

breve HISTORIA de la madera en la construcción (y IV)

EL RETORNO DE LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL EN LA ARQUITECTURA

JUSTO GARCÍA NAVARRO Y
EDUARDO DE LA PEÑA
ARQUITECTOS

La «madera industrializada»

Como se ha ido viendo en artículos precedentes (ver Boletines 211, 212 y 215), la construcción en madera ha vivido hasta ahora dos grandes cimas. La primera se produjo en el imperio romano, y especialmente en las cubiertas de las basílicas paleocristianas. La segunda se produjo durante la Edad Media, cuando la técnica maderera en general alcanzó un elevado perfeccionamiento y desarrollo estructural, del que se vivió hasta principios del s. XIX. La revolución industrial significó también un hito en el empleo estructural de este material, muchas veces silenciado por el evidente protagonismo del acero y el hormigón, y también por la decadencia que en casi toda Europa tuvo este material. La puesta al día consistió en la paulatina sustitución de la madera maciza por materiales industrializados, es decir, en la aparición de un nuevo material estructural que puede denominarse como «madera industrializada».

Tal y como señala A. Graciani¹, los cambios en la técnica constructiva de la madera se refieren sobre todo a los sistemas de unión de las piezas entre sí y al modo de trabajarla.

En cuanto a los sistemas de unión, debe recordarse que hasta este momento los ensambles eran generalmente de caja y espiga, y las uniones se realizaban con clavijas de madera, rara vez metálicas. Con la total incorporación del hierro y el acero a la construcción, los ensambles comenzaron a realizarse con piezas metálicas capaces de aguantar los esfuerzos a tracción y cortante hasta límites insospechados por entonces. Pero también comenzaron a utilizarse, desde finales del s. XIX, colas y resinas sintéticas; desde 1930 se aplicaron las termoendurecibles, que hicieron

posibles las unidades estructurales continuas, constituidas por pequeños elementos de madera, incluso con diferentes propiedades.

El trabajo de la madera obtuvo un fuerte impulso en los primeros años del s. XIX, cuando la sierra manual comenzó a sustituirse por la sierra a motor, con la que podían obtenerse láminas de hasta 1 mm de espesor. La principal consecuencia fue la aparición de la madera laminada, según un procedimiento por el cual las láminas de madera se encolaban unas sobre otras y luego se prensaban, momento en el que eran sometidas a un tratamiento térmico con el fin de endurecer el adhesivo. Hasta entonces la madera empleada en elementos estructurales siempre había sido maciza; las ventajas de este nuevo sistema permitieron considerar a la madera entre los materiales de alta resistencia que comenzaban a despuntar, pues fue posible realizar vigas compuestas y estructuras de gran importancia. Entre sus cualidades, se pueden mencionar las siguientes: facilidad de fabricación de elementos de gran tamaño partiendo de madera fácilmente disponible; minimización de grietas y otros defectos asociados a la pérdida de humedad, en piezas de gran sección; mayoración de las resistencias de cálculo y posibilidad de utilización de maderas de diferente calidad².

Entre las primeras experiencias conocidas sobre la utilización de este material en Europa puede mencionarse la construcción de un auditorio en Basilea (Suiza), en 1893.

En un primer momento -finales del s. XIX-, las estructuras de madera laminada solo se realizaron planas, pero a partir de principios del s. XX aparecieron las cubiertas de directriz curva, por ser este material fácilmente curvable. La variante parabólica acabó

imponiéndose por las ventajas de su funcionamiento mecánico, que permitía disposiciones estructurales de gran estabilidad: con arcos se han llegado a salvar luces por encima de 100 metros, mientras que con piezas rectas no suelen sobrepasarse los 30 metros. Los casos más significativos pueden ser la cubierta de la sala de llegada de pasajeros al muelle de Southampton y el gran vestíbulo del campo de deportes de Westfalia, este último con arcos que salvan una luz de 75 metros.

La industrialización de la madera también ha permitido la recuperación de su empleo en las cimentaciones con los muros de madera tratada mediante procedimientos químicos para evitar su degradación. Su justificación práctica se da en lugares en los que, por las especiales condiciones climáticas o de suelo, las cimentaciones convencionales son difíciles o muy caras de ejecutar. Es el caso de zonas muy frías en las que el hormigonado se puede ver perjudicado por las bajas temperaturas o suelos permanentemente encharcados. Frente a la rapidez de ejecución, para la que solo se necesita herramienta manual de carpintería, habría que objetar la falta de masa para evitar el vuelco en condiciones extremas de viento y las limitaciones en cuanto a su capacidad de carga.

