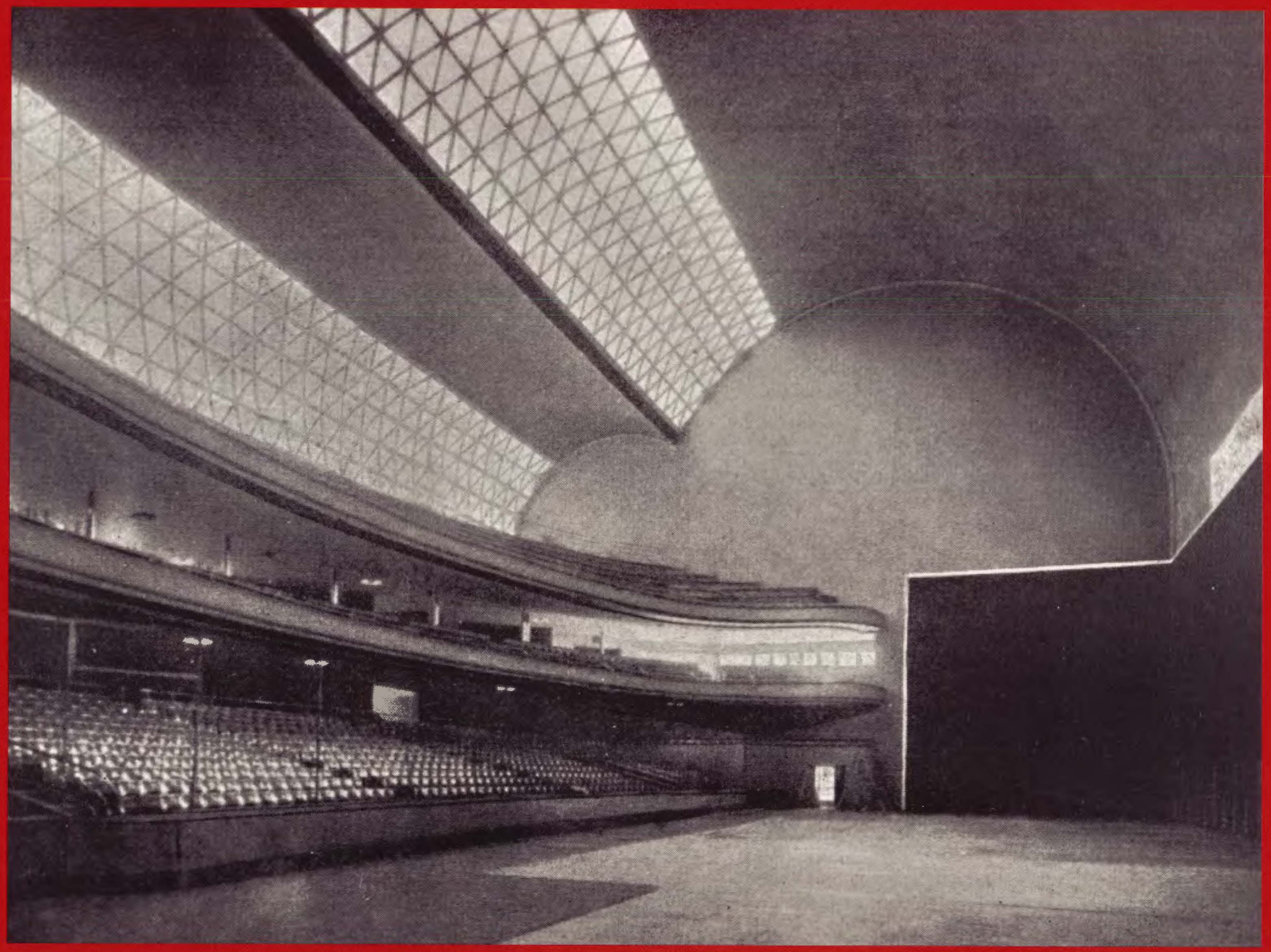


FRONTÓN RECOLETOS, MADRID, 1935

JAI-ALAI COURT AT MADRID, 1935

Funcionalmente un frontón precisa de dos lienzos frontales de muro, uno principal y otro de rebote, unidos por un muro lateral; en el lado opuesto se ubican los graderíos para los espectadores. Por otro lado, la cubierta ha de situarse con una altura mínima sobre la pista de juego para permitir el desarrollo del deporte. Además, teniendo en cuenta la orientación de la sala y la forma asimétrica de la planta, son necesarias dos fuentes de iluminación natural: una para la pista y otra para la zona alta del graderío. Lo adecuado era disponer dos grandes lucernarios orientados al norte para evitar que el sol penetrase al recinto deslumbrando a los jugadores.

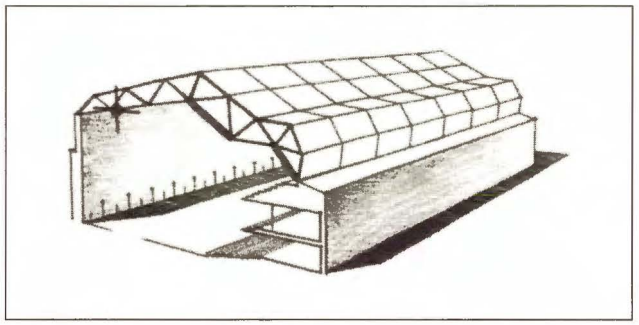
In jai-alai or pelota courts the front or main wall and rear or rebound wall are connected by one lateral wall that faces the spectator stands. The roof, in turn, must be built at a considerable height over the playing field so as not to obstruct the game. In addition, in this particular case, given the asymmetrical plan view and the orientation of the building, two sources of natural lighting were required: one for the field and the other for the upper part of the stands. These were provided by two large skylights built on the north side to protect players from possible glare.

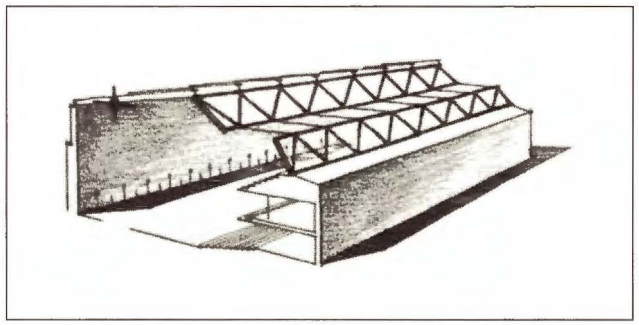
Torroja nos explica, poéticamente, el desarrollo de la solución hasta dar con la que más le satisfacía, tanto estructural como estéticamente. Estudia en primer lugar materializar los lucernarios como dos vigas celosía sobre la que se montaría una cubierta poligonal; la solución no agradaba al proyectista pues «el plano izquierdo quedaba con demasiada luz y requería vigas importantes». Tantea a continuación una solución clásica a base de cerchas transversales sobre las que se colocarían una serie de correas longitudinales, pero la forma que resultaba para estas cerchas «era poco estructural y menos estética».

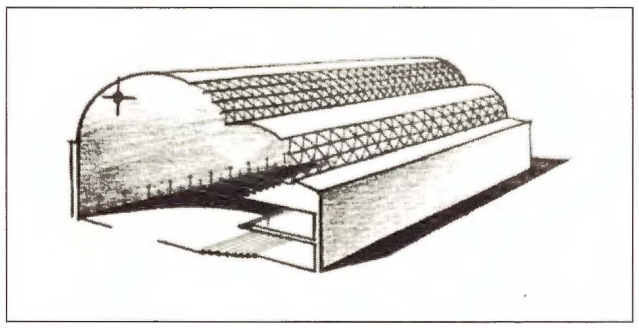
Torroja left a rather poetic description of how he found the arrangement that pleased him most, both structurally and aesthetically. First he considered the possibility of building two skylights that would behave like two webbed beams supporting a polygonal roof, but was dissatisfied with this solution for "it let in too much sunlight on the left and called for oversized beams." He then explored a more conventional design based on transverse trusses underpinning a series of purlins, but the resulting shape of the trusses "was scarcely structural and anything but aesthetic".

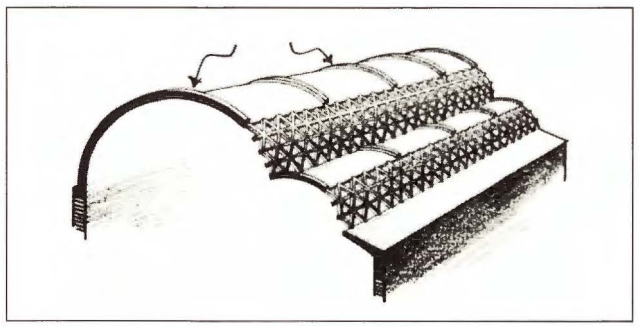
Desechadas estas soluciones y «observando los puntos obligados por las necesidades de gálibo y de iluminación, y tratando siempre de buscar una línea envolvente que dejase diáfano todo el volumen de la sala, la mano traza instintivamente dos arcos, cuya asimetría rima bien con la disimetría de toda la sala. La solución es posible a base de establecer una lámi-

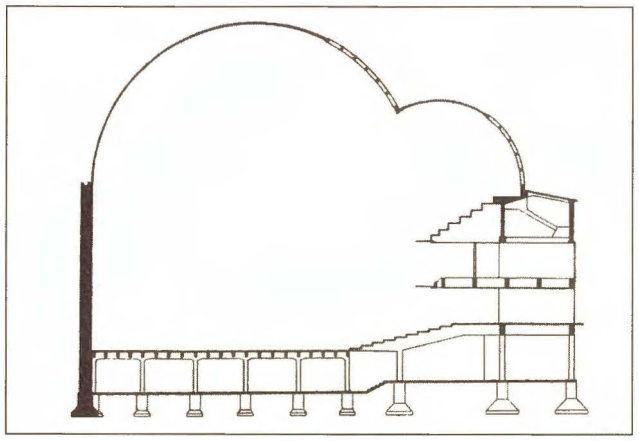
After rejecting these solutions and "focusing on the points in space defined by the clearance and lighting specifications, and seeking a design that would provide for maximum spaciousness, I found my hand instinctively drawing two arches, whose asymmetry matched the dissymmetry of the court itself. The result was a two-lobed cylindrical shell with

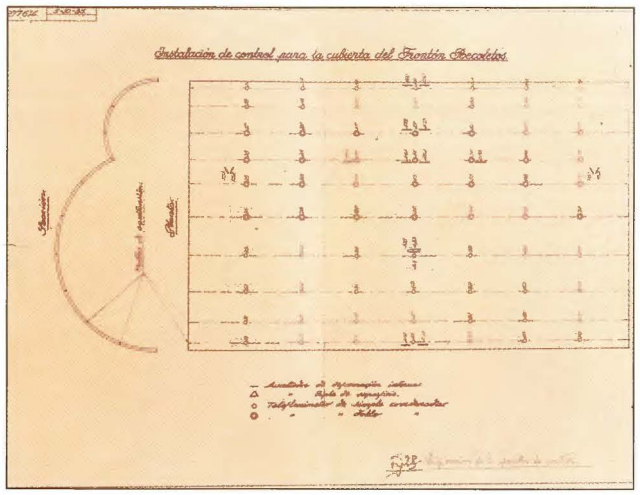


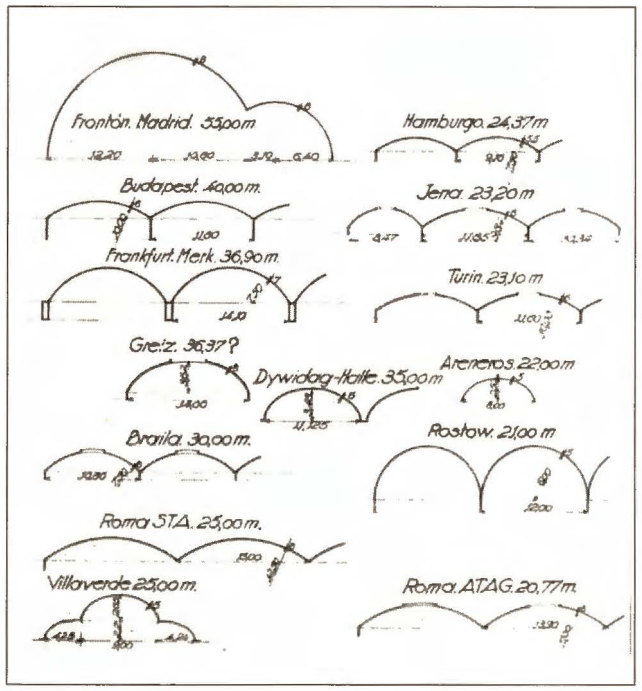












na cilíndrica de dos lóbulos que, en la zona de lucernarios, se convierte en una triangulación capaz de sostener los vidrios para dar paso a la luz».

La estructura proyectada para los graderíos consta de tres plantas: la zona alta está constituida por una serie de vigas y ménsulas que se apoyan en dos grandes jácenas de 4 m de canto y 33 m de luz, una en la fachada y la otra paralela y a 4,5 m. El piso inmediatamente inferior cuelga de las citadas ménsulas, y el conjunto se apoya en la caja de escaleras, obviando así el conjunto de soportes que obstaculizarían el movimiento del público.

El elemento más destacado de la obra, y que la hace extraordinariamente singular, es la cubierta: una lamina cilíndrica de 55 m de luz, a lo largo de las generatrices, y 32,50 m de anchura entre bordes o generatrices extremas, cuya directriz estaba formada por dos arcos de circunferencia de 12,50 m y 6,40 m de radio, que arrancaban verticalmente en el muro lateral de uno de los lados, y de la estructura de los graderíos en el otro, y que se cortaban ortogonalmente según una arista, en forma de gaviota disimétrica; las generatrices son horizontales y siguen la dirección longitudinal del recinto. La lámina tenía un espesor de 8 cm y presentaba dos grandes lucernarios longitudinales en cada uno de los lóbulos en la cara norte, formados por una celosía triangular de hormigón armado a base de triángulos equiláteros de 1,40 m de lado y con una sección de 17 cm × 30 cm, que transmitían los esfuerzos laminares a la zona continua de la lámina.

Una innovación destacable la constituye la supresión de la viga laminar, de grandes dimensiones y que debería situarse en la intersección de los dos lóbulos, para disminuir la armadura necesaria. A Torroja esta solución tenía que desagradarle forzosamente pues, además de la complicación del encofrado y el aumento del volumen de hormigón, eliminaba la sensación de ligereza y enmascaraba el sistema estructural de la cubierta que así aparecería como formada por dos bóvedas de cañón apoyadas en su intersección en una gran

triangulated skylights; this webbing was necessary to support the glazing."

There were three tiers of stands: the upper tier consisted in a series of beams and overhangs supported by two large girders with a depth of 4 m and a span of 33 m. One was positioned over the facade and the other parallel to it and 4.5 m inward. The next tier down was suspended from these overhangs, with the structure as a whole resting on the walls around the stairwell, thereby obviating the need for columns that would have obstructed audience circulation.

The most outstanding feature of this building, and what made it unique, was the roof: a cylindrical thin shell 55 m long and 32.50 m wide from edge to edge, with two dissymmetrical arches 12.50 and 6.40 m in circumference, one springing from the side wall and the other from the stands. They intersected along a straight edge parallel to their axis, which ran lengthwise from end to end of the court. This 8-cm thick shell had two large longitudinal skylights, one on the north side of each lobe; their reinforced concrete webs, built around equilateral triangles, had arms 1.40 m long with 17- × 30-cm sections, which transmitted the laminar stresses to the continuous part of the shell.

One particularly striking innovation was the omission of a shell beam, which normally would have been built at the intersection between the lobes to reduce the amount of reinforcement required. Torroja must have disliked such a solution intensely since, in addition to the centring complexities and the increased concrete volume it involved, it eliminated the sensation of structural lightness and masked the actual engineering of the roof; indeed, any such beam would have made it look as though the two intersecting barrel vaults rested on a large longitudinal beam.

FRONTÓN RECOLETOS

«La estructura de las plantas bajas no tiene nada de especial. El graderío alto está sostenido por vigas y ménsulas que apoyan sobre un cargadero de 4 m de altura y 23 m de luz. De estas ménsulas cuelgan los tirantes que sostienen el piso de palcos. De este modo queda totalmente libre la zona baja de circulación, de la que se pasa al graderío bajo.

Dada la orientación de la sala y la forma asimétrica de la planta, convenía dejar en cubierta dos lucernarios longitudinales orientados a norte, uno para iluminar la zona de juego, y otro suplementario para el graderío alto. Venían, por tanto, impuestas las líneas de borde de estos lucernarios como elementos de peso de la cubierta.

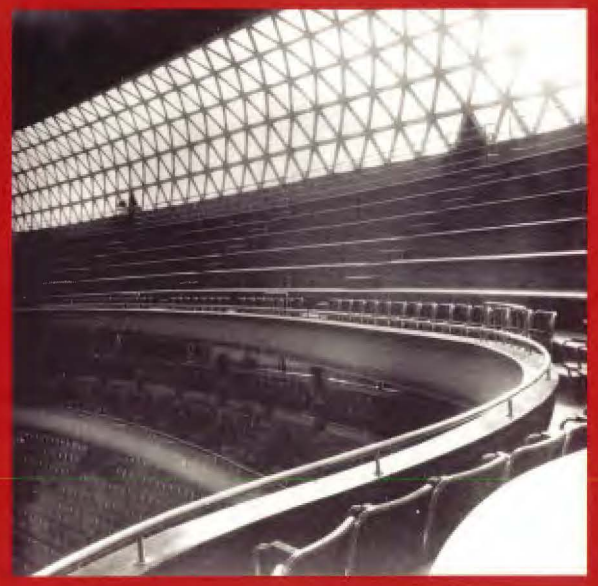
Así planteado el problema, se ocurría disponer unas cerchas transversales que, salvando estos lucernarios, permitieran el establecimiento de correas longitudinales, pero la forma que resultaba para esas cerchas era poco estructural y menos estética.

Otra solución era utilizar los lucernarios con vigas longitudinales y establecer entre ellos una cubierta de directriz poligonal.

Tampoco así la solución resultaba satisfactoria.

La cubierta tenía, pues, como puntos de paso obligados además de los arranques los cuatro bordes de estos ventanales; el valor arquitectónico de la sala impedía colocar tirantes o cerchas vistas por el interior que afearan el conjunto o restaran amplitud a los volúmenes de la sala y dificultaba el empleo de otros tipos más corrientes de cubierta; por otra parte, el deseo, cumplido en toda la sala, de suprimir elementos superfluos que pudieran ocultar o alterar la forma estructural pura directamente derivada de la imposición funcional, impusieron la cubierta laminar cilíndrica de doble lóbulo, que con la máxima ligereza permite cubrir ese enorme vano, y realzando, con el contraste y disimetría de los volúmenes y con el valiente volteo de sus arcos, la disimetría y contraste de la cancha y las tribunas, esencial en la sala, y el gracioso y eficaz trazado de las curvas igualmente valiente de los antepechos.»

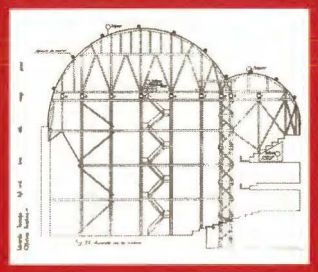
1935

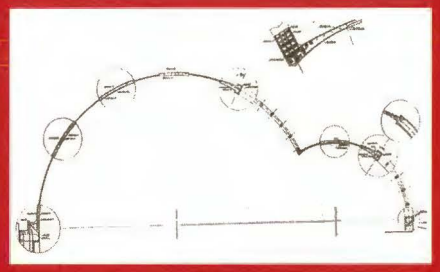


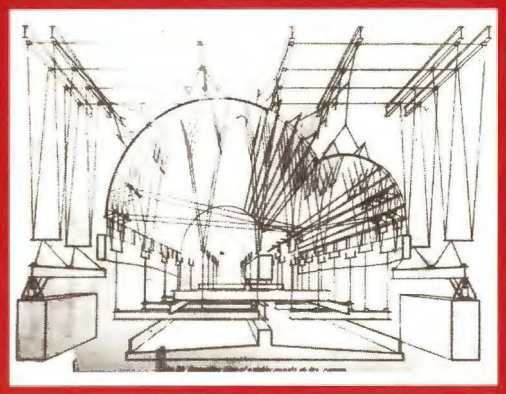
La cubierta puede definirse estructuralmente como una lámina cilíndrica de generatrices orizontales, de hormigón armado, con la directriz formada por dos arcos de círculo desiguales, que arrancando con tangentes verticales en los bordes se encuentran ortogonalmente y en parte de los cuales se sustituye la lámina continua por celosías triangulares del mismo material.

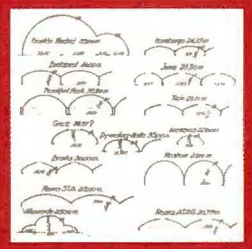
a longitud a lo largo de las generatrices es de 55 m; la anchura entre bordes o generatrices extremas, 32,50 m; el espesor, 8 cm; las celosías están formadas por triángulos equiláteros de ,40 m de lado y 15 × 30 cm de escuadría.

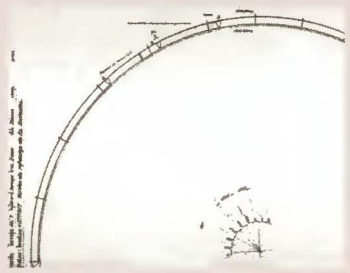
lama, a primera vista, la atención la total disimetría de la sección, nueva en este género de estructuras; pero que en nuestro caso, viene claramente impuesta por la necesidad funcional de brir dos grandes ventanales, situados precisamente en esa posición y con esa inclinación para lar paso a la luz norte e iluminar directamente la cancha con el más alto, mientras que el otro nvía luz complementaria a las tribunas altas, sin perjudicar la visibilidad sobre la zona de juego.»

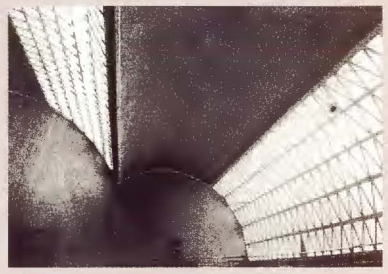










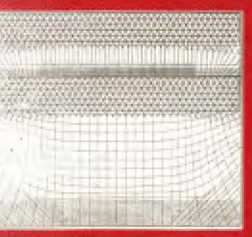


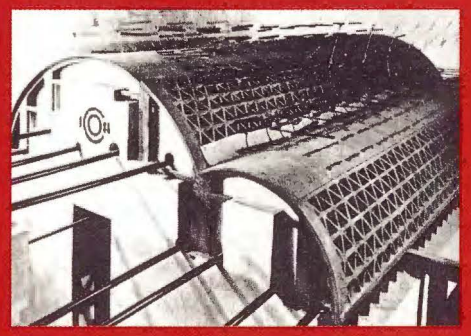
«Es de destacar que la obra se llevó a una marcha tal que la cubierta quedó totalmente descimbrada a las tres semanas de haber terminado el hormigonado de las tribunas inferiores, y a los tres meses y medio de iniciarse los trabajos de cimentación del edificio, que tiene cinco plantas.

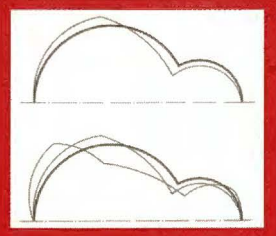
El cálculo de la lámina se hizo siguiendo el método propuesto y utilizado por Dischinger y Finsterwelder para estructuras análogas, si bien con algunas modificaciones y particularidades impuestas por la mayor importancia de ésta y por lo original y disimétrico de su perfil.

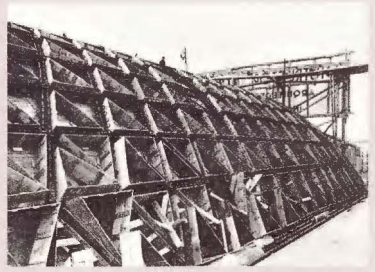
Se completó el estudio con un ensayo experimental en modelo reducido, y se observaron cuidadosamente los corrimientos y deformaciones de toda la lámina tanto durante el descimbramiento como durante la primera época de vida de la obra.

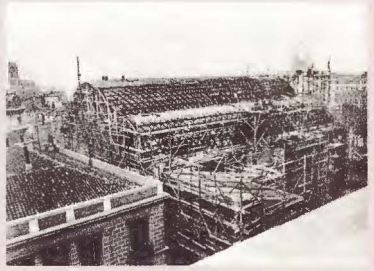
Los resultados de estas medidas coincidieron perfectamente con los del modelo, y ambos con los resultados del cálculo, salvo ligeras variaciones debidas a la mayor rigidez y algo mayor peso de los lucernarios respecto el resto de la lámina.»

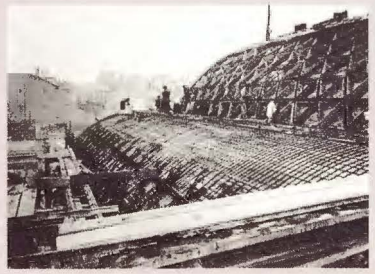


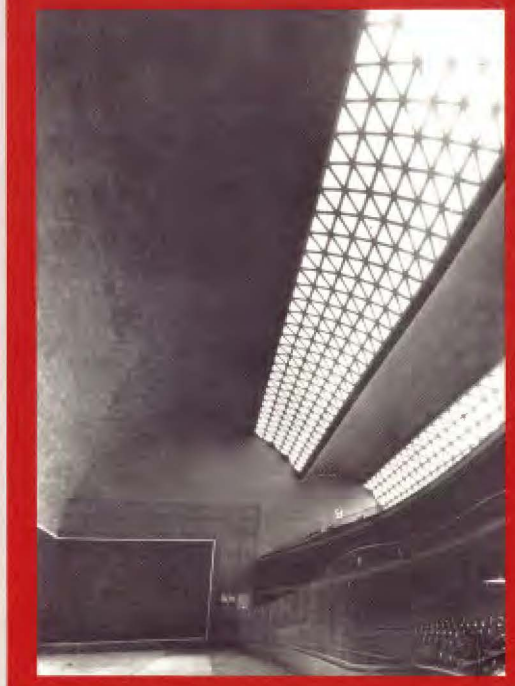


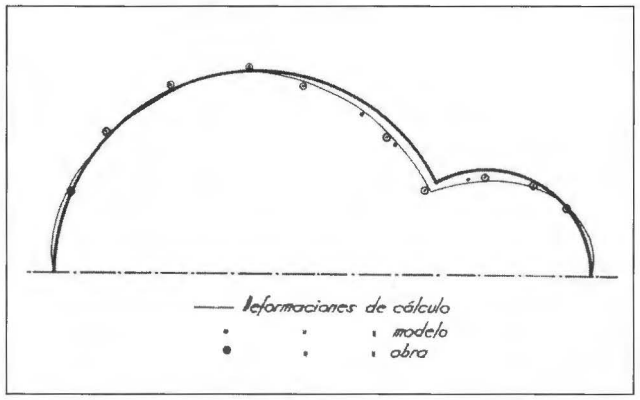


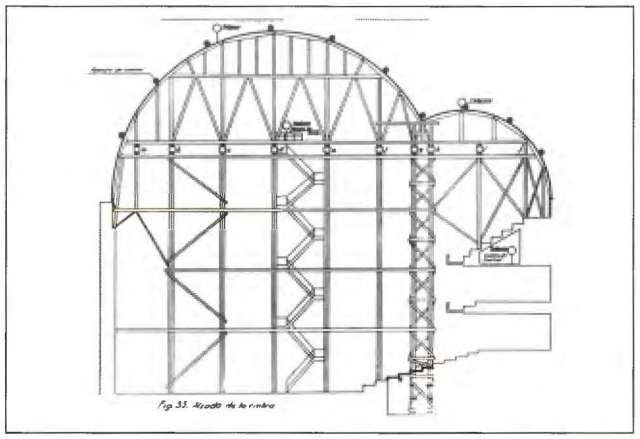


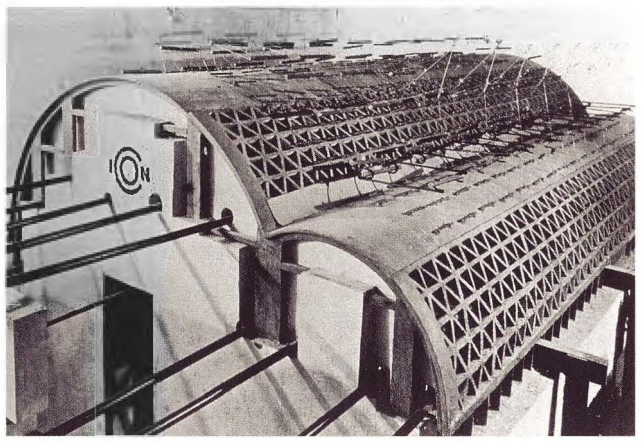


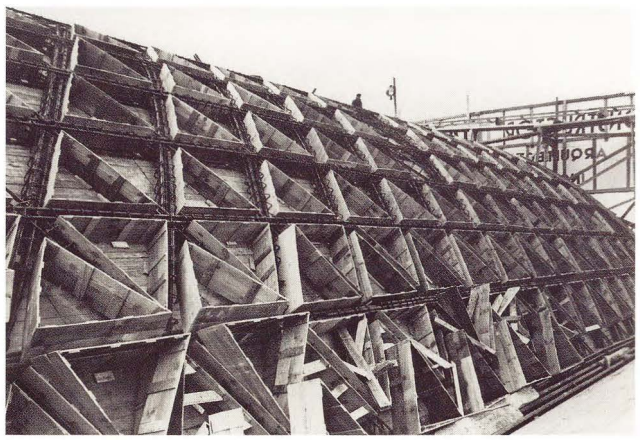












viga longitudinal, y ello equivaldría a «desconocer o subvertir el fenómeno resistente de la estructura laminar, que, en esta parte inmediata a la arista de intersección o "gaviota", se define con características específicas tales que, si existe viga longitudinal, es la constituida por la lámina misma, que saliéndose del estrecho marco mecánico de las piezas prismáticas desarrolla un proceso resistente mucho más complejo y completo, pero no menos definido, para trasladar sus cargas al contorno sustentante con el mínimo trabajo posible»; y añade, «por eso, sólo bien conocido este fenómeno resistente se puede apreciar la limpieza y claridad de la estructura con su contundente simplicidad de trabajo».

La supresión de la viga de descarga obligó a disponer un cordón, a modo de tirante, a lo largo del vértice de la gaviota.

El beneficio económico resultante de la tipología estructural laminar —disminución de mano de obra y materiales— quedaba ampliamente compensado por el coste del andamiaje a toda cimbra; no obstante el adelanto en la finalización de la obra y la posible reutilización de la madera de la cimbra equilibraban el resultado económico. Así, la cubierta quedó totalmente descimbrada a las tres semanas de concluido el hormigonado de las tribunas inferiores, y a los tres meses y medio desde el comienzo de la cimentación del edificio.

La complejidad del cálculo matemático, que se llevó a cabo según el método de Dischinger y Finsterwalder, impulsó de nuevo a Torroja a ensayar en modelo reducido el comportamiento resistente de la estructura. En el ensayo —que ejecutaría ICON (Investigaciones de la Construcción) la empresa que fundara Torroja para acometer este tipo de investigaciones ante la ausencia de laboratorios especializados— se midieron tanto corrimientos como deformaciones de la lámina y se comparaban con los valores teóricos estimados mediante el cálculo y los medidos sobre la lámina real durante el proceso de descimbramiento y la primera etapa de vida de la obra.

And this was tantamount, in his words, to "concealing or subverting the actual mechanics of the strength pattern in the shell structure which, in this area adjacent to the intersecting edge, is defined by specific characteristics such that the only —theoretical— longitudinal beam in place is the one formed by the shell itself. This member, escaping from the narrow mechanical limits of prismatic structures, develops strength through a much more complex, but no less precise process, transmitting its loads to the supporting periphery with the minimum possible work". After which he added "for this reason, the purity and clarity of the structure and the simplicity of the work can only be fully appreciated where this strength mechanism is sufficiently understood".

With the omission of the girder, provision had to be made for a tie member along the intersection that would behave like a tension chord.

The financial savings inherent in shell structure construction —in terms of both labour and materials— was largely offset by the cost of having to centre the entire structure simultaneously; nonetheless, the shorter construction time and possible re-use of the formwork helped to balance the overall cost. The centring was completely removed just three weeks after the lower stands had been concreted and three and a half months after work had begun on the foundations.

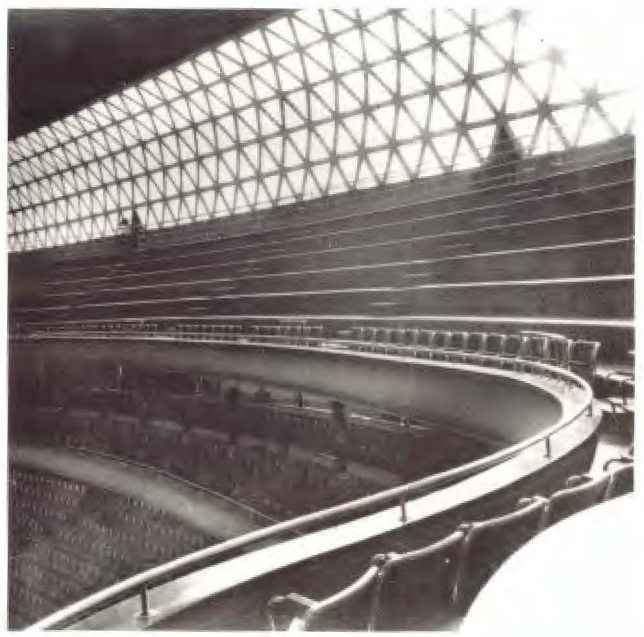
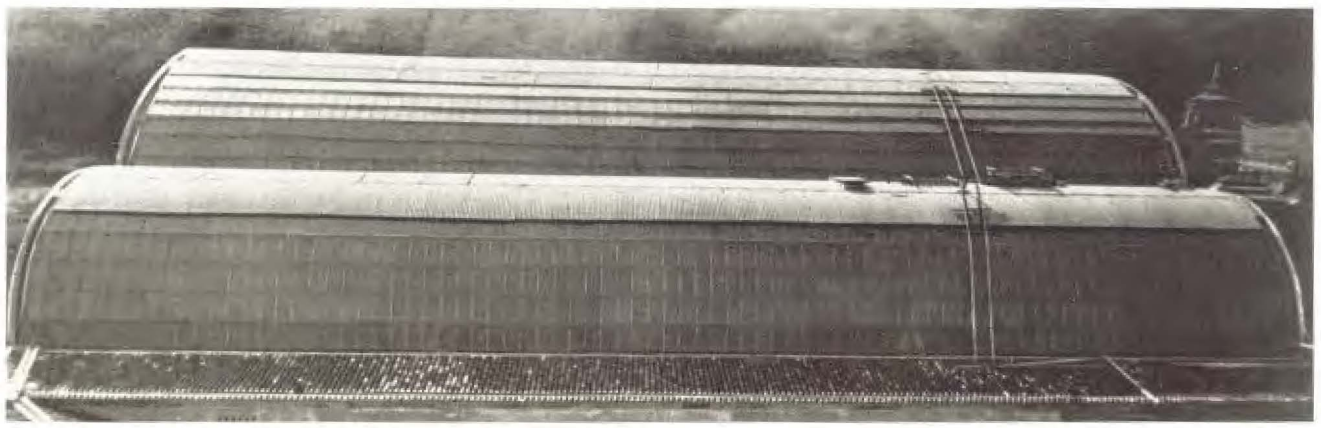
The complex mathematical calculations involved, which were performed to the Dischinger and Finsterwalder method, prompted Torroja to use a scale model to test the strength of the structure. This trial —conducted by ICON (Investigaciones de la Construcción), a company chartered by Torroja for this type of research in light of the lack of other specialized laboratories— measured both creep and deformation in the shell. Measurements were also taken on the actual shell during formwork removal and the early life of the building and compared to the estimated theoretical values.

El estudio del comportamiento y comprobación de la lámina fue objeto de un trabajo premiado por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Posteriormente Torroja completó el estudio con la explicación de las causas del hundimiento y las obras necesarias para su reparación.

La obra, récord mundial de luz en este tipo de láminas, fue terminada poco antes del comienzo de la guerra civil durante la cual sufrió daños considerables: la arista presentaba más de 16 cm de flecha y la generatriz de clave estaba completamente agrietada; como consecuencia las generatrices del lucernario alto, que trabajaban en compresión «quedaron curvadas y con fuerte tendencia al pandeo. La imposibilidad, en aquellos momentos, de proceder a su reparación hizo que este pandeo fuera aumentando plásticamente hasta producir el hundimiento total».

Con un espíritu crítico muy característico de Torroja —tal vez aprendido de su maestro Ribera—, analiza las causas del derrumbamiento y afirma, «seguramente, un rápido apeo y establecimiento de unos anillos de refuerzo hubieran bastado para restablecer sus condiciones de trabajo. Y seguramente también se habría evitado el hundimiento si se hubiera provisto de estos nervios a la lámina, desde el momento de su construcción. Colocados por la cara superior, no hubieran afectado ni al efecto estético ni al coste del conjunto. Indudablemente, si tuviese que repetirla hoy, lo hubiera hecho así; pero, desgraciadamente, ello serviría de poco frente a los tipos de bombardeo que cabe prever en el porvenir».

The study of the performance and verification of this thin shell was written up in a paper that received an award from the Royal Academy of Mathematics, Physics and Natural Science. Torroja later completed that study with an explanation of the reasons for the collapse of the roof and the work that would be needed to rebuild it.

The court, which was built in record time for this type of shells, was completed shortly before the outbreak of the Spanish Civil War, during which it suffered substantial damage: the intersecting edge withstood a total deflection of 16 cm and the crown of the upper lobe was severely cracked; as a result the longitudinal edges of the upper skylight, which bore compression loads, "sagged and buckled. As the damage could not be repaired in due time, this tendency to buckle increased and eventually caused total collapse".

When analyzing the causes of this collapse, Torroja, in his characteristically self-critical spirit —perhaps learnt from his master Ribera— sustained that "if it could have been shored and reinforcement rings fitted without delay, the building could surely have been restored to functional efficiency. But collapse could also most certainly have been prevented if the shell had been provided with such rings from the outset. Placed over the top, they would have had no aesthetic or financial impact. Were I to redesign the structure today, I would include those ribs, but unfortunately I fear they would be of little avail against the type of bombings we may expect in the future".