapado, enlazados por un material de relleno que puede ser una cuadrícula de madera, espuma de poliuretano expandido, celdas de cartón de forma hexagonal, espirales de viruta de madera o, como es más usual, largueros de madera aserrada (figura 196).

Naturalmente, cuanto mayor es la separación de los tableros, más grande es la capacidad resistente del panel.

Estos elementos se utilizan en paredes, pisos y cubiertas con luces comprendidas entre 1,20 y 12 m, resultando particularmente económicos en vanos de 3,60 a 7,20 metros. Pueden emplearse con sus caras vistas, tanto si se trata de interiores como de exteriores, ya que presentan un buen acabado.

Tableros contrachapados reforzados con vigas de madera

Los tableros contrachapados planos tienen limitadas sus posibilidades en función del espesor, que varía dentro de ciertas medidas estándar. Para aumentar su capacidad de carga y también la separación entre apoyos se refuerzan con piezas rectangulares de madera, obteniéndose un panel cuya sección transversal está formada por varias piezas en T.

Las vigas de refuerzo del tablero tienen limitadas sus dimensiones a 5 x 30 cm, llegándose a alcanzar luces de 7 m, con cargas de 500 kg/m². Estos paneles son de fabricación sencilla y fácil manipulación. Se utilizan también en paredes, pi-

sos y cubiertas, donde el revestimiento interior se coloca después de la disposición de las instalaciones eléctricas, mecánicas, etcétera.

Pórticos de madera aserrada con nudos de tablero contrachapado

Los pórticos rígidos están formados por cuatro piezas rectas de madera aserrada, unidas en sus vértices por tableros contrachapados, que se clavan a la madera (figura 197).

Se separan de 0,60 a 1,20 m y su forma es fácilmente adaptable a las necesidades de la construcción rural. Se emplean

Figura 197

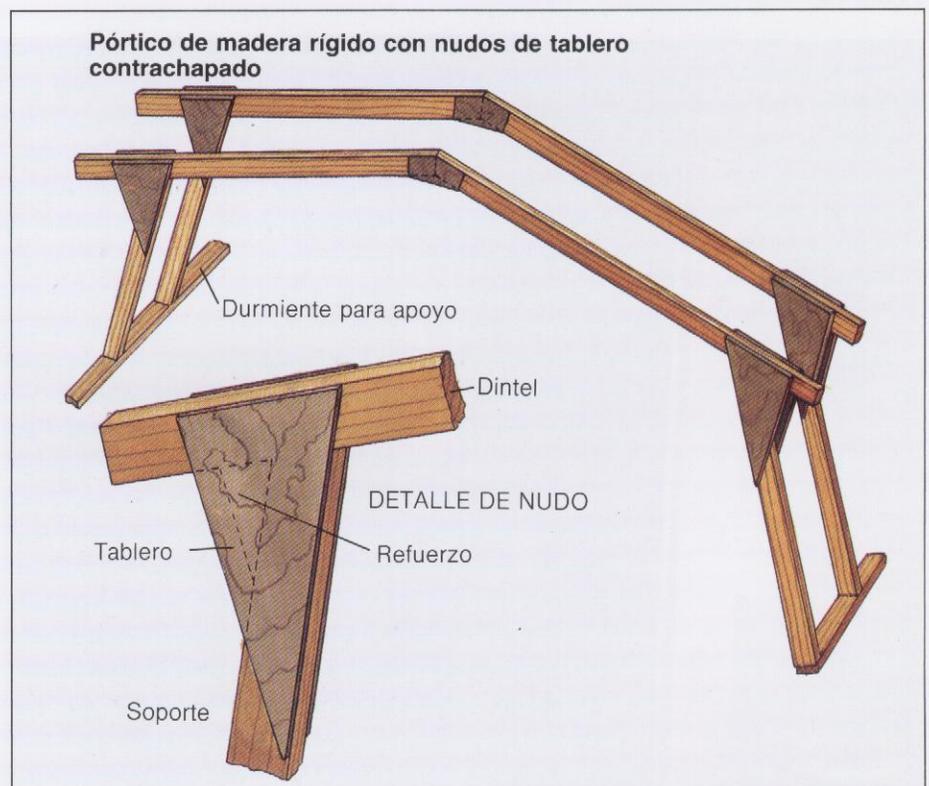




Figura 198

en escuelas, iglesias, pabellones, refugios de montaña, almacenes, etcétera, con resultados francamente competitivos en luces comprendidas entre 9 y 15 m.

Este sistema se ha estado utilizando en algunas construcciones propias de sectores de países en vías de desarrollo, especialmente en Centroamérica, donde el tablero contrachapado se emplea en las uniones de maderas aserradas y también en elementos formados a base de rollizos (figura 198).

Paneles para faldones de cubiertas

Corresponde a uno de los campos con más porvenir de los tableros contrachapados. La idea en sí es muy simple, ya que cada faldón de la cubierta funciona en el sentido longitudinal como una viga cajón apoyada en los tímpanos o paredes frontales y en el sentido transversal, como un panel aligerado resistente, sustentado en los vértices de la cubierta. Es decir, su comportamiento estructural responde al de las láminas plegadas de hormigón.

El coste de este tipo de construcción es igual e incluso inferior al de los sistemas convencionales; además, permite la construcción de cubiertas que se adaptan perfectamente a las exigencias arquitectónicas contemporáneas, como es la creación de grandes espacios libres.

La separación entre tímpanos o apoyos puede ser de unos 18 a 36 m, según las características de los faldones.

FORJADOS A BASE DE MADERA

En primer lugar describiremos un forjado de madera en su forma más elemental (figura 199), compuesta de:

a) Nervios resistentes generalmente de sección rectangular equiseparados entre sí. La distancia entre ejes es muy variable, oscilando entre 0,40 y 1 m.

b) Entarimado superior generalmente machihembrado, con objeto de repartir cargas, unido a los nervios por clavazón.