Nuevos entramados de madera

Cuando Europa construía ya sus viviendas con muros de ladrillo y viguetas de hierro, Norteamérica desarrolló un sistema de entramado de madera que encontró su confirmación en un concepto urbano y doméstico que le ha hecho llegar hasta nuestros días.

Fue en la década de 1830 cuando se idearon los dos sistemas fundamenta-

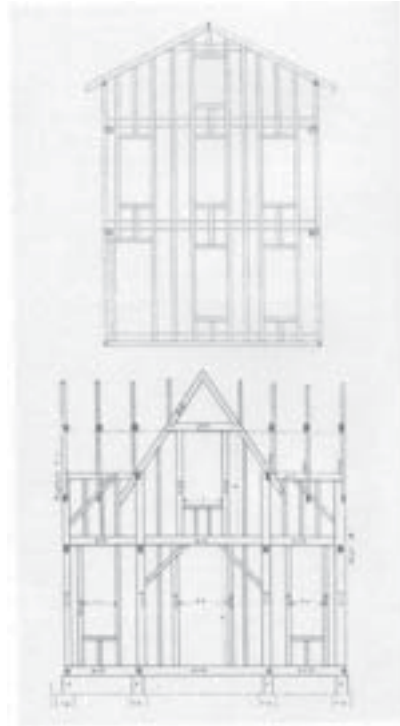


les de entramado abierto. Como ya se había adelantado, en el *platform framing* los paneles de pared se hacían de una única altura, pues servía de apoyo al forjado que a su vez recibía la estructura de la planta superior. En el *balloon framing* la pared exterior se fabricaba en piezas de dos plantas de altura, de modo que los pisos intermedios se apoyaban en travesaños clavados a los montantes; la estabilidad de la estructura frente a acciones horizontales se conseguía mediante la diagonalización de los montantes con barras de madera, formando una rígida jaula de madera casi indeformable que se difundió enseguida por todo el sector de la edificación a pequeña escala.

Ambas estructuras eran después forradas con entablados de madera dispuestos por lo general horizontalmente, también de gran difusión en este país, o con otros materiales ligeros. La ventaja es que, por su ligereza (todos los montantes eran de pequeña escuadria -10 x 5 cm-), estas estructuras podían ser montadas por un solo hombre provisto de un martillo y una sierra.

El entramado de madera americano fructificó en las técnicas de autoconstrucción que tanto éxito tuvieron en la arquitectura doméstica de Estados Unidos, los países escandinavos e incluso Gran Bretaña, donde Walter Segal ideó un procedimiento constructivo por el cual las piezas utilizadas para los andamiajes y los apeos quedaban progresivamente incorporadas a las estructuras a medida que ésta se completaba³. Estos sistemas han experimentado una evolución paralela a la que se ha conseguido en la madera a través de la tecnología, como la incorporación de tableros de madera resistentes que actúan como diafragmas en sustitución de las triangulaciones, y el reemplazo de la madera en bruto como material estructural por montantes y viguetas realizados a partir de tableros de viruta y chapas de madera.

La popularización del tablero de madera y su fabricación industrial es relativamente reciente (desde los años treinta y cuarenta)⁴. Se emplea sobre todo como revestimiento, pero también es posible dotarle de cualidades mecánicas suficientes para hacerlo colaborar como elemento estructural; la forma más habitual es empleándolo para forrar una estructura relativamente flexible y esbelta con el fin de rigidizarla. El que más se utiliza en los sistemas de tipo *balloon frame* es el



Casa de balloon frame house de dos plantas, con montantes de 2" x 4" clavados. James H. tMonckton's The National Carpenter and Builder, New York, 1873

tablero contrachapado (*plywood*), formado por un número impar de chapas encoladas dispuestas de manera que la dirección de la fibra de una chapa sea perpendicular a la de la siguiente.

