

Una propuesta de clasificación sistemática de tipos estructurales en madera

Uno de los objetivos hacia los que ha de tender toda clasificación sistemática es la univocidad entre el objeto clasificado y la clase a la que se le asigna. En nuestro caso, la población a clasificar es un conjunto de estructuras de madera, a partir de cuyo estudio hemos intentado establecer criterios de clase en función de atributos comunes. En el campo de la sistematización estructural en general, la literatura técnica ofrece relativamente pocas investigaciones suficientemente amplias; en el área más restringida de las estructuras de madera, estas investigaciones son aún más escasas, si bien las existentes aportan propuestas de apreciable solidez. De ellas hemos partido para realizar una propuesta de diferente enfoque, siendo conscientes de que no podríamos sino orientarnos en lo posible hacia el objetivo indicado. De hecho, en la lectura de la clasificación en tres niveles utilizada, que exponemos en las dos páginas siguientes, el lector encontrará frecuentes referencias a sistemas estructurales próximos entre sí, o sistemas que pueden considerarse compuestos de otros del mismo nivel. Es decir, no existe suficiente univocidad; por lo tanto, la propuesta realizada debe verse más bien como una agrupación practicada sobre la población de estructuras, es decir, un análisis previo a una posible clasificación sistemática como tal.

El primer nivel de clasificación, indica el tipo de esfuerzo (o de combinación de esfuerzos) que estimamos puede considerarse característico del grupo, en tanto tiende a ser el principal factor condicionante del diseño de la estructura. Se trata, obviamente, de una convención semántica en la que la denominación del esfuerzo pasa a ser más bien expresión clave. Los niveles 2º y 3º, se categorizan en función de diferentes enfoques formales a escala global o local.

La sección contiene tres tipos de información:

- I • Páginas 2 a 5: descripción de los aspectos que caracterizan a una estructura en función de su pertenencia al grupo que se está considerando. Damos algunas orientaciones de predimensionado basadas en experiencias documentadas y en la literatura técnica reciente. Dichas orientaciones, indican generalmente las luces mínima y máxima que un tipo estructural determinado puede abarcar de forma económicamente aceptable.
- II • Presentación de imágenes de referencias de la sección 4, agrupadas conforme a los criterios indicados en I. Recordamos que el pie de nota indica la ubicación de la estructura en dicha sección, en la que pueden encontrarse puntualmente informaciones más específicas de dimensionado.
- III • Observaciones complementarias relativas a algunos aspectos puntuales referidos a la organización de sistemas y nudos, en base a imágenes que complementan o aclaran el contenido de las tablas de la sección 3, o bien amplían notas sobre referencias de la sección 4. Se intercalan en «I» relacionándose aproximadamente con un determinado grupo de clasificación.

La información «I», se organiza de forma que en la esquina superior derecha de la página o doble página, se encuentra el identificador del segundo nivel de clasificación, y dentro de la misma, el identificador del tercer nivel o niveles ejemplificados, cuya explicación se encuentra en «I» . ■

Nota: Cuando no exista alusión específica, el © de las imágenes de «I» pertenece a los autores (salvo referencia en contrario en la sección 4). Las indicaciones de © de «II», se agrupan de forma expresa por grupos de imágenes. Cuando dichas indicaciones están en pie de página, se refieren a la totalidad de las imágenes.

■ A FLECTOR

■ AA SISTEMAS TRIDIMENSIONALES

ORTOGONALES.

Procedimientos basados, fundamentalmente, en la distribución de los esfuerzos mediante pilares y vigas en tres direcciones ortogonales del espacio. Suelen basarse en retículas horizontales de entre 2,50 a 4,00 m. La estrategia de estabilización de la estructura, puede consistir en la colocación de arriostramientos metálicos o de madera, o la creación de nudos planos rígidos mediante TCC o elementos de fábrica u hormigón.

■ AAA Entramados pesados.

Con esta denominación se conocen sistemas de retículas ortogonales tridimensionales de jácenas y pilares de secciones simples de cierta magnitud (a partir de aprox. 100/100), que convergen en nudos estructurales. En esta retícula ortogonal, entragan grandes de viguetas o pilaresas.

■ AAB Entramados ligeros.

