

La madera en la construcción de entramados inclinados de viviendas unifamiliares. Situación actual en España

Timber in domestic roof construction. Present situation in Spain

Beatriz González Rodrigo*

RESUMEN

La madera estructural está encontrando un nicho importante de mercado en la construcción de entramados inclinados de madera, impulsada por las normativas vigentes, las políticas gubernamentales y los nuevos productos y subproductos de la madera. En el presente artículo se presentan los diferentes sistemas constructivos en madera empleados en entramados inclinados, analizando su comportamiento estructural y determinando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Se incide en los sistemas de entramado pesado de par e hilera y par y picadero, que son los que están teniendo una mayor acogida en la construcción de entramados inclinados en madera, frente al sistema de entramado ligero. Finalmente se compara el comportamiento térmico de los diferentes sistemas constructivos de madera presentados con el de un sistema tradicional de cubierta ventilada de teja curva cerámica sobre tabiquilla según el CTE (Código Técnico de la Edificación). En este análisis se comprueba que la madera tiene un comportamiento térmico igual al sistema tradicional de teja y en además permite abaratar en tiempos de montaje.

161-214

Palabras clave: madera estructural, entramado ligero, entramado pesado, comportamiento térmico de cubiertas de madera.

SUMMARY

Structural timber is playing an increasing role in the market and construction of domestic roofs, pushed by existing regulations, governmental policies and the development of new timber products and subproducts. This paper presents a range of timber construction systems used in roofs, analysing their structural performance and determining their positive and negative aspects. The paper focuses on two heavy timber frame systems: couple roof ("par e hilera") and ridge-loaded roof ("par y picadero") that are being widely used with respect to light frame systems. Eventually the thermal performance of the presented systems is evaluated in comparison with a traditional ventilated roof made of ceramic and bricks, according to the Spanish Building Construction Regulation (Código Técnico de la Edificación). This analysis shows that timber roofs present a similar thermal response that the traditional ceramic one, and allow a significant reduction in construction time.

Keywords: structural timber, light timber frame, heavy timber frame, roof thermal behaviour.

*Ingeniera de Montes. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), Madrid
Persona de contacto/Corresponding author: bgonzalez@ietcc.csic.es (Beatriz González Rodrigo)

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA MADERA ESTRUCTURAL

El sector de la construcción es uno de los más contaminantes. Estudios realizados en Francia, demuestran que solamente en este sector se emite el 17,5% del CO₂ total (1). Para alcanzar los compromisos del Protocolo de Kyoto, los gobiernos europeos han promovido el uso de la madera como material de construcción. Este material, durante la fase de crecimiento es un sumidero de CO₂, en su transformación a material requiere poca energía y es un material biodegradable. Gracias a las políticas de fomento de este material estructural, se está impulsando el desarrollo de nuevas tecnología y de productos con base de madera.

Además de la característica de sumidero de CO₂ que ya se ha comentado, la madera presenta las siguientes propiedades que la hacen muy apta para el sector de la construcción: 1) es un material muy versátil, 2) la durabilidad del material no se ve influida por ambientes marinos o con altas concentraciones de cloro. 3) la manejabilidad y la trabajabilidad son muy buenas. 4) el montaje se realiza con rapidez y de forma limpia, al no tener obra húmeda. 5) su comportamiento ante el fuego es predecible. Durante el incendio, la sección residual de madera conserva sus características mecánicas.

Pese a la gran historia de este material en la construcción y a sus buenas aptitudes para cumplir una función estructural, en España, la madera sigue siendo considerada como un material no tradicional. De hecho, hasta marzo del 2006 no estaba regulado el cálculo estructural por ninguna normativa nacional de referencia obligatoria (2). Por este motivo, en la mayoría de las Oficinas de Control Técnico (OCT) no se daban dictámenes positivos a estas estructuras, lo que impedía la obtención del seguro decenal. Esta situación ha frenado el desarrollo de la madera como material estructural en promociones de vivienda y ha restringido el nicho de mercado a las cubiertas para viviendas unifamiliares y las grandes obras.