Figura 199





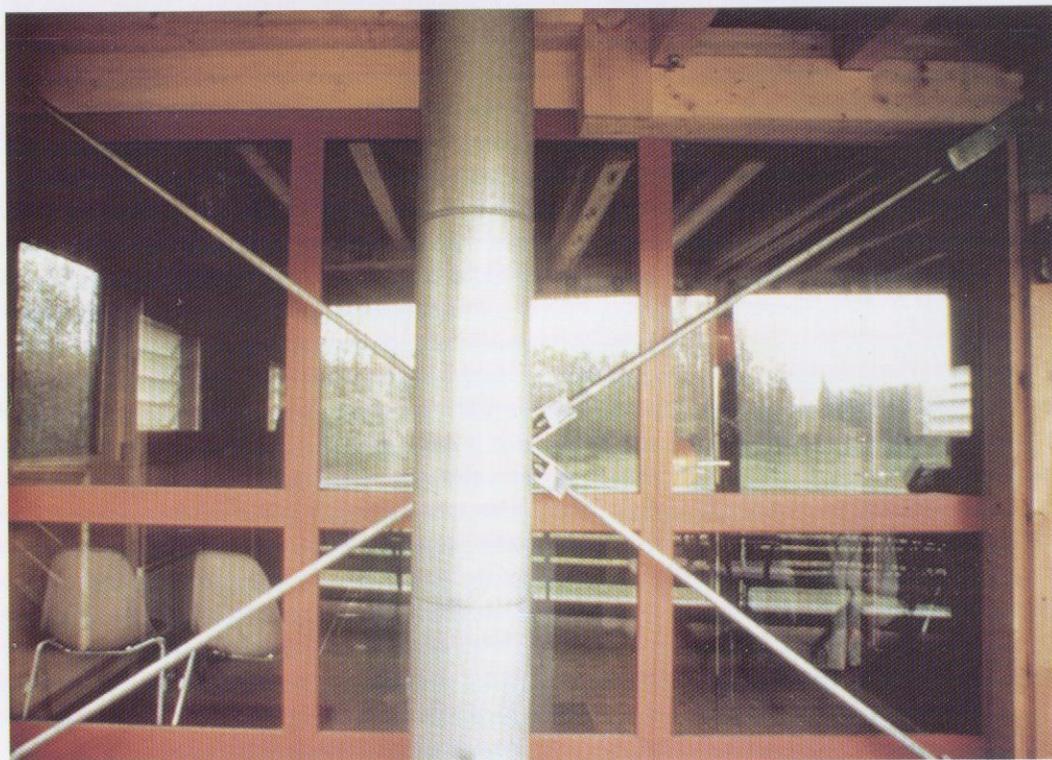
Figura 200

c) Un pavimento que en ocasiones también es de madera, aunque de mejor calidad, colocado en dirección transversal al entarimado. El forjado admite también otros pavimentos.

Otras secciones de forjados de madera corresponden a variantes de la sección descrita, completada con arriostrados y atirantados, rellenos y falsos techos, a fin de paliar algunos de los inconvenientes resistentes y aislantes que presenta esta familia de forjados.

Se consiguen así placas de gran aislamiento térmico, de ambiente y habitabilidad muy acogedora, a la vez que se obtienen techos de gran belleza, ya que en algunos casos las vigas se descomponen en triangulaciones que reticulan un espacio interior (*figura 200*).

Sin embargo, los forjados de madera adolecen de tres inconvenientes que han limitado su utilización, tan sólo en algunos proyectos de viviendas unifamiliares. Dichas limitaciones son de tipo:



Arriostramiento por medio de tensores metálicos en una estructura de madera

Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5

- resistente por falta de monolitismo, enlazabilidad y continuidad;
- de deformación por falta de rigidez;
- económicos por la necesidad de secciones elevadas de madera cuando las luces superan los 4 o 5 m.

Con la utilización de tableros aglomerados, se proponen seguidamente secciones mixtas que permiten eliminar algunos de los inconvenientes citados, así como reducir otros.

Principios y propiedades de una vivienda de estructura de madera

Hoy en día existen básicamente dos condiciones a las cuales convergen los principios y propiedades de la construcción de madera, y son el ahorro energético y la comodidad.

Las viviendas de estructura de madera son el resultado del desarrollo de sistemas como las viviendas de tronco y las casas de ladrillo y piedra. La utilización de los adelantos de la técnica actual y los materiales que ofrece la construcción de hoy han permitido elaborar un sistema avanzado como el de viviendas de estructura de madera. De cada uno de estos materiales se utilizan sus mejores

propiedades, por ello es posible una construcción perfecta y económica.

La vivienda de estructura de madera cumple con las demandas más exigentes por su economía, flexibilidad y compatibilidad, elementos que cada día son más considerados por los profesionales de la construcción. Igualmente podemos afirmar que los elementos estructurales de la vivienda son ligeros, resistentes y tenaces, ocupan poco espacio, aíslan extraordinariamente y permiten ganar superficie útil, tanto en espacios estrictamente interiores como en los denominados intermedios (*figura 201*).

A continuación daremos una breve reseña de aquellos aspectos relativos a la madera como material de construcción que permiten justamente alcanzar buenos niveles de ahorro y bienestar.

ESTABILIDAD DE LA MADERA

Es sumamente importante disponer de una madera estable y de adecuada calidad y resistencia si se quieren obtener unos óptimos resultados en la fabricación y el montaje.

