

# EL FUTURO DE LA CONSTRUCCION EN MADERA, EN EUROPA. ENTRE TRADICION E INDUSTRIALIZACION, Y ENTRE TECNICA Y ARQUITECTURA

(THE FUTURE OF CONSTRUCTION IN WOOD IN EUROPE. TRADITION vs. INDUSTRIALIZATION and TECHNIQUE vs. ARCHITECTURE.)

Julius Natterer, Prof. Dr. Ingeniero.  
Wolfgang Winter, Ing. Arquitecto.  
Chaire de Construction en Bois Ecole  
Polytechnique Federale de Lausanne, Suiza.

660-4

## RESUMEN

*El presente trabajo trata sobre la construcción en madera: su evolución histórica; tecnología; ejecución; demanda; futuro, entre artesanal o en serie; etcétera.*

*Asimismo se describen varios ejemplos prácticos de edificios construidos a base de este tradicional material, llegando a la conclusión de que en este tipo de construcción es imprescindible tomar en consideración no sólo la estética, sino su resultado económico.*

## SUMMARY

*This study deals with construction in wood: its historical evolution, technology, execution, demand, future, the choice between artisan-made or series-made, etc.*

*Likewise, several practical examples of buildings constructed of this traditional material are described. The conclusion reached is that in this type of construction one must necessarily take into account not only the aesthetic aspect but also the economic result.*

## A. PRESENTACION DE LOS AUTORES

Mayra Morel de Winter, arquitecto.

La evolución de la construcción en madera en Europa, en el curso del siglo XX, sus principales fuentes, se encuentran en Europa Central: Alemania, Austria y Suiza. Estos países donde históricamente la tecnología de construir en madera ha prevalecido, ante todo permaneciendo fieles a sus antiguas técnicas constructivas, y aplicando las innovaciones de esta época industrializada.

Para situar mejor la tesis de los autores, que reclaman "UN CAMINO PROPIO PARA LA CONSTRUCCION EN MADERA", sería conveniente presentar, brevemente, el contexto del cual se desenlaza esta llamada a la unificación en la investigación activa por la continuidad de una cultura de la madera en la actualidad.

JULIUS NATTERER, brillante seguidor de este pensamiento técnico, reivindica una vía original para la cons-

trucción en madera en Europa. Nacido en Alemania, 1938, ingeniero civil de formación de la Universidad de Munich, de amplios conocimientos adquiridos de algunos grandes especialistas de la construcción en madera de antes de la guerra, como los profesores RUCKER y GATTNAR. Se lanza en 1968 a la concepción y realización de proyectos; en 1974 forma una oficina de estudios en Munich; en 1978 otra en la Baviera, y en 1978 Bois Consult en Suiza. El prof. Natterer cuenta hoy en día con más de 500 proyectos y realizaciones en Alemania, Suiza, Francia, Austria e Italia, muchas de ellas reconocidas internacionalmente. Importantes publicaciones como "El atlas de la construcción en madera" (en alemán y francés), "Cubrir en vidrio y madera" entre otros...

Sus esfuerzos constantes por una construcción en madera innovadora y por una síntesis entre la estructura y la arquitectura, son reconocidos mundialmente. La Academia de Arquitectura de Francia le rinde homenaje con la medalla de la investigación y de la técnica

1986, premio anteriormente obtenido por renombradas figuras en el campo de la ingeniería como, FREI OTTO, BUCKMINSTER FULLER, SOLEN, JAWERTH...

Desde 1979 es profesor titular de "LA CHAIRE DE CONSTRUCTION EN BOIS" (IBOIS) de L'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suiza.

WOLFGANG WINTER, nacido en Alemania en 1948, Diplomado Ingeniero Civil y Arquitecto de la Universidad de Stuttgart, desde 1975-78 asistente de FREI OTTO en el Instituto de Investigación de Estructuras Ligeras, en 1979-85 labora en PNP Munich, desde 1985 es nombrado Primer Asistente en La Chaire de Construction en Bois del EPFL, Suiza, conjuntamente dirige Bois Consult.

Actualmente es Director del Programa de postgrado del IBOIS "Les Construction en Bois" concevoir-projeter-réaliser.

Como numerosos países en Europa, Suiza que realiza el futuro de una sociedad postindustrializada, no exige solamente una formación universitaria eficaz, sino también una formación continua dentro de todos los dominios técnicos. Es particularmente les Ecoles Polytechniques Fédérales las responsables de dar los primeros pasos hacia esta nueva tendencia de la especialización. Dentro del campo de la construcción en madera constatamos la necesidad de una postformación, debido a la pérdida de conocimientos en esta materia, en los últimos decenios.

Bajo esta ideología la CHAIRE DE CONSTRUCTION EN BOIS del EPFL organiza, en febrero 1988, un curso postgrado dirigido con prioridad a ingenieros y arquitectos; esta postformación es una de las primeras que unifica los métodos científicos, los conocimientos constructivos y los útiles de trabajo de hoy, intentando dirigir los conocimientos de la práctica a niveles que permitan intensificar la utilización de la madera en la construcción.

## B. PROMESAS DE LAS ESTRUCTURAS PORTANTES EN MADERA EN EUROPA

### B1. Evolución histórica

Desde hace muchos siglos la madera fue el único material utilizado para franquear grandes luces. Numerosas generaciones de carpinteros han seguido técnicas de construcción en madera, desarrollando sistemas portantes cada día más perfeccionados. Así podemos ver antiguos puentes en madera que suscitan hoy la admiración de ingenieros.

Después de la revolución industrial, el interés por la construcción en madera disminuye, debido a la importancia que cobran los nuevos materiales de construcción, como el hierro y los metales, y más tarde el hormigón armado, esta expansión de dichos materiales fue sostenida por un sector industrial que disponía de un potencial de desarrollo más enriquecido y mejor adaptado a la época industrial que las construcciones artesanales de madera.

Apartando, a principios de siglo, el desarrollo técnico de la madera laminada y engomada (pudiendo obtener así grandes secciones de alta resistencia), la construcción en madera ha evolucionado muy poco después de la Edad Media. De las técnicas de ensambles, a los métodos de cálculo, el estado de desarrollo de la construcción en madera ha permanecido netamente inferior al de los otros materiales.

### ¿Cómo podríamos predecir el avenir de las estructuras portantes en madera?

Existen muchos factores que entran en juego; todo tipo de alternativas de desarrollo posibles pueden ser indicadas si consideramos las ventajas y los inconvenientes desde el punto de vista técnico y por otra parte los factores de la oferta y la demanda deben tomarse en cuenta para las construcciones de estructuras portantes en madera.

### B2. Estructuras portantes de madera desde el punto de vista técnico

— *Propiedades del material:* Del análisis de las propiedades de la madera obtenemos que este material es apto para las estructuras portantes. La madera sobrepasa la mayor parte de los otros materiales desde el punto de vista de la de la relación peso/carga útil.

El inconveniente relativo a las diferencias de estabilización transversal y longitudinal pueden reducirse mediante disposiciones constructivas (elementos sandwich, madera contrachapada).

— *Durabilidad:* La madera es un material inflamable. Como criterio de durabilidad es importante tomar en consideración que las propiedades negativas de la madera pueden contrarrestarse con una concepción juiciosa (por ejemplo: tomar medidas de protección de la madera, constructivas y químicamente). En caso de un incendio, las secciones masivas perderán más lentamente sus facultades portantes que la mayoría de los otros materiales.