Pese a esto, se ha observado un aumento del uso de la madera estructural en las viviendas unifamiliares. Este incremento ha estado muy influenciado por el suministro y almacenamiento de madera laminada encolada (MLE) clasificada estructuralmente y de grandes longitudes. Anteriormente, para entramados pesados de madera, solamente se utilizaba la madera aserrada de grandes escuadrías. Esta madera presenta limitaciones para grandes luces y además, puesta en obra, puede presentar alteraciones por fendas y revirados. Actualmente, la madera aserrada se utiliza

mayoritariamente para obras rústicas y rehabilitaciones y la MLE se ha generalizado en el resto de las construcciones con madera de nueva obra.

El incremento de la construcción de cubiertas de entramado pesado ha ido acompañado por el desarrollo de industrias paralelas que ofrecen soluciones constructivas. Así, en los últimos años, ha aumentado la presencia de empresas de herrajes que ofrecen productos estándar testados estructuralmente, industrias de paneles sándwich que permiten situar el aislante térmico por encima del elemento estructural, empresas especialistas en máquinas de control numérico, etc.

Con la entrada en vigor del CTE, se espera que el consumo la madera estructural experimente un gran aumento debido a su normalización como material de construcción.

2. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LAS ESTRUCTURAS ENTRAMADAS DE MADERA

Las cubiertas se pueden clasificar en sistemas de entramado ligero o sistemas de entramado pesado.

1.1. Sistema de entramado ligero

Este sistema fue impulsado en Estados Unidos en el siglo XIX a raíz del desarrollo de la tecnología del aserrío y de la fabricación de los clavos. Este sistema permitía las uniones de secciones pequeñas de madera sin la necesidad de uniones complicadas y con un alto coste de mano de obra (3).

El sistema está conformado por un gran número de elementos de pequeña dimensión situados unos próximos de los otros y unidos con elementos de unión tipo clavija o placa de clavos (4). El sistema está formado por estructuras superficiales de muros, forjados y cubiertas que al unirse funcionan como una estructura espacial.

Este sistema presenta como ventajas: 1) la baja mecanización de los elementos estructurales; 2) la adaptabilidad al diseño y flexibilidad para posteriores remodelaciones; 3) la capacidad de conducción de instalaciones entre los elementos estructurales; y 4) la facilidad y rapidez en la ejecución.

El entramado ligero de madera deberá ir acompañado de revestimiento que le asegure la resistencia al fuego exigida para cada caso por la normativa vigente. En cubiertas los cerramientos más empleados como barrera de fuego son yeso laminado,



Figura 1. Cubierta simple de par y picadero. Entramado ligero.

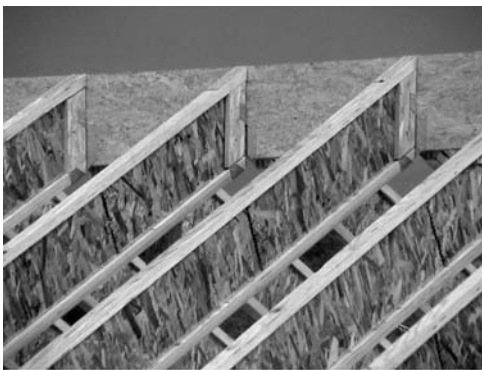


Figura 2. Detalle y esquema de la unión entre el par y la hilera en el sistema de entramado ligero.

tableros de cemento-madera, fibrocemento y tableros con prestaciones mejoradas contra el fuego.

1.1.1. Cubiertas simples de entramado ligero

Los sistemas de cubiertas simples de entramado ligero más utilizados en España son mayoritariamente la de par y picadero (Figura 1) y la de par e hilera (Figura 2). Estos dos sistemas permiten aprovechar íntegramente el bajo cubierta. La madera aserrada de pequeñas escuadrías y las vigas reconstituidas son los productos más empleados en este tipo de cubiertas.

En la cubierta simple de par y picadero, el picadero tiene una función de estructura primaria, en cambio, en las cubiertas de par e hilera, la hilera es terciaria. En este último caso es importante el estudio de las

cargas horizontales sobre el apoyo inferior (muro) (Figura 3).

