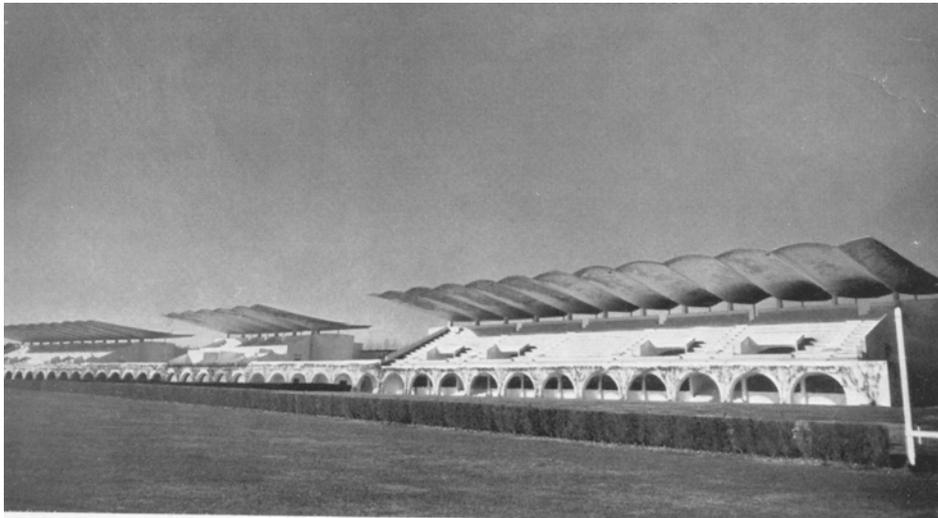


## **HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA. MADRID, 1935.**

**C. Arniches, L. Domínguez y Eduardo Torroja. Con la empresa constructora Agroman E.C.**



### ***¿Por qué éste es el primer ejemplo?***

El repaso al proceso de diseño de esta cubierta, como en el de otros casos, suscita una serie de preguntas, tanto a los que estudiamos las obras como a los que las hicieron. En el mismo texto citado donde Torroja describe, no sólo los edificios, sino también las inquietudes y procesos que hay en cada trabajo, se plantea una pregunta:

*La invención de una forma especialmente adaptada a la resolución de un problema concreto, ¿es estrictamente un proceso de la imaginación, o es el resultado de un razonamiento lógico basado en la formación técnica?*

Un dilema eterno que se ha agudizado cuando la imaginación y la formación técnica han correspondido a personas distintas. A lo que el mismo Torroja responde:

*Yo no creo que sea ninguna de estas dos cosas, sino una mezcla de ambas. La imaginación por sí sola no podría llegar hasta un diseño así sin la ayuda de la razón, ni tampoco podría un proceso deductivo, avanzando en etapas sucesivas de perfeccionamiento, haber sido tan lógico y determinante como para conducir inevitablemente hasta ello.<sup>1</sup>*

Esta reflexión me parece de una importancia crucial para el estudio que empieza con este ejemplo y por ello he querido anticiparla a unas conclusiones que lo que pretenden exponer, entre otras cosas, es precisamente la idea que plantea. No es casualidad que se haya querido expresamente inaugurar la serie de casos particulares estudiados con esta marquesina.

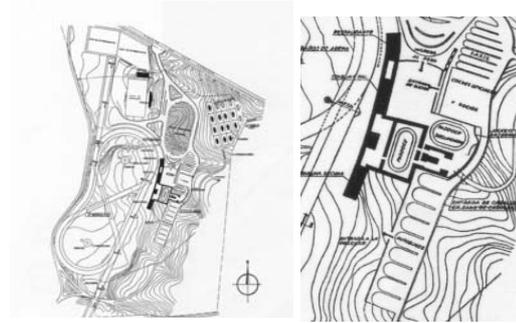
La figura de Eduardo Torroja en el panorama de la arquitectura del siglo veinte, y especialmente de la arquitectura de hormigón, es un claro referente no sólo por una larga experiencia de trabajo técnico, sino porque sus trabajos son “chispazos de imaginación” y son claros precedentes, sin duda, de algunos ejemplos posteriores de la arquitectura más emblemática que se ha producido después, en la que se ha confiado a la forma la mayor parte de la capacidad expresiva de la obra.

El problema de continuidad de una superficie que entraña este caso es simple para alguien habituado al lenguaje de la geometría y a manejar las figuras geométricas; es también un caso claro de obra en que las decisiones compositivas y estéticas han debido tomarse en el seno de la construcción. Sin embargo, para alguien que no conozca la geometría tridimensional puede ser algo más difícil pero no imposible de comprender. Por todo esto puede servir de puerta de entrada a los problemas que se quieren poner sobre la mesa.