— *Disponibilidad y calidad de la materia prima:* Los árboles crecen sin cesar. Aun con una consumación superior a la de hoy en día, las forestas son capaces de asegurar un aprovisionamiento continuo. Anterior-

mente la madera de mayor calidad estaba mal explotada, pero actualmente esas reservas son revalorizadas gracias a los nuevos métodos de clasificación.

— *Requerimiento energético*: La cantidad de energía necesaria para trabajar la madera es fundamentalmente menor que la utilizada para los otros materiales de construcción. Debido a la incrementación de los costos energéticos, la situación de concurrencia entre la madera y los otros materiales, que utilizan más energía, debe mejorarse.

— *Nivel técnico actual*: Podríamos decir que la técnica de las estructuras portantes en madera ha sufrido un retardo con relación a estructuras de otros materiales. Es eminente trabajar sobre la racionalización del proceso de producción y en el desarrollo de técnicas de ensambles perfeccionadas o de materiales en maderas "especializadas".

### B3. Problemas en la concepción y en la ejecución

En la construcción de estructuras en madera, las ventajas técnicas no son suficientes, una infraestructura técnica es necesaria; tal consecuencia conlleva a los conceptos del diseño y ejecutores de la obra a adaptarse a las ventajas técnicas de base para que una construcción sea económica y competitiva.

— *Las industrias de la madera*: A los aserraderos, carpinteros e industrias de encolado, les concierne particularmente la realización de estructuras portantes en madera. Existen aún hoy en Europa un sinnúmero de empresas, éstas son en general pequeñas industrias (ej: número de empleados de un aserradero y de una carpintería en Suiza contienen una media entre 5 ó 6 personas y una empresa general dispone alrededor de 20 empleados). Las industrias madereras no poseen ni el capital ni el personal necesario para entrar en concurrencia con el acero y el hormigón. Debido a esto es necesaria la adaptación de éstas al mercado, y eminente innovar y racionalizar la producción maderera.

— *Los arquitectos e ingenieros*: Hoy en día existen pocos arquitectos, y todavía menos ingenieros, experimentados en el dominio de las estructuras portantes en madera. A pesar de su espíritu generalmente positivo éstos le dan prioridad a los materiales más conocidos y, por ende, menos esfuerzos en la concepción.

— *Investigación y enseñanza*: Comparados con los otros materiales, la investigación y enseñanza sobre la madera son insignificantes; todo oscila de acuerdo a la importancia momentánea de la madera en el mercado. Actualmente se trata de intensificar las bases institucionales y financieras para un futuro.

— *Precio-costos*: En principio las estructuras portantes en madera no son más económicas que los demás materiales. Un descenso del precio es posible logrando una racionalización a nivel de la ejecución. El precio de la materia prima no cuenta, pues actualmente no cubre ni siquiera el costo de mantenimiento de las forestas.

### B4. La Demanda

— *Desarrollo social*: La euforia de la post-guerra se ha calmado; mensajes del siguiente orden son lanzados continuamente: "tomar en consideración los problemas energéticos", ecología, descentralización, regímenes económicos autónomos, retorno a la naturaleza y a la simplicidad, etc. Estos mensajes caracterizan una confusión social que puede influenciar positivamente la demanda de la construcción en madera en un futuro próximo.

— *Arquitectura*: Esta evolución social se circunscribe dentro de la tendencia arquitectónica actual tratando de incentivar la creatividad y permaneciendo dentro de escalas humanas. La individualidad se encuentra en contradicción con la construcción en masa, y el principio de la madera debe, ante todo, acumular nuevas fuerzas en el dominio del mercado, permitiendo respetar las condiciones locales y regionales y adaptarlas a las nuevas construcciones y renovaciones. El valor emocional y estético de las estructuras visibles en madera es una revalorización del material.

— *Economía nacional*: Las forestas en Europa Central son en regla general sub-explotadas, lo cual conduce a un peligro ecológico de envejecimiento de los bosques. Una cantidad de madera extranjera es importada. Los empleos que generan las industrias madereras juegan un rol importante dentro de la estructura económica, particularmente en las regiones agrícolas. Por esta razón y vista la importancia de la madera para la autonomía de algunos países de Europa Central, como Suiza, y particularmente Francia... pobres en materia prima, en tiempos de crisis, la tendencia es desarrollar medidas para favorecer el empleo de la madera en la construcción como principal consumidor de este material.

### B5. El futuro: Entre la construcción artesanal y la construcción en serie

Como hemos visto anteriormente, en el momento actual son muy buenas las condiciones para la construcción en madera. Desde el punto de vista técnico, la madera presenta buenas referencias con relación a las grandes exigencias de las construcciones actuales. El aprovisionamiento de la materia prima está asegurado

y el interés del lado de la arquitectura conjugado a las otras necesidades de la economía nacional, se dirigen hacia una mayor utilización de la madera. Pero todavía no es precisa la proyección futura de la construcción en madera; existen dos direcciones extremas pensables:

- La madera como material exclusivo a un nivel artesanal adaptada a construcciones de un impacto arquitectónico importante donde el costo no será prioritario.
- De otra parte la madera como un método moderno de construcción; por ejemplo en Escandinavia donde ha sido utilizada antes que todo por sus ventajas económicas con relación a otros métodos constructivos. Entre estas posiciones extremas (métodos artesanales y construcciones económicas) todas las variantes son naturalmente posibles.

#### **B6. Una dirección particular en la construcción de madera en Europa Central**

El resurgimiento de la construcción en madera, en Europa Central, del cual somos testigos actualmente, reposa fuertemente sobre el redescubrimiento de las posibilidades estéticas de las estructuras en USA, Canadá y Escandinavia, donde el triunfo de la construcción de madera se debe principalmente a las ventajas económicas. Para Europa Central un camino diferente es apenas imaginable.

La construcción de madera debe ante todo tomar nuevas fuerzas en el dominio del mercado. Si el retraso en relación a la tecnología, a los conocimientos de base, a las estructuras de explotación, etc. disminuye, la construcción en madera podría obtener un lugar, al mismo nivel, de otras categorías que dominan actualmente en la construcción.

Quisiéramos explicar, con la ayuda de algunos ejemplos realizados en Alemania, Suiza y Austria, la posibilidad de un camino propio entre método artesanal y económico. Nos hemos limitado simplemente a proyectos donde hemos tenido participación. La mayor parte son el resultado de una intensa colaboración con los arquitectos.

En un gran porcentaje de estos proyectos, la madera no fue elegida a priori, es más tarde que se realiza la selección del material debido a las exigencias arquitectónicas y funcionales. La decisión a favor de la madera fue tomada luego de que variantes convincentes fueron propuestas. Los ejemplos presentados no son soluciones de mejor precio o donde éste es decisivo; por otra parte las soluciones normalizadas no eran posibles debido al carácter individual de cada obra.

Por medio de estos ejemplos hemos querido mostrar el nivel técnico económicamente factible en nuestros días, sin aproximarse a los límites y a las posibilidades del material, a fin de incitar a nuevas realizaciones y a nuevos desarrollos.

Dichos ejemplos han sido seleccionados con el fin de explicar algunas tendencias actuales en la construcción moderna de estructuras portantes en madera.

### **C. EJEMPLOS**

#### **C1. La construcción habitacional en madera.**

Es sin duda alguna, dentro del dominio del hábitat, que la construcción en madera ha perdido terreno. Este tipo de construcción ha sido largamente conquistado por la masonería, la piedra, el hormigón, formando poderosas industrias que dominan el mercado, reduciendo así la función de la carpintería sólo a la estructura de techos y encofrados.

