

(Fotos Salgado)

Vista de la tribuna de preferencia.

## CONCURSO DE AMPLIACION Y REFORMA DEL CAMPO DE SAN MAMES EN BILBAO

### PRIMER PREMIO

Arquitectos: Ricardo Magdalena  
José A. Domínguez Salazar  
Carlos de Miguel  
Ingeniero: Carlos F. Casado

Para este campo entendemos, según se desprendía de las bases del concurso que se convocó al efecto, que la tribuna de preferencia es la pieza clave del conjunto, y que su importancia había de ser tal, que domine y defina, por así decirlo, toda la parte arquitectónica del futuro campo.

Haciendo previa abstracción de los problemas de funcionamiento de la tribuna, nos ha preocupado la

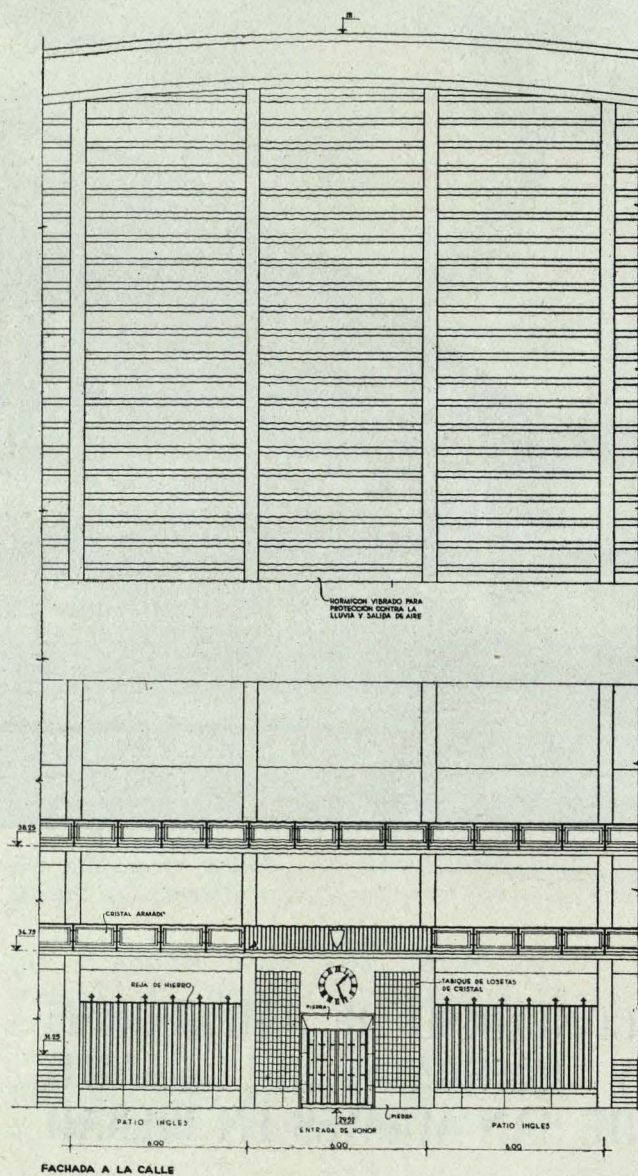
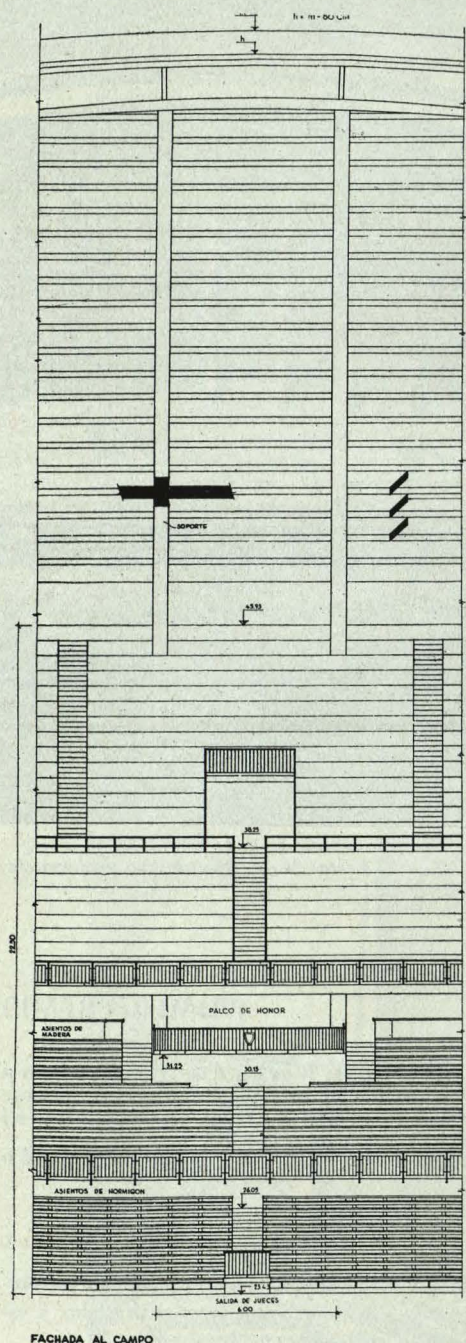
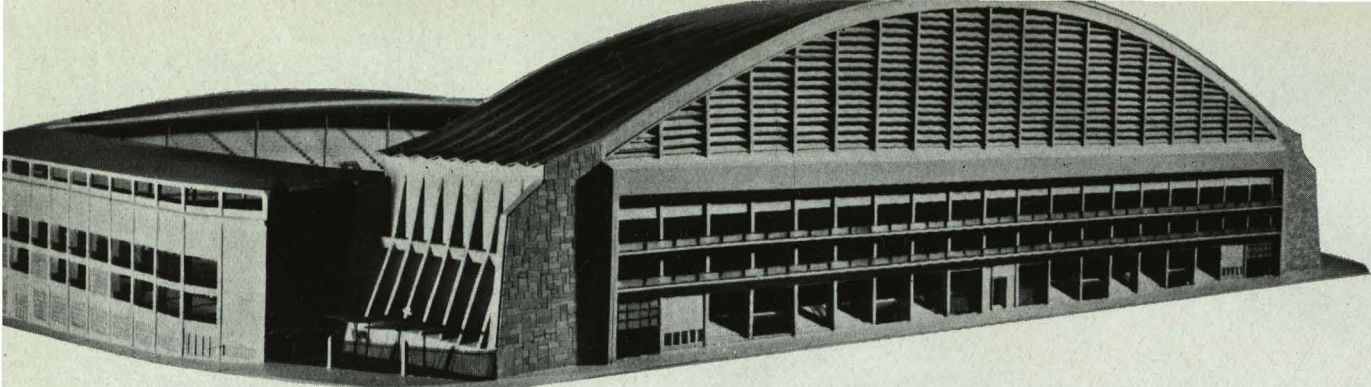
forma plástica de ésta, al objeto de lograr un elemento de suficiente originalidad, audacia y severo acoplamiento a las condiciones económicas que por sus peculiares características definiera, dentro no sólo del ámbito futbolístico español, sino del internacional, el campo del Atlético de Bilbao.

Este proyecto sustituye la marquesina en voladizo que, con distintas formas y tipos, es norma en los

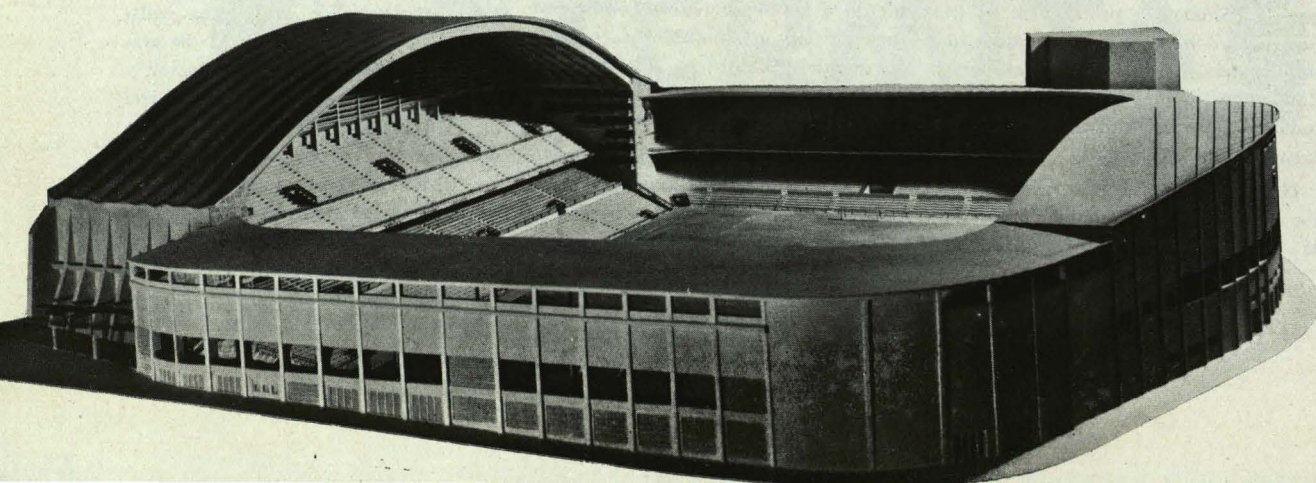
campos de deportes, por un conjunto de grandes arcos articulados y estribados en sus extremos.

La estructura de la tribuna consta de dos partes diferentes: la gradería, con sus pisos de circulación y servicios, y la estructura de cubierta. La tribuna propiamente dicha se organiza en entramados transversales, distanciados entre sí seis metros, que se enlazan superiormente por la gradería, y a distintos niveles por los

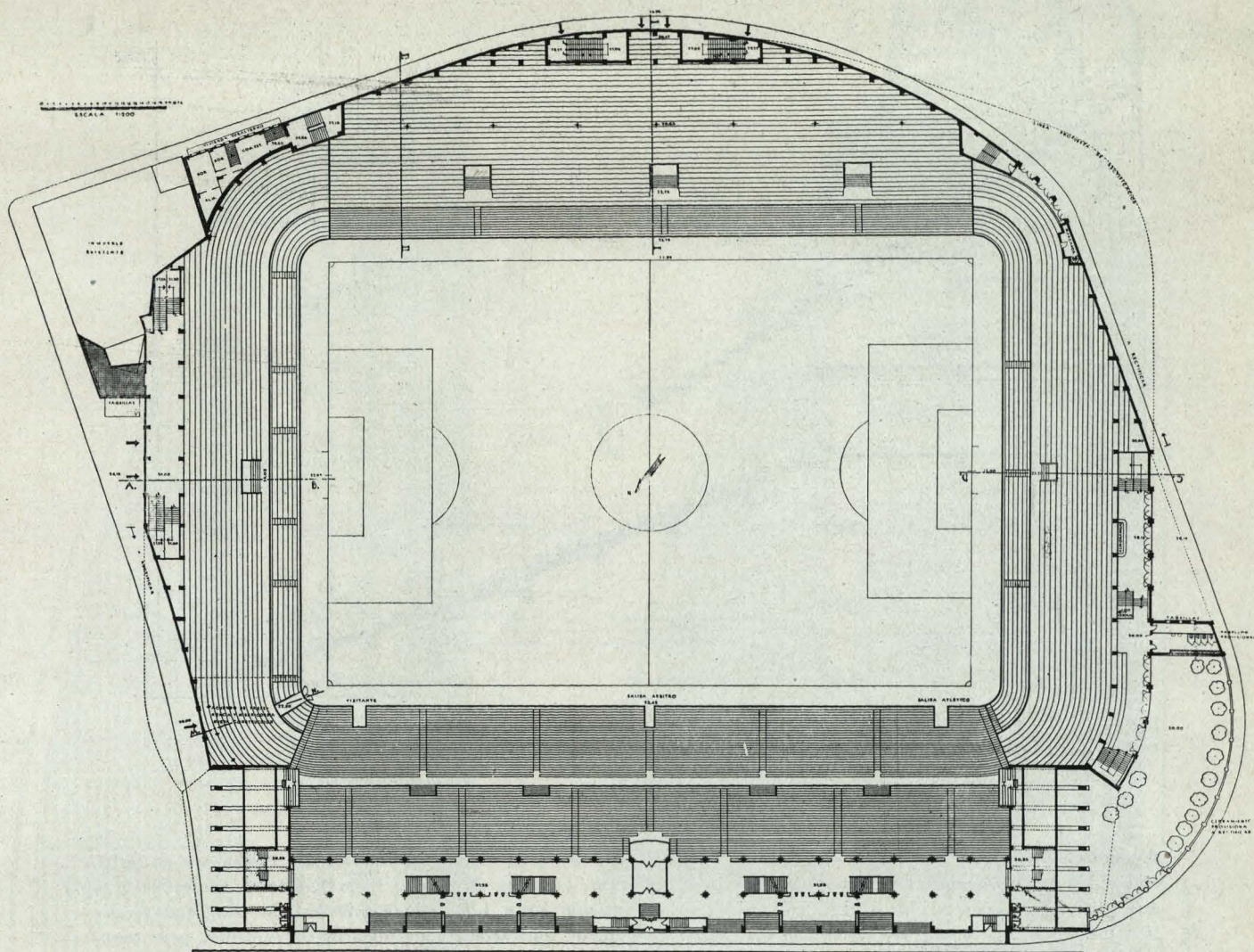




*Módulos de la tribuna, en el eje de la fachada al campo y a la calle.*







*Planta de conjunto.*

forjados de los pisos, en los cuales se disponen vigas longitudinales, según los planos de pilares.

Al plantearse el problema de cubrir la tribuna con bóveda de 114 metros de luz, surgen dos cuestiones previas: posibilidad técnica y posibilidad económica de la solución. En las realizaciones actuales de construcciones análogas tenemos dos ejemplares que definen la situación: los hangares para aviones de bombardeo de Lake City y Limestone (E.E. UU.), con 104 metros de luz libre, y la cubierta del estadio de Montgomery, con arcos de 114 metros de luz teórica, rebajada a 87 por dos apoyos intermedios. En arcos de puentes, la mayor luz actual son los 260 metros del puente Sandö, en Suecia, siendo relativa-

mente frecuentes las luces superiores a 100 metros.

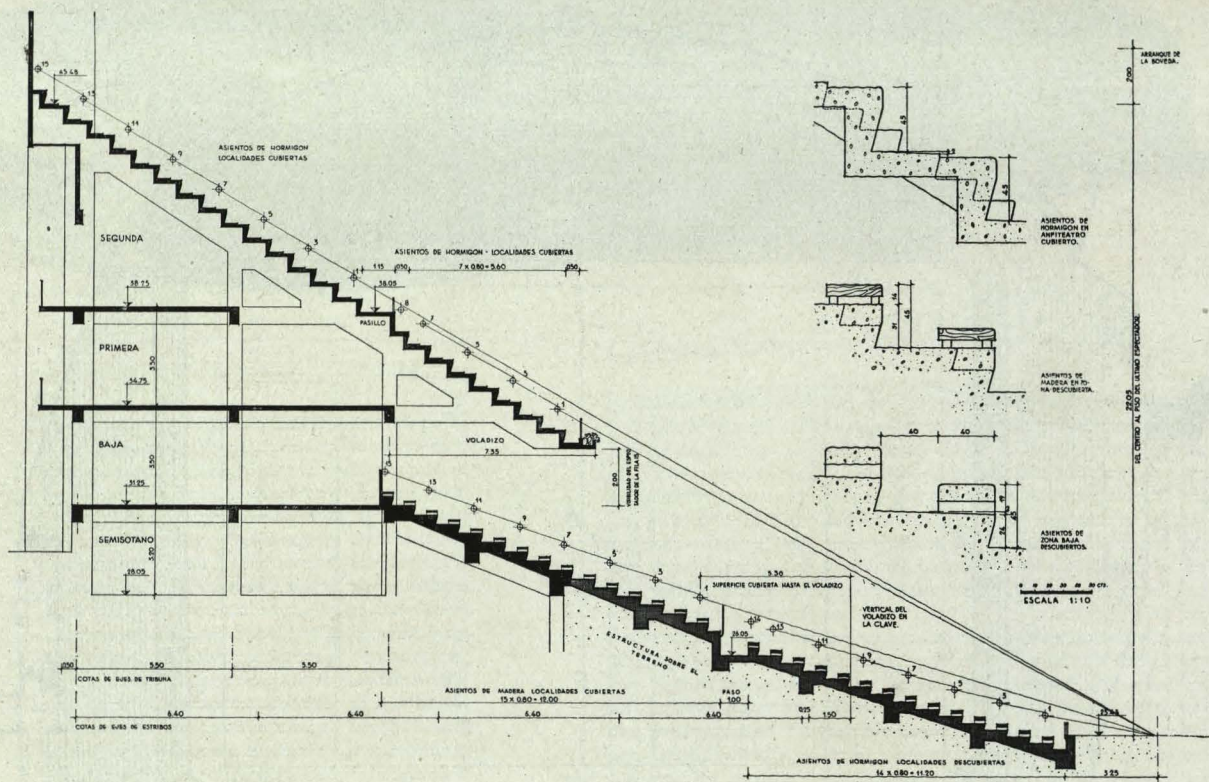
La limitación de luces de las cubiertas hasta menos de la mitad de las de puentes, es debido al otro factor de posibilidad: el problema económico. La realización de un andamio para encofrar una parte de la superficie que se va a cubrir resulta prohibitivo en cuanto la altura y la luz pasan de lo normal. Da idea de ello que el andamio utilizado en la construcción del hangar de Limestone costó 100.000 dólares.

Para concretar en cuanto a posibilidades técnicas, podemos hacer un tanteo rápido que aclare las condiciones de la cuestión. Suponiendo el arco antifunicular de la carga permanente, es decir, con curva catenaria por directriz, los esfuerzos

principales dan lugar a compresión sencilla en todas sus secciones, y si además éstas se proporcionan al esfuerzo, que varía con la inclinación de la directriz, tendremos el mismo valor en todas ellas. Admitiendo un rendimiento estructural de la cubierta de 0,75 (relación entre el hormigón que resiste y el hormigón que pesa), obtenemos inmediatamente las tensiones de trabajo en función de la luz y del rebajamiento. Si esto lo fijamos (en nuestro caso es el séptimo), quedan las tensiones dependiendo exclusivamente de la luz.

Para la luz de nuestra bóveda la tensión, correspondiente a compresión pura, es de 34 kg./cm<sup>2</sup>. Admitiendo por exceso que las tensiones secundarias (particularmente reducidas en nuestro caso, dada la luz y el proce-





Perfil de la tribuna con curvas de visibilidad.

dimiento constructivo) representan el 50 por 100 de la principal, tendremos una tensión suplementaria de 17 kilogramos/cm<sup>2</sup>. Partiendo de estas tensiones, definimos el hormigón que necesitamos aplicando a la tensión de compresión pura un coeficiente de seguridad de 9, para tener en cuenta el riesgo de pandeo, y un coeficiente de seguridad de 3 a la tensión secundaria, debida a esfuerzos de flexión. La tensión de rotura del hormigón en probeta cúbica resulta de:  $9 \times 34 + 3 \times 17 = 357 \text{ kg./cm}^2$ , que puede conseguirse perfectamente con hormigón de cemento Portland, ejecutado con todos los requisitos de la técnica actual: premoldeo, vibración, eliminación de agua por vacío y control riguroso de probetas. En los cálculos definitivos hemos llegado a tensiones máximas de 33 kg./cm<sup>2</sup>. para compresión pura y 20 kg./cm<sup>2</sup>. para flexiones, que da 353 kg./cm<sup>2</sup>. para tensión de rotura del hormigón.

Como acabamos de ver, razones técnicas y económicas exigen el premoldeo, y éste ha sido el criterio director del proyecto. De acuerdo con él organizamos la bóveda en

anillos longitudinales de gran rigidez y peso reducido (sección doble T de altura variable entre 1,80 y 2,00 m.) a 3,20 m. de separación, enlazadas por vigas riostras cada 3,00 m. Queda así constituido un emparrillado con malla de  $3,20 \times 3,00$ , en el que la rigidez transversal de los anillos queda compensada por la pequeña separación de las vigas transversales. Sobre este emparrillado descansa la cubierta propiamente dicha, formada por una lámina ondulada de 6 cm. de espesor y amplitud igual a la equidistancia de anillos.

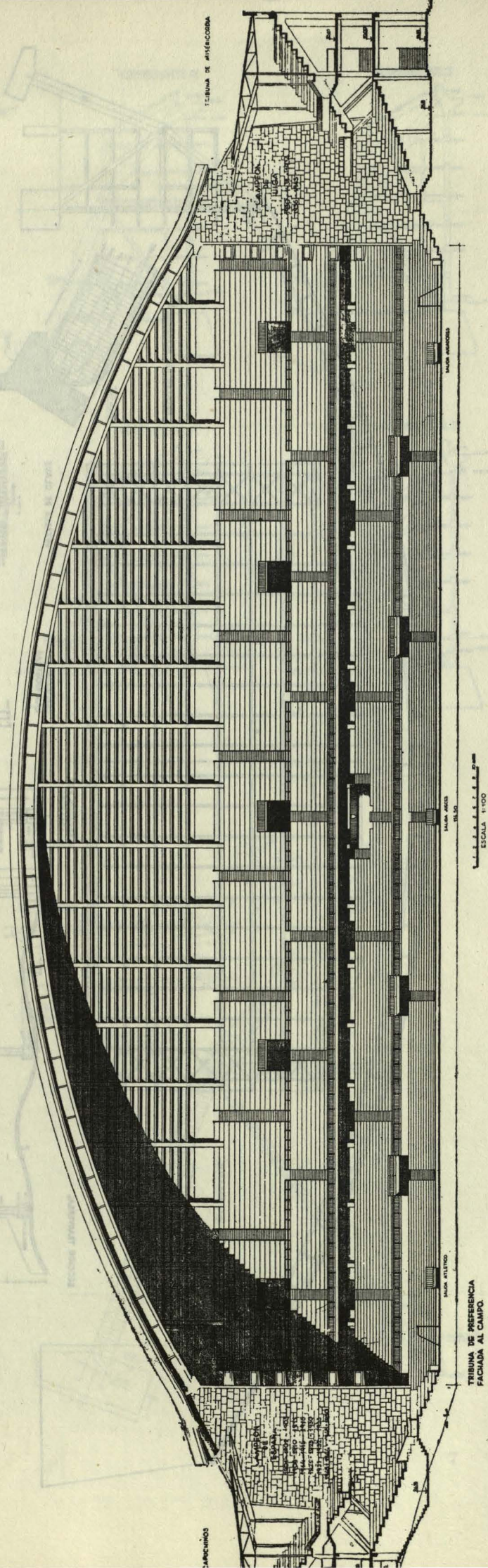