El movimiento *Arts and Crafts*

Un factor decisivo en la recuperación de la madera como material de construcción es la aparición en Inglaterra, a finales del siglo XIX del movimiento *Arts and Crafts*. Inspirado por el socialista utópico William

Morris y el crítico John Ruskin, se propone como respuesta al deterioro de la calidad provocado por la producción industrializada y manufacturada imperante en la época. Defendían la artesanía tradicional, las técnicas constructivas vernáculas, y promovían la relación directa y personal entre el diseñador y el productor, aprovechando la experiencia del artesano y las características de los materiales naturales.

De Inglaterra llega a Estados Unidos a través de las comunidades religiosas que defendían el carácter dignificador del trabajo, el respeto y la proximidad con la naturaleza, y el gusto por los materiales naturales trabajados artesanalmente.

Esta filosofía enlaza con los planteamientos de Frank Lloyd Wright, ya influenciado por la arquitectura *shoin* japonesa, y desarrolla un estilo perfectamente adecuado a la tradicional construcción en madera americana, con largas galerías cubiertas y porticadas, aleros muy profundos, chimenea central en torno a la que se organiza la escalera, y una relación directa entre la casa y el jardín.

La Casa Gamble (Pasadena, EE.UU., 1909) es un claro exponente de este movimiento. La estructura de madera de secuoya está revestida de planchas solapadas de madera también de secuoya que queda visible tanto al exterior como al interior, con un marcado acento constructivista en línea con las tendencias posmodernistas. En la cubierta, las cabezas de los pares quedan vistas, remarcando la sencillez de la estructura, y con evidente inspiración japonesa. Sin embargo, la mayor diferencia con ésta es la utilización de escuadrias inferiores, lo que provoca un mayor



Frank Lloyd Wright: casa Jacobs

número de elementos en la estructura, y numerosas uniones resueltas mediante clavos y tornillos, con mucho menor trabajo carpintero. En cualquier caso, lo que ocurría en Japón y en Estados Unidos no era casual, ni tampoco eran hechos inconexos. Además, la ligereza y flexibilidad propia de las estructuras de madera las hacía especialmente adecuadas en zonas de elevado riesgo sísmico, como es el caso de California o de Japón.

Y evidentemente, Europa no estaba ajena a estas tendencias, aunque las circunstancias no fueran idénticas. En palabras de Alvar Aalto, «*es la naturaleza, y no la máquina, el principal modelo para la arquitectura*». A pesar de su tamaño, no puede dejar de mencionarse *Le petit cabanon* en Cap Martin, de Le Corbusier (1950), por constituir una de las piezas de la modernidad que mejor han expresado la rusticidad de la madera; en ella se utilizaron tableros y troncos de árbol, y el resultado es el de una construcción en bruto.

Así los grandes maestros empiezan a conjugar sabiamente los diferentes recursos que les proporcionan los distintos materiales. Aunque para funciones estructurales principales se aprovechan de las ventajas que en muchos casos aportan hormigón armado y acero, no se olvidan de las prestaciones y la calidad que proporciona la madera.

La Villa Mairea (Noormarkku, Finlandia, 1941), de Aalto, refleja perfectamente todo lo antedicho. La estructura es mixta, con muros de carga y pilares no dispuestos según una retícula regular e incluso de materiales diferentes. La madera aparece continuamente, revistiendo con tablas verticales el ala de estudio, en la carpintería de teca de las ventanas, en las tablas también de teca que recubren la fachada de la biblioteca, o en las marquesinas de madera del porche de entrada y del paso que une la casa con la sauna.

La combinación de hormigón armado, ladrillo, piedra, madera y acero, sabiamente manejada por un gran arquitecto, funde la tradición y lo vernáculo del *Arts and Crafts* con la sencillez y austeridad en este caso del clasicismo nórdico.

Las armaduras de cubierta durante el s. XX

La carpintería de armar, tan utilizada desde la antigüedad para cubrir



La Casa Gambel (Pasadena, EEUU, 1909). EN construcción y terminada



Arriba y a la izquierda, vivienda en Cap Martin, de Le Corbusier. Abajo, Villa Mairea, de Alvar Aalto

grandes luces, también experimentó transformaciones que le permitieron ponerse al día en cuanto a resistencia y estabilidad, haciéndola capaz de salvar grandes luces. A principios del s. XX reapareció con gran fuerza e ingenio ante las necesidades derivadas de la primera Guerra Mundial. Los sistemas constructivos con madera de





Casa Gropius en EEUU de entramado ligero. Proyecto de M. Breuer y W. Gropius.