La concepción arquitectónica de nuestros días está dirigida por las posibilidades de la masonería (reglamentación de construcción). Sólo una pequeña parte del mercado se dirige hacia la vivienda prefabricada en madera (entre el 5 y 10 %). Estas viviendas no se distinguen exteriormente de aquéllas en hormigón o masonería; su razón de ser proviene sobre todo de la prefabricación y de un montaje rápido. En regla general, estas viviendas no son más económicas; además encontramos pocos ejemplos de concepción original, sabiendo aprovechar las ventajas técnicas y estéticas propias de la construcción en madera.

La madera permite múltiples expresiones arquitectónicas en función del tipo de estructura seleccionada. Las estructuras visibles favorecen el enriquecimiento geométrico de fachadas y de los espacios interiores; la lectura del descenso de las cargas en la estructura permite un contacto íntimo entre el usuario y la estructura, una relación de comprensión que en las estructuras masivas sólo se percibe parcialmente.

La vivienda de hoy en día debe asegurar un consumo mínimo de energía y la utilización máxima del volumen construido. Esto conduce a concepciones que se distinguen fuertemente de soluciones del pasado.

El uso de todo volumen requiere una piel exterior bien aislada, en las fachadas y en el techo. Las soluciones clásicas, dejando espacios libres debajo del puente de la techumbre y la calefacción en el centro de la vivienda, no corresponden a las nuevas exigencias.

La utilización de la energía solar pasiva trae como consecuencia la integración de volúmenes vitrados de importancia en el cuerpo del edificio, soluciones las cuales requieren nuevas soluciones técnicas y de organización del espacio.

La tecnología de la construcción en madera permite resolver estas nuevas exigencias de una manera óptima bajo la condición de que un nuevo repertorio técnico y arquitectónico sea elaborado.

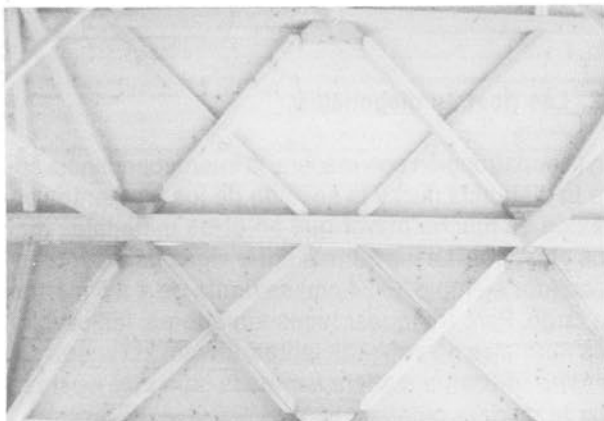
**C1.1 Vivienda en Straubing, Alemania**  
Arquitecto: SCHmidhuber, Munich

Vivienda familiar de techo plano, sin paredes portantes al interior, de grandes luces franqueadas por una cuadrícula de vigas en madera laminada encolada fabricada in situ. La técnica del encolado ha permitido la realización de la cuadrícula sin piezas metálicas.



**C1.2 Vivienda familiar en Corpataux, Suiza**  
Arquitecto: A. y J. Python, Arconciel, Suiza

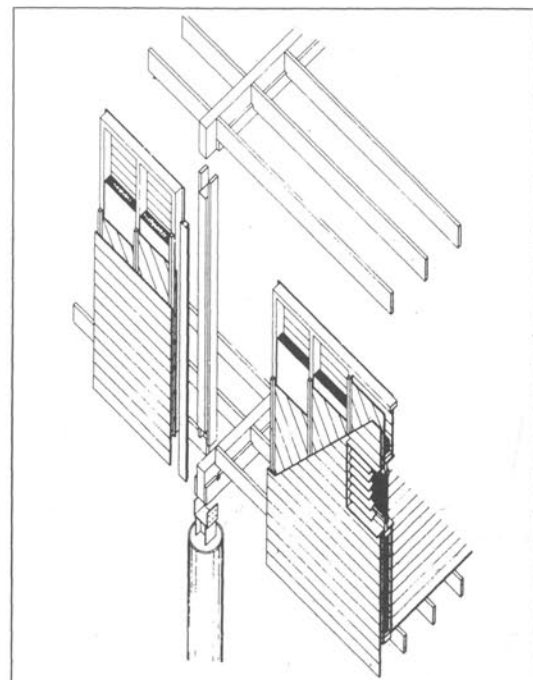
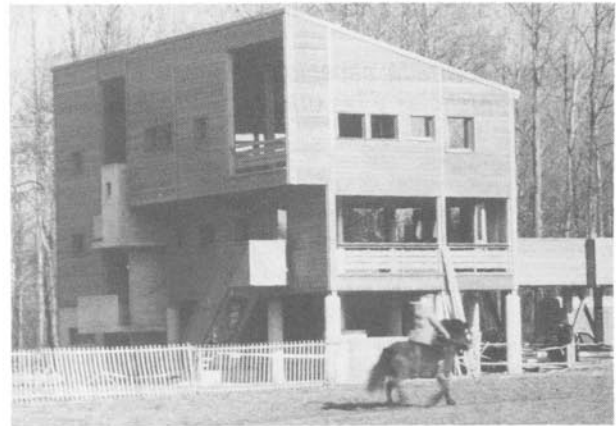
La utilización de grandes secciones visibles de madera masiva, en el interior de la vivienda con calefacción,



produce problemas de deformación de la madera, debido a la disminución de humedad en el secado. Problema el cual fue resuelto mediante el desarrollo de un sistema constructivo "Planisec", utilizando las planchas secadas artificialmente (33x270). El sistema no utiliza paneles portantes pero, para permitirse una mayor libertad de volumen, utilizan el sistema de vigas-columnas; los elementos de estabilización son igualmente contruidos a base de planchas y visibles en el interior.

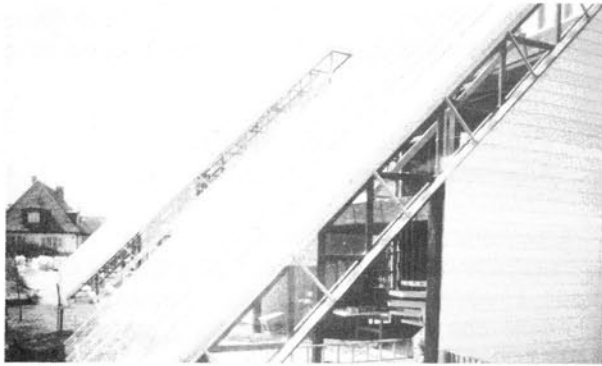
**C1.3 Centro ecuestre, Ecublens, Suiza**  
Arquitecto: Atelier Cube, Lausanne, Suiza

Obra realizada completamente en madera. la Casa Club reposa sobre cimentación a base de pilotillos en hormigón. El sistema utilizado es tradicional: de vigas y columnas con elementos de fachada prefabricados (2,40x3,00 m).



**C1.4 Vivienda solar Munich, Alemania**  
Arquitecto: T. Herzog, Munich

Volumen triangular (45°) para captar la energía solar pasiva.



**C1.5 Edificio administrativo Rossbach, Alemania**  
Arquitecto: Merkle, Munich

Area central vitrada; espacio de transición entre la sala de conferencias y las oficinas de techos planos.