Se caracterizan por el recurso al uso repetitivo de secciones delgadas bases del orden de 38 x 76, y cantos generalmente inferiores a 280, salvo cuando se recurre a jácenas compuestas. Cuando la estructura se basa en el efecto de pantalla del TCC (también TVO o MJC), el planificado de las superficies de las, o bien las barras de pequeña dimensión de MME, se repiten adosándose, la configuración se aproxima a su. En determinados organizaciones espaciales, pueden también enfocarse como AAA o IAA, con ángulo de pliegado 90°. Este planteamiento de análisis, modulando la totalidad de la estructura como una serie de planos rígidos con capacidad de constar vigas planas o huecas de gran canto, permite alcanzar niveles de estabilidad particularmente adecuados a la resistencia de estados de acciones horizontales elevadas.

■ AB PÓRCICOS PARALELOS

DE VARIAS ALTURAS.

Sistema en el que una serie de pórcicos planos de varias alturas, dispuestos de forma radial o paralela, se unen por órdenes de viguetas. Suelen estabilizarse de forma análoga a A. Desde el punto de vista de la organización del nudo, pueden estimarse dos variantes, que en ocasiones se conjugan dentro del mismo entramado:

■ ABA Miembros divididos.

El nudo se materializa dividiendo en dos miembros diferentes la misma barra estructural (pilar, jácena o parr).

■ ABB Miembros continuos.

Las barras estructurales son de una única sección sencilla; caben diversas posibilidades de organización del nudo, estando las soluciones más frecuentes basadas en la inserción de placas metálicas.

■ B FLECTOR + CORTANTE

■ BA EMPARRIADOS PLANOS

Los emparrillados planos se basan en la búsqueda de la cooperación vinculada de los dos elementos de un plano de forjado o de faldón. Las mallas geométricas de referencia permiten una clasificación en los dos tipos en los que las argamases (ortogonales y oblicuas). Cabría también dividirlas en aquellas soluciones en las que cada viga abarca de un apoyo a otro de la estructura global, y aquellas en las que cada viga abarca desde un apoyo de la estructura global a un punto interno del recorrido de otra viga. La transmisión del esfuerzo constante en este tipo de juntas suele ser uno de los puntos clave del análisis. Respecto a la organización de los nudos pueden distinguirse dos casos habituales. Aquellos en los que las jácenas de una dirección se embrochan entre sí de la otra, en cuyo caso apenas hay un aprovechamiento de las posibilidades de distribución de flexión en los dos direcciones y aquellos en los que se garantiza la continuidad de la transmisión de flexión entre las mismas (p. ej. mediante la laminación y organización de determinadas laminas como pasantes).

■ BAA Mallas ortogonales.

El sistema base es el de dos jácenas de igual intensidad cruzadas ortogonalmente, cargadas en su punto de cruce. En tal caso, la parte de carga que asume la viga de mayor vano, evoluciona del 50% al 56%, cuando la relación entre las vigas evoluciona de 1 a 2. Las luces de estos sistemas abarcan dos de los 12 a 25 en MEE y 6 a 12 m en MME, con recuadros de 2 a 8 m, y cantos entre L/16 y L/30.

■ BAB Mallas oblicuas.

Basadas habitualmente en tramos de referencia de triángulos equiláteros, o cuadriláteros regulares no ortogonales. En el primer caso, la estabilidad horizontal conseguida, evita la necesidad de arriostramientos. Sin embargo, el mayor coste de los nudos hace que su empleo tienda a limitarse a estructuras vitas las en las que la presencia visual de tal trama es fundamental, o como recurso para la cubrición de plantas de geometría irregular.

■ BB PANELADOS.

El uso de sistemas superficiales, modulares o no, conduce a elevadas cotas de eficacia en el aprovechamiento del material.

■ BBA Paneles nervados.

Obtenido por marcado de la superficie generalmente mediante MME o MLE. La absorción del esfuerzo constante entre nervios y superficie suele realizarse mediante enclavado o clavado.

■ BBB Paneles superficiales.

Habría dos grandes grupos. Por un lado el de los paneles prefabricados de forma radial o M.C., y por otro el de los sistemas superficiales realizados in situ (M.P. M.C.). Los forjados más modernos, obtenidos entran en el segundo caso, con absorción del esfuerzo constante entre superficies de madera, se realiza mediante clavado y/o enclavado, entre superficies de madera y hormigón, generalmente mediante diferentes tipos de conectores, a través de rebajes practicados en la madera, o combinan ambos métodos.

■ C FLECTOR + AXIAL

■ CA CONFIGURACIONES PRIMARIAS.

En este apartado englobamos organizaciones del material resistente que responden a los tipos de sistemas básicos del orden de la viga. En función del nivel de simplicidad de la configuración, tendríamos dos posibilidades:

■ CAA Elementos básicos

Nivel mínimo de organización. La estabilización se suele confiar al arriostramiento de faldones, o a la estabilización mutua de pares. En el caso de dos pares arriostrados, estaríamos próximos a o.a., para este caso, la luz abarcaría los 15 a 50 m, con cantos de L/30. Los sistemas de Jácena recta pueden convenir hasta vanos de 30 m, siendo recomendable estimar cantos del L/17. Para jácenas de canto variable, este debería variar entre L/30 y L/16.

■ CAB Elementos peralados.

Configuración igualmente elemental de la estructura en su globalidad, pero con barras de inercia mejorada, merced a su división en miembros menos vinculados entre sí por juntas, intralevemente reduciendo la resistencia axial (p. ej. arriostramientos internos) o mediante alfileres cortantes (p. ej. sistemas tipo vierzeindel, o inclusión de múltiples intermedios entre dos arcos de concavidad inversa) en cuyo supuesto, nos aproximamos a u.a. o a.c.

■ CB PÓRCICOS CONTINUOS.

Sistemas de repetición paralela o radial de grupos planos de barras mayoritariamente sometidas a esfuerzos de flexo-torsión o flexo-compresión. En el supuesto de varias plantas, estaríamos próximos a A.

■ CBA Miembros rotos.

Derivados inmediatos de dos prototipos básicos: el pórcico de diámetro elásticamente apoyado o semirígidamente empotrado en sendos pilares; y el pórcico a dos aguas triángulo. En este último caso, para luces entre los 15 y 25 m, el canto máximo estará entre 0,06 y 0,08 veces la suma de las longitudes de un par y un pilar. Las diferentes formas de enfocar la organización de los emparrillados efectivos o la configuración de las barras, podrían constituir a su vez criterios de subclasificación. En el caso de pórcicos rigidos con cantos (habitualmente de 20 x 20) y pilares son rectos, las luces bien de 8 a 13 m (con cantos de barra de L/30 a L/35) si son inclinados, irían de 10 a 23 m (con cantos de barra de L/35 a L/40).

■ CBB Formas de transición.

El problema de la solución del nudo de esquina de pórcico, lleva a la búsqueda de la continuidad il. n. del pilar y par, lo que crea un elemento de directriz mixta de pocas posibilidades plásticas; utilizado individualmente y bifurcado, sus luces variarían entre 10 y 25 m, y utilizado simétricamente, como pórcico triángulo, entre 15 y 50 m. En este último caso, los cantos varían linealmente entre el abanico L/30/L/40 para la sección menor (articulaciones de pórcico) y L/20/L/40, para la sección mayor (esquinas de pórcico).

■ CBC Miembros curvos.

La continuación del proceso hacia la máxima continuidad posibilita de la directriz del pórcico, nos conduce al arco. Sus variantes se distribuyen típicamente entre arcos de flexo-compresión, o flexo-compresión, por un lado, y bifurcados o triarticulados (mayor frecuentemente biempotrados) por otro. Para el caso de los flexo-compresión, las luces pueden abarcar desde los 30 a los 100 m, con cantos entre L/35 a L/50. Las flechas oscilarían entre L/10 para arcos bifurcados, o entre L/5 y L/7 para arcos triarticulados. Las directrices frecuentes de predimensionado inicial suelen ser correspondientes a parábolas de segundo orden o arcos de hipérbola.

■ CC ELEMENTOS MULTIDIRECCIONALES.

Sistemas basados en una subestructura (p. ej., jácena, forjado nervado o placa de M.P.), que se apoya a lo largo de su recorrido en otros elementos (abajalones o tensores) del mismo conjunto estructural. Frecuentemente, se resuelve en la misma operación la estabilización en el plano del sistema, y la optimización de la capacidad resistente del elemento soporte, merced a la estrategia de distribución de esfuerzos flexores. Cuando los citados elementos se distribuyen también en planos ortogonales de referencia, buscando la estabilización en los mismos, o efectos de distribución como los indicados en u.a., podemos aproximarnos a o.a. o a.c.

■ CCA Sistemas jabalonados.

Método heredado directamente de la carpintería de amar tradicional, en el que los elementos de apoyo están comprimidos (en algunos casos, flexo-compresión), entragando su otro extremo directamente en el apoyo de la b. o bien en una estructura, generalmente del tipo c.a.

■ CCB Sistemas subdimensionados

Basados en el armado inferior de jácenas continuas, habitualmente por la inserción de péndolas entre aquellas y tensores metálicos. Cuando los huecos entre péndolas se arriostran, nos aproximamos a o.a. La altura estática inferior (entre ejes de jácena de madera y tensor máximo) estará en torno a L/12 y L/20, con luces de 8 m a 80 m.

■ CCC Sistemas colgados.

La subestructura está superpuesta, generalmente por cables o sistemas de cables metálicos, y ocasionalmente por cables de madera, anclados a estructuras del tipo c.a., c.c., o o.a. La estabilización lateral suele confiarse a la propia estabilidad de estas últimas estructuras, o a su combinación con la rigidez en el plano propio de la subestructura.

■ D AXIAL

■ DA CERCHAS BÁSICAS.

Elementos estructurales planos organizados por la unión de barras lineales que se enlazan tratando de alcanzar la máxima convergencia posible de los ejes de las barras que van a cada nodo, creando un sistema triángulo. Habitualmente, tenemos dos planteamientos distintos: sucesión de cerchas eólicas (0,3 a 1,0 m) o simplemente espaciadas (4 a 10 m), con amplia intermedia de comas. En el primer caso, la estabilización se suele contar a antostamientos de lamas metálicas en plano de faldón; en el segundo, se recurre al mismo sistema o bien al jacobonado de las correas. La complejidad de éste, puede aproximar la estructura a una o a.

■ DAA Cordones rectos.

En sus organizaciones más elementales en cerchas de cubierta, las luces pueden ir desde los 7,5 a los 30 m, con altura estática máxima en torno a 1/10. Habitualmente con MLE, en cerchas de esquinas truncadas, las luces irán de 20 a 50 m, con altura estática máxima entre 1/6 y 1/4. Con cerchas de cordones superior e inferior paralelos, las luces pueden alcanzar los 80 m, con alturas estáticas medias entre 1/10 y 1/14. En el caso de cerchas en voladizo, éste puede ir de 10 a 30 m, con alturas estáticas de L/4 a L/6 en el empotramiento.

■ DAB Cordones curvos.

Una variación matizada del tipo anterior, en el que el cordón superior, inferior o ambos, son curvos (de MLE, o MLC, por lo general) y curvos.

■ DAC Arcos de alma en celosía.

Tipo estructural particularmente adecuado a las grandes luces y cargas. Se suele organizar como bifurcado, teniendo un rango de luces de 50 a 120 m, con ceros de 1/20 a 1/40, y flechas de L/5 a L/8.

■ DB CERCHAS COMPLEJAS.

Bajo esta denominación, englobamos sistemas triangulados planos, obtenidos a partir de cerchas básicas de barras rectas, con distintos cuadrantes generalmente en el cordón inferior.

■ DBA Cerchas peraltadas.

Cerchas en tijera, sistemas de pares de jácenas en celosía y similares. Estos últimos, cuando son triangulados y con tirante inferior, abarcan luces de 15 a 50 m, con alturas estáticas de pares de L/15 a 1/25.

■ DBB Porticos triangulados.

Porticos, habitualmente a una o dos aguas, cuyas barras son ortogonales. Por analogía mecánica, su tipos próximos a DAC. Las luces pueden ir de los 10 a los 50 m, con alturas estáticas de los pares del orden de 1/10 a 1/15.

■ DC TRIANGULACIONES PLANAS

NO PARABÓLICAS.
Configuraciones obtenidas a partir de la vinculación de varias celosías planas, generalmente rectangulares o trapezoidales, a través de sus cordones, con diferentes métodos de anclamiento interno. Suelen generarse en base al principio de que si una celosía cerrada completa posee la forma de un polígono equilateral de caras planas su actividad en triángulos, la estructura combinatoria, con generalidad, un cuerpo rígido. En determinados casos, la rigidez de algunas de tales caras, se sustituye por la forma de vinculación a los apoyos, o por rigidización superficial. Ocasionalmente le admiten su intersección como plegaduras que configuran perfiles estructurales huecos compuestos.

■ DCA Sistemas horizontales.

Agrupamos aquí los casos característicos de jácenas cayen en celosía, frecuentemente utilizados en puentes o pabellones de grandes luces.

■ DCB Sistemas verticales.

Sistemas habituales de torres estéricas, o entramados de silos industriales. En determinados casos, estos sistemas tienen antostamientos internos que los aproximan a o.

■ DD TRIANGULACIONES ESPAZADAS NO

ORTOGONALES.

Estructuras obtenidas a través del enlace, por sus nodos, de triángulos triangulados planas en el caso de o(a) no coplanarios. Determinados supuestos de estructuras basadas en el esfuerzo axial, como ya se ha indicado, pueden analizarse desde esta óptica dependiendo de la configuración de las disposiciones constructivas que aportan estabilidad a los sistemas planos.

■ DDA Emparrillados de celosía.

Estructuras análogas a aa, utilizando celosías en lugar de jácenas metálicas, o a ii y iac, con caras en celosía integradas en los propios porticos. En los casos de forjados planos, los cuadros internos oscilantes y 1/12, y las luces entre 8 y 60 m, con alturas estáticas de L/8 a L/10.

■ DDB Entramados tridimensionales.

Sistemas basados en la superposición de poliedros regulares (habitualmente tetraedros o hemioctaedros) con aristas laterales en MME o MLE. Cuando constituyen forjados planos, una característica típica de su diseño es la elección de las condiciones idóneas de apoyo. Sus luces van de 20 a 80 m.

■ DDC Capulas recilicadas.

Podemos distinguir tres grupos: radico comprimidos con anillos meridianales y barras de antostamiento (tipo schvedler); serie de meridianos con triangulaciones entre ellos; y cúpulas geodésicas (generadas por adición de grupos de caras de poliedros platónicos). Otra variación se obtiene por el recurso al procedimiento de o. La luz puede abarcar de los 18 a los 200 m, tratándose del tipo estructural de mayor abanico posible de luces económicamente factibles.

■ E AXIAL + CORTANTE

■ EA SISTEMAS PLEGADOS O LAMINARES.

Se basan en la conexión de subsistemas globalmente superficiales (por ejemplo los definidos en ii) a través de charnals que discuten sensiblemente en la dirección del vano a salvar. El procedimiento más inmediato es la construcción de una jácena mediante dos planos en su inversión. La repetición del método mediante faldones, constituidos por áreas planas triangulares o rectangulares, da lugar a un amplio abanico de formas posibles. Los sistemas así pueden considerarse un caso particular de ca, en el caso de un uso extensivo de tableros de antostamiento totalmente soldados a las barras en términos de esfuerzo cortante. Generalmente, estudiar su comportamiento por la analogía de la viga, ofrece buenas aproximaciones de diseño con fines prácticos. Con faldones rectangulares de ancho eht, un posible criterio de dimensionado para sección transversal de la plegadura de canto (diferencia de cota entre charnals consecutivos) mayor que L/8 y ángulo de plegado superior a 30°, es utilizar un espesor total de superficie (Incluido nervio) de H/20 a H/30. En el caso ca, la sección de las barras en dirección transversal al plano de la celosía, será de H/15 a H/25.

■ EAA Láminas nervadas.

Las láminas se organizan con elementos superficiales típicamente una o varias capas de TCC, o varias capas de secciones dilgadas de MME), que son nervadas por uno o ambos lados de la superficie. Otra opción suele ser la creación de la superficie como un basidor de MME o MLE, revestido por ambas caras con tablero.

■ EAB Láminas superficiales.

Representan el caso más puro de plegadura. Las láminas se realizan exclusivamente con TCC, MVM, MAC, o MCE. La aparición de nervaduras se limita a la absorción de esfuerzos de borde en las charnals. La clave de su elevada economía de material, estriba en la reducción de los esfuerzos de flexión perpendicular al plano de la superficie, que pasan a tener relevancia exclusivamente en función de la separación entre charnals. El panel de local y la transmisión de esfuerzos de la charna a la superficie suelen ser factores críticos del diseño.

■ EAC Subsistemas planos recilicados.

Agrupamos aquí estructuras asimilables a plegaduras en las que la lámina pasa a ser un entramado plano (p. ej. del tipo cao, o caal, los tipos ca, pueden interpretarse como un caso particular de eac, en tanto que plegaduras cercadas.

■ EB MEMBRANAS Y CASCHONES.

Estructuras globalmente superficiales, en las que los esfuerzos de flexión son reducidos o nulo, organizándose en el equilibrio (o equilibrio estáticamente) los esfuerzos que no pueden ser absorbidos por descomposición en esfuerzos axiales, lo son por esfuerzos cortantes. En estos sistemas, así como en los soc y ca, la clave del diseño estructural estriba en la acertada selección de la forma, y la implementación local de los vínculos necesarios para garantizar que efectivamente se desarrollen esfuerzos de membrana. Para ello, suele ser necesario el empleo característico de desplazamientos de cota en el diseño. Así, en el caso de la aparición de flexión, lo que ocurre es que, lógicamente, en este tipo de estructuras, un comportamiento de su comportamiento, suele implicar la realización de análisis de segundo orden.

Atendiendo a la clasificación geométrica entre sus perfiles anatómicos, desarmados y diaclásticos, es útil distinguir, aparte de la agrupación que sigue, entre superficies generadas a partir de criterios de equilibrio puro, que dan lugar a expresiones analíticas complejas, y aquellas superficies generadas por expresiones analíticas simples. En el caso de los parabólicos, las superficies curvas pueden ser cuadráteras de los 7 a los 25 m de lado en el caso de los parabólicos hipotéticos, y a 30 m en el caso de los elípticos. En los conoides, la luz del arco inicial puede ir de 12 a 27 m, con una longitud de 7 a 12 m. Las bovedas de canon, pueden tener una sección transversal de 7 a 20 m, con vanos longitudinales de 12 a 36 m. Cuando éstos son superiores a cinco veces la cuerda de la sección transversal, la analogía de la viga arroja resultados orientativos aceptables.

■ EBA Nervados.

Membranas superficiales reforzadas con nervos rectos o curvos, generalmente en direcciones significativas sea desde el punto de vista de la distribución de esfuerzos, o desde el de la generación de la geometría.

■ EBB Superficiales.

Las superficies no nervadas suelen consultarse mediante piezas de delgada sección de MME generalmente elaboradas mediante EDM, o bien TCC, TCO, o MBV, en un caso o en otro, con o sin forjado, clavado o encolado.

■ EBC Recilicados.

La superficie se estudia a uno o varios órdenes (habitualmente dos) de barras estructurales constituidas por piezas múltiples de MME. Estos órdenes se estructuran siguiendo, generalmente, direcciones principales de curvatura de la superficies, y uniéndose por sistemas de transmisión de esfuerzo cortante de diferentes tipos, frecuentemente pasados roscaados con sistemas de arandelas más o menos sofisticados. Este tipo de estructuras requieren una distribución de antostamientos en su superficie, diagonales a la malla, para asegurar su estabilidad. Una variedad de este tipo estructural, que no requieren estos dispositivos, son los bovedas tipo lamela o zöllinger, que pueden considerarse asimismo un caso particular de soc.

Emparrillados planos

■ 2
BA

Mallas ortogonales

■ 2baa



43160



46100



46053

Mallas oblicuas

■ 2bab



46034



43452



43161

FLECTOR + CORTANTE

■ 2
BB

Paneles nervados

■ 2bba



46015



46036



43001



46033



46019

Paneles superficiales

■ 2bbb



46180



46271



46110



46021

Configuraciones primarias

Elementos básicos

2caa



43206



43210



43210



43201



43206



43254



43256



43260



43163

FLECTOR + AXIAL

2
CA

Elementos peraltados

2cab



43259



43262



43209



43210



43134



43111

15
■

Pórticos continuos

Miembros rectos

2cba



42079



42612



42196



42621



42616



42153



42152



42158



42555



42174



42371



42159



42260



42183

FLECTOR + AXIAL

2
CB

Formas de transición

2cbb



42024



42167



42051



42133



42114



42099



42116



42206



42095

Pórticos continuos

Miembros curvos



483119



483112



483117



483078



483164



483181



483103



483078



483038



483080



483170



483075



483169



483044



483181



483138

FLECTOR + AXIAL

2
CB

2abc



483067



483217



483065



483073



484229



483049



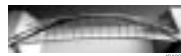
484224



484225



484225



484224



484223



483070

21

Elementos multi - soportados

Sistemas jabalconados



48206



48824



48817



48828



48297



48317



48291



48823



48208



48236



48271

FLECTOR + AXIAL

2
CC

2cca



48268



48025



48007



48028



48021



48082



48086



48013



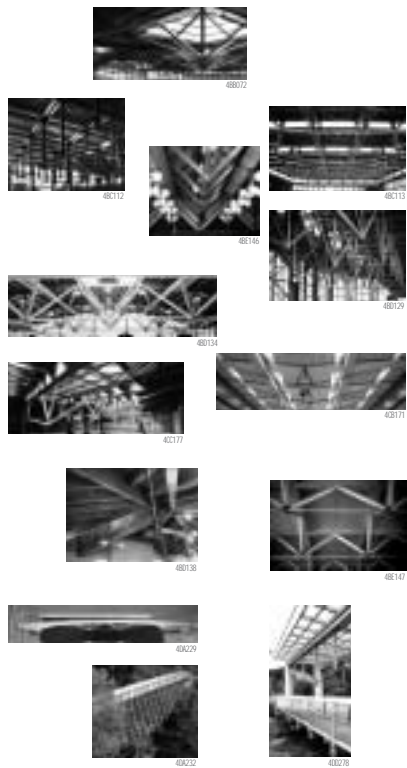
48021

23
■

Elementos multi - soportados

Sistemas subtenionados

2ccb



FLECTOR + AXIAL

2 CC

Sistemas suspendidos

2ccc



Cerchas básicas

Cordones rectos



48047



482191



48038



48052



48871



48863



48017



48084



48010



48368



48032



48032



48046

AXIAL

2
DA

2daa



48174



48174



48027



48028



48024



48025



48026



48028



48022



48021



48022



48072



48175



48020



48017

Cerchas básicas

2dab

Cordones curvos



48032



48035



48033



48034



48036



48025



48041



48029

AXIAL

2

DA

2dac

Arcos en colosia



48045



48038



48030



48077



48031

Cerchas compuestas

■ 2
DB

2dba

Cerchas peraltadas

■



48250



48199

Pórticos triangulados

2dbb

■



48237



48026



48090



48110

AXIAL

Triangulaciones planas no paralelas

■ 2
DC

2dca

Sistemas horizontales

■



48114



48101



48254



48142



48255



48251



48247

Sistemas verticales

2dcb

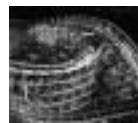
■

35

■



48253



48112



48261

Triangulaciones espaciales no ortogonales

Emparrillados en celosía

2dda



48873



48112



48877



48C15



48299



48147



48290



48120



48034



48172

AXIAL

2
DD

Entramados tridimensionales

2dda



48030



48C263



48142



48A156



48C261



48196



48C115



48C115



48149



48A157



48158



48034



48152



48110



48C228



48C204

Triangulaciones espaciales no ortogonales

Cúpulas reticuladas

Zddc



48001



48010



48010



48012



48010



48172



48123



48122



48143



48186



48581



48178



48114



48111



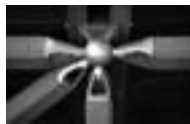
48185

AXIAL

■ 2 DD

En nudos de estructuras espaciales L, lo los nudos espaciales de estructuras planas en los enlaces con determinados arriostramientos), suelen organizarse conforme a dos familias de sistemas, ambas basadas en la inserción (más infrecuentemente en el solape lateral) de placas metálicas en la madera. Un grupo lo constituyen los nudos en los que las placas se conectan por herrajes intermedios más o menos regulables a elementos intermedios (p. ej., los sistemas de las imgs ZDD2). El otro, se integra por los métodos basados en el soldado, conforme a las direcciones correspondientes a las barras incidentes, de las placas metálicas entre sí, o bien a sistemas de placas y perfiles diseñados de forma específica para la distribución de los esfuerzos conforme al criterio de minimizar en lo posible el efecto de la aparición de esfuerzos parásitos de flexión.

En el campo de las estructuras espaciales (en su acepción más genérica) encontramos actualmente respuestas en madera a una amplia variedad de presupuestos formales, como los entramados recíprocos, plegadas, membranas, cascarones, poliedros... presentados a lo largo de esta obra. Existen sin embargo algunas áreas relacionadas con la morfología estructural en las que aún es escasa la experimentación real con madera, como es el caso de las estructuras plegables o los sistemas de tensigrad. ■



© 2002 IMG

img. 2002. Nudo de nudo vertical. © 2002 IMG



img. 2003. Nudo espacial-placa vertical. © 2003 IMG



39

Membranas y cascarones

Nervadas



48003



48002



48008



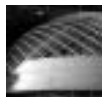
48010



48000



48074



47100



48030

AXIAL + CORTANTE

■ 2
EB

2eba

■



40700



43104



43109



43109



43106



40379



40013

43

■

Membranas y cascarones

Superficiales

2ebb



48706



48702



48700

AXIAL + CORTANTE

2
EB

Reticuladas

2ebc



48831



48832



48870



48970



49300



49352



49154



48141

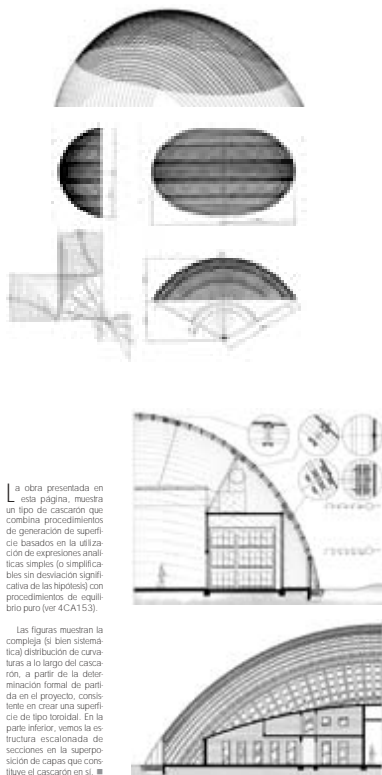


48708



48391

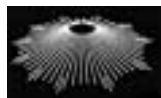
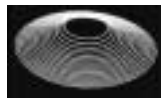
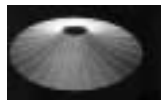
45
■



La obra presentada en esta página muestra un tipo de cascarón que combina procedimientos de generación de superficie basados en la utilización de expresiones analíticas simples (o simplificables sin desviación significativa de las hipótesis) con procedimientos de equilibrio puro (ver 4C.A15-3).

Las figuras muestran la compleja (o bien sistemática) distribución de curvaturas a lo largo del cascarón, a partir de la determinación formal de partida en el proyecto, consistente en crear una superficie de tipo toroidal. En la parte inferior, vemos la estructura escalonada de secciones en la superposición de capas que constituye el cascarón en sí. ■

© SAMYN & PARONIS



La creación del equilibrio estructural mediante la investigación de la forma, es inherente a la concepción de las estructuras construidas por el hombre desde el inicio de los tiempos. Las últimas décadas del siglo XX, han dado lugar a cambios de aplicación del método científico de conocimiento a dicha actitud intuitiva. El mundo de las membranas y cascarones de madera, viene siendo aun un espacio fundamentalmente de experimentación pura, limitado su uso a casos muy singulares. No obstante, los avances actuales en los procesos de investigación analítica de formas susceptibles de ser utilizadas en arquitectura, permitirán ciertamente la expansión de estos tipos estructurales basados en la madera y sus derivados en el próximo siglo.

Esta página muestra estados gráficos del análisis de la forma de dos membranas traccionadas (columna izquierda, 4AC43, y columna derecha, 4AC39), ejemplos de generación de forma por procedimientos de equilibrio puro. Cuando este tipo de estructuras se realizan con cables y elementos superficiales sintéticos, es necesaria la introducción de esfuerzos de pretenso. La utilización de madera, obvia esta necesidad, siendo exclusivamente la doble curvatura de la forma en sí la que garantiza la distribución en la superficie de los esfuerzos axiales y la minimización de la flexión. Particular complejidad suele revestir la materialización constructiva de la curvatura espacial de las líneas de borde de una membrana textil. ■



© K. LEONWITZ

Membranas y cascarones



© ARIZ HOLZ



El camino hacia la creación de membranas, puede derivarse a partir de elementos curvos (cuyas formas respondan a estados planos de equilibrio axial puro) en distribuciones radiales, de forma que la inserción de sistemas de correas y elementos de estabilización en planos tangentes a la superficie a crear, conduce finalmente a estructuras cuyo comportamiento espacial puede estimarse aproximado al de una membrana en sí (Imgs. superiores).

Por otro lado, el uso de composites superficiales susceptibles de simple curvado (p. ej. TCC, o MRV en las Imgs. inferiores), permite la creación simplificada de cascarones de superficie desarrollable. ■



© GUSTAV HOLZ