La madera deberá secarse hasta lograr un grado idóneo de humedad, aproxi-

Figura 201



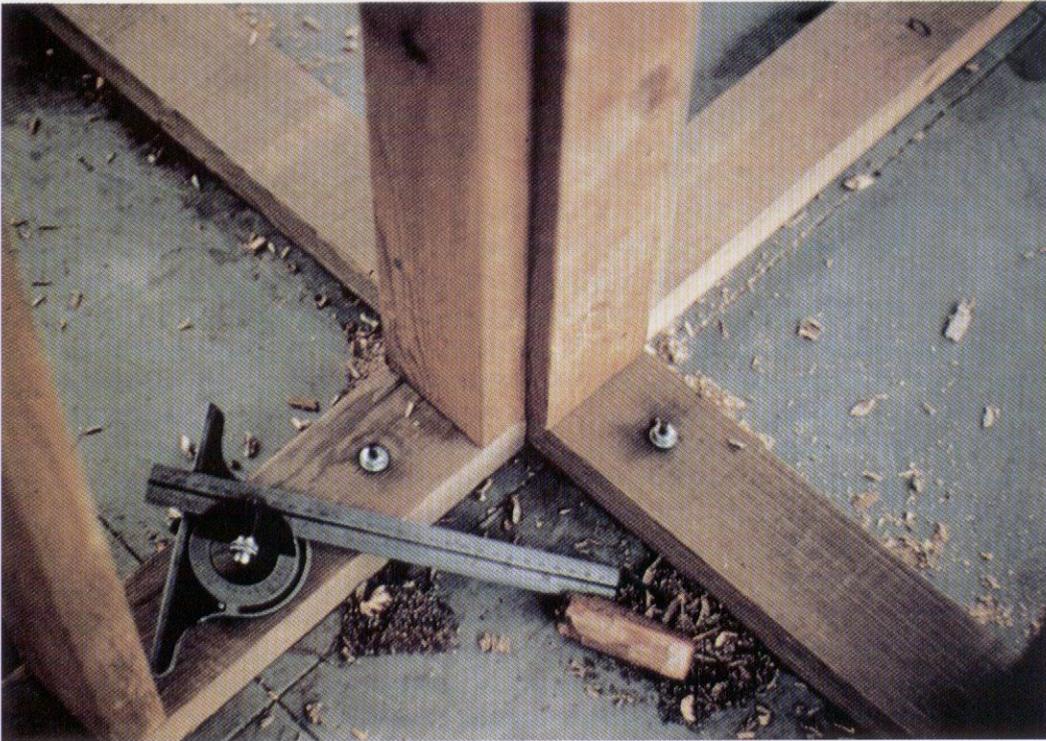


Figura 202

madamente un 20 % en el momento de levantar la construcción.

La base o soporte de una vivienda de estructura de madera está constituida por madera impregnada y dimensionada de acuerdo con las solicitaciones necesarias. Este punto es muy importante cuando las piezas de madera están en contacto directo con otros materiales que constantemente van produciendo humedad por sus procesos de fraguado. Como ejemplo de esto en la *figura 202* se muestra un entramado portante en contacto con el forjado de hormigón.

Usando madera de una resistencia más alta son posibles mayores cargas, o lo que es igual, para las mismas cargas podría utilizarse madera más ligera y esbelta. El consumo de madera y, consecuentemente, los costos, pueden reducirse utilizando madera de una resistencia adecuada.

EL AISLAMIENTO

Una gran parte de la energía que se consume en una vivienda se utiliza para su caldeoamiento; por esta razón es importante aislar la construcción con un material que posea unas buenas cualidades aislantes, como la fibra de vidrio por ejemplo, cuya presentación puede ser elástica de tipo manto, o bien rígida en placas duras.

La madera contrachapada, constituida por varias chapas de madera cruzadas y encoladas, a grandes rasgos presenta las

mismas propiedades que la madera homogénea.

El tablero de fibras constituido por madera desfibrada y posteriormente prensada se presenta en placas duras y semiduras, que son fuertes, tenaces y resistentes al impacto.

El tablero aglomerado está constituido por virutas de madera y cola, las cuales, mediante presión, forman paneles duros. Éstos son utilizados como pavimentos, paramentos, falsos techos o cierre de cubiertas.

Las placas de cartón-yeso se emplean tanto en interiores como en exteriores, y lo mismo en techos como en paredes.

Diversos tipos de cartones impregnados de asfalto son utilizados como barreras antihumedad; igualmente la película de polietileno se usa corrientemente en interiores como barrera de vapor.

LA ESTRUCTURA PORTANTE

El esqueleto de madera tiene como función principal actuar de soporte de carga de cubierta o forjado. Debe soportar igualmente su propio peso y la presión del aire. El esqueleto deberá estar dotado de una adecuada protección contra la humedad, el aire y además aislar térmicamente (*figura 203*).

Los muros de las viviendas de estructura de madera están formados habitualmente por largueros verticales con una distancia entre ejes de 0,60 a 1,20 m. Estos

Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5

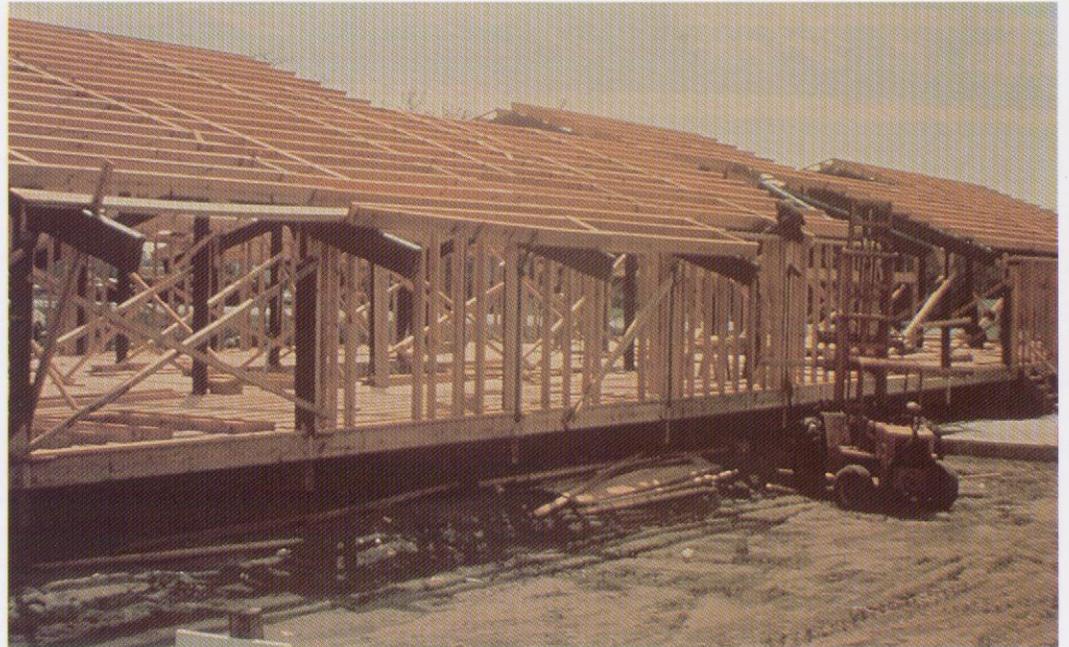


Figura 203

elementos se hallan unidos a piezas verticales, montante superior e inferior, formando un entramado que a su vez se une a la base de madera de forma sólida. El muro de carga de la viviendas de estructura de madera se encuentra por lo general en las partes más largas de los muros exteriores que actúan como soporte de las cerchas.