**C1.6 Ampliación y aislamiento térmico de una vivienda existente**  
Arquitecto: Manoukian, Ginebra, Suiza



Debido a la orientación de la vivienda existente no era posible aplicar un área vitrada sobre las fachadas, por lo cual se trabajó con ángulos y hubo la necesidad de desarrollar una estructura autónoma. La vivienda fue revestida de un aislamiento térmico (un lambrissage).

**C1.7 Estructuras en anillos**

Realización: Keller-Novopan AG, Klingnan, Suiza  
IBOIS, Chaire de construction en bois EPFL

La técnica de lamas finas en madera, encoladas (capas de 2 mm, con las fibras en el mismo sentido), permite la fabricación de elementos circulares simplemente enrollándolos alrededor de un molde circular. La utilización de los anillos permite crear elementos de estructuras en flexión, limitando así los problemas de ensamblaje. Estos elementos permiten un nuevo lenguaje de la arquitectura de madera, con reminiscencias de las antiguas estructuras en hierro fundido.



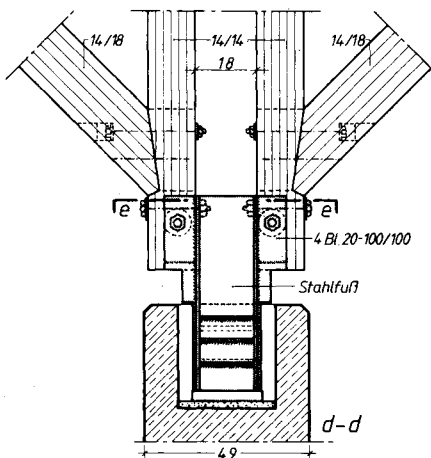
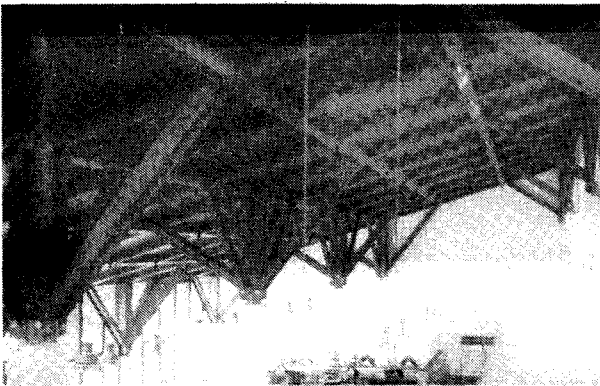
**C2. Las riostras diagonales**

En la construcción con madera, la interdependencia entre la distancia (luz) y la sección de los elementos en flexión es mucho mayor que en otros materiales menos elásticos. La luz normal entre vigas de madera tallada (por ejemplo 16/24 cm) se limita de 4 a 5 metros de largo. Para franquear luces superiores, las secciones normales no son suficientes, siendo entonces necesario utilizar la madera laminada (aún más costosa que la madera tallada).

Es debido a esto que uno de los elementos estructurales más importantes de las estructuras, en madera, son: las riostras diagonales, el pie de fuerza o, en una situación espacial, la estructura en forma de "hongos". Estos elementos permiten reducir la luz de las vigas y aseguran al mismo tiempo la estabilidad horizontal del conjunto, los cuales, bien conocidos antiguamente, han guardado su importancia en la construcción moderna, aportando una expresión arquitectónica "típica de la madera" y permitiendo estructurar los volúmenes interiores.

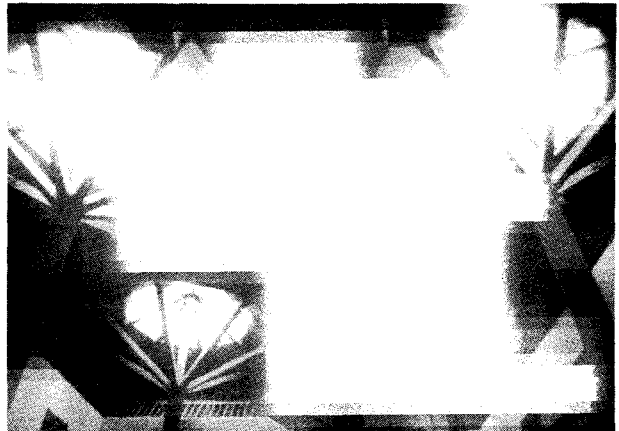
**C2.1 Comedor de la Univ. de WEIHENSTEPHAN, Alemania**  
Arquitecto: Oficina de construcciones de Weihenstephan

*Estructura de hongos espaciales de dos elementos paralelos, permitiendo así la introducción de los elementos de fachada.*



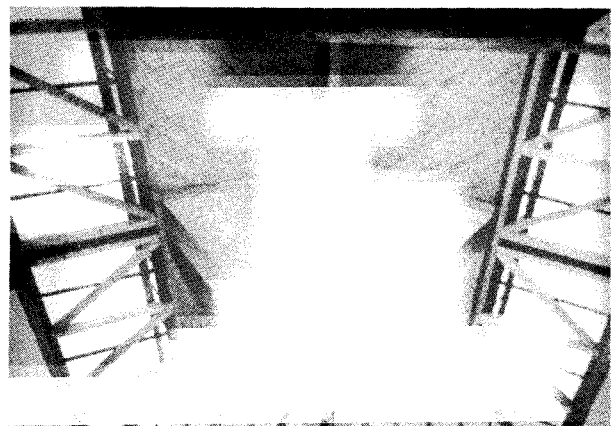
**C2.2 Salón de Recepciones de un claustro en BEZAN, Austria**  
Arquitecto: Kauffmann, Reuthe, Austria.

*Doble estructura de hongo, integrando lucernarios piramidales en la parte superior.*



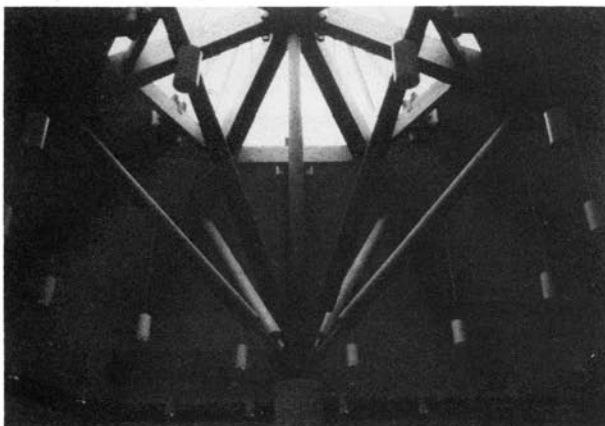
**C2.3 Comedor de una Escuela en STARNBERG, Alemania**  
Arquitecto: Oficina de construcciones de Munich

*Pilar central paralelo a una estructura de hongos que soportan un techo sobreelevado.*



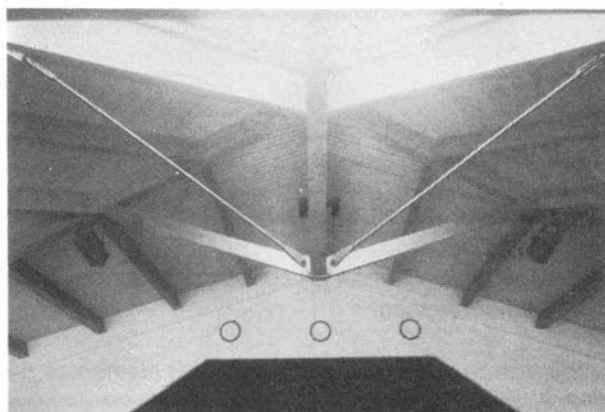
**C2.4 Centro Turístico BAD Wörrishofen,  
Alemania**

*Estructura de hongos de 6 brazos en madera de sección circular.*



**C2.6 Escuela de FARVAGNY, Suiza**  
Arquitecto: A. & J. Python, Arconciel

*Estructura de hongo central suspendido por cables metálicos. Triples soportes en los ejes del pasillo.*



**C2.5 Restaurante en Sierre "Suisse Plage", Suiza**  
Arquitecto: A. Zufferey, Sierre

*Estructuras de hongos continuos al eje de un techo de dos aguas.*



**C3. Estructuras en madera tallada**

La madera tallada no ha perdido su importancia en las construcciones modernas. Una madera tallada bien seleccionada y secada siguiendo rigurosamente todas las medidas de seguridad, puede sobrepasar estáticamente la madera laminada-encolada.