La luz máxima de los pares suele ser de 4,5 m y separaciones entre elementos entre 40 y 60 cm. La separación viene condicionada por la medida del tablero (1,25 x 2,50 m ó 1,22 x 2,44 m). La unión del par a la hilera, al picadero o al zuncho perimetral se suele realizar mediante uniones metálicas (Figura 2) y raramente con uniones tipo clavija.

En el mercado se encuentran unas viguetas compuestas en forma de I. Éstas tienen la ventaja de venir preparadas para permitir el paso de instalaciones a través de ellas (viguetas de la Figura 2)

La Figura 3 presenta un esquema del sistema constructivo más usado en las cubiertas simples de entramado ligero con teja cerámica o pizarra. El doble enrastrelado es una solución

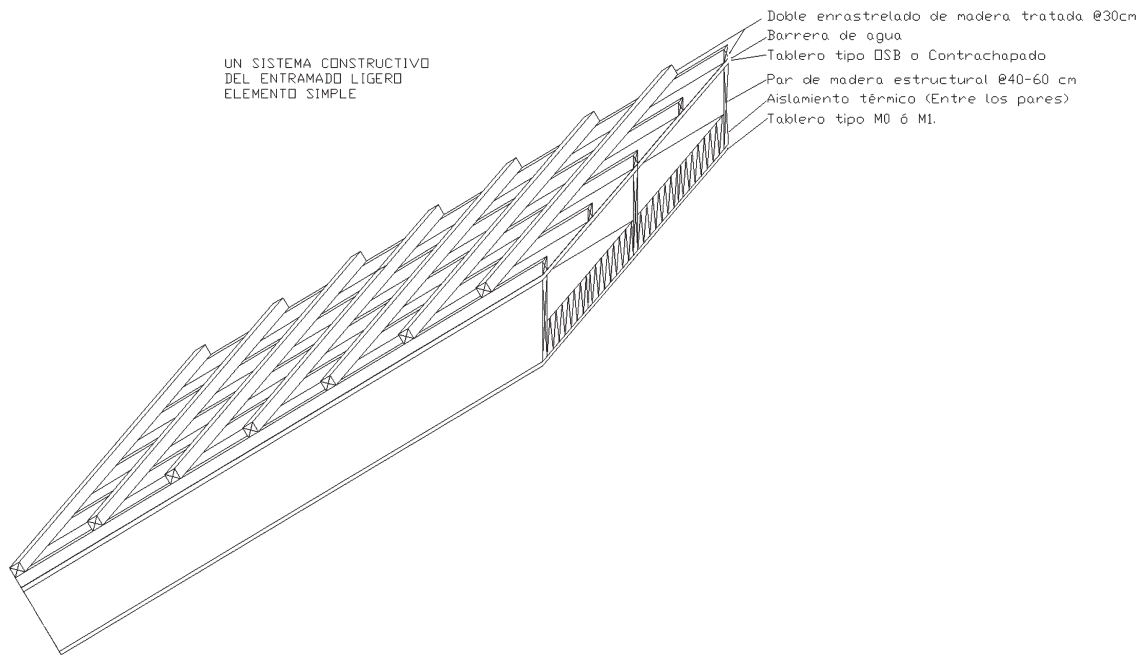


Figura 3. Ejemplo de sistema constructivo simple de entramado ligero.