Stephan y Hetzer se basaron en los principios de la construcción metálica, y fueron aplicados desde 1912 en edificios industriales y naves de ferrocarril con consumos mínimos de material.

El sistema Stephan consta de unos arcos compuestos por dos cordones enlazados por una celosía encepada, unida a ellos con tacos metálicos; las correas descansaban directamente sobre el arco y el conjunto se completaba con un tirante que absorbía el empuje.

El cuchillo diseñado por Hetzer se componía de un cordón superior curvo y con sección en doble T y un cordón inferior que era un tirante metálico. La doble T se conseguía encolando tablas en posición horizontal. Se ha considerado este sistema como uno de los que consiguen un mayor rendimiento de la madera, no

sólo por sus características geométricas, sino por su especial confección: puesto que la albura de la madera sufre mayores fatigas por flexión que el duramen, las de la albura se colocaban en la parte intermedia de la doble T y las del duramen en los extremos⁵. Por otra parte, seleccionaba distintos tipos de maderas según fueran solicitadas a tracción o a compresión; así, para las primeras se empleaba abeto y para las segundas haya estufada.

Este último, por ser el más ventajoso, es el sistema más parecido a los actuales; entre las realizaciones más notorias, puede citarse la cubierta de la Sala de Máquinas de la Exposición de Bruselas (1910), cuyos arcos de dos articulaciones salvan una luz de 43 metros.

La armadura clásica para luces reducidas ha seguido empleándose en las

cubiertas de viviendas en Norteamérica y países del norte, aunque por la necesidad de ocupar el desván de estas viviendas, que antes estaba ocupada por la armadura, se ha perdido el pendolón central para asumir un esquema más parecido al de pares y nudillo. También este sistema ha ido incorporando la tecnología constructiva. La transformación fundamental ha consistido en la sustitución de la madera por otros materiales que proceden de la transformación de la madera, que han mejorado sus propiedades mecánicas para ponerlas a la altura de las del más cualificado material estructural. Así se manejan la madera laminada encolada, de la que ya se ha hablado, la madera microlaminada (LVL - *Laminated Veneer Lumber*), la madera reconstituida (PSL - *Parallel Strand Lumber*) o los tableros de virutas orientadas (OSB - *Oriented Strand Board*), sistemas todos ellos que surgen con el objetivo de aprovechar al máximo la producción forestal, mediante el empleo de partes de la madera que hasta ahora habían sido desechadas⁶.

En este contexto de la madera industrializada se ha formulado, desde mediados del s. XX, el concepto de viga en I (I-Beams); entonces se conocían como vigas-cajón, de las que ésta era un caso singular. Sus ventajas frente a elementos similares a partir de otros materiales resistentes son su bajo peso (entre 8 y 18 kg por metro lineal) y la flexibilidad de diseño. Para su fabricación se emplea la filosofía del cordón superior del cuchillo Hetzer aunque adaptado a las nuevas tecnologías. Así, para las alas se emplea PSL o LVL, y para el alma se prefiere el tablero contrachapado o el OSB. Los cantos más corrientes varían entre los 15 y 76 cm y su longitud, por razones de manipulación, no suele sobrepasar los 24 metros.

Quizás la aportación más peculiar de este fin de siglo haya sido la estructura *gridshell* o en parrilla, revolucionario ingenio en el campo de la construcción de grandes bóvedas. Consiste en una malla reticular tensada, compuesta de pequeñas piezas de madera mutuamente empernadas donde la tensión es mayor. A semeja una red colgante invertida y para su realización suele preferirse la madera de tsuga del Pacífico por su flexibilidad. Frei Otto, que ha desarrollado este sistema en Europa, lo utilizó en 1975 para cubrir la sala de exposiciones de Mannheim, con una envergadura de 61 metros.