Gracias al corte de secciones planas en planchas y al encolado de las juntas dentadas múltiples tenemos, además de la ventaja del secado y de la clasificación, la posibilidad de producir elementos de gran sección y de mayor longitud.

Debemos contar de todas maneras con la disminución inevitable de la resistencia a la tracción, debido al debilitamiento provocado por las juntas dentadas. Podemos también construir estructuras portantes de calidad sin la madera laminada, sólo utilizando la madera tallada, gracias a una concepción juiciosa (por ejemplo: secciones compuestas, sistemas Gerber creando una articulación donde el momento es nulo para evitar las grandes longitudes, etcétera).

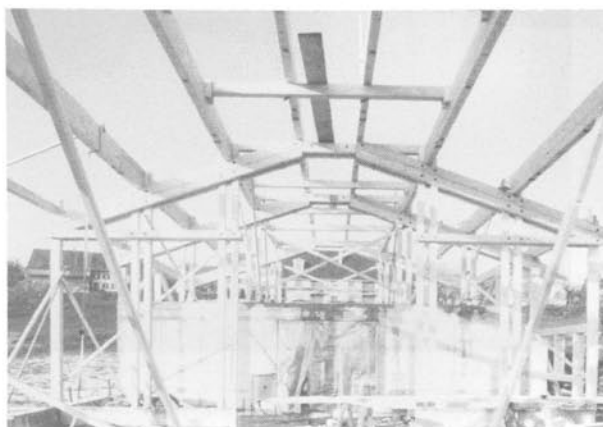
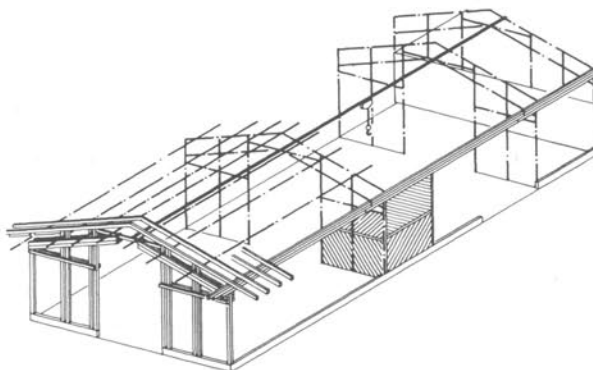


**C3.3 Hangar de fabricación en Noréaz, Suiza**  
Arquitecto: A. + J. Python, Arconciel

A pesar de una luz de 7,60 m no fue utilizado ningún elemento en madera laminada. Las vigas fueron compuestas de madera tallada, de secciones de 16x16 ensambladas con la ayuda de broches, los cuales permiten formar fácilmente un sistema estático tipo Gerber.

**C3.1 Centro Ecuestre en Munich, Alemania**  
Arquitecto: Küttinger, Munich

Cuadras triangulares de madera tallada. El sistema secundario consiste en vigas con riostras diagonales, donde el empuje horizontal se recibe al nivel del piñón o fachadas por barras de fuerzas en madera de sección circular.



**C3.2 Restaurante en Glarus, Suiza**  
Arquitecto: Zweifel + Leins + Brunner, Glarus

El techo se apoya sobre pilares de hormigón (trama de 7,20 m), construido de pirámides de madera tallada, para evitar la fisuración en los elementos, debido al secado; se realizaron ranuras de descargas.



#### C4. Pasarelas

La madera es un material particularmente indicado para la construcción de pasarelas en plena naturaleza, proporcionando así una mayor integración al medio ambiente que los materiales artificiales, de la misma manera que en las antiguas villas donde, tanto los materiales como la piedra natural o las tejas, se aparean bien con nuevas estructuras de madera.

Trataremos de cubrir las pasarelas de madera, pero será posible, en todo caso, trabajando bien los detalles constructivos. Las pasarelas descubiertas requerirán no más mantenimiento que los puentes en hormigón o en acero.

##### C4.1 Pasarela para esquiadores en Straubing, Alemania

*Estructura en madera tallada impregnada al vacío.*



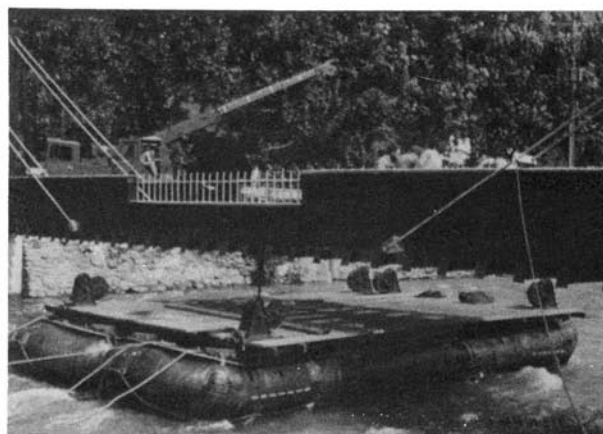
##### C4.2 Pasarela sobre el Naab, Alemania

*Elementos portantes en madera laminada sirven con guarda cuerpos o barandales. Los elementos de estabilización ligeramente al sesgo componen la pasarela muy larga (175 m).*



##### C4.3 Pasarela sobre la Dranse, Suiza

*Elementos portantes en madera tallada (Mélis o alerce) unidos por broches.*



##### C4.4 Pasarela en Amberg, Alemania

*Los elementos portantes se encuentran en el techo (vigas de madera laminada inclinadas), lo que permite una estructura visible muy ligera.*



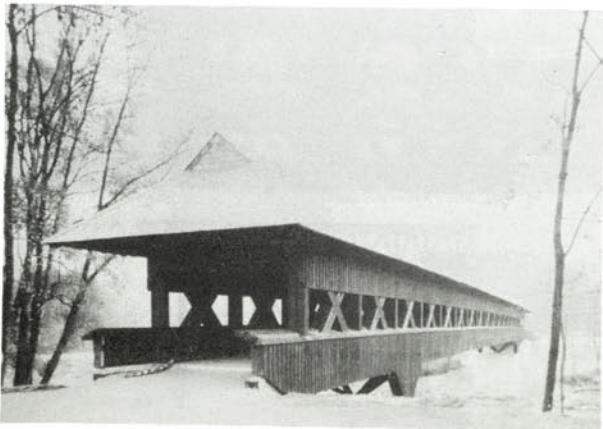
#### C4.5 Pasarela en Ansbach, Alemania

Los pequeños techos recuerdan el aspecto de la ciudad antigua y permiten, al mismo tiempo, la reducción de la luz de las vigas maestras en madera laminada.



#### C4.6 Pasarela sobre el Isar, Alemania.

Esta pasarela se encuentra en un parque de recreación cerca de Munich. Debía tener la forma tradicional de puentes cubiertos en la región del pre-alpes. La luz importante es de 75 m y la gran carga útil (camiones pequeños) fue resuelta utilizando la triangulación en madera laminada.