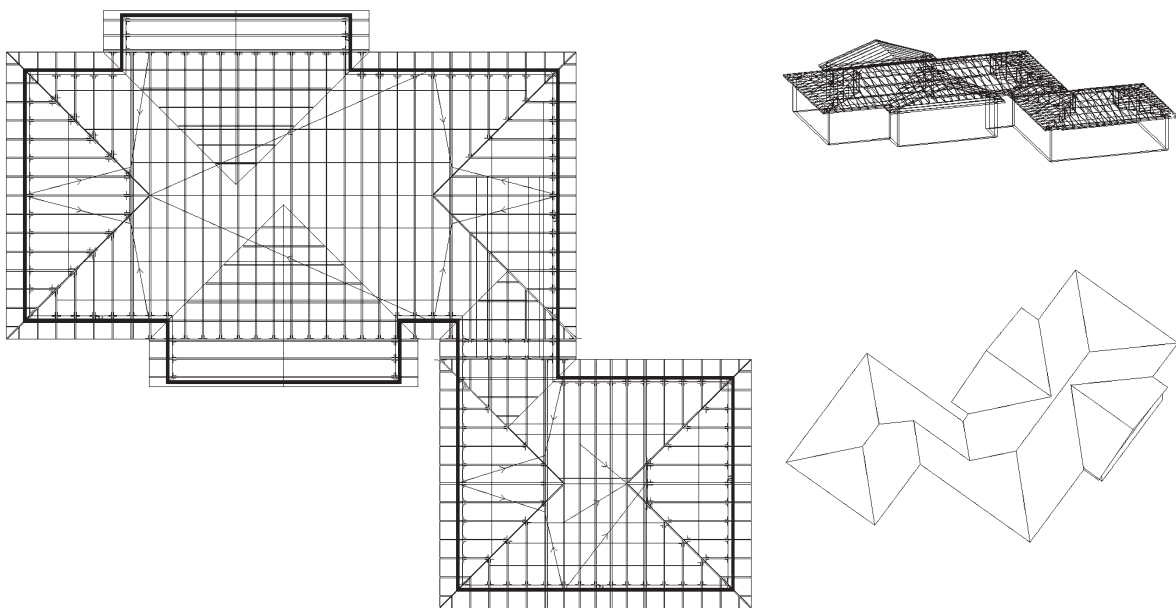


Figura 4. Ejemplo de un proyecto de cubierta compuesta con cerchas no habitables de entramado ligero.

recomendable cuando se usa una barrera de agua plana. Para barreras de agua onduladas es suficiente con el enrastrelado simple. Es importante que el diseño prevea la ventilación de todos los elementos de madera.

1.1.2. Cubiertas compuestas de entramado ligero

Es un sistema formado por cerchas de madera prefabricadas. Usualmente se utilizan piezas de madera aserrada clasificada y unidas entre

sí mediante conectores de placa dentada. En obra, se siguen utilizando pletinas metálicas con clavos o cartelas contrachapadas para solucionar la unión. El problema de esta solución es la falta de control de las uniones y el tiempo de fabricación en obra.

Las cerchas se colocan con una separación de entre 50 y 60 cm, y se arriostran unas a otras con un tablero de cerramiento y contravientos. La unión de la cercha al muro se realiza mediante escuadras metálicas.

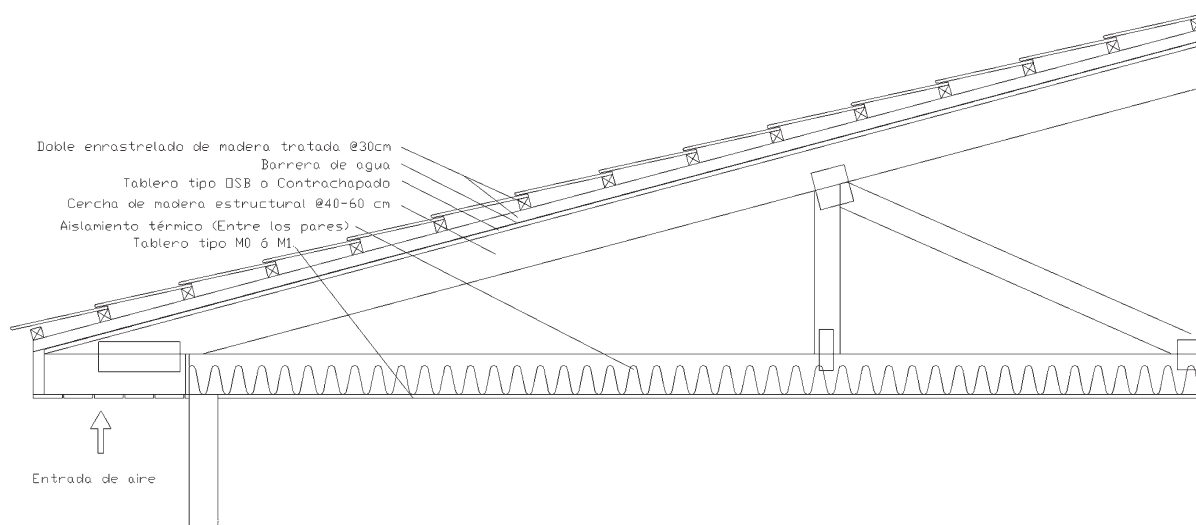


Figura 5. Detalle del sistema constructivo más habitual de entramado ligero con elementos compuestos.