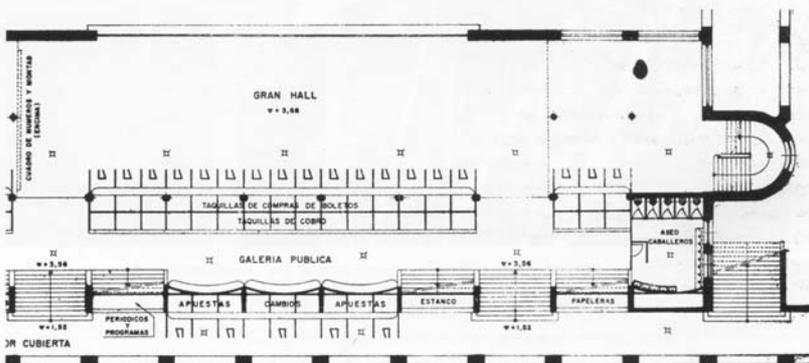
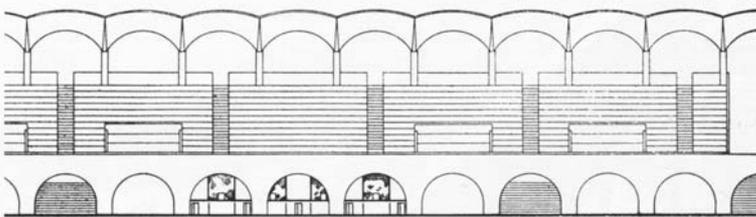
---

<sup>1</sup> TORROJA, Eduardo: *Las estructuras de Eduardo Torroja*. Editado por el Ministerio de Fomento. Madrid 1958. Reedición de 1999. Pág. 7.

El antiguo Hipódromo Real de Madrid, en al Paseo de la Castellana, quedaba afectado por la ejecución del Plan Zuazo. Para sustituirlo se convocó un concurso en el verano de 1934. La nueva ubicación fue la Zarzuela, en la Quinta del Pardo. El proyecto de Arniches, Domínguez y Torroja ganó el primer premio por ser una propuesta elegante y atrevida.

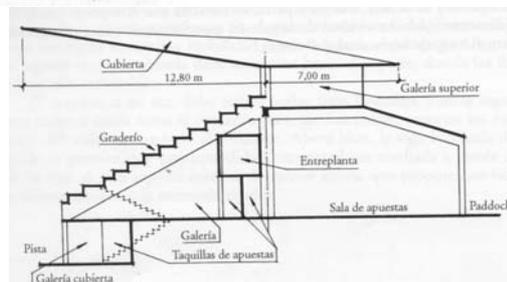


El edificio es, de hecho, el artefacto que sirve como soporte a las gradas de la tribuna y su cubierta. Bajo esas gradas se alojan las taquillas, los servicios y dependencias auxiliares. Detrás de ellas, en la planta superior, se desarrolla una galería abierta al otro lado de la pista. El forjado del suelo de esta galería tiene un cometido estructural importante puesto que hace de contrapeso al voladizo de la gran marquesina; un tirante los une a modo de pilar. El intradós de este forjado es la bóveda de la sala de apuestas que se dispone longitudinalmente al mismo nivel que el acceso.



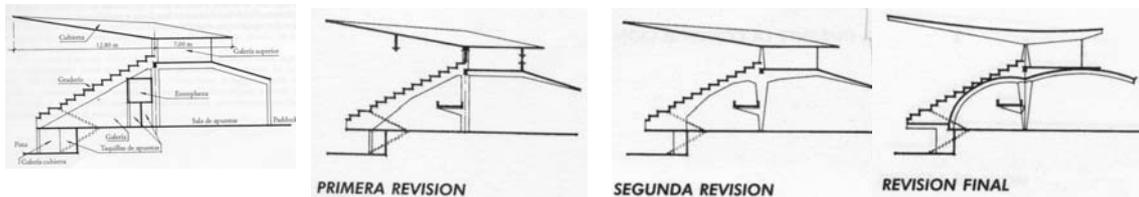
Planta de los graderios.

El diseño de la sección partió de la organización en el espacio de las distintas funciones, desde la compra de boletos para las apuestas hasta los corredores de servicio o el hall. Cuando este organigrama tomó forma, se procedió al estudio estructural de los elementos que lo definían. Así, las partes sometidas a tracción podían reducir su sección, mientras que los nudos que debían permitir movimiento (por causa de deformaciones causadas por dilatación o retracción) podían estar resueltos como articulaciones. Siempre con la intención de ajustar el material a su función estructural a la vez que de buscar la elegancia en las formas.