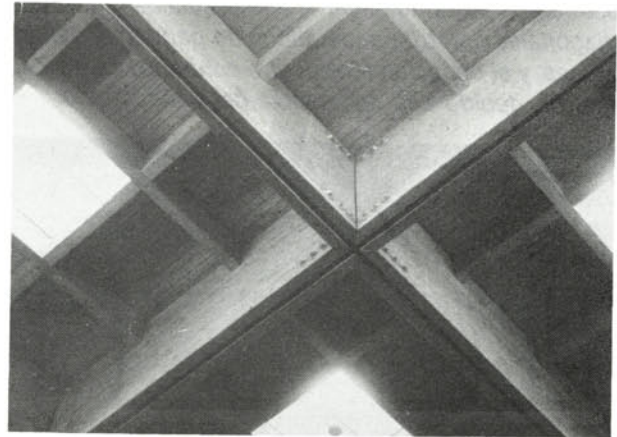
### C5. Estructuras de mediana luz en madera laminada

La viga recta sobre dos apoyos en madera laminada es la solución más simple, pero también la más banal para franquear luces medianas (10-30 m). Este tipo de estructura no es la óptima para las construcciones en madera. Estas luces necesitan grandes secciones (por ejemplo 30 m de luz una sección aproximada de 2 m),

lo cual inutiliza un espacio muy importante, y aumenta considerablemente la superficie de la envoltura. La altura estática puede ser disminuida mediante sistemas hiperestáticos más favorables al nivel de las deformaciones, por ejemplo: vigas continuas, o en vuelo con tirantes, cuadras o sistemas multidireccionales. Los elementos curvos de madera laminada, de un costo ligeramente mayor que una viga recta, permite una adaptación óptima de la estructura, de la forma del techo o de la dimensión del espacio libre, permitiendo igualmente la integración de diversas variables como iluminación, ventilación natural, etcétera.

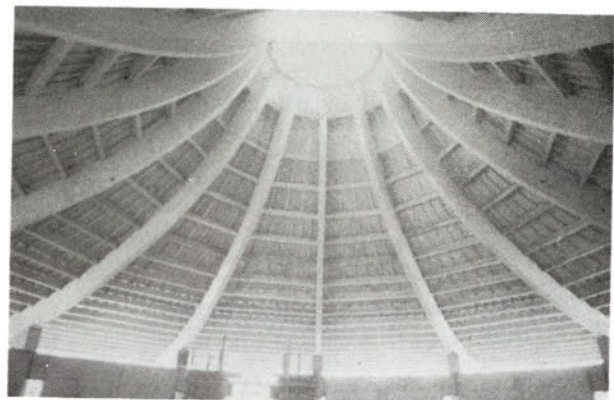
#### C5.1 Iglesia en Gartenberg, Alemania Arquitecto: Groethuysen, Schreiber

Entramado de vigas cuadrículadas como sistema principal y secundario. La iluminación natural cenital reduce visualmente la importancia de los elementos portantes.



#### C5.2 Iglesia en Unterhaching, Alemania Arquitecto: Tillmann et Guberth, Munich

La curva de las vigas de esta estructura radial, así como la iluminación central, crea un espacio interior más expresivo que una solución de viga-columna y "plafond" suspendido, utilizado generalmente en estos casos por la creencia de ser más económico.



## C6. Estructuras trianguladas

Históricamente en la construcción en madera la realización de ensambles sometidos a tracción fue muy difícil, por lo cual las vigas trianguladas con barras en tracción son parte de la construcción moderna en madera, permitiendo, gracias a nuevas técnicas de ensambles, realizar nudos en tracción. En nuestros días, estas estructuras trianguladas adquieren un lugar preferencial debido a la economía de materia prima y a la diversidad de geometrías posibles. Así, de esta manera, del diseño y la concepción se pueden tomar en cuenta las exigencias individualistas, formales y funcionales del proyecto.

### C6.1 Parvulario en Munich, Alemania Arquitecto: Steidle, Munich

La concepción estuvo determinada por la voluntad de crear un espacio simple, sin envigado visible y con los elementos portantes ligeros a la escala de niños. Las diagonales son tubos metálicos de pequeñas dimensiones, y el espaciamiento entre columnas es de 2,40 metros, debido a la resistencia del entablonado.



### C6.2 Pista de patinaje en Nüremberg, Alemania Arquitecto: Woerrlein, Nüremberg

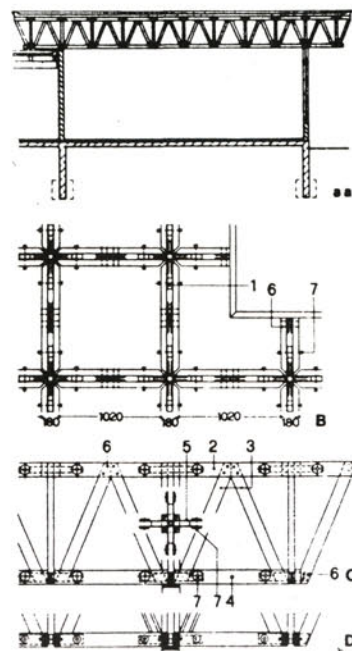
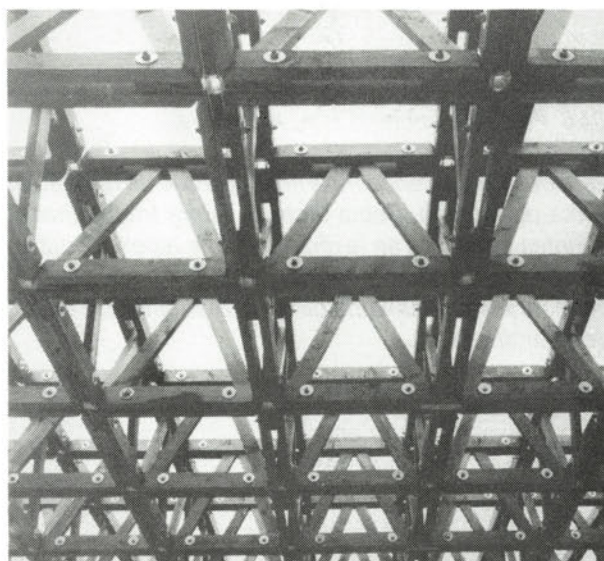
Estructura triangulada con tirantes de acero. La forma paraboloidal es estáticamente óptima y se adapta bien a la dimensión del espacio libre.



### C6.3 Auditorio de la Universidad de Weihenstephan, Alemania Arquitecto: Oficina de Construcciones de Weihenstephan

La cuadrícula de viguetas fue el único sistema que permitía cubrir una superficie (trama de 11,40 x 11,40 m) sin apoyos interiores y con una altura estática que asegura el equilibrio de la fachada. La elección de vigas trianguladas, en vez de elementos masivos, permite aligerar la estructura y simplifica la integración de vitrales en la estructura en la parte superior.

Se utilizó una pequeña trama (1,00 x 1,00 m) para reducir los esfuerzos en las barras; además permite la utilización de madera tallada en pequeñas dimensiones (2 x 6/14) y de ensambles simples (una grampa por barra).



#### C6.4 Centro turístico en Band Woerrishofen, Alemania

Estructura triangulada que soporta un techo vitrado de una sola pendiente, de sección circular. Los elementos diagonales de madera y tirantes metálicos fueron seleccionados con el fin de reducir la importancia visual de los elementos portantes.