En el caso de que el muro pueda sufrir un aumento de humedad por capilaridad, es recomendable colocar entre éste y la cercha un durmiente de madera tratado para clase de riesgo 3 ó 4.

Hay cerchas de madera que permiten aprovechar el bajo cubierta. Aunque las más demandadas son las no habitables. Este último tipo de cercha puede cubrir luces entre apoyos de hasta aproximadamente 12 metros de largo.

En las cubiertas habitables, las cerchas pueden fabricarse con o sin tirante dependiendo si existe ya un forjado donde se pueda apoyar. Las cerchas cubren luces máximas aproximadas de hasta 8 m sin apoyos intermedios o hasta 12 m con un apoyo cuando los tirantes cumplen la función de elementos estructurales de forjado.

Actualmente, existen en el mercado programas de cálculo de cubiertas de entramado ligero con cerchas. Estos programas permiten volcar la información sobre máquinas de control numérico que aseguran un correcto corte de las piezas. La unión se soluciona presionando los conectores de placas metálicas mediante una prensa hidráulica confeccionada para esta función.

La Figura 4 presenta un proyecto diseñado y calculado para una cubierta compuesta de entramado ligero.

La Figura 5 presenta un detalle del sistema constructivo más habitual con cerchas no habitables de entramado ligero con cubierta cerámica o de pizarra.

La Tabla 1 (página siguiente) presenta una comparación entre las ventajas e inconvenientes de las cubiertas simples y compuestas con sistema de entramado ligero.

1.2. Sistemas de entramado pesado

El sistema de entramado pesado está conformado por elementos estructurales de gran dimensión que se suelen dejar vistos. Las uniones y encuentros de estos elementos de madera se han visto ampliamente mejorados con la proliferación, en la industria, de máquinas de control numérico. Esta tecnología está, además, permitiendo volver a realizar ensambles tradicionales que se habían dejado de fabricar por el alto coste que suponía la mano de obra especializada requerida.

Con el aumento de demanda del sistema de entramado pesado, han aumentado las empresas que ofrecen cerramientos mediante paneles prefabricados conocidos como paneles sándwich.

La elección del tipo de cerramiento y el conocimiento o cálculo de su capacidad resistente, es importante a la hora de diseñar una cubierta y determinar si va a haber elementos secundarios y terciarios. Si se opta por el sistema prefabricado de paneles, es importante tener en cuenta que actualmente en el mercado existen 2 grupos: cerramiento y estructurales. El primero (Figura 6) requiere elementos de apoyo próximos.

El segundo tipo de panel, estructural, posee en su interior elementos de madera (cabrios) que rigidizan el conjunto y ayudan a un mejor comportamiento resistente. En este último

Tabla 1. Cuadro comparativo cubiertas simples y compuestas con sistema de entramado ligero