ACTUALIDAD

Las últimas aportaciones. Sistemas estructurales. El último cuarto del siglo XX recoge los frutos sembrados por algunos grandes arquitectos en las décadas anteriores, que buscan en la construcción en madera su carácter tradicional y artesanal, junto a la calidez de un material natural, orgánico, que simboliza el resurgimiento de una época preindustrial y pretecnológica. En la actualidad, las principales fuentes europeas de la experimentación y la evolución de la construcción en madera se encuentran en Europa Central: Alemania, Austria y Suiza⁷, países en los que históricamente ha prevalecido la tecnología de construir en madera. En ellos la madera va suplantando a otros materiales estructurales incluso en los casos más extremos. A continuación se citan algunos casos.

La técnica de microlaminado (capas de 2 mm, con las fibras en el mismo sentido) ha permitido la fabricación de elementos resistentes circulares simplemente enrollándolos alrededor de un molde circular. Estos anillos pueden formar el alma de grandes cerchas, con reminiscencias de las antiguas estructuras en hierro fundido, y que reducen considerablemente los problemas de los ensambles. Se han empleado en naves industriales suizas. También se ha desarrollado el empleo de las estructuras arbóreas en madera, en las que el apoyo de un forjado de grandes luces sobre el soporte se realiza a través de riostras diagonales, que reducen la luz de las vigas y aseguran la estabilidad horizontal. Pero el caso más claro quizás lo representen las estructuras trianguladas tridimensionales, que hasta el momento se habían realizado predominantemente en acero, ya que la elaboración de ensambles sometidos a tracción había sido, históricamente, difícil. En la actualidad, gracias a las nuevas tecnologías, los nudos a tracción de madera son incluso más ventajosos que los de acero por la economía de material y la diversidad de geometrías posibles. La cubierta del pabellón de deportes de Oguni (Japón, 1988), que vuela sobre un rectángulo de 63x47 metros, tiene doble curvatura, a modo de casquete esférico con cuatro apoyos; las barras son de madera de cedro y están



Viguetas | joists



Perfil es de LVL

unidas mediante esferas metálicas con ocho entradas. Las vigas de la pista de patinaje de Bayreuth (Alemania) cubren una luz de 80 metros con un canto de 6.

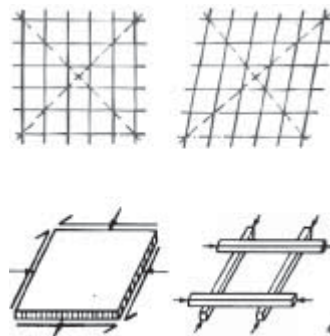
La madera también ha dado muestras de resistencia contra atmósferas agresivas, como es el caso de almacenes de carbón. La estructura del hangar de Hoyer, realizada con barras rectas, debía además soportar una pesada grúa suspendida de ella. Por último, la realización de membranas alabeadas ha encontrado en la madera un material idóneo. La combinación de nervaduras de madera laminada y planchas unidas por simple clavado dan como resultado una estructura de gran rigidez frente a la flexión, lo cual permite prescindir de los cables del pretensado, cuya resistencia al fuego es más débil que la de la madera. Una de las primeras fue el paraboloide hiperbólico de la exposición de horticultura en Dortmund, Alemania (Behnisch & Ptners Stuttgart), con una luz de 61 metros. Por citar otro ejemplo, los pabellones de exposición de Nara (Japón, 1987), cubiertos con una estructura ortogonal de nervios cada 50 cm, son, por la complejidad geométrica de las superficies, un claro ejemplo de las posibilidades del análisis mediante modelización matemática.

Exposiciones

Las exposiciones universales son a menudo un vehículo de presentación



Sal a de exposiciones de Mannheim, obra de Frei Otto



de nuevos materiales o campo de experimentación de soluciones constructivas con menos restricciones que el contexto puramente urbano. Entre los pabellones de la Expo 1992 de Sevilla hay que mencionar dos pabellones. El primero, de Chile, constaba de una amplia galería construida enteramente (estructura, cerramientos, elementos auxiliares y piezas de pequeñas secciones) en madera. La estructura, de madera laminada, la formaban una serie de marcos rígidos compuestos de tres elementos deslizantes de los que solo el central variaba de longitud; con ello, era posible absorber cualquier diferencia dimensional que se produjera en la obra civil y lograr un ajuste perfecto en el montaje, pues todas las piezas fueron fabricadas en Chile. Los pórticos de madera del segundo pabellón, dedicado a la Navegación, salvaban una luz de 40 metros, y seguían una directriz curva que pretendía recordar a las cubiertas curvadas de los viejos hangares. La estructura del pabellón de Japón, uno de los más recordados, no era completamente de madera, ya que parte de los esfuerzos estaban confiados a elementos lineales de acero y superficiales de hormigón; son dignos de mención los capiteles de madera, cuyo desarrollo ortogonal recordaban los saledizos tradicionales de los templos.