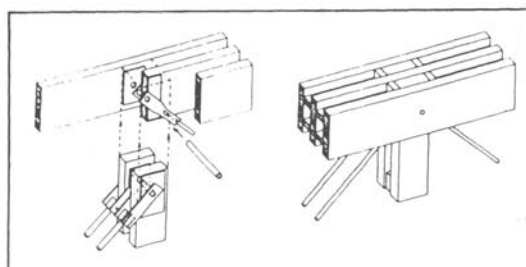
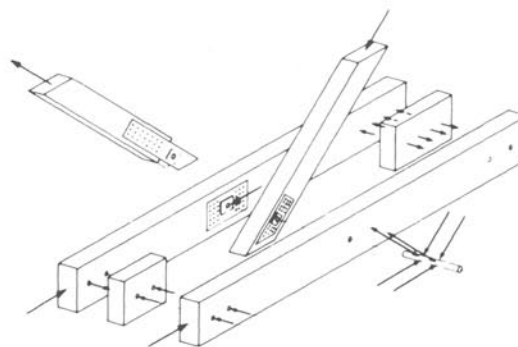
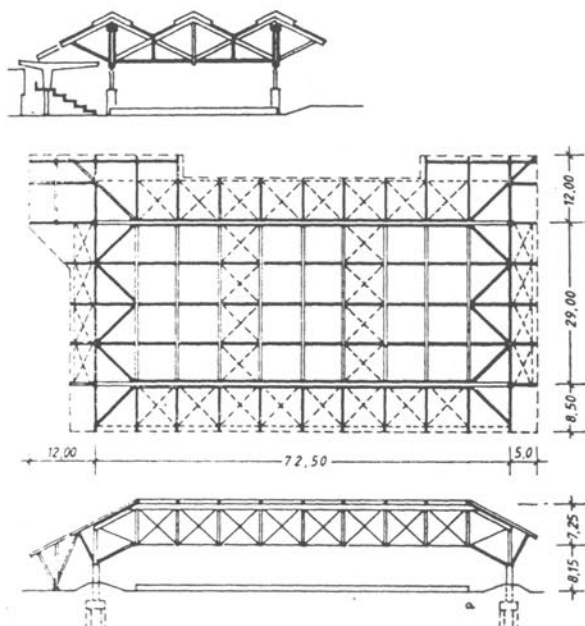
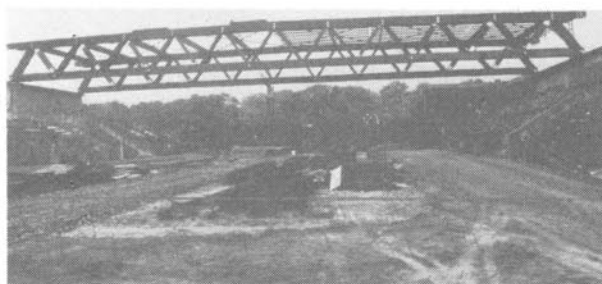


#### C6.6 Pista de patinaje en Grefrath, Alemania Arquitecto: Limmer, Düsseldorf

Las cabrillas y las riostras diagonales de la estructura triangular son realizadas en madera laminada; las cabrillas de una sola pieza. Esta concepción fue sólo posible luego de desarrollar un ensamble articulado que permita al sistema deformarse libremente, sin esfuerzos suplementarios en los nudos. Cada pieza de madera fue reforzada a nivel de los ensambles con una placa metálica clavada que transmite los esfuerzos a un eje articulado central. El funcionamiento de este sistema ha sido verificado por ensayos antes de la realización de este experimento, el cual ha permitido a la madera nuevo récord para cubrir grandes luces.

#### C6.5 Pista de patinaje en Bayreuth, Alemania Arquitecto: Oficina de construcciones Bayreuth

A consecuencia de las gradas y del terreno existente resultaba más económico prever cuatro fundaciones. Esto fue posible cubriendo la luz de techos longitudinalmente con dos grandes vigas trianguladas de 80 m de largo y 6 m de peralte. El sistema secundario se adapta a la forma de techo, asegurando una buena iluminación.



## C7. Estructuras extremas

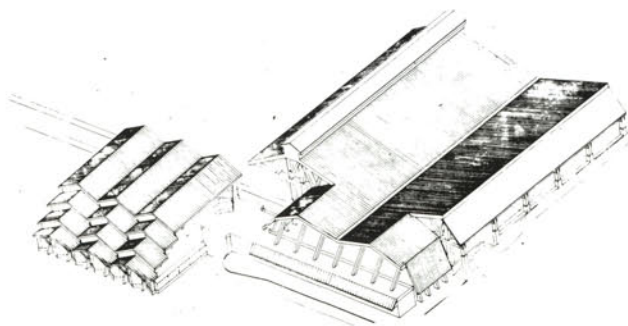
La madera es un material que se adapta particularmente bien a la realización de estructuras pudiendo cubrir grandes luces o sometidas a cargas importantes. La relación entre peso propio y capacidad portante, es superior a la del acero.

Las estructuras geoméricamente complicadas pueden realizarse en madera debido a las posibilidades de fabricación de elementos de sección y de forma variada. Características de la madera que, en otros materiales, el problema es mayor (encofrados para el hormigón y limitación de los perfiles estándares para el acero).

### C7.1 Centro polideportivo en Verbier, Suiza Arquitecto: Zufferey, Sierre

*Realización de un gran volumen (patinaje, tenis, piscina, curling) en una estación de los Alpes, a una altitud donde la madera es el material predominante en la arquitectura tradicional de chalets suizos. La problemática de la concepción moderna de estructuras en madera se encuentra al nivel del emplazamiento y su integración: dominio de pequeños volúmenes, forma de techos existentes, terreno en pendiente, grandes cargas de nieve (1.000 kg/m<sup>2</sup>).*

*Las técnicas modernas de construcción en madera han permitido concebir volúmenes y estructuras geoméricamente complejas. La estructura de la pista pudo ser*



*realizada enteramente en madera a pesar de los grandes esfuerzos sometidos a las barras (400 t).*

*Estos esfuerzos, hasta el momento reservados al acero y al hormigón, han podido ser resueltos en madera debido a la invención del sistema de encolado, el cual permite la ejecución de grandes secciones monolíticas en madera laminada (60x120) a partir de pequeñas secciones de 20x60 cm y de planchas intermediarias que permiten al conjunto variaciones de acuerdo a los cambios de humedad. Este método amplía las posibilidades de las construcciones en madera, en el dominio de las estructuras sometidas a grandes cargas.*

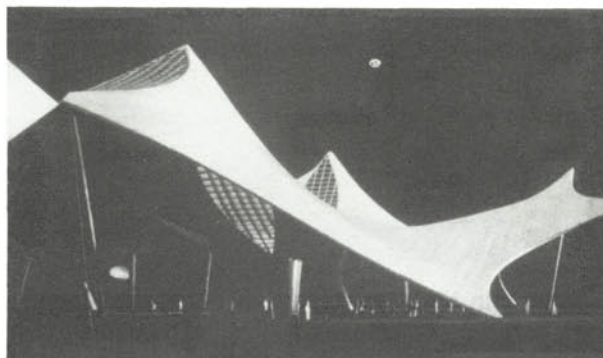
### C7.2 Hangar de almacenamiento en Hoyer, Alemania



*La madera fue seleccionada en este proyecto por la resistencia contra atmósferas agresivas como es el caso de un almacén de carbón. Además era prevista una grúa suspendida de 85 m de longitud y capacidad de carga de 200 t. La estructura se realizó con barras rectas, las cuales permiten una transmisión de cargas en línea directa. Este sistema es más económico, a pesar del número de nudos, debido a su realización con los tecnicismos modernos (clavos estriados, broches...).*

### C8.2 Proyecto para las cubiertas de los juegos Olímpicos en Munich, Alemania

Esta solución realizable y económica de una estructura alabeada en madera fue propuesta para el conjunto de techos realizados finalmente en cables. Dicha selección fue determinada por criterios de iluminación.