En las casas con planta superior, en función de las luces pueden existir paredes interiores que actúen de soporte, las cuales en todo caso serán paralelas a las paredes portantes exteriores.

En algunas ocasiones los entramados de madera deben complementarse con una serie de refuerzos; por ejemplo, encima de las ventanas y las puertas, y en aquellos diseños modernos que estén basados en una absoluta estructura de madera, puede darse el caso también de que existan elementos estructurales que salgan fuera del volumen construido y que refuercen la estructura interior. En este caso también sucede que dichos elementos estructurales se mantienen paralelos a la estructura formada por el perímetro (*figura 204*).

Figura 204





Figura 205

LA CUBIERTA PORTANTE

El esqueleto de madera utilizado para la realización de la cubierta es normalmente la cercha (*figura 205*). Ésta deberá soportar la carga y transmitirla a través de los soportes laterales hasta los cimientos de la vivienda.

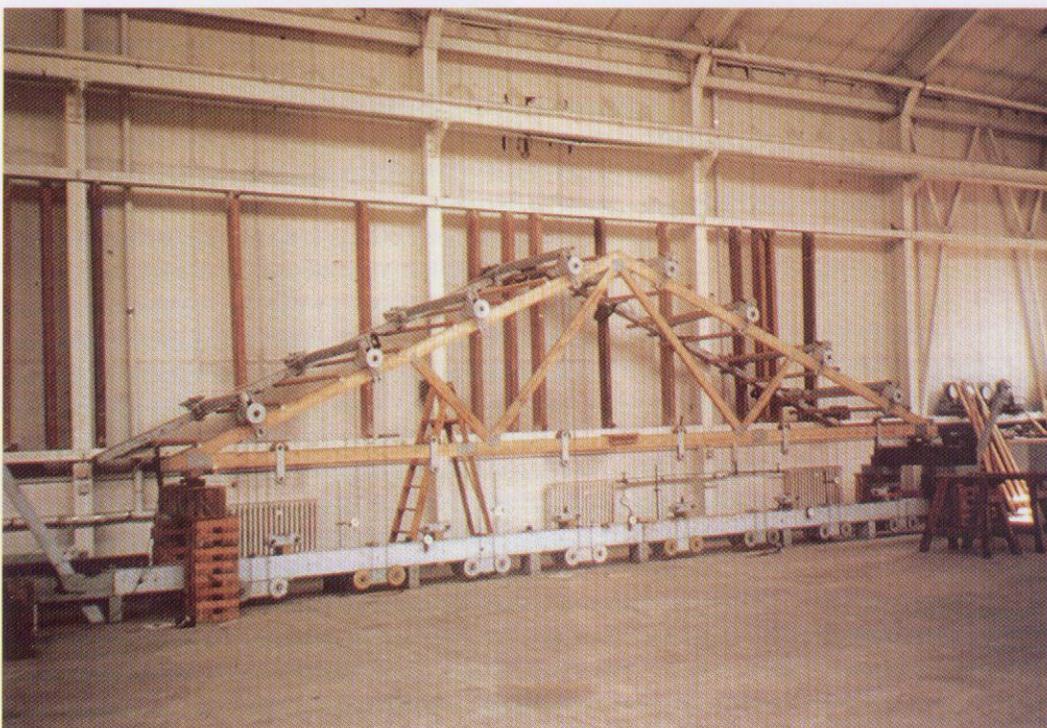
La forma más habitual de la cubierta en viviendas pequeñas es el pórtico. Los tipos más comunes de cerchas son el abuhardillado y el W, realizados con abeto impregnado y ensamblado mediante co-

nectores dentados y clavos. Ésta es una de las piezas estructurales que con más frecuencia se preconstruyen en el taller, dada su fácil construcción y buena resistencia en el transporte desde la fábrica a la obra (*figura 206*).

Las cerchas en W, al no requerir soportes intermedios, permiten la creación de espacios diáfanos, posibilitando al mismo tiempo una gran flexibilidad en la compartimentación.

Las cerchas de madera en las viviendas pequeñas suelen situarse secuencialmente a una distancia de 1,20 m. Las

Figura 206



Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5



Figura 207

cerchas deberán anclarse de forma que puedan resistir la fuerza del viento. Esta fijación podrá hacerse mediante flejes de acero o herrajes especiales fijados al esqueleto.

Las cerchas de madera se utilizan frecuentemente en edificios de hormigón, ladrillo, etcétera, debido a las grandes ventajas que ofrecen, por ser resistentes, ligeras y económicas.

LA CUBIERTA Y EL MURO COMO SUPERFICIES AISLANTES

La cercha abuhardillada ofrece la posibilidad de habitar la cubierta y disponer de esta forma de un dúplex. Las cerchas también pueden estructurarse de manera que actúen como unas vigas encontradas (en la cumbrera), determinándose de esta manera un espacio factible de ser habitado mediante un atillo (*figura 207*). Dichos espacios deberán estar muy bien aislados, ya que la zona del intradós del techo se disminuye considerablemente. Existiendo la posibilidad de dejar los elementos de madera vista, el aislamiento se colocará perimetralmente al habitáculo utilizable y siguiendo el criterio de suelo o tejado.

Las cerchas en W se emplean en aquellos casos en los que la cubierta no se utilice como vivienda, aunque pueda usarse como cuarto trastero.

Al proceder al aislamiento de la cubierta deberá protegerse la fibra de vidrio de cualquier despistado que pise sobre la misma, puesto que ello implicaría una pérdida de su capacidad aislante; por lo tanto, será preciso colocar en todo caso un suelo sencillo que impida dicha posibilidad.

El muro, a pesar de su gran capacidad de aislamiento, necesita tan sólo una pequeña cantidad de madera. Comparado con otros tipos de muro, la capacidad de aislamiento es muy superior aunque se utilicen gruesos inferiores.