Aunque en la Expo 2000 de Hannover las aprobaciones legales necesarias se hicieron sobre coeficien-



tes de seguridad más altos que en situaciones normales, los pabellones que se presentaron fueron realmente audaces en su arquitectura. El tema propuesto a los expositores, «hombre – naturaleza – tecnología», hacía eco al creciente grado de concienciación ambiental de la sociedad europea en general, y estimuló especialmente al empleo de la madera y otros derivados de la transformación industrial de los productos forestales (corcho, papel, bambú) como materiales estructurales y de revestimiento de menor impacto ambiental teóricamente posible.

La estructura más espectacular fue, posiblemente, el EXPO DACH (Herzog+Partner, IEZ Natterer), la cubierta junto al lago central de la Expo. Está formado por varios paraguas estáticamente independientes en flexión vertical conectados al nivel de la coronación para estabilizar lateralmente el conjunto; cada uno de ellos tiene, pues, 20 metros de vuelo libre a 25 de altura. Los nervios de la retícula son de madera laminada y gran parte de ellos sigue una directriz de doble curvatura, que hubo que reforzar con elementos metálicos tan solo por exigencias de los controles oficiales. Esta realización ha supuesto un importante paso en las investigaciones relativas a la obtención del equilibrio por la forma mediante membranas reticulares.

El pabellón de Colombia supone un experimento sobre las posibilidades constructivas de una serie de materiales naturales locales (bambú, arbocho, gradua). Como material de cubierta emplea unos paneles elaborados con una mezcla de terracota y cemento, armada con fibras de bambú, que tienen una capacidad mecánica similar a la del acero.

El interés del pabellón de Japón (S. Ban, F. Otto) radica en el empleo estructural de un derivado de la madera como es el papel. La cubierta es una membrana reticular de tubos de cartón de 12 cm de diámetro y 20 mm de pared, enlazados entre sí mediante atado. La estabilidad de esta parrilla de tubos se encarga a unas costillas de madera laminada encolada y arriostamientos metálicos interiores. Para los testeros también se empleó el cartón, esta vez en forma de tableros alveolados. La luz total que salva la estructura es de 45 metros. También es digno de ser destacado el de Suiza (P. Zumthor). Consiste en pilas de listones de alerce y pino de nueve metros de altura, que producen



Varias obras de la Expo de Hannover en 2000

la misma sensación de las pilas de los almacenes de comercio de la madera. Para asegurar la estabilidad se colocaron unos tensores exteriores anclados en las zapatas de apoyo, abrazando los tableros de coronación mediante un puente vinculado por muelles. Este pabellón suponía una auténtica experiencia para todos los sentidos, incluido el olfato, pues aprovechando la corta vida del edificio se pudo contar con el intenso olor de la madera secándose como elemento configurante de su fisonomía. Entre el resto de realizaciones puede mencionarse la audacia del de Holanda (MvRdV), que sustituye los pilares de la planta intermedia por troncos sin más procesado que la mecanización imprescindible para colocar los pasadores en las entregas; la

reinterpretación de algunos temas del Movimiento Moderno en el de la República Checa (D.U.M. arch.), que se organiza mediante una sucesión de pórticos de madera laminada sobre «pilotis» metálicos; o la investigación en elementos bidimensionales planos compuestos mediante la unión de tablas de madera, en el de Noruega (LPO ark., Multiconsult). Operaciones como esta ponen de manifiesto algo más que la competitividad estructural de la madera. En este caso ha sido una forma de mostrar que este material está a la cabeza de una vanguardia constructiva que tiene en cuenta también los valores medioambientales como condición decisiva. La investigación se manifiesta favorable a exhibir las inacabables posibilidades de su aplicación, todas ellas idóneas para

canalizar arquitectónicamente las exigencias y expectativas de todo ambiente artificial contemporáneo. La madera regresa demostrando su inagotable versatilidad. En cada periodo histórico aparece como un

material novedoso al tiempo que descubre facetas que hasta el momento habían permanecido ocultas. Parece más bien que deba acompañar siempre al hombre en su tarea de construir su entorno y hacerlo más

humano. Quizás se podría concluir este trabajo presentando a la madera como material único en el que confluyen cualidades ambientales y propiedades portantes, historia y tecnología, tradición e industrialización

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ADAM, J.-P., *La Construcción Romana, Materiales y Técnicas*, Editorial de los Oficios, 1996.