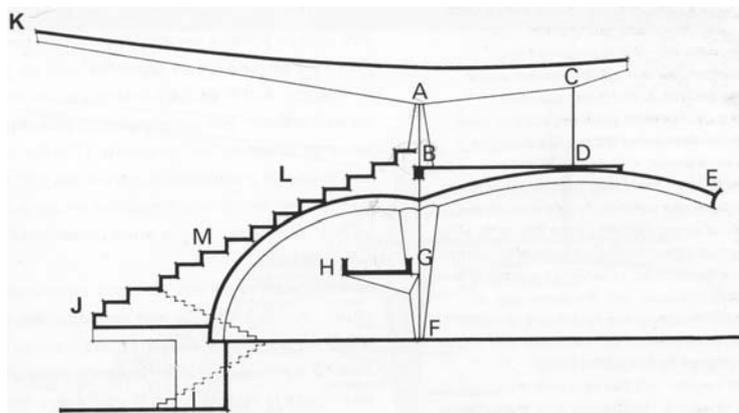
El propio Eduardo Torroja explica el proceso de diseño, de ésta y de otras obras, en el libro que editó el Ministerio de Fomento en 1958 y que recoge proyectos

escogidos por el mismo Torroja donde los objetivos funcionales, estructurales y estéticos forman una unidad integrada tanto en esencia como en apariencia (según él mismo dice en el prefacio del libro)<sup>2</sup>.

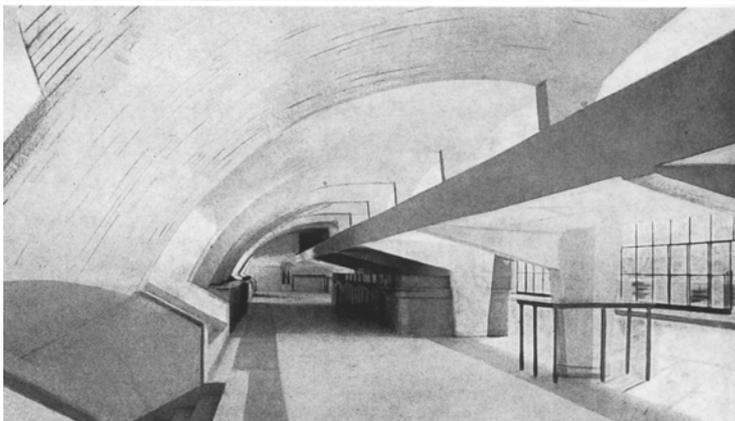


La solución estructural presentada propone, pues, la marquesina con un voladizo de 12'80 metros de vuelo, equilibrada por el otro lado, con el forjado del primer piso, también en voladizo, que atiranta la cubierta por detrás. Este planeamiento reduce los grosores de toda la estructura porque utiliza las fuerzas de tracción soportadas por cables para contrarrestar el peso del voladizo.

La propuesta definitiva, para la sección del hipódromo de Zarzuela, fue el fruto de un análisis estructural y de las mejoras en busca de una solución más elegante. La comparación entre el primer esquema y los siguientes, hasta la sección final, da cuenta de cómo la forma puede ser el resultado de un mejor aprovechamiento y emplazamiento del material. La descripción de esta sección que el propio Eduardo Torroja hace del pórtico es la más clara:



*El elemento de cubierta, C K, con su gran voladizo sobre el gradería de la tribuna, apoya en el soporte principal, A B sobre el que está articulado, quedando impedido el vuelco por el tirante C D, compensando con ello el peso de la galería DB, y el resto de la cubierta, D E de la sala de apuestas inferior, que queda en parte volada por fuera del tirante ...(...)*



*La conveniencia de dejar la mayor amplitud posible de espacio en estas galerías y la conveniencia de buscar unas formas estructurales de cierto valor estético, inducían a los trazados curvos que se ven en la figura. .<sup>3</sup>*

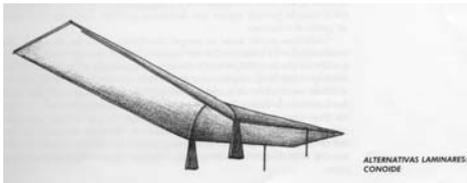
<sup>2</sup> TORROJA, Eduardo: *Las estructuras de Eduardo Torroja*. Con prólogo de Mario Salvatori. Editado por el Ministerio de Fomento. Y reeditado en 1999 con motivo del centenario del nacimiento del autor.

<sup>3</sup> FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, José Antonio, y NAVARRO VERA, José Ramón: *Eduardo Torroja Miret, Ingeniero*. Editorial Pronaos, Madrid. 1999. pp. 116 y ss.

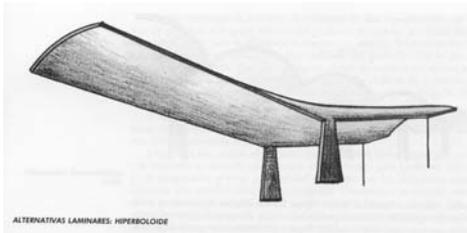
### **La forma de la cubierta.**

En cuanto a la marquesina, que es el objeto de la atención en esta ocasión, hay que destacar que su forma es precisamente lo que da estabilidad al elemento, además de formar parte del artefacto de contrapesos y tirantes del conjunto. Se trata de una figura auto-estable gracias a que su forma es arqueada.

Según explica Torroja la elección de una forma curva fue una sucesión lógica a la sección abovedada de la sala de apuestas:

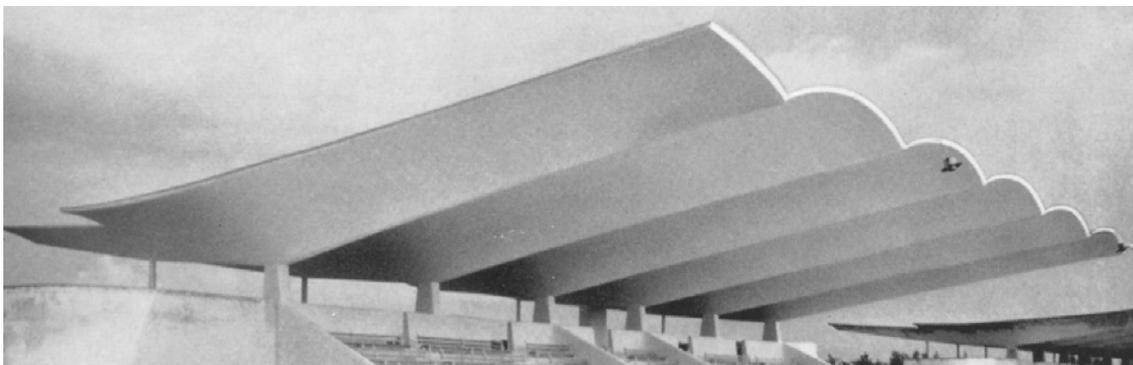


*Tras haber adoptado el perfil curvo para la parte inferior de la estructura, parecía razonable darle también una forma curva a la cubierta. Hacerlo mediante un forjado sostenido por fuertes ménsulas ocultas tras él hubiera sido una solución pesada y poco estética. Para una hilera longitudinal de soportes, la solución más obvia sería una serie de bóvedas de soporte a soporte,...*



*... La principal función estructural de tales bóvedas es la de actuar como ménsulas de sección curva. Para que tales ménsulas alcancen la necesaria resistencia es conveniente que su relación canto/ancho sea máxima sobre los soportes principales y decrezca hacia los bordes libres. De entre los muchos tipos básicos posibles, la superficie resultante podría haber sido un conoide, pero no resultaba una solución muy atractiva. Parecía preferible buscar otra superficie de doble curvatura. Entre las formas más conocidas, ninguna parecía tan adaptable como el hiperboloide; por tanto, las bóvedas tomaron la forma de sectores de hiperboloide.<sup>4</sup>*

Lo más llamativo de la cubierta de este edificio es, pues, su forma. Como se ha explicado, el planteamiento consistió, al principio, en fragmentos de hiperboloide de una hoja con el eje horizontal de manera que el perfil circular aparecía en el alzado desde la pista y el perfil hiperbólico era el que definía la sección transversal del edificio. La forma definitiva de esta cubierta se planteó a partir de una sucesión de fragmentos de hiperboloide de una hoja, con un vuelo de 12'80 metros y una distancia entre apoyos de 4,80 metros, aunque acabaron no siendo hiperboloides como se verá.

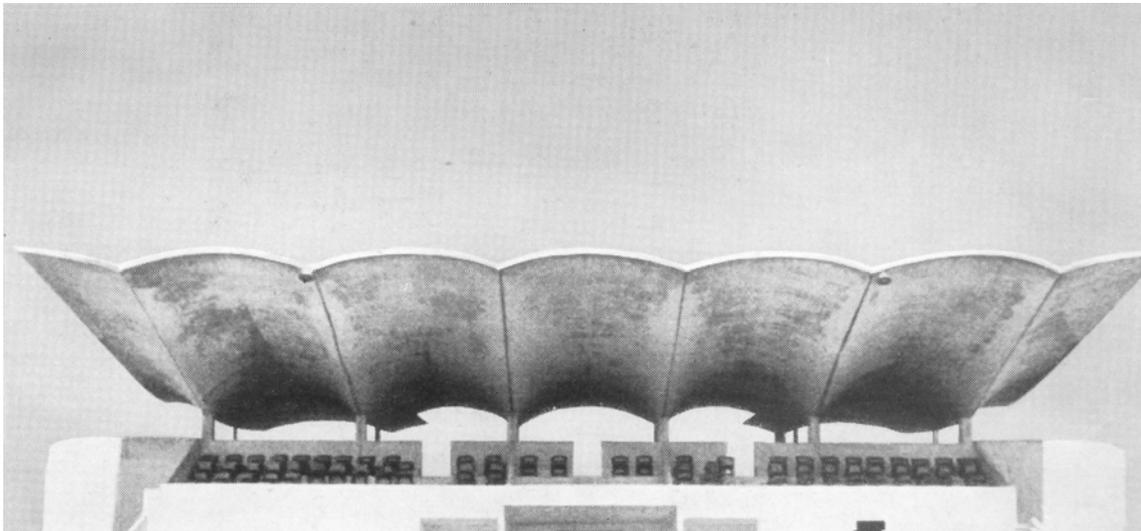


<sup>4</sup> TORROJA, Eduardo: *Las estructuras de Eduardo Torroja*. Editado por el Ministerio de Fomento. Madrid 1958. Reedición de 1999. Pp. 6 y 7.

La sección transversal de las bóvedas -que compone el alzado del edificio- es distinta en los soportes y en los extremos del voladizo: en los soportes, la flecha del arco es de 1,40 metros y el radio de curvatura es de 2'75 metros; mientras que en el voladizo la flecha es de 50 cm y el radio de curvatura es de 6'70 metros.

La línea de encuentro entre las láminas habría sido una hipérbola al ser una sección vertical paralela al eje del hiperboloide. Sin embargo, el perfil por la cara inferior de la losa, se modificó, por decisión de los arquitectos, para obtener una arista recta en la unión entre lóbulos de la cubierta. Esto favoreció que el grosor de la losa se aumentara en el punto del apoyo hasta unos 14 cm (la cara del extradós conservó la forma curvada) y se mantuviera en unos 5 cm en el extremo del voladizo.

El elemento que se repite en la cubierta, el módulo estructural básico, es el formado por cada pilar y dos medios hiperboloides; de esta manera el módulo es el elemento soportado por el pilar. La junta entre piezas es imperceptible. La imagen desde cierta distancia es la de una losa ondulada que se aplana hacia el voladizo y se arquea en los apoyos, puesto que los arcos de circunferencia en el plano de los pilares tienen un radio menor que los arcos en el extremo.

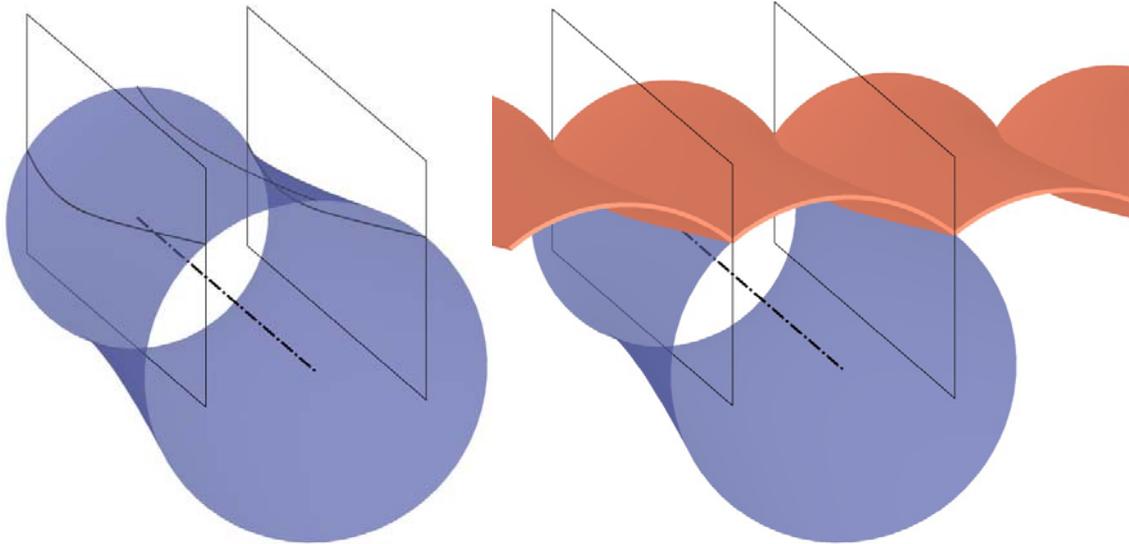


La elección de una figura geométrica como el hiperboloide para diseñar este elemento habría excluido este ejemplo del estudio por no cumplir con los requisitos fijados. Sin embargo la modificación de su perfil hizo que su forma se planteara como la superficie extendida entre unas líneas fijadas: los arcos extremos y las líneas longitudinales, deformando la figura de partida, que resolvía de un tiro estabilidad, estética y construcción puesto que la posibilidad de una superficie reglada de doble generación como es el hiperboloide de una hoja, haría fácil el control de la forma del molde.

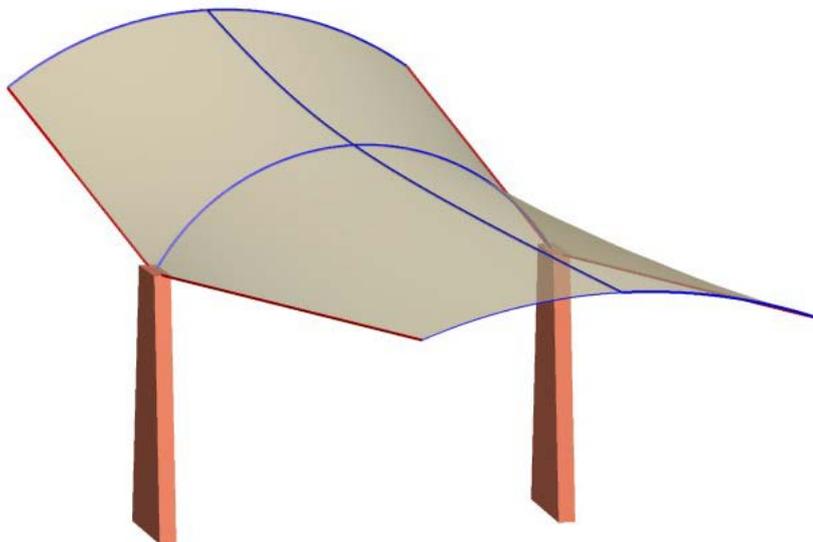
La complicación añadida en la figura, con el cambio de línea curva a recta, es importante porque tiene implicaciones en la formación del encofrado y es este elemento el que, en definitiva hay que construir para conseguir la figura ideada sobre el papel. El análisis geométrico de esta forma puede servir para comenzar a poner sobre la mesa la estrecha relación entre forma expresiva, principios de estabilidad, construcción y conocimiento constructivo de las formas geométricas.

### Geometría de la cubierta

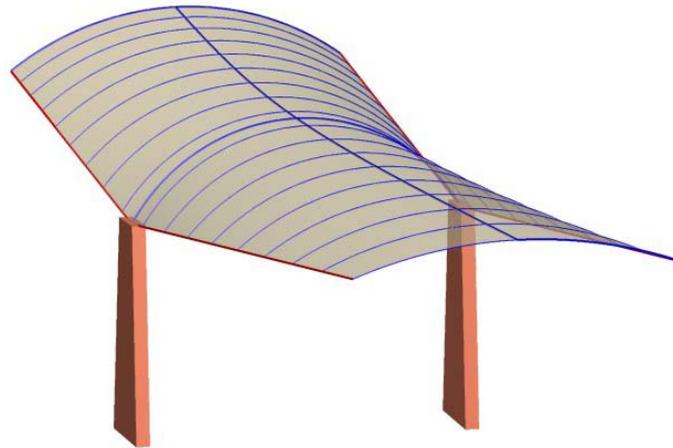
Para analizar el problema geométrico de esta cubierta es oportuno comparar la opción de una porción de hiperboloide con la que se construyó finalmente. Para hacer este análisis se ha reconstruido el hiperboloide de una hoja a partir de la rotación de la hipérbola definida para la cumbrera. La forma de la marquesina es la hoja que se obtendría de seccionar ese hiperboloide por los planos verticales adecuados. El conjunto así formado presentaría las aristas entre los lóbulos curvas: hipérbolas.



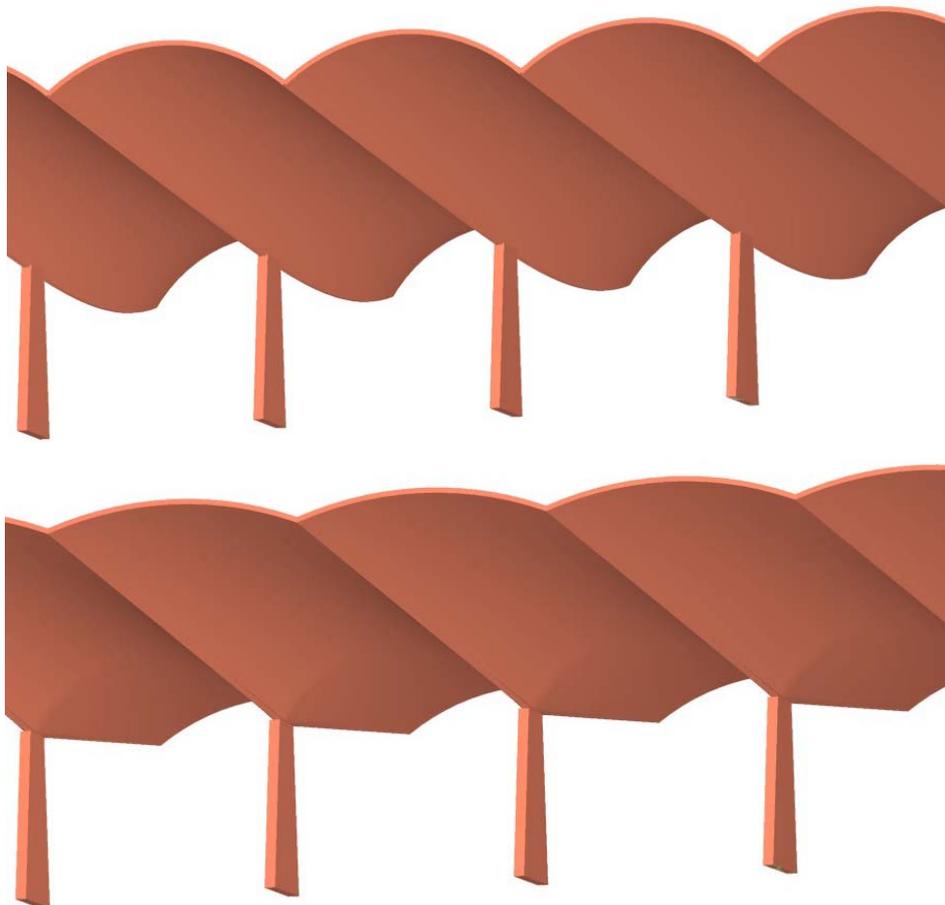
La superficie que resulta de la modificación del perfil ya no es un hiperboloide simple sino la definida por las líneas fijadas: tres arcos de circunferencia de distinto radio e igual cuerda; entre ellos, tres líneas que son la hipérbola de la cumbrera y las dos aristas laterales formadas por dos segmentos rectilíneos.



La determinación de la superficie se comprende a partir de las tres líneas longitudinales (la hipérbola dorsal y las rectas) y la idea, expresada en los planos del proyecto, de que esta marquesina se describe por las secciones transversales, que son arcos de circunferencia. De esta manera se puede reconstruir geoméricamente, de manera unívoca, la cubierta, puesto que las secciones verticales de las tres líneas definidas en el proyecto definen tres puntos por los que pasará una única circunferencia. Así definidos los arcos de circunferencia forman la hoja de la marquesina.



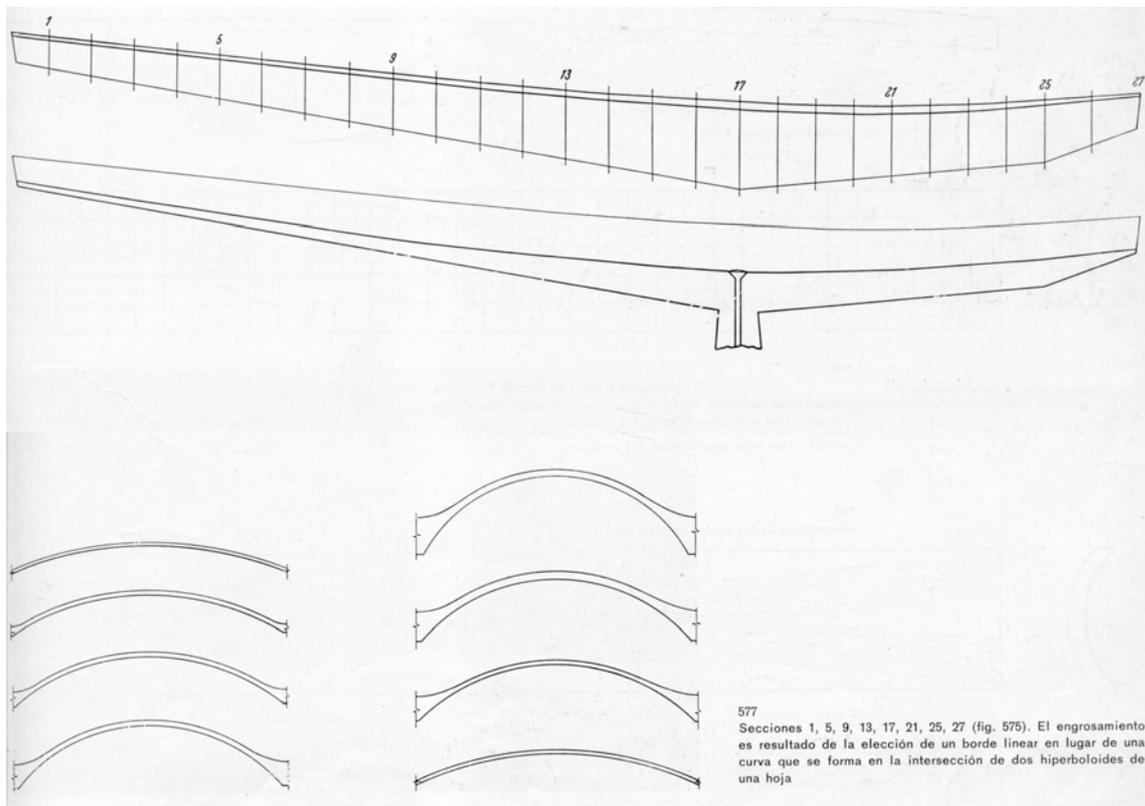
En los siguientes dibujos se muestra el conjunto de toda la cubierta resuelto arriba, según la opción formada por fragmentos de hiperboloides de una hoja y abajo, según la segunda opción en la que las aristas entre arcos es una línea recta.



### ***El dibujo de la marquesina***

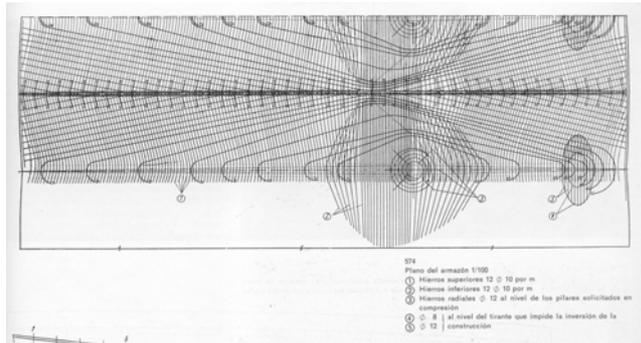
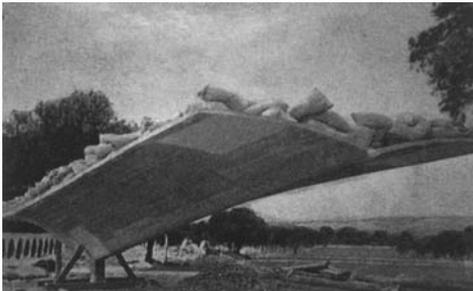
La manera de definir la nueva lámina será la más evidente de las posibles: por sus secciones transversales que son arcos de circunferencia. Este es el perfil más fácil de replantear en la obra en el momento de conformar los encofrados a falta de poder utilizar el reglado de la superficie hiperbólica de la que se había partido.

La forma conserva sus cualidades estáticas puesto que se pone al servicio de la estabilidad, permite una lámina muy delgada y la construcción no se complica excesivamente gracias al conocimiento de la geometría que implica las correcciones impuestas por decisiones estéticas.



### Aspectos de la construcción

Se conservan fotografías de la época en que se estaba construyendo este edificio y de la construcción de un prototipo, a escala real, que se hizo para comprobar el resultado. Es interesante notar el interés de la construcción de modelos, algo utilizado desde siempre en arquitectura. En este caso es claro que el interés era doble puesto que lo que se debía analizar en él era por un lado el comportamiento estructural ya que los cálculos necesarios eran mucho más complicados que realizar el experimento real. Pero también había que comprobar cómo se debía definir la forma que había sido motivo de discusión entre los arquitectos y el ingeniero. Y el prototipo a escala real permitió ensayar, también el sistema de montaje del encofrado que se habría de repetir.



Esas fotografías muestran, en el momento de la colocación de la armadura y antes de proceder al vertido del hormigón, que los hierros colocados siguen trayectorias con dos objetivos, unos siguen la forma transversal y otros siguen unas líneas rectas en diagonal y dibujando unos rombos alrededor del punto del apoyo. Este segundo tendido de las armaduras es el dato más fiable de que estas láminas sean, al menos aproximaciones, a hiperboloides ya que esta figura sería la que cumpliría las condiciones que se la exigen: tener secciones circulares en un sentido y ser una superficie reglada, a la vez que tener la doble curvatura cosa que contribuye a que la lámina alcance ese gran voladizo.