Revestimiento exterior con un entablado en machihembrado vertical y con piezas de un largo que reducen las posibilidades de filtración





Figura 208

El muro de madera, en unión a la fibra de vidrio, puede convertirse en un eficaz y sencillo aislante, intercalando entre los largueros de madera la mata de fibra de vidrio, que deberá ser algunos centímetros superior a la distancia existente entre largueros.

Este aislamiento propicia en las viviendas un clima de bienestar y un ahorro de energía.

contra la lluvia. Existen múltiples materiales utilizables: tejas, tégulas, pizarra o metales perfilados. En todo caso será una solución estética la que recomiende uno u otro material.

Si se permitiera que el aire pasase a través de la fibra de vidrio que se dispone, el intradós de los muros perimetrales perdería su función aislante. Para que esto no ocurra, en la parte exterior del

LA CUBIERTA Y EL MURO COMO CERRAMIENTO EXTERIOR

En la parte exterior de las cerchas y con el objeto de proteger el aislamiento, deberá colocarse una protección contra el aire (figura 208). En las cubiertas inclinadas deberá preverse una ventilación para evitar humedades por condensación. La protección del aire se realiza mediante la colocación de un rastrel y de un cerramiento. La zona abuhardillada que se utiliza como cuarto trastero se ventilará mediante orificios adecuadamente previstos (figura 209).

El material de cerramiento en los tejados tiene como misión principal impedir la penetración de lluvia y nieve. En todo caso, la realización de los tejados en las viviendas de estructura de madera no presenta ninguna singularidad sobre la de otro tipo de construcción, debiendo constituir en todo caso una solución com-

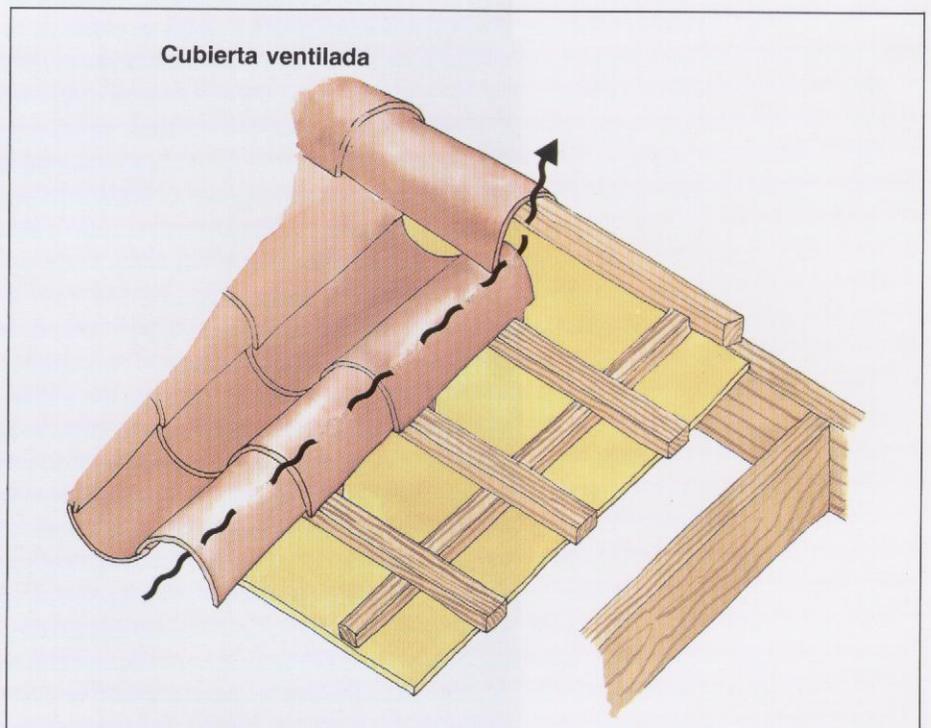


Figura 209

Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5

Proceso constructivo para el
aislamiento de los muros
exteriores portantes

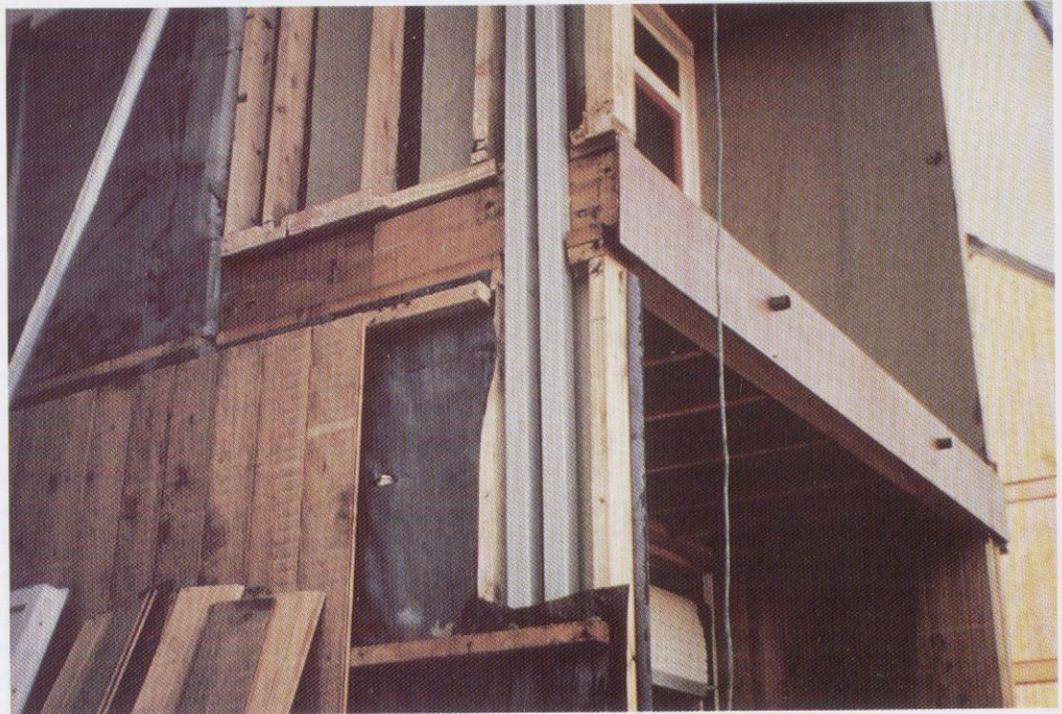


Figura 210



muro se colocará un cerramiento, el cual podrá ser de cartón-yeso —tablero, contrachapado o tablero de fibras—.

Como recubrimiento de este cerramiento pueden utilizarse diversos materiales cuya finalidad debe ser la de proteger la vivienda de las duras inclemencias del tiempo y proporcionar un aspecto agradable a la vivienda, utilizándose, por ejemplo, desde antiguo tejas de madera con diferentes diseños que, a la vez que protegen muy bien contra la lluvia, la vivienda queda decorada con una textura singular (*figura 210*).

EL REVESTIMIENTO INTERIOR DE LOS MUROS

La utilización de barreras de vapor tiene como fin impedir que el vapor del agua del interior de la vivienda se difunda hacia el exterior. La humedad generada en el trasiego conlleva una disminución de la eficacia del aislamiento e incluso puede llegar a producir daños en los elementos de madera.

La barrera de vapor, en el norte de Europa, suele estar constituida por una película de polietileno de 0,2 mm. En lugares de clima más suave, como el mediterráneo, puede ser suficiente un papel impregnado.

Esta barrera se colocará directamente detrás del revestimiento interior. Es aconsejable que haya el menor número de juntas posible.

El revestimiento interior está constituido por lo general por paneles de aglomerado, contrachapado, fibra o placa de cartón-yeso. Todos ellos disponen de una superficie adecuada para, posteriormente, poder ser pintada, empapelada o revestida de madera. Con respecto a la cubierta, en ella también se deben disponer barreras de vapor.

En la cara interior del aislamiento de la cubierta se colocará una barrera de vapor que impida un trasiego de vapor del interior de la vivienda hacia el exterior.

El orificio de ventilación en la cubierta impide que la humedad de condensación se estanque en la misma. La utilización de cerramientos de chapa puede producir condensaciones, por lo que deberán estar provistos de una adecuada ventilación.

El aislamiento, la barrera de vapor y una buena ventilación trabajan contra la humedad, el riesgo de daños y los malos olores.

Cambios y tendencias de la construcción de madera en Norteamérica

Los pioneros que poblaron Estados Unidos llevaron la técnica de la construcción en madera conocida como madera gruesa (*heavy timber*). Este tipo de construcción, que aún representa el 1,8 % de la edificación de madera en EE.UU., se basa en la utilización de gruesas escuadras con uniones ensambladas que requieren mucha mano de obra.

A mediados del siglo XIX aparece el sistema constructivo denominado *Balloon Frame*, que representa el método constructivo de estructuras entramadas ligeras y que es prácticamente igual al actual.

La traducción de *Balloon Frame* puede hacerse por el término entramado globo, que hace referencia a la ligereza del sistema. Esta denominación en su origen tenía un significado peyorativo, haciendo hincapié en su excesiva ligereza frente a la construcción pesada anterior.

Es curioso constatar que el sistema tradicional, en la actualidad, de construcción ligera de madera en EE.UU. fue también criticado en sus comienzos.

Su tecnología está basada en el empleo de piezas de pequeña escuadría (2 x 4 y 2 x 6 pulgadas) dispuestas a distancias reducidas (40 a 60 cm) y su desarrollo fue permitido por el paralelo proceso de producción industrializada de los clavos a partir del alambre. Hay que tener en cuenta que los clavos, hasta entonces, se fabricaban manualmente y mediante procesos de forja.

Las ventajas del sistema son su fácil montaje, cómodo transporte, uniones sencillas y mano de obra menos especializada. El fácil transporte permitió a los pioneros de las regiones poco arboladas construir con madera traída desde los centros de producción. El resultado es una construcción ligera, pero con un sistema de arriostramiento eficaz.

La evolución posterior se vio influida por varias tendencias del extranjero que llegaban como pioneras a las tierras del oeste de los EE.UU. (*figura 211*).

Figura 211



Biblioteca Atrium de la Carpintería - 5



Figura 212

Poco antes de la II Guerra Mundial aparece el tablero, iniciándose la denominada arquitectura de estilo internacional. Este tipo de construcción ha desarrollado un lenguaje formal propio, basado en la flexibilidad de la colocación de los paneles, y en la posibilidad de introducir algunos cambios: doubles alturas, vacíos y formas irregulares.

Hacia la década de los años 60 tiene lugar otra moda conocida popularmente como el estilo de los graneros de Califor-

nia, en la costa oeste, cuyo exponente más clásico lo constituye Charles Moore.

En la actualidad el estilo de casas norteamericano incluye o convive con modelos de arquitectura inglesa o francesa de viviendas unifamiliares (*figura 212*).

El sueño norteamericano incluye la adquisición de una vivienda unifamiliar aislada, manteniendo de esta forma una privacidad e independencia de sus vecinos, difícilmente obtenible en viviendas colectivas o en hilera.

Figura 213





Adaptación de una casa
de estructura de madera
a la pendiente

El aumento de coste de la vivienda, originado por varias razones entre las que se encuentra el aumento de la población, ha conducido, junto con el incremento del valor del suelo, a densidades mayores, como se ha comentado anteriormente.

La respuesta de las constructoras a esta demanda se orienta hacia la especialización de los oficios que intervienen en la construcción. La forma de trabajo del constructor, similar a la existente en otros países, consiste en la coordinación de diversos oficios especializados, concretando la relación con el cliente.

El sistema de construcción en madera en EE.UU., denominado tradicional, consiste en la utilización de muros entramados con pies derechos, de 2×4 pulgadas con separaciones de 16 pulgadas (40 cm), tablero de virutas orientadas (OSB) o tablero contrachapado clavado a estos soportes y cerchas de madera industrializadas con separaciones entre ejes de 60 centímetros (figura 213).

El cableado de electricidad se realiza en cable de plástico especial, sin necesidad de entubado, y la red de distribución de agua se hace con tubería de plástico flexible, conectando desde una central de distribución cada uno de los puntos de agua fría y caliente de forma independiente.

La forma urbanizadora de los conjuntos de habitaciones gira alrededor de las grandes ciudades (los edificios de gran altura en el *downtown* dedicados a los negocios y el comercio), con edificaciones de baja altura. Ésta ha creado una trama radial con una gran ocupación edificatoria y una enorme extensión del territorio ur-

banizado. Esto obliga a una extensa red circulatoria de autopistas y líneas de ferrocarril. La enorme proliferación de automóviles se hace imprescindible para este esquema urbanístico y obliga al uso del garaje amplio para 1, 2 o 3 coches, adosado a la casa.

El progresivo encarecimiento del suelo está llegando también a EE.UU. y obliga a aumentar la densidad de las urbanizaciones, que puede oscilar entre 16 y 40 viviendas/ha, siempre con jardín delantero y trasero, procurando conservar la impresión de espacio abierto, aunque el tamaño del jardín vaya disminuyendo.

SISTEMA DE PANEL *SANDWICH*

Frente al sistema tradicional de construcción con madera de viviendas unifamiliares en EE.UU. a base de montantes, cara exterior de tablero contrachapado o de virutas orientadas, relleno de aislante térmico grapado *in situ*, barrera de vapor y panel de cartón-yeso, se está introduciendo en el mercado un nuevo procedimiento a base de paneles *sandwich*.

Las fábricas de Norteamérica empiezan a contemplar todas las fases del proceso, desde la fabricación del panel hasta la instalación final de la vivienda, responsabilizándose también del diseño del conjunto a través de un gabinete anexo a la propia fábrica.

Esto supone una gran complejidad, puesto que se han de subcontratar todos los servicios intermedios, complementarios y de montaje.

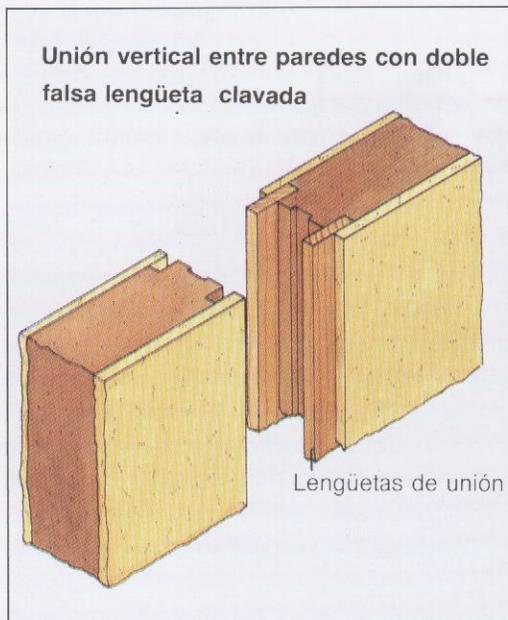
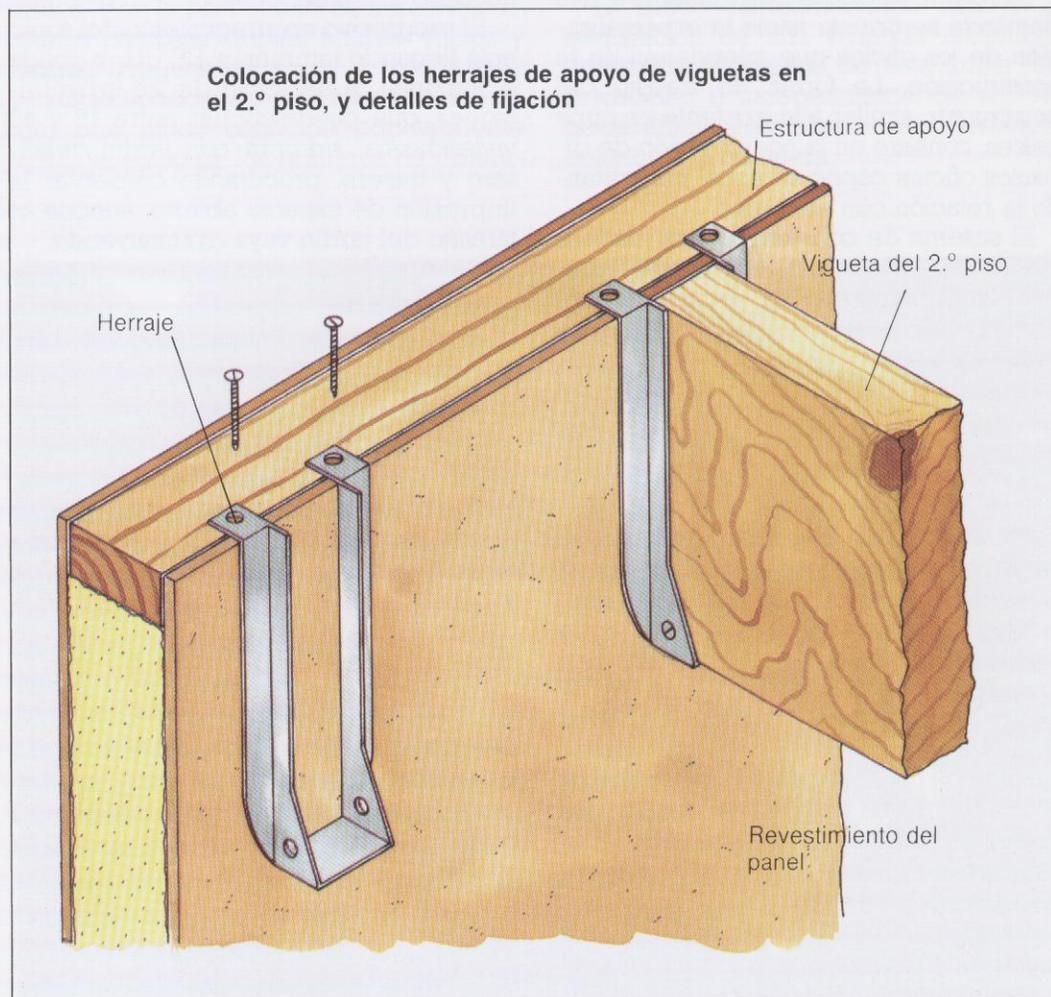


Figura 214

Por este motivo, la capacidad de producción de paneles por el momento no es muy elevada, ya que el interés actual lleva a controlar especialmente las otras fases, en especial el proyecto y la dirección de obra. La estrategia a medio/largo pla-

Figura 215



zo es desmarcarse de los constructores semiartesanos ofreciendo un producto más industrializado, de superiores prestaciones y con un control de calidad.

Con respecto al proceso de fabricación de los paneles *sandwich*, las fábricas que incorporan este sistema compran tableros de distintas clases que se introducen de forma automática en una línea donde lleva la separación conveniente al espesor del panel. El panel inferior sufre un calentamiento cercano a los 50 °C para acelerar la reacción de los elementos que componen la espuma.

Una serie de inyectores impulsan los componentes de la espuma de forma líquida mezclándose en ese instante, sobre el panel, de manera uniforme.

A continuación, y mientras se va produciendo el aumento de volumen de la espuma, se pasa a una formadora y a su posterior corte y manipulación para el almacenaje.

El rendimiento actual es de tres paneles por minuto y la dimensión en ancho es de 4 pies (122 cm), 11,5 cm de espesor y el largo que interese en cada caso (puede ser la altura del piso o mayor, sin limitación).

La fase más crítica de la fabricación es la mezcla de componentes y su proyección sobre los tableros. Dada su alta velocidad de fraguado, la existencia de rebabas sólidas puede producir atascos en la línea. Un operario vigila permanentemente este aspecto y limpia los proyectores de la mezcla.

Actualmente se está estudiando la posibilidad de utilizar este tipo de sólidos en la formación de la manta, lo que favorecerá un ahorro de material y que haya menos desperdicios.

El corte de las piezas se realiza en una nave separada, ya que en la nave de fabricación solamente se realiza el dimensionado en bruto, sin huecos ni formas especiales.

Para este proceso se utiliza un sistema de CAD/CAM en el que se define totalmente la forma definitiva y se practican los huecos necesarios de puertas y ventanas. El corte se realiza con fresa circular, pudiendo hacerse penetraciones con cierto grado de inclinación y circulares. Los cortes oblicuos al plano se hacen a mano con herramientas portátiles. Asimismo se realizan allí los rebajes necesarios para la unión de los paneles en vertical. El solape se hace mediante un sistema doble de falsas lengüetas con una gran superficie de contacto que luego es clavada (figura 214). Además, los paneles, dada su capacidad estructural, pueden recibir herrajes para el apoyo de viguetas para constituir el enrigado del segundo piso (figura 215).

Normalmente se deja una acanaladura longitudinal que permite la introducción de un sellante.

La carpintería exterior suele ser de PVC con doble acristalamiento y secciones muy reducidas. El accionamiento de la ventana no es el convencional en Europa. Se realiza a través de una manivela que permite una apertura graduada hacia el exterior. Hay que tener en cuenta que la ventilación no se confía a ventanas, sino al aire acondicionado. Éste va instalado bajo el suelo y sale a través de rejillas en cada habitación.

Los acabados dependen de la capacidad económica del comprador, pero las variaciones se limitan a los techos, que pueden construirse con madera machihembrada.

Las puertas son generalmente huecas, con bajorrelieve, acabadas con pintura y no tienen tanto carácter representativo como en España.

El acabado de suelos es a base de moquetas, salvo en cocinas y baños, que se resuelven con pavimentos plásticos con dibujos que imitan terrazos o gres, lo que les da un aspecto más cálido.

Los colores son invariantes para todo el conjunto: cremas, grises y blancos.

Algunas fábricas comenzaron a fabricar paneles *sandwich* como respuesta a la crisis energética de los años setenta. Los paneles se idearon como muros de cierre en estructuras de madera de gruesa escuadría con el fin de proporcionar un aislamiento ininterrumpido. Pronto se descubrió que los paneles podían utilizarse por sí solos. Podían ser utilizados a la vez como estructura portante y elementos de cierre en las viviendas.

Ventajas e inconvenientes del sistema

— Es algo más caro que el sistema tradicional (5 % más).

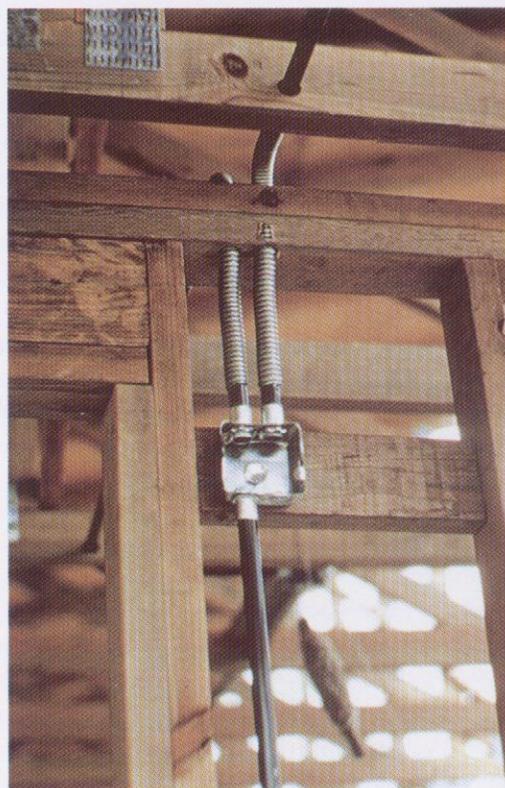
— Ofrece mayor aislamiento térmico.

— La introducción de conducciones eléctricas y de fontanería se hace mediante taladros practicados previamente en el alma, lo que obliga prever los pasos de instalaciones con cierta anterioridad (figura 216).

— Permite los mismos tipos de acabados que presentan las viviendas tradicionales: estucos, chapados de ladrillo o madera natural.

— Las cubiertas pueden solucionarse mediante el empleo de cerchas o directamente con vigas rectas y paneles, que es algo más caro, pero permite la habitabilidad de la cubierta.

Figura 216



Agradecemos la ayuda que para la ilustración de esta obra
nos ha sido prestada gentilmente
por las siguientes personas y entidades:

Condeport

Habitat Legno S.p.A.

Holzbau S.p.A.

Weisrock



OCEANO / CENTRUM