BERMÚDEZ GRAIÑO, J. M^º, De la Madera y Sobre la Evolución del Tablero, *Tectónica*, 11, Barcelona, 2000.

CABRERO TORRES-QUEVEDO, F., *Cuatro Libros de Arquitectura*, COAM, Madrid, 1992.

CALAM, J.M^º y GRACIANI, A., Sistemas de Encimbrado y Apeos en la Restauración Monumental Española durante el s. XIX, *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Sevilla, 2000.

CANDELAS GUTIÉRREZ, A.L., La Carpintería de Armar Medieval, *La Técnica de la Arquitectura Medieval*, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 2000.

CANDELAS GUTIÉRREZ, A.L., La Carpintería de Armar en los Tratados Europeos de los Siglos XVI y XVII, *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 1998.

CASTRO VILLALBA, *Historia de la Construcción Arquitectónica*, Edicions UPC, Barcelona, 1995.

CONTI, R. El Desarrollo Tecnológico de las Bóvedas de Madera en la Experiencia de Lemer, *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 1996.

CHOISY, A., *L'art de batir chez les Bizantins*, Reimpresión de la Edición de París de 1883, Librairie de la Société Anonyme de Publications Périodiques, Arnaldo Forni, Bolonia, 1986.

DUCLOS BAUTISTA, G., *Carpintería de lo Blanco en la Arquitectura Religiosa de Sevilla*, Diputación Provincial de Sevilla, 1992.

ELLIOTT, C.D., *Technics and Architecture: the Development of Materials and Systems for Buildings*, MIT Press, London, 1992.

FERNÁNDEZ CABO, M.C., De los Orígenes y Desarrollo de las Armaduras de Cubierta Latinas, *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 1996.

FOLTYN, L., *Volksbaukunst in der Slowakei*, Artia, Praga, 1960.

FRANKFORT, H., *Arte y Arquitectura del Oriente Antiguo*, Cátedra, Madrid, 1987.

GARCÍA GAMALLO, A., «La evolución de las cimentaciones en la Historia de la Arquitectura, desde la Prehistoria hasta la Primera Revolución Industrial», Tesis Doctoral, ETSAM, 1997.

GARCÍA NAVARRO, J. ET AL., Análisis Tipológico de las Estructuras de las Construcciones Rurales Tradicionales de Barro. La Casa de Corral en el Páramo de León (España), *Informes de la Construcción*, vol. 52, nº 468, julio/agosto 2000.

GARCÍA NAVARRO, J. Y MARTÍNEZ EL CORO, I., Aplicaciones Innovadoras de la Madera en la Construcción, *Informes de la Construcción*, vol. 48, nº 446, noviembre/diciembre 1996.

GRACIANI, A., *La Construcción después de la Revolución Industrial. Una Primera Aproximación General*, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II. Historia de la Construcción. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Sevilla, 1995.

GRINÁN, J., *La Madera en la Construcción*, Monografías «CEAC» sobre Construcción y Arquitectura, 1960.

HOWARD, E., *Garden Cities of To-Morrow*, Faber & Faber, Londres, 1946.

IONESCU, G., *Architecture Popularea Romíneasca*, Editura Technica, Bucarest, 1957.

LAMPÉREZ, V., *Arquitectura Civil Española*, I, Ediciones Giner, Madrid, 1993.

LEÓN VALLEJO, F.J., Tratados Españoles del S. XIX: Carpintería Antigua y Moderna de Federico de Arias, *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 1996.

MAGRO MORO, J.V., *La Construcción en la Baja Edad Media*, Universidad Politécnica de Valencia, 1999.

MAGRO MORO, J.V., *Textos para una Historia de la Construcción*, Universidad Politécnica de Valencia, 1994.

MARÍN SÁNCHEZ, R., *La Construcción Griega y Romana*, Universidad Politécnica de Valencia, 1998.

MELLAART, J. *Earliest civilizations of the Near East*, McGraw-Hill, Nueva York, 1965.

MILLER, J., *Casas de Madera*, Blume, 1998.

MICHELL, G. (Dir.), *La Arquitectura del Mundo Islámico*, Alianza, Madrid, 1985.

MUMFORD, L., *The City in History: Its Origins, its Transformations and its Prospects*, Harcourt Brace Jovanovich, Nueva York, 1961.

NAJERA Y ANGULO, F., *La Evolución de la Técnica en el empleo y Aplicaciones de la Madera de Construcción*, Instituto Forestal de Investigaciones, Madrid, 1944.

NATTERER, J. y WINTER, W., El Futuro de la Construcción en Madera en Europa. Entre Tradición e Industrialización, y entre Técnica y Arquitectura, *Informes de la Construcción*, 39, enero/febrero 1988.

NATTERER, J., HERZOG, T. & VOLZ, M., *Construire en Bois*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1994.

NUERE, E., *La Carpintería de Armar Española*, Ministerio de Cultura, Madrid, 1989.

ORTEGA ANDRADE, *Historia de la Construcción*, I-IV, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 1993.

PERAZA SÁNCHEZ, J.E., *Carpintería. Puertas, ventanas y escaleras de Madera*, AITIM, 2000.

PERLIN, J., *Historia de los Bosques: El Significado de la Madera en el Desarrollo de la Civilización*, Gaia, Madrid, 1999.

ROBERTSON, D., *Arquitectura Griega y Romana*, Cátedra, Madrid, 1988.

SCHOENAUER, N., *6.000 Años de Hábitat (De los poblados primitivos a la vivienda urbana en las culturas de oriente y occidente)*, Gustavo Gili, 1984.

SHAH, M. y BHATT, V., *Morphology of Urban Housing: Ahmadabad Housing Case Study*, ensayo no publicado. Escuela de Arquitectura de la Universidad de McGill, 1973.

TINEO I MARQUET, J.A., *Historia de la Construcción: de la Caverna a la Industrialización*, Montesinos, Barcelona, 1984.

VIOLLET-LE-DUC, E., *La Construcción Medieval*, Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1996.

Notas

1 Graciani, A., La Construcción después de la Revolución Industrial. Una Primera Aproximación General, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II. Historia de la Construcción. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Sevilla, 1995, p. 56.

2 García Navarro, J. y Martínez Elcoro, I., Aplicaciones Innovadoras de la Madera en la Construcción, *Informes de la Construcción*, vol. 48, nº 446, noviembre/diciembre 1996.

3 El porcentaje de viviendas construidas en madera en los Países Escandinavos es del 90%; en Europa oscila entre el 25% de Gran Bretaña y 10% de Francia.

4 Se ha utilizado mucho como revestimiento en la industria del automóvil y de la aviación. El cazabombardero inglés Mosquito fue el primer avión fabricado con láminas contrachapadas. La primera factoría industrial de contrachapado fue construida en 1930 por la Portland Manufacturing Company (EE.UU.). Llegó a Europa en 1951 de la mano de la firma alemana Deutsche-Novopan (Bermúdez Graiño, J. M^º, De la Madera y Sobre la Evolución del Tablero, *Tectónica*, 11, Barcelona, 2000, pp. 21-22).

5 Albura: madera nueva cuyas células vivas transportan o almacenan nutrientes. Suele ser más porosa y más clara que el duramen. Carece de resistencia a la pudrición. - Duramen: madera madura que constituye la columna del árbol y que no contiene células vivas.

6 Multilaminados paralelos (LVL): se fabrica a partir de chapas de madera encoladas con la fibra en la misma dirección, prensando bajo calor el conjunto para densificarlo.

Tablero de viruta orientada (OSB): las virutas de madera se orientan paralelas a la longitud del tablero en las capas exteriores y perpendiculares en las interiores; es ligero y puede utilizarse para soportes de cubiertas, forjados, cerramientos de muros y revestimientos.

7 Natterer, J. y Winter, W., El Futuro de la Construcción en Madera en Europa. Entre Tradición e Industrialización, y entre Técnica y Arquitectura, *Informes de la Construcción*, 39, enero/febrero 1988, p. 37.