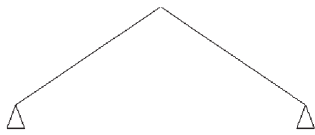
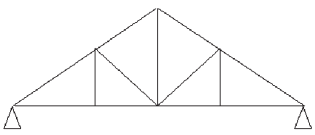
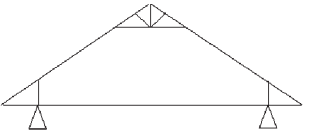
Esquema			
Control de fabricación de elemento	- El control es más complicado debido a que el sistema no se puede controlar en industria. Se requiere de planos detallados y montadores con experiencia.	- Las cerchas se suelen fabricar en la industria bajo la supervisión de un técnico competente y previo cálculo de estructuras.	- Las cerchas se suelen realizar en la industria bajo la supervisión de un técnico competente y previo cálculo de estructuras. - Puede darse el caso, que por problemas de altura, la cercha tenga que ir en dos partes.
Habitabilidad	- Completo aprovechamiento del bajo cubierta	- No hay aprovechamiento del bajo cubierta	- Aprovechamiento no completo del bajo cubierta.
Diseño y funcionalidad	- Permite ocultar algunas instalaciones entre los pares, pero no aire acondicionado, depósito de agua, etc. - Menor ventilación entre los elementos de madera.	- Permite ocultar instalaciones entre las cerchas (Aire acondicionado, depósitos de agua, etc.). - Permite una buena ventilación de los elementos de madera.	- Permite ocultar instalaciones entre las cerchas (Aire acondicionado, depósitos de agua, etc.). - Ventilación desigual según diseño.
Transporte y manejabilidad	- Facilidad de transporte y manejabilidad en obra. (El material ocupa y pesa poco).	- Dificultad de transporte por la altura de las cerchas. Difícil manejabilidad por el peso y dimensiones de la misma.	- Menor facilidad de transporte y manejabilidad que la cubierta simple, aunque sigue siendo buena.
Montaje	- Escasez de mano de obra cualificada. - Mayor dificultad al requerir cortes y ensamblajes en obra.	- Escasez de mano de obra cualificada. - Rápido montaje aunque puede llegar a ser pesada y poco manejable.	- Escasez de mano de obra cualificada. - Rápido montaje.
Precio material	- Material barato si se usa madera aserrada y caro si se usa madera reconstituida. - Montaje medio.	- Material con precio medio. - Montaje medio.	- Material con precio medio. - Montaje rápido y económico.



Figura 6. Cubierta simple de entramado pesado con cerramiento con panel sándwich cerámico.

caso se puede obviar el uso de elementos secundarios al no necesitar elementos de apoyo próximos (Figura 7).

1.2.1. Cubiertas simples de entramado pesado

Este sistema de cubiertas está teniendo una gran aceptación en las viviendas unifamiliares, al permitir el uso del bajo cubierta y que la madera esté vista. En este sistema es fundamental la buena resolución de los detalles constructivos para garantizar la durabilidad de la estructura. Tradicionalmente, el encuentro del elemento estructural a los muros se solucionaba mediante encastre. Una mala solución de este encuentro puede convertirse en el punto más sensible de la estructura (5). Este tipo de encuentro debe asegurar que la viga no esté en contacto directo con humedad y agua y, si fortuitamente lo estuviera, que se pueda evacuar por ventilación y diseño. Esto es debido a que la madera por encima de un 20% de humedad puede ser atacada por hongos de pudrición.

Las cubiertas simples de madera con entramado pesado suelen ser:

a) Cubiertas a la molinera.

Cubierta formada por correas que apoyan sobre muros piñones y forman el forjado inclinado (Figura 8).

Este tipo de entramados está siendo demandado para las viviendas adosadas con pequeño espacio de frontal (5 a 6 m). En el cálculo de estas correas inclinadas hay que tener en cuenta la influencia de la deformación de la correa en el plano y-y (Figura 9). En la Figura 10 se propone una solución constructiva, para disminuir la deformación en el plano y-y de las correas si el cálculo de estructuras así lo requiriera.

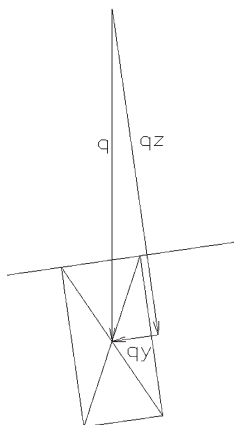


Figura 9. Componentes de las cargas verticales sobre una correa.



Figura 7. Cubierta simple de entramado pesado con panel sándwich estructural.



Figura 8. Cubierta a la molinera de entramado pesado de madera.

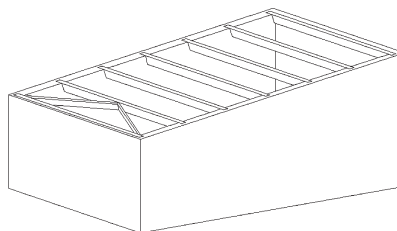


Figura 10. Cubierta a la molinera de entramado pesado. Detalle constructivo para disminuir la deformación en correa.

b) Cubierta de par e hilera.

Cubierta en donde el faldón resistente está constituido por pares colocados en el sentido de la pendiente. La hilera cumple una función auxiliar de unión entre los elementos primarios y arriostre.



Figura 11. Solución con tensores para evitar el empuje horizontal sobre el muro.



Figura 12. Cubierta de entramado pesado. Solución con nudillos para disminuir el empuje horizontal sobre el muro.



Figura 13. Cubierta de entramado pesado. Par y picadero.

En el cálculo, hay que considerar soluciones el empuje horizontal del par en su encuentro con el muro y determinar las soluciones constructivas adecuadas para cada caso (nudillos, tensores cada ciertos pares, etc.). La Figura 11 presenta una solución con tensores y la Figura 12 con nudillos.

c) Cubiertas de par y picadero (Figura 13).

Cubiertas en donde la viga de cumbrera o picadero tiene una función estructural primaria y los pares trabajan como vigas biapoyadas.

Junto con las de par e hilera son las cubiertas simples más utilizadas en la construcción de viviendas unifamiliares actualmente.

1.2.1. Cubiertas compuestas de entramado pesado

Tradicionalmente, este tipo de cubiertas eran las más empleadas en la construcción posiblemente debido a la estabilidad estructural del elemento compuesto terminado o a la relativa facilidad de fabricar formas inusuales (6).

Dependiendo del clima y de la situación histórica, en cada zona se ha generalizado un tipo de cercha. Estos modelos solían ser muy artesanales con ensambles madera. Actualmente, gracias a las nuevas tecnologías, se puede recuperar este tipo de elemento constructivo.

La madera ofrece el mayor abanico de posibilidades de diseño de cubiertas compuestas por la relativa facilidad con la que se pueden fabricar y montar formas inusuales de cerchas. En el mercado, actualmente se encuentran diseños con uniones tradicionales o placas metálicas, como se muestra en las Figuras 14 y 15 y en las obras de las Figuras 16 y 17.

Estos elementos estructurales compuestos, frecuentemente están separados más de 2 metros unos de otros. En la mayoría de estos casos se requieren elementos estructurales secundarios, correas, para asegurar el adecuado comportamiento de la cubierta.

Para el cálculo de estas correas se requiere considerar la flexión esviada a la que va a estar sometido el elemento.

Las cerchas suelen venir prefabricadas a obra. Hay que tener especial precaución a la hora de levantarlas para evitar que alguna de las uniones sufra una carga para la que no está preparada. Una de las grandes ventajas que presenta este tipo de cubiertas es la rapidez de montaje en obra.

3. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS ENTRAMADOS DE MADERA FRENTE A UNA CUBIERTA TRADICIONAL

La Tabla 2 (página siguiente) presenta un cuadro comparativo del comportamiento térmico de los sistemas constructivos presentados y lo compara con una cubierta tradicional. El coeficiente de transmisión térmica (U) se ha obtenido mediante el programa informático de Control Energético de Viviendas en base al CTE.

4. CONCLUSIONES

A lo largo de la historia los sistemas estructurales de las cubiertas se han ido adaptando basándose en las necesidades existentes, la materia prima, la evolución de la tecnología y el desarrollo de los elementos de unión.

En España, el desarrollo de los nuevos productos de madera, las tecnologías de control numérico y de los elementos de unión, están impulsando el desarrollo de sistemas de entramados pesados.

Un buen estudio de los requerimientos del proyecto permite determinar el sistema estructural de madera más adecuado. Además, el análisis del comportamiento estructural de los elementos estructurales y de los detalles constructivos permite obtener cubiertas adaptadas a diseños complejos.

Se obtiene un comportamiento térmico análogo en el análisis realizado con CEV en base al CTE entre las 5 cubiertas de entramado de madera estudiadas en el artículo, con respecto a la ventilada con teja curva cerámica sobre tabiquilla.

En cambio, a nivel de aprovechamiento del espacio y del tiempo de montaje, se observan resultados muy favorables cuando se trabaja con madera.

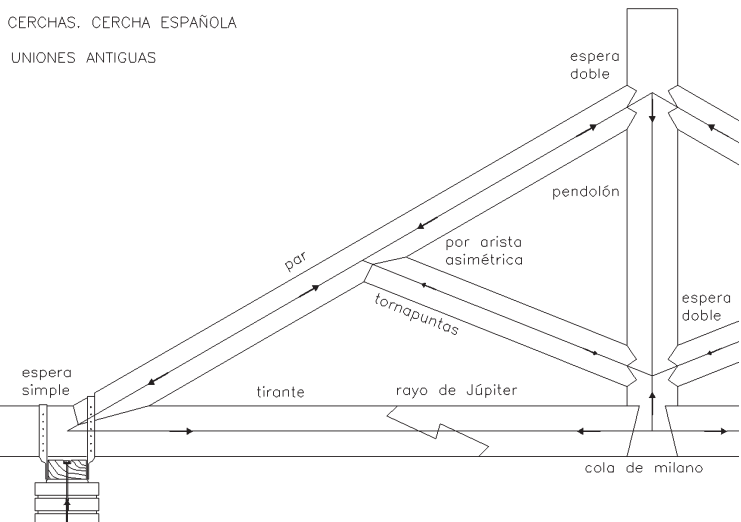


Figura 14. Esquema de cercha de entramado pesado resuelta con uniones tradicionales.

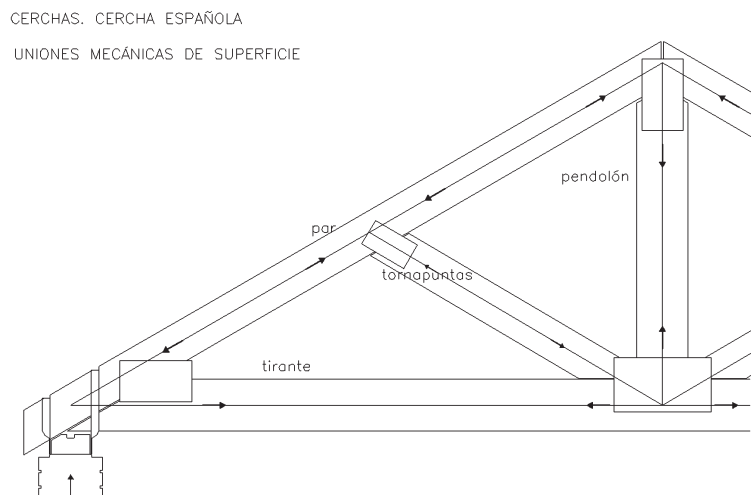


Figura 15. Esquema de cercha de entramado pesado resuelta con uniones mecánicas en superficie.



Figura 16. Cerchas de entramado pesado resueltas con uniones tradicionales.



Figura 17. Cerchas de entramado pesado resueltas con uniones mecánicas en superficie.

Tabla 2. Cuadro comparativo cubiertas simples y compuestas con sistema de entramado ligero

Elementos considerados		Aprovechamiento del bajo cubierta	U (W/m ² °C) según el programa CEV	Tiempo aprox. de constr. (3 oper.)
Entramado ligero en madera	Cubierta simple	Completa	0,33	4 días
	Cubierta compuesta habitable	Parcial	0,33	4 días
	Cubierta compuesta no habitable	Ningún aprovechamiento	0,33	3 días
Entramado pesado en madera	Cubierta simple / cubierta compuesta	Completa/ Aprov. visual no espacial	0,35	3 / 4 días
Cubierta ventilada de teja curva cerámica sobre tabiquilla		Ningún aprovechamiento	0,33	2 semanas

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Nevado M. A., 1999. "Diseño de estructuras de madera". Ed. Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y del Corcho (AITIM), 285 pp.
- (2) Código Técnico de la Edificación. Ministerio de la Vivienda. Marzo 2006.
- (3) Sunley, J. y Bedding, B., 1987. "Timber in construction". Ed. Bratsford. 2ª Edición, Londres. Gran Bretaña. 217 pp.
- (4) Argüelles, R, Arriaga, F., Martínez, J. J., 2000. "Estructuras de madera, diseño y cálculo". Ed. Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y del Corcho (AITIM), 720 pp.
- (5) Nuere, E., 2007. "Madera en restauración y rehabilitación". Nota técnica de Informes de la construcción nº 506 (59). 123-130 pp.
- (6) Ozelton, E C. y Baird, J. A., 2002. "Timber designers' manual". Ed. Blackwell Science. 3ª Edición. Oxford, Gran Bretaña. 542 pp.

* * *