### C8. Estructuras extrema-cáscaras

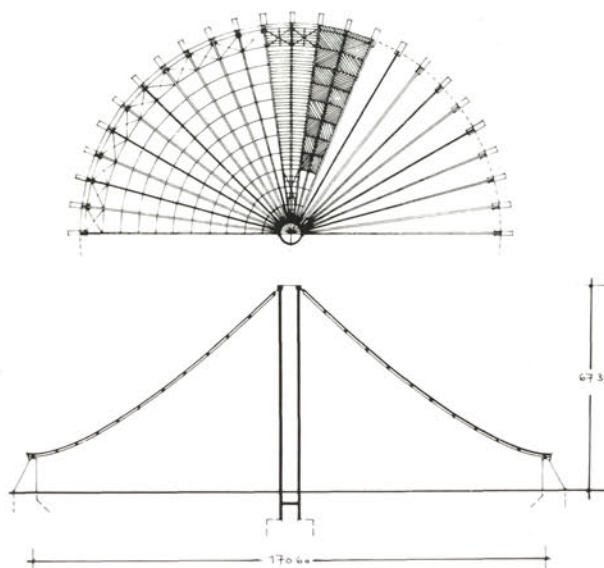
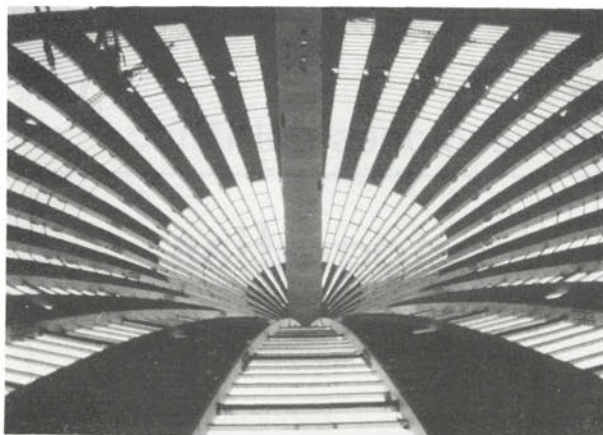
Para franquear grandes luces los sistemas estáticos más avanzados son aquellos que trabajan en tracción, por ejemplo, cables o membranas. A fin de estabilizar estas estructuras flexibles, es necesario prever medidas suplementarias, a menudo costosas como el aumento del peso propio o la utilización del pretensado. Por la realización de estas estructuras alabeadas en madera la combinación de nervaduras y de planchas forman la cubierta y unen por simple clavado, de manera que monolitiza la estructura, por lo cual viene siendo parcialmente rígida a la flexión. Esta rigidez permite disminuir y hasta suprimir los esfuerzos de tracción.

#### C8.1 Cáscara para la exposición de horticultura en Dortmund, Alemania Arquitecto: Behnisch & Ptners Stuttgart

Primera realización de una estructura alabeada fina en madera, de gran luz (61 m) con un pretensado parcial. Los elementos de borde de este parabolóide hiperbólico son en madera laminada, encoladas en el "atelier" con su geometría final (curva en el espacio con rotación alrededor de su eje).



#### C8.3 Hangar industrial en Viena, Austria Arquitecto: Lang.



*La primera cáscara suspendida en madera no necesitó pretensado debido a la rigidez de las nervaduras, lo cual condujo a una solución de cables sumamente costosa a nivel de las fundaciones (debido a los esfuerzos de tensión). La débil resistencia al fuego de los cables metálicos fue un punto más para la elección de la madera en este proyecto.*

*Con la realización de este hangar (un año de estudio y realización), la tecnología de la madera ha podido demostrar su eficacia mediante concepciones técnicas avanzadas.*

## CONCLUSION

En la construcción en madera, es necesario tomar en consideración, no sólo la estética, sino también la facultad que concurre desde el punto de vista económico.

Si en materia de construcción con madera mejoramos la organización de la producción, el montaje y el desarrollo de una realización; si las materias primas dispo-

nibles son mejor utilizadas, y si desarrollamos nuevos materiales compuestos; si la construcción en madera es tratada de una manera más equitativa por las reglamentaciones de construcción; si la investigación y la enseñanza se intensifican y si todo esto es posible sin obviar las tradiciones de las construcciones en madera... entonces, en general, las estructuras portantes en madera —sin vértebra— pueden reivindicar un lugar importante en el dominio de la construcción.

\* \* \*

## publicaciones del IETcc

### monografías

del  
INSTITUTO EDUARDO TORROJA  
de la construcción y del cemento  
i. e. t. c. c.

n. 389-390

Madrid, agosto/septiembre 1987

#### ESTUDIO TEORICO-EXPERIMENTAL DE ESTRUCTURAS ESPACIALES EN CELOSIA

J. J. Urrutia

En este trabajo se realiza un estudio teórico de las estructuras en celosía, tanto desde el punto de vista de tensiones como del de deformaciones. Se obtienen, mediante la aplicación de series geométricas, fórmulas generales para el cálculo de las deformaciones en pilares y dinteles del tipo Warren y Pratt. Se hace una revisión de las fórmulas que establece la Resistencia de Materiales para el estudio de la flexión en barras de sección llena, aplicándolas a las estructuras en celosía, contrastándose la igualdad en la formulación para ambos tipos de estructuras. Se analiza desde el punto de vista teórico la anomalía que el esfuerzo cortante produce en la teoría de la flexión en el caso de estructuras en celosía. Se contrastan los resultados teóricos con los obtenidos por experimentación.

Como conclusión se obtiene que una familia importante de estructuras espaciales en celosía puede estudiarse con idéntica teoría que las estructuras de sección llena, siendo posible conocer y limitar el error cometido.

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

### monografías

del  
INSTITUTO EDUARDO TORROJA  
de la construcción y del cemento  
i. e. t. c. c.

n. 391

Madrid, diciembre 1987

#### DIBUJO DE PERSPECTIVAS, ASISTIDO POR COMPUTADOR, UTILIZANDO DISPOSITIVOS TRAZADORES GRAFICOS

A. Recuero, J. P. Gutiérrez y O. I. Río

El objeto de este trabajo es el de presentar, de forma detallada, los problemas que se plantean en el desarrollo de un programa de dibujo asistido por computador de objetos tridimensionales y describir algunas soluciones concretas de los mismos totalmente detalladas, llegando incluso a la presentación de estas soluciones en forma de programa de computador, ofreciendo, además, para cada uno de ellos, una solución adecuada, tratando de proporcionar al lector los conocimientos suficientes, tanto para entender el programa que pueda estar manejando, como para desarrollar, si lo desea, sus propios programas. Para ello se ha tomado como base el programa CADET, desarrollado íntegramente en el Instituto Eduardo Torroja, escrito en lenguaje BASIC y preparado para uso en microcomputadores.

Este programa incluye todos los aspectos que se citan completamente resueltos de una forma satisfactoria y eficiente.

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS