



HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA, MADRID, 1935

LA ZARZUELA RACE TRACK IN MADRID, 1935

En 1934 el Gabinete Técnico de Accesos y Extrarradio de Madrid convocó un concurso para las nuevas instalaciones del Hipódromo, de acuerdo con un programa de necesidades establecido por la Sociedad de Fomento de la Cría Caballar de España y la Sociedad Hípica Española. Al concurso se presentaron nueve equipos entre los que figuraban los nombres más conocidos de la arquitectura y de la ingeniería española del momento. El equipo de los arquitectos Arniches y Domínguez y el ingeniero Torroja obtuvo el primer premio del concurso. El jurado reconoció la extraordinaria originalidad de la propuesta estructural para la cubierta laminar de las tribunas, exponente máximo del genio creador de Torroja que construyó una de sus más conocidas obras.

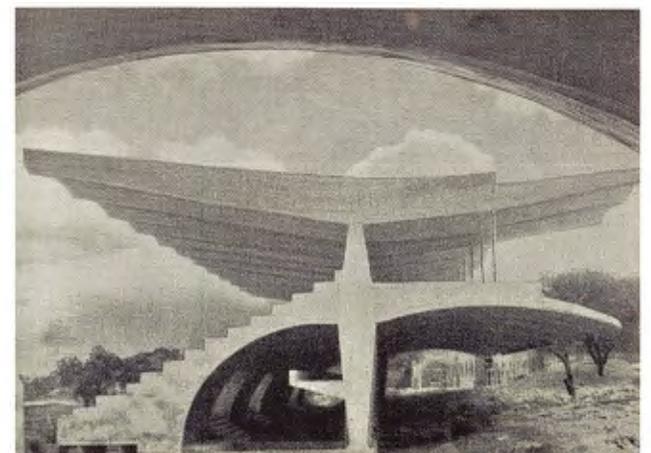
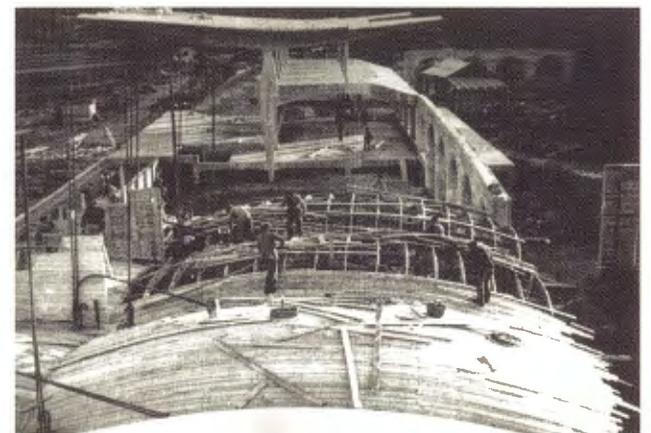
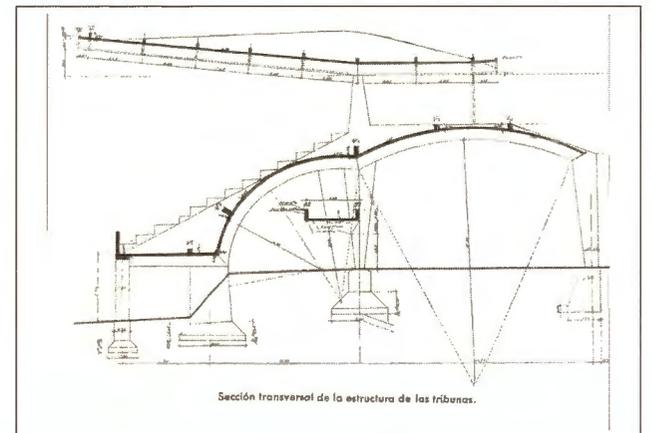
La sección transversal debía de disponer de los siguientes elementos: un graderío con vistas a la pista de carreras, una galería superior con vistas a la pista y al paddock por el lado opuesto, una sala de apuestas con entrada por el lado del paddock, una fila doble de taquillas orientadas hacia el vestíbulo y hacia una galería que diera acceso a las escaleras que suben al graderío y a las que bajan a la pista, y a ras de la pista otra galería abierta con más taquillas de apuestas; un pasillo de comunicación y de servicio y, finalmente, la cubierta del graderío y de la galería superior.

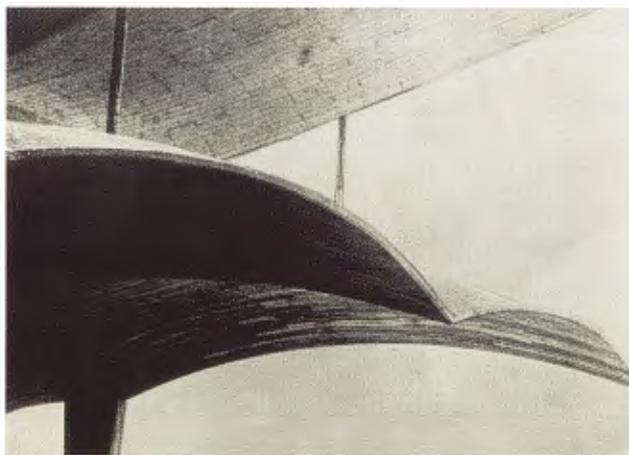
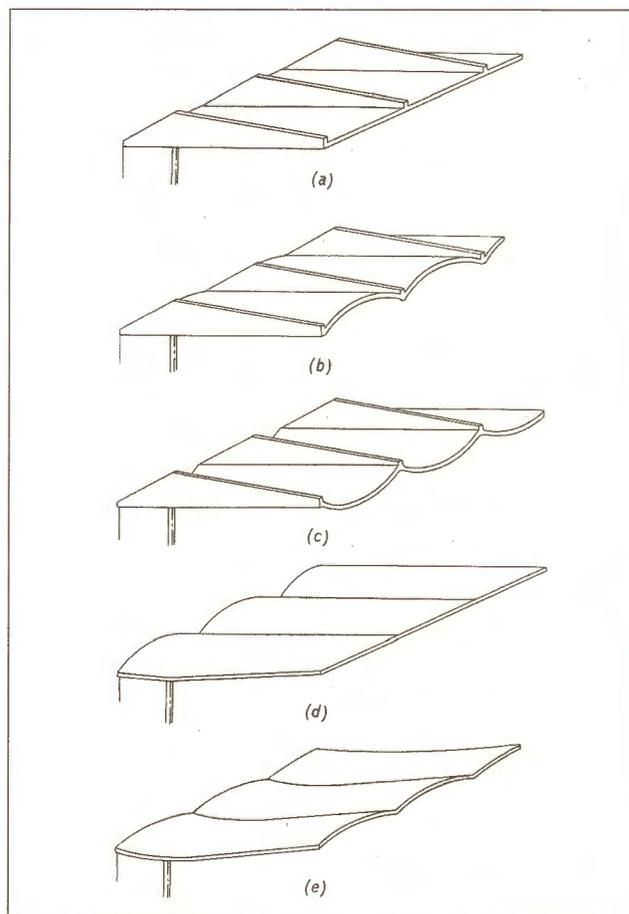
La estructura proyectada por Torroja está, pues, constituida por pórticos transversales separados entre sí 5 m, en los que el elemento de cubierta, con el gran voladizo sobre el graderío, se apoya sobre el soporte principal articulado en la parte inferior; unos tirantes posteriores anclados a la cubierta de la

In 1934 Madrid's Technical Council for Surroundings and Access Roads held a competition for a new race track, pursuant to a schedule of needs established by the Society for the Furtherance of Horse Breeding and the Spanish Riding Society. Nine of the most renowned Spanish architectural and engineering studios of the time submitted designs. The project authored by architects Arniches and Domínguez and engineered by Torroja took first prize. In its award, the jury cited the extraordinary originality of the structural design for the thin shell roof covering the stands, a fine example of Torroja's creative genius and one of his best known works.

The facility was to have the following elements: a stadium with a clear view over the track on one side and over the paddock on the other; a betting hall to be accessed from the paddock; a double row of betting windows facing the lobby and a gallery opening on to stairways leading up to the stands and down to the track; and at track level another open gallery with more betting windows; a staff gangway and finally, the roof over the stands and the upper gallery.

Torroja's structural design is based on transverse portal frames spaced at 5 m intervals whose main members —hinged at the bottom— support the astonishingly cantilevered roof over the stands; the counterweight for this member is provided by the roof over the lower betting hall, in turn can-





sala de apuestas inferior, que vuela en sentido contrario, proporciona el contrapeso necesario a la cubierta. El graderío se apoya sobre el mismo soporte principal y sobre otro intermedio situado de modo tal que permite la ubicación de una galería de circulación con salida a la pista y otra interior para las apuestas y sobre la que cruza una pequeña pasarela de servicio. El soporte intermedio tiene una gran anchura y rigidez y es el encargado de soportar la carga principal del graderío. Justifica Torroja la adecuación funcional de estos pórticos y señala que se acusa «a la vista, con toda limpieza, la función de cada una de sus partes y únicamente puede considerarse como elemento añadido, de tipo ornamental, la arquería inferior de albañilería».

El arriostramiento longitudinal de la estructura se consigue a base de unas bóvedas de hormigón armado de doble curvatura que unen entre sí los pórticos, y una viga de gran canto que forma pórtico con los soportes.

La mayor novedad de la estructura radica en la cubierta volada de tipo laminar, que había de cubrir una superficie rectangular de gran longitud y 12,60 m de vuelo.

La génesis racional de las formas de la cubierta, formada por lóbulos «sensiblemente hiperbólicos», la detalla Torroja en un texto hermoso y pedagógico, *Las formas laminares*: «en estos casos, el hormigón armado ofrece una solución clásica, constituida por ménsulas triangulares estrechas y de altura relativamente grande sobre los soportes (fig. a), de los cuales se halla suspendido el solado, que constituye al mismo tiempo el elemento comprimido de las ménsulas (a modo de T invertida). Para aligerar la solera conviene darle forma de bóveda (fig. b)... La simplicidad y claridad del fenómeno tensional se encuentran solamente fundiendo en uno solo los dos elementos, haciendo, pues, trabajar la bóveda a flexión en sentido longitudinal, como una ménsula bíptera. Hasta aquí no hay nada nuevo: el curso lógico de las leyes de heurística estructural conduce necesariamente a esta solución, a menos que no se quiera

tilted in the opposite direction and anchored to a series of tie rods at the rear of the structure. The stands rest on the same series of columns at the top and another group of uprights at the bottom, positioned to accommodate a gallery between them and the track. This area also houses more betting windows and a small raised service gangway. The load from the stands is essentially transmitted to the very wide, stiff lower columns. Torroja justified the functional suitability of these portal frames and noted that "the purpose of each of their parts (is) clearly visible, with the only concession to ornament being the masonry arcade on the underside of the stands".

The structure is braced longitudinally with double curved reinforced concrete vaults connecting the portal frames and a very deep beam that, in conjunction with the main columns, itself constitutes a portal frame.

But the most innovative element in the structure is its very long, rectangular thin shell roof that cantilevers outward across a distance of 12.60 m.

*Torroja described the rationale for the genesis of the shape of this roof, consisting of "perceptibly hyperbolic" lobes, in an elegant and educational passage of his book *Las formas laminares* (thin shell forms): "in these cases, reinforced concrete provides a classic solution consisting in narrow triangular cantilevers jutting out at a relatively substantial height over the columns (Figure a), which support the flooring, constituting the compressed member of the cantilevers (like an upside-down T). The sub-flooring should be vaulted to lighten the structure (Figure b). ... The simplicity and clarity of the stresses can only be achieved by merging the two members in one, thereby subjecting the vault to longitudinal bending moments, like a bi-columned cantilever. None of this is new: the logical course of the laws of structural heuristics leads necessarily to this solution, unless the curve of the vaults (Figure c) is inverted so that their intersecting*

HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA

1935



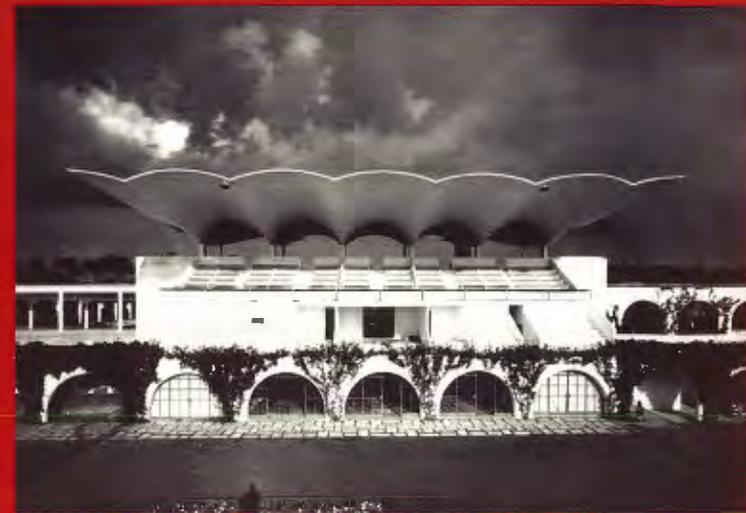
«Las cubiertas laminares de hipódromo de Madrid no son ni la obra de un genio, ni el resultado de una idea maravillosa o de una momentánea inspiración; son simplemente el resultado de un estudio de la evolución anterior de las formas del hormigón armado.

El estudio funcional del edificio había conducido al esquema de la ilustración: el esquema estructural clásico no resultaba del todo estético.

El estudio estático del sistema demostraba, sin necesidad de cálculo, que el soporte posterior de la cubierta trabajaba a tracción y compensaba en gran parte el peso del pavimento de la galería y de la cubierta de la sala inferior. El soporte posterior de ésta, trabajaba en cambio, muy poco, hasta el punto de estar invitando a suprimirlo aumentando la rigidez del nudo sobre el soporte principal.

El contrapeso de la galería intermedia de servicio obligaba a reducir en aquella zona la dimensión vertical de la viga de grada, lo que conducía prácticamente a una articulación. Entonces, la verticalidad lateral del conjunto reclamaba un aumento de la anchura del soporte principal. Éste permitía funcionalmente una mayor anchura y al mismo tiempo era menos alto.

Así pues, resultaba lógico confiarle la rigidez del conjunto. Esto, a su vez, imponía al soporte central que tuviera la flexibilidad necesaria para resistir a las dilataciones térmicas y las contracciones debidas a las retracciones entre los dos soportes, lo que equivale a decir que exigía una articulación en la base.»



El hiperbololide de revolución ha sido estudiado como membrana pura, sin flexiones, si bien las condiciones del contorno impuestas por tales hipótesis son satisfechas solamente en poquísimos casos, y es superfluo decir que no están satisfechas en éste.

El cálculo de la lámina, teniendo en cuenta las flexiones, no ha sido todavía desarrollado, y de todos modos sería demasiado laborioso. En estos casos conviene recurrir al estudio de un modelo a escala reducida. En este caso concreto, el constructor se ofreció para hacerlo a tamaño natural, empleando una primera cimbra que después reutilizó en la construcción. Así pues, se hizo un modelo de verdad que pudo cargarse hasta la rotura.»

(Si se invierte la curva de las bóvedas) sus centros de intersección trabajan a tracción en la zona inferior en clave a compresión. Esta solución conduce, sin embargo, a esfuerzos transversales de tracción con grandes concentraciones sobre los soportes. Ahora bien, es siempre más económico y conveniente utilizar el hormigón armado a compresión. Si, por tanto, la cubierta debía estar constituida por una sucesión de bóvedas —que en realidad no son bóvedas porque no empujan en las impostas— y si la altura de ellas debía lógicamente disminuir hacia la extremidad del vuelo, era lógico recurrir a superficies como el conoide o el hiperbololide.

Teniendo en cuenta la discontinuidad que los conoides presentarían en su encuentro con la línea de los soportes, no hay duda que la preferencia va dirigida hacia los hiperboloides. Los sectores de hiperboloides, con ejes más o menos horizontales, dan de hecho la solución mecánicamente más satisfactoria; su encuentro, más acentuado sobre la línea de los soportes, donde las flexiones son más elevadas, se convierte en mínimo en la extremidad del vuelo.

Me quería exponer el proceso de este proyecto, esto es, hacer ver cómo es posible llegar naturalmente a una solución con el simplemente razonado estudio de las formas, acompañado del sentido estético y de la observación de la belleza que de él puede brotar.»

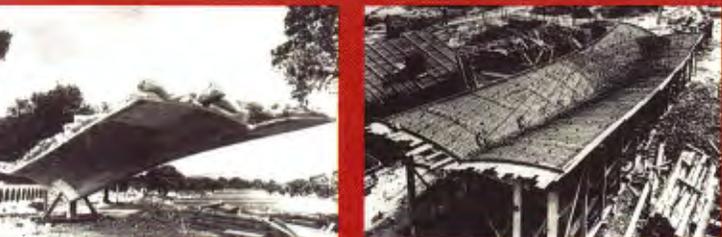
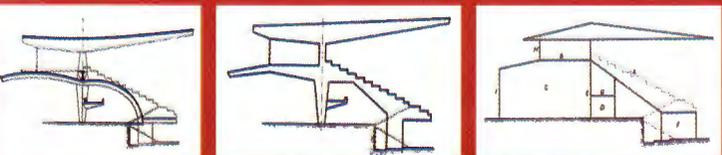


«La pequeña separación entre los soportes de la galería de servicio induce, en fin, a suprimir el soporte complementario de la derecha, dejando esta galería volada, y lo mismo ocurría para el último soporte de la derecha, permitiendo así mejorar la ligereza del conjunto.

Frente al esquema resultante, bastaba ahora moldear los perfiles para darle carácter, más aún dado que también para la cubierta se habían escogido formas curvas. Los elementos de la cubierta superior son los que ofrecen mayor novedad en lo concerniente al tipo estructural puramente laminar; se trata de cubrir una planta rectangular de gran longitud y 12,60 m de vuelo, apoyándose en una fila de soportes. Las ménsulas deben estar ancladas a los tirantes posteriores.

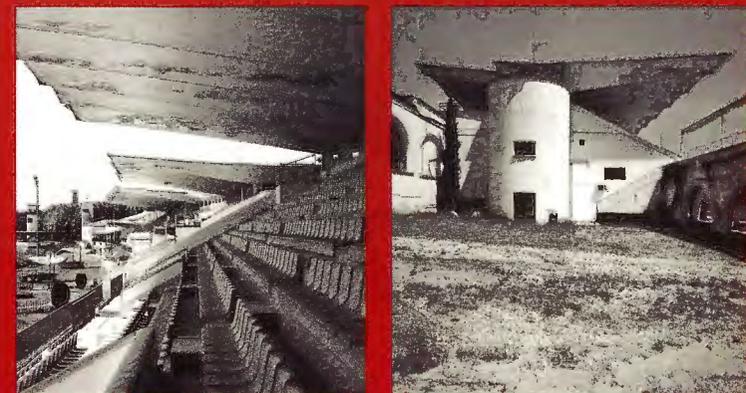
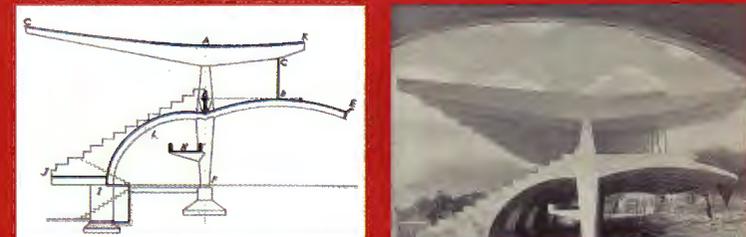
En estos casos, el hormigón armado ofrece una solución clásica constituida por ménsulas triangulares y de altura relativamente grande sobre los soportes de los cuales se halla suspendido el solado (a modo de T invertida). Para aligerar la solera conviene darle forma de bóveda. Pero la forma de bóveda reduce la porción de solera utilizable como zona comprimida de las ménsulas, mientras que la zona de clave deja de trabajar en sentido longitudinal.

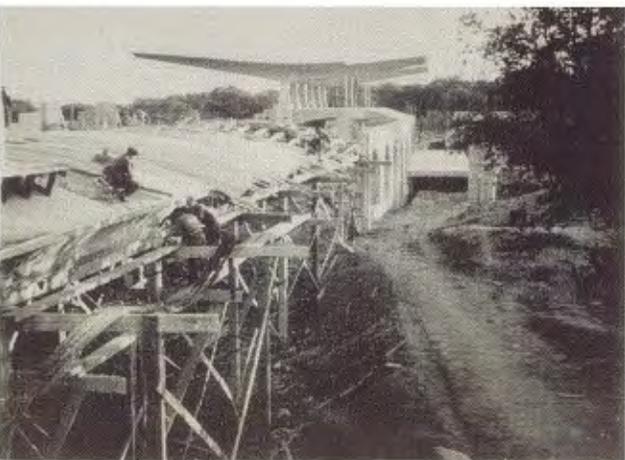
La simplicidad y claridad del fenómeno tensional se encuentran solamente fundiendo en uno sólo los dos elementos, haciendo, pues, trabajar a la bóveda a flexión en sentido longitudinal como una ménsula bipétera.»



«... Las láminas son sensiblemente hiperbólicas, porque en realidad no se ajustan exactamente a esta forma, pues razones estéticas aconsejaban no arrancar de un arco de medio punto sobre los soportes, donde va la garganta del hiperbololide y, por consiguiente, las líneas de intersección de dos hiperboloides contiguos no hubieran sido rectas, sino con panza hacia abajo, produciendo un efecto extraño a la vista, poco acostumbrada a este tipo de estructuras.

Quizá hubiera sido lo más perfecto dejar estas aristas inferiores vistas entre lóbulo y lóbulo con esta forma curva, precisamente para que la vista no se engañase, creyendo que los arcos directrices de la lámina apoyaban en la arista como elemento rígido o estribo de una bóveda; con ello se hubiera acusado más claramente el fenómeno estructural de gaviota, cuya arista queda, por así decir, colgada, en lugar de trabajar como apoyo; pero, se consideró por los arquitectos en cuya colaboración se estudiaba el proyecto, que el efecto era demasiado valiente para la visión estética actual.»





invertir la curva de las bóvedas (fig. c) de tal modo que sus cantos de intersección trabajen a tracción y la zona inferior en clave a compresión... Si, por tanto, la cubierta debía estar constituida por una sucesión de bóvedas —que en realidad no son bóvedas porque no empujan en las impostas— y si la altura de ellas debía lógicamente disminuir hacia la extremidad del vuelo, era lógico recurrir a superficies como el conoide (fig. d) o el hiperboloide (fig. e).

Teniendo en cuenta la discontinuidad que los conoides presentarían en su encuentro con la línea de los soportes, no hay duda que la preferencia va dirigida hacia los hiperboloides.

Sectores de hiperboloide, con ejes más o menos horizontales, dan de hecho la solución mecánicamente más satisfactoria; su encuentro más acentuado sobre la línea de los soportes, donde las flexiones son más elevadas, se convierten en mínimo en la extremidad del vuelo».

De este modo la estructura presenta una superficie continua, sin nervios, cargaderos ni viguetas, con un espesor variable desde 5 cm en el extremo del voladizo hasta 15 cm en la sección correspondiente a los apoyos, una estructura elegante, «con la gracia que le confiere la pureza de líneas y su simplicidad estructural».

Las láminas no se ajustan exactamente a la forma de hiperboloide «pues razones estéticas aconsejaban no arrancar de un arco de medio punto sobre los soportes, donde va la garganta del hiperboloide, y, por consiguiente, las líneas de intersección de dos hiperboloides contiguos no hubieran sido rectas, sino con panza hacia abajo, produciendo un efecto extraño a la vista, poco acostumbrada a este tipo de estructuras».

«Quizá hubiera sido lo más perfecto dejar estas aristas inferiores vistas entre lóbulo y lóbulo con esta forma curva, precisamente para que la vista no se engañase, creyendo que los arcos directrices de la lámina apoyaban en la arista como elemento rígido o estribo de una bóveda; con ello se hubiera acusado más claramente el fenómeno estructural de gaviota,

sides take tensile loads and the lower area is subjected to compression stress... If, therefore, the roof is to consist of a series of vaults —which are actually not vaults because they transmit no thrust to the spring-line— and if their height should logically decrease towards the free edge, a conic (Figure d) or hyperbolic (Figure e) surface is the most logical choice.

“Given the discontinuity that conics exhibit at the abutment with the line of columns, however, the hyperboloid is indisputably a preferable solution.

“Hyperboloid sectors with more or less horizontal axes in fact provide the most satisfactory approach, mechanically speaking; the more acute abutment with the line of columns, where bending moments are greatest, minimizes these moments at the free edge of the cantilever”.

The result in this case is a structure with a continuous surface and no ribs, lintels or joists; its thickness ranges from 5 cm at the free edge to 15 cm over the supports, an elegant arrangement “with the grace afforded by purity of line and simplicity of structure”.

The lobes, in turn, are not true hyperboloids “for aesthetic reasons: springing from the supports where the throat of the hyperboloid was to be positioned with a semi-circular arch would have led to intersections between each two adjacent hyperboloids that, rather than describing a straight line, would have sagged downward, resulting in a very odd visual effect for viewers not accustomed to this type of structures”.

“Had these exposed lower edges been allowed to curve between lobe and lobe, it may have been possible to obviate the erroneous impression that the stresses generated in the shell are supported by the edge, which might mistakenly be construed to be a stiff member or abutment. The approach suggested here would have highlighted the structural reality of the lobes, whose

cuya arista queda, por así decir, colgada, en lugar de trabajar como apoyo; pero se consideró por los Arquitectos, en cuya colaboración se estudiaba el proyecto, que el efecto era demasiado valiente para la visión estética actual.» Una ligera modificación de las cotas de la superficie fue suficiente para encajarla en una forma muy parecida a la del hiperboloide y con las aristas de intersección en forma recta.

Ante la dificultad de obtener, mediante el cálculo, una aproximación suficiente a los esfuerzos a los que está sometida la lámina, Torroja decidió ensayarla en un modelo, pero en esta ocasión a escala real. Su gran amigo el ingeniero José María Aguirre Gonzalo, fundador y presidente de la empresa Agromán que estaba ejecutando los proyectos de la Ciudad Universitaria, se ofreció para hacer un lóbulo de prueba que se cargó hasta rotura; el resultado presentaba un coeficiente de seguridad de 2,6 en relación con la carga total y de 8,6 en relación con la sobrecarga. La rotura se produjo, además, con una deformación mínima.

Declarado Bien de Interés Cultural en 1980, tras unos años de cierre y abandono, ha sido recientemente reabierto al público tras una intervención en el conjunto de las instalaciones.

Esta obra cumbre de la ingeniería de la época republicana, junto al desaparecido Frontón Recoletos, también en Madrid, y el mercado de Algeciras, representa nítidamente la extraordinaria labor de uno de los más brillantes ingenieros del siglo XX.

edges act not as supports, but are suspended, plainly speaking. The architects who collaborated in the design felt, however, that the effect would be too daring for prevailing tastes". A slight change in the surface dimensions sufficed to adjust the shell to a shape very similar to a hyperboloid, but with straight intersecting edges.

In light of the virtual impossibility of reaching a sufficiently accurate estimate of the stresses to which the shell was to be subjected with the engineering techniques available, Torroja decided to test his design, on this occasion a full-scale model. His good friend, engineer José María Aguirre Gonzalo, founder and president of Agromán, the construction company that was building the university, offered to erect a trial lobe, that was then loaded to failure. A safety factor of 2.6 was found for the total load and of 8.6 for live loads, while only minimal deformation was observed at failure.

Although it was declared to be an object of cultural interest in 1980, the race track was closed and abandoned for a number of years. It has recently been reopened to the public after general refurbishment.

This masterpiece of Spanish Republican engineering, together with the (since demolished) Recoletos jai alai court and the market at Algeciras, are clear examples of the exceptional talent of one of the twentieth century's most brilliant engineers.

