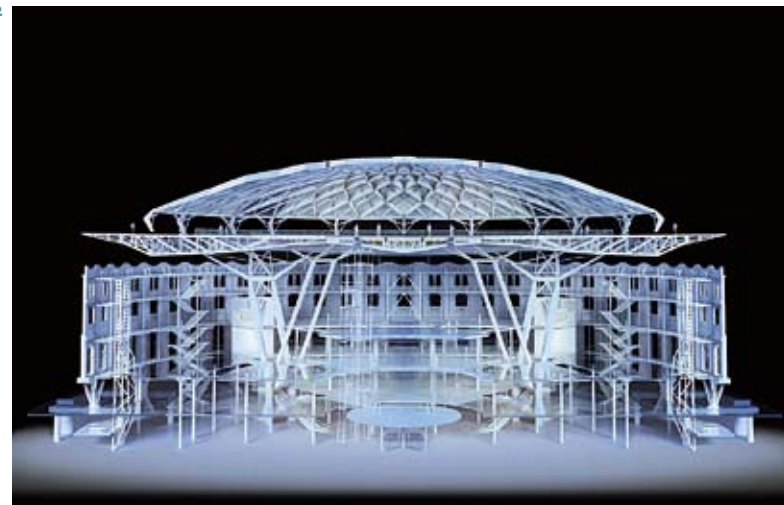


Cobertes de fusta

Jaume Avellaneda i Claudi Aguiló



Vivim en l'edat de la construcció lleugera i de la “desmaterialització”, entesa com la disminució del material emprat per unitat de potència funcional, de capacitat de producció o de volum ocupat. L'arquitectura d'avui ha de prendre consciència dels imperatius de l'art de l'home que la crea. Repartir càrregues, distribuir esforços, reduir moments, treure la màxima utilitat de la matèria: aquestes són les tendències que condicionen, cada dia més, la feina dels arquitectes i els enginyers.

Z.S. Makowski, *Steel space structures* (1964)

La fusta és un material estructural excel·lent: a la seva lleugeresa –el pes de les coníferes se situa al voltant dels 450 kg/m³– s'hi afegeix la seva capacitat de treballar a compressió, tensió i flexió. Podem dir que la fusta, des d'un punt de vista estructural, és un material tan eficient (relació entre la capacitat de càrrega i pes propi) com l'acer.

No obstant això, la fusta, a diferència de l'acer, quan està sol·licitada amb càrregues permanents importants es “cansa”. En això és similar al cos humà i és el peatge que ha de pagar per ser un material d'origen orgànic.

Històricament, la principal dificultat tècnica de construir en fusta ha estat l'alçada i no pas la llum. En l'anterior número de *Quaderns* comentàvem que només a partir de l'aparició de noves tècniques constructives –com ara els plafons contralaminats de fusta– s'han pogut fer amb seguretat edificis d'habitatges de 5 plantes o més amb estructura de fusta. Quan la fusta és sotmesa a càrregues permanents d'una certa importància, tendeix a deformar-se: aquest comportament es pot observar en els sostres antics, que de mica en mica han cedit al llarg del temps.

La fusta, però, és un material idoni per construir les estructures de les cobertes. En general el pes propi d'una coberta és petit, i les sobrecàrregues de vent o neu a què

1
Foto de l'estructura en reconstrucció Santa & Cole

2
Maqueta del projecte. Alonso-Balaguer i Arquitectes Associats i Richard Rogers Partnership

Timber roofs

We live in the age of light construction and “dematerialisation”, understood as the reduction of the material used per unit of functional power, of production capacity, or of occupied volume. Today's architecture must be aware of the imperatives of the art of its creator. Dividing up loads, distributing forces, reducing momentum, getting the maximum use out of the material; these are the tendencies that each day increasingly condition the work of architects and engineers.

Z.S. Makowski, *Steel space structures* (1964)

Wood is an excellent structural material: in addition to its lightness – the weight of conifers is around 450 k/m³– is its capacity to work under compression, tension and flexion. We could say that wood, from a structural viewpoint, is a material that is as efficient (relationship between load capacity and own weight) as steel.

However, wood, unlike steel, when subjected to important permanent loads, gets “tired”. In this it resembles the human body, and it is the price it has to pay for being a material of organic origin.

Historically, the main technical difficulty in constructing with wood has been elevation and not span. In the last issue of *Quaderns* it was commented that only after the appearance of new construction techniques – such as cross-laminated timber boards – did it become possible to safely build residential buildings of five floors or more using timber structures. When wood is subjected to permanent loads of a certain size, it tends to become deformed: this behaviour can be observed in old roofs, which have gradually sagged over the course of time.

Timber, however, is an ideal material for building roof structures. In general the typical weight of a roof is small, and the toploads of wind or snow to which it may be

Cubiertas de madera

Vivimos en la edad de la construcción ligera y de la “desmaterialización”, entendiéndolo por tal la disminución del material utilizado por unidad de potencia funcional, de capacidad de producción o de volumen ocupado. La arquitectura de hoy debe tomar conciencia de los imperativos del arte del hombre que la crea. Repartir cargas, distribuir esfuerzos, reducir momentos, sacar la máxima utilidad de la materia: tales son las tendencias que condicionan, cada día más, el trabajo de arquitectos e ingenieros...

Z.S. Makowski, *Steel space structures* (1964)

La madera es un excelente material estructural: a su levedad –el peso de las coníferas se sitúa alrededor de 450 kg/m³– se añade su capacidad de trabajar a compresión, tensión y flexión. Se puede afirmar que la madera, desde un punto de vista estructural, es un material tan eficiente (relación entre la capacidad de carga y peso propio) como el acero.

No obstante, la madera, a diferencia del acero, cuando está sollicitada con cargas permanentes importantes se “cansa”. En esto es similar al cuerpo humano y es el peaje que tiene que pagar por ser un material de origen orgánico.

Històricament, la principal dificultat tècnica para construir en madera ha sido la altura y no la luz. En el anterior número de *Quaderns* se comentaba que sólo a partir de la aparición de nuevas técnicas constructivas, tales como los paneles contralaminados de madera, se han podido hacer con seguridad edificios de viviendas de cinco plantas o más con estructura de madera. Cuando la madera es sometida a cargas permanentes de cierta importancia tiende a deformarse, comportamiento que puede observarse en techos antiguos que poco a poco han cedido a lo largo del tiempo.

pot estar sotmesa mai no poden ser considerades permanents. L'estructura de coberta més utilitzada ha estat l'encavallada. La seva concepció va anar evolucionant al llarg del temps a partir de diferents premisses: adaptació de la forma de l'encavallada als vessants de la coberta, triangulació interna amb barres per tal de ser estable, com també una organització adient de les esmentades barres per tal de treballar principalment a compressió o tensió. Moltes de les encavallades d'edificis antics tenen barres redundants, és a dir que en realitat no treballen, perquè no hi havia sistemes de càlcul que permetessin determinar el comportament real d'aquestes estructures. Cal remarcar també l'enginy i l'eficiència amb què els fusters resolien els encaixos entre barres, basant-se només en la geometria, per tal que les càrregues es poguessin transmetre d'una barra a l'altra sense necessitat d'emprar connectors de ferro a les unions.

El concepte d'una estructura d'encavallades de fusta és clar: elements estructurals plans (les encavallades) que recolzen sobre una estructura vertical (pilars o murs) i es connecten entre ells amb les corretges i la resta de la subestructura del revestiment de la coberta. L'any 1920 Friedrich Zollinger va proposar, però, un altre tipus d'estructura de fusta per a les cobertes: l'estructura espacial. Es tractava d'un conjunt de lamelles de fusta serrada de dimensions aproximades 25 x 150 x 2.000 mm que formaven un teixit triangulat d'una sola capa. Les lamelles, mecanitzades amb cantell variable de manera que els extrems són més petits que la part central, s'unien fàcilment entre elles amb uns connectors d'acer. Es tractava d'una autèntica volta de fusta amb la qual es podia arribar a cobrir una llum de 30 m.

La coberta de la seu de l'empresa de disseny industrial Santa & Cole a Barcelona està feta amb el sistema inventat per Zollinger. És una estructura amb història, ja que va pertànyer al pavelló austríac de l'Exposició Internacional de Barcelona del 1929, va ser desmuntada i reconstruïda, i encara avui aconsegueix la seva funció. En una estructura espacial, la massa del material, com també els esforços, es distribueixen d'una manera més homogènia, fent que els elements estructurals predominants –com ara les encavallades– es dilueixin. A la coberta de Santa & Cole totes les barres són iguals: 25 x 200/150 x 1.950 cm.

Ara s'està construint a Barcelona una altra coberta espacial de fusta: és la cúpula de l'edifici dels arquitectes Alonso & Balaguer i R. Rogers que ocupa l'antiga plaça de braus de les Arenes. La cúpula és d'una sola capa, té 78 m de diàmetre i 8 m d'alçada; és, doncs, molt plana i representa un avanç important en els camps del càlcul i construcció de les estructures de fusta. Cal destacar que tant les barres de fusta laminada que formen la cúpula com els connectors han estat fabricats per l'empresa Finnforest a Alemanya. Totes les peces se subministren totalment mecanitzades, per la qual cosa a l'obra solament es fan les operacions de muntatge. Les modernes tècniques de CAD/CAM/CNC ho permeten, però això implica, per tal que finalment la cúpula pugui tancar-se, que el replantejament dels diferents nusos a l'espai s'ha de fer amb gran precisió.

Aquesta cúpula representa una gran aportació a les tecnologies de construcció en fusta com ho va ser, en el seu temps, la volta de Zollinger, i manté la vigència del discurs de Z.S. Makowski, plenament sostenibilista, amb el qual hem iniciat aquest escrit. ♦

Jaume Avellaneda

subjected can not be considered permanent. The roof structure most used has been the gabled structure. Its conception evolved over time based on different premises: adaptation of the roof truss to the slopes, internal triangulation with bars to make it stable, plus a suitable organisation of these bars so that they work mainly under compression or tension. Many of the ridged roofs of old buildings have redundant bars, i.e. in reality they do not work, because there were no calculation structures to allow the real behaviour of these structures to be determined. Also notable is the ingenuity and efficiency with which carpenters resolved the joints between bars, using only geometry, so that the loads could be transmitted from one bar to another without any need to use iron connectors at the unions.

The concept of a wooden roof truss structure is clear: flat structural elements (the trusses) supported on a vertical structure (pillars or walls) and connected to each other with purlins and the rest of the sub-structure of the roof covering. In 1920, however, Friedrich Zollinger proposed another type of wooden structure for roofs: the spatial structure. It was a set of sawn wooden lamellas measuring approximately 25 x 150 x 2000 mm which formed a single-layer triangulated fabric. The lamellas, machined with a variable edge to leave the ends smaller than the central part, were easily joined to each other using steel connectors. This was a true wooden arch which could cover a span of up to 30 m.

The roof of the premises of the industrial design company Santa & Cole in Barcelona was made using the system Zollinger invented. It is a structure with a history, as it belonged to the Austrian pavilion at the International Expo in Barcelona in 1929, was dismantled and rebuilt, and still today it accomplishes its function. In a spatial structure, the mass of the material, like the forces, are distributed in a more even way, leading the predominant structural elements – such as the trusses – to be diluted. In the Santa & Cole roof, all the bars measure the same: 25 x 200/150 x 1950 cm.

Another timber spatial roof is being built in Barcelona today: the dome of the building by architects Alonso & Balaguer and R. Rogers which occupies the old Les Arenes bullring. The dome is a single layer, has a diameter of 78 m and is 8 m high; it is, therefore, very flat and represents an important advance in the fields of calculations and construction of timber structures. It is worth highlighting that the laminated timber bars forming the dome, as well as the connectors, have been manufactured by Finnforest in Germany. All parts are supplied totally machined, therefore once on site, only assembly operations are required. Modern CAD/CAM/CNC techniques allow this, but it means, to ensure that the dome can be properly completed, that the repositioning of the different collar beams in the space must be done with great precision.

This dome represents a great contribution to timber construction technologies as did, in its time, Zollinger's arched roof, and it keeps Z.S. Makowski's entirely pro-sustainability discourse, quoted at the start of this article, right in the present. ♦

Jaume Avellaneda
Translated by Debbie Smirthwaite

La madera, sin embargo, es un material idóneo para construir las estructuras de las cubiertas. En general el peso propio de una cubierta es pequeño, y las sobrecargas de viento o nieve a que puede estar sometida nunca pueden ser consideradas como permanentes. La estructura de cubierta más utilizada ha sido la cercha. Su concepción fue evolucionando a lo largo del tiempo a partir de distintas premisas: adaptación de la forma de la cercha a las vertientes de la cubierta, triangulación interna con barras para ser estable, así como una organización adecuada de las citadas barras para trabajar principalmente a comprensión o tensión. Muchas de las cerchas de edificios antiguos tienen barras redundantes, es decir, que en realidad no trabajan, porque no existían sistemas de cálculo que permitieran determinar el comportamiento real de dichas estructuras. Hay que hacer constar asimismo el ingenio y la eficiencia con que los carpinteros resolvían las encajaduras entre barras, basándose tan sólo en la geometría, con el objeto de que las cargas se pudieran transmitir de una barra a la otra sin necesidad de emplear conectores de hierro en las uniones.

El concepto de una estructura de cerchas de madera está claro: elementos estructurales planos (las cerchas) apoyándose sobre una estructura vertical (pilares o muros) y conectados entre sí con las correas y el resto de la subestructura del revestimiento de la cubierta. En 1920 Friedrich Zollinger propuso, sin embargo, otro tipo de estructura de madera para cubiertas: la estructura espacial. Se trataba de un conjunto de lamelas de madera serrada de tamaño aproximado 25 x 150 x 2.000 mm que formaban un tejido triangulado de una sola capa. Las lamelas, mecanizadas con canto variable de modo que los extremos son más pequeños que la parte central, se unían entre sí fácilmente mediante unos conectores de acero. Se trataba de una auténtica bóveda de madera con la que podía llegarse a cubrir una luz de 30 m.

La cubierta de la sede de la empresa de diseño industrial Santa & Cole en Barcelona está hecha con el sistema inventado por Zollinger. Es una estructura con historia, ya que perteneció al pabellón austríaco de la Exposición Internacional de Barcelona de 1929, fue desmontada y reconstruida y aún hoy cumple con su función. En una estructura espacial la masa del material, así como los esfuerzos, se distribuyen de forma más homogénea, haciendo que los elementos estructurales predominantes tales como las cerchas se diluyan. En la cubierta de Santa & Cole todas las barras son iguales: 25 x 200/150 x 1.950 cm.

Ahora se está construyendo en Barcelona otra cubierta espacial de madera: es la cúpula del edificio de los arquitectos Alonso & Balaguer y R. Rogers que ocupa la antigua plaza de toros de Las Arenas. La cúpula es de una sola capa, tiene 78 m de diámetro y 8 m de altura; es, pues, muy plana y representa un importante avance en los campos del cálculo y construcción de las estructuras de madera. A destacar que tanto las barras de madera laminada que forman la cúpula como los conectores han sido fabricados por la empresa Finnforest en Alemania. Todas las piezas se suministran totalmente mecanizadas, por lo que en la obra sólo se realizan las operaciones de montaje. Las modernas técnicas de CAD/CAM/CNC lo permiten, aunque eso implica, para que finalmente la cúpula pueda cerrarse, que el replanteo de los distintos nudos en el espacio deba hacerse con gran precisión.

Esta cúpula representa una gran aportación a las tecnologías de construcción en madera como lo fue, en su tiempo, la bóveda de Zollinger, y mantiene en vigencia el discurso de Z.S. Makowski, plenamente sostenibilista, con el que hemos iniciado este escrito. ♦

Jaume Avellaneda
Traducido por Jordi Palou



Coberta de fusta a la plaça de les Arenes de Barcelona

Alonso-Balaguer Arquitectos Asociados i Richard Rogers Partnership

En el projecte de reforma i ampliació de l'antiga plaça de braus de les Arenes es plantegen tres estratègies principals:

- La conservació i rehabilitació de la façana actual.
- La disposició de l'edifici com a sutura urbanística en l'eix del carrer Tarragona.
- La intervenció arquitectònica amb una clara especificitat constructiva en un edifici existent.

El projecte planteja un edifici nou dins d'una antiga envoltant, amb un gran buit a l'interior que articula totes les circulacions verticals. La coronació de l'edifici s'organitza a partir d'una gran sala multiús dimensionada per a 2.000 persones amb vistes sobre Barcelona. Aquest espai es cobreix amb una cúpula de fusta, que serà de les més grans d'Europa, amb un diàmetre de 78 metres i amb una clau central de 8 metres d'alçada.

L'estructura consisteix en una cúpula reticulada amb un sistema de bigues de fusta laminada que triangulen cadascun dels anells concèntrics de mida variable a mesura que s'aproximen al centre. Els elements que formen l'estructura són: bigues principals i bigues secundàries de fusta laminada d'abet de mides variables amb unions ocultes d'acer galvanitzat amb perns i passadors, i l'entrevigat es resol amb un tauler laminat tipus KertoQ de gruix variable, depenent de la distància. La coberta consta del tauler contralaminat, una barrera de vapor, un aïllament d'alta densitat i una membrana impermeable contínua amb base de poliuretà.

El muntatge es planteja a partir de sis fases constructives per tal de completar tots els anells que formen la cúpula, començant pel perímetre fins al centre, i un cop finalitzat, el procés s'inverteix, es treuen els puntals del centre cap al perímetre, tal com indiquen les imatges següents. ♦

Claudi Aguiló

3 Maqueta del projecte. Alonso-Balaguer i Arquitectes Associats i Richard Rogers Partnership

4 Detall del nus de l'estructura de la coberta amb bigues de fusta laminada i unió metàl·lica oculta

5 Detall de la unió metàl·lica d'acer galvanitzat.

Timber roof at the Les Arenes former bullring in Barcelona

Alonso-Balaguer Arquitectos Asociados and Richard Rogers Partnership

In the project for the reform and extension of the Les Arenes former bullring, three main strategies are proposed:

- Conservation and refurbishment of the current façade.
- The building's situation as an urban suture with the Carrer Tarragona main road.
- Architectural intervention with a clear construction specificity in an existing building.

The design project proposes a new building in an old envelope, with a large void in the interior that contains all the vertical circulations. The building's crown is organised based on a large multi-purpose hall with capacity for 2,000 people and views over Barcelona. This space is covered with a wooden dome, which will be among Europe's largest, with a diameter of 78 metres and a central keystone measuring 8 metres high.

The structure consists of a gridshell of timber with a system of laminated wood beams that triangulate each of the concentric rings of variable size as they approach the centre. The elements forming the structure are: main beams and secondary beams of laminated fir, in variable sizes with hidden galvanised steel unions with bolts and fasteners, and the space between beams is resolved using a KertoQ-type laminated panel of variable thickness, depending on the distance. The roof consists of cross-laminated board, a roof vapour barrier, high-density insulation and a continuous polyurethane-based impermeable membrane.

Assembly is proposed based on six construction phases in order to complete all the rings that form the dome, starting at the perimeter towards the centre, and once completed, the process is inverted, the struts are brought out from the centre to the perimeter, as indicated in the following images. ♦

Claudi Aguiló

Translated by Debbie Smirthwaite

Cubierta de madera en la plaza de Las Arenas de Barcelona

Alonso-Balaguer Arquitectos Asociados y Richard Rogers Partnership

En el proyecto de reforma y ampliación de la antigua plaza de toros de Las Arenas se plantean tres estrategias principales:

- La conservación y rehabilitación de la fachada actual.
- La disposición del edificio como sutura urbanística en el eje de la calle Tarragona.
- La intervención arquitectónica con una clara especificidad constructiva en un edificio existente.

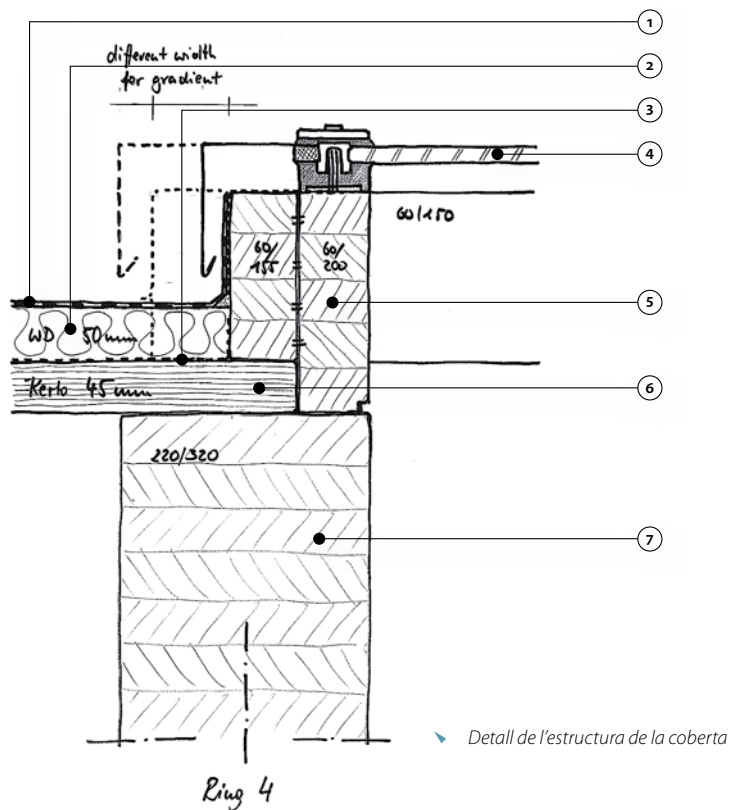
El proyecto plantea un edificio nuevo dentro de una antigua envolvente, con un gran vacío en el interior que articula todas las circulaciones verticales. La coronación del edificio se organiza a partir de una gran sala multiuso dimensionada para 2.000 personas con vistas sobre Barcelona. Este espacio se cubre con una cúpula de madera, que será de las mayores de Europa, con un diámetro de 78 metros y una clave central de 8 metros de altura.

La estructura consiste en una cúpula reticulada con un sistema de vigas de madera laminada que triangulan cada uno de los anillos concéntricos de tamaño variable a medida que se aproximan al centro. Los elementos que forman la estructura son: vigas principales y vigas secundarias de madera laminada de abeto de tamaño variable con uniones ocultas de acero galvanizado con pernos y pasadores, y el entrevigado se resuelve con un tablero laminado tipo KertoQ de grosor variable, dependiendo de la distancia. La cubierta consta del tablero contralaminado, una barrera de vapor, un aislamiento de alta densidad y una membrana impermeable continua con base de poliuretano.

El montaje se plantea a partir de seis fases constructivas con el objeto de completar todos los anillos que forman la cúpula, empezando por el perímetro hasta el centro, y una vez finalizado, el proceso se invierte, se sacan los puntales del centro hacia el perímetro, tal como indican las imágenes siguientes. ♦

Claudi Aguiló

Traducido por Jordi Palou



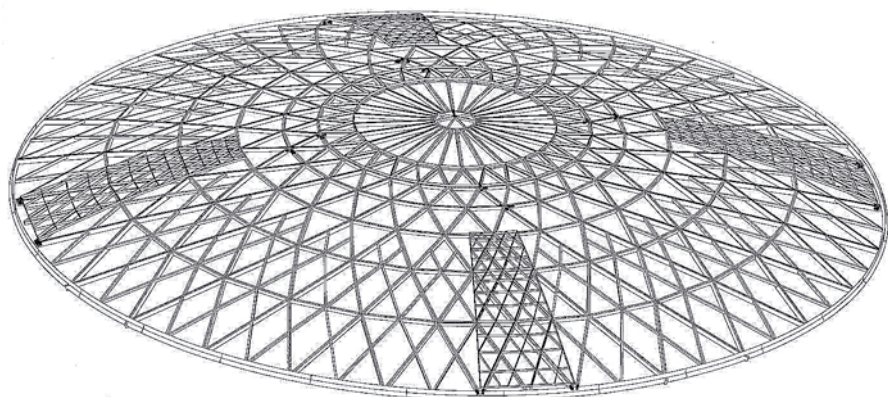
Llegenda constructiva

- 01 Impermeabilització líquida amb base de poliuretà
- 02 Panell rígid d'aïllament tèrmic, 50 mm
- 03 Barrera de vapor
- 04 Lluerna amb vidre laminar de 10+10 butiral transparent amb marc de suport amb perfils d'alumini anoditzat. Tapetes de fixació amb clips puntuals i tapeta correguda, tot d'alumini anoditzat.
- 05 Biga suport lluernera de fusta laminada escairada 60x200 mm
- 06 Tauler de fusta contralaminada d'avit tipus Kerto Q de Finforest, 45 mm
- 07 Estructura principal amb biga de fusta laminada escairada de 220x320 mm

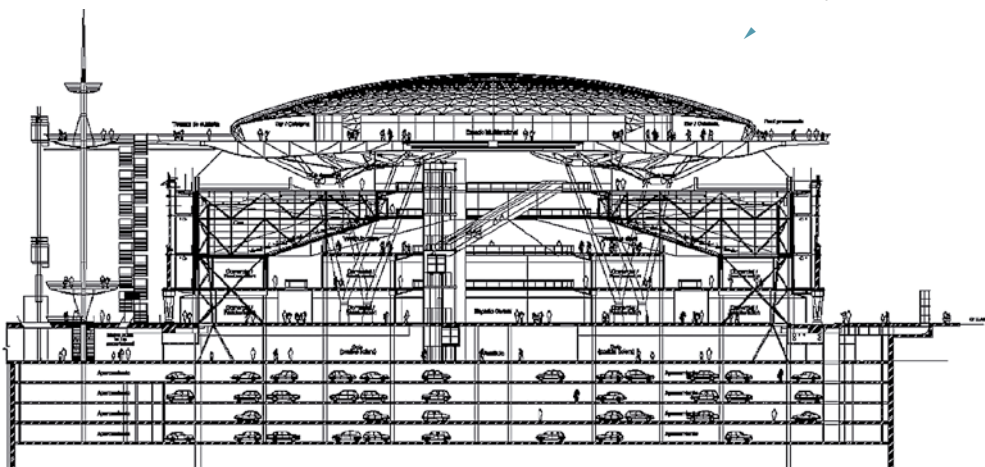
Detail de l'estructura de la coberta

Ring 4

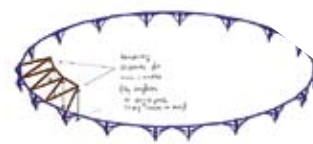
Imatge 3D estructura de fusta de la coberta



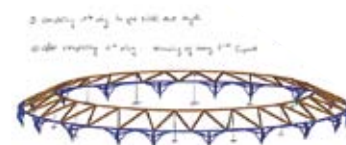
Secció del nou edifici d'ús recreatiu i comercial a l'antiga Plaça de les Arenes



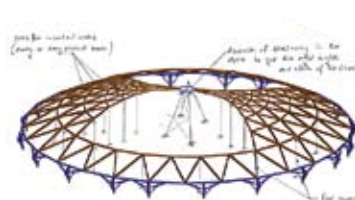
fase 1



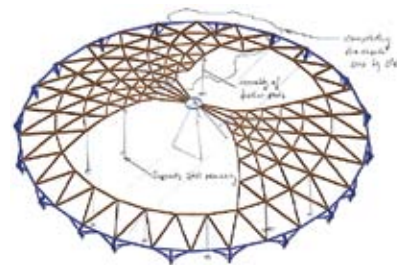
fase 2



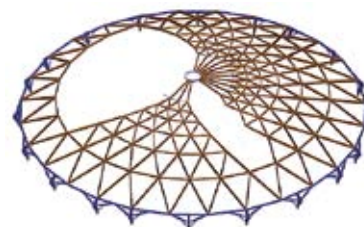
fase 3



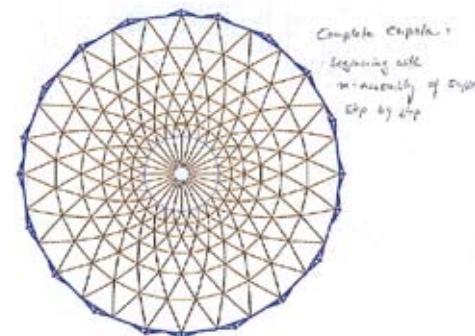
fase 4



fase 5



fase 6



Denominació: Nou edifici d'ús recreatiu i comercial a l'antiga plaça de les Arenes (Barcelona)
 Arquitectes: Alonso-Balaguer Arquitectos Asociados i Richard Rogers Partnership
 Arquitectura tècnica: TG3
 Consultors estructura: Expedition (projecte bàsic), BOMA (projecte executiu)
 Consultors instal·lacions: BDSP (projecte bàsic), JG (projecte executiu)
 Client: Compañia de la Nueva Plaza de Toros, SL
 Empresa constructora: Dragados
 Superfície construïda: 100.000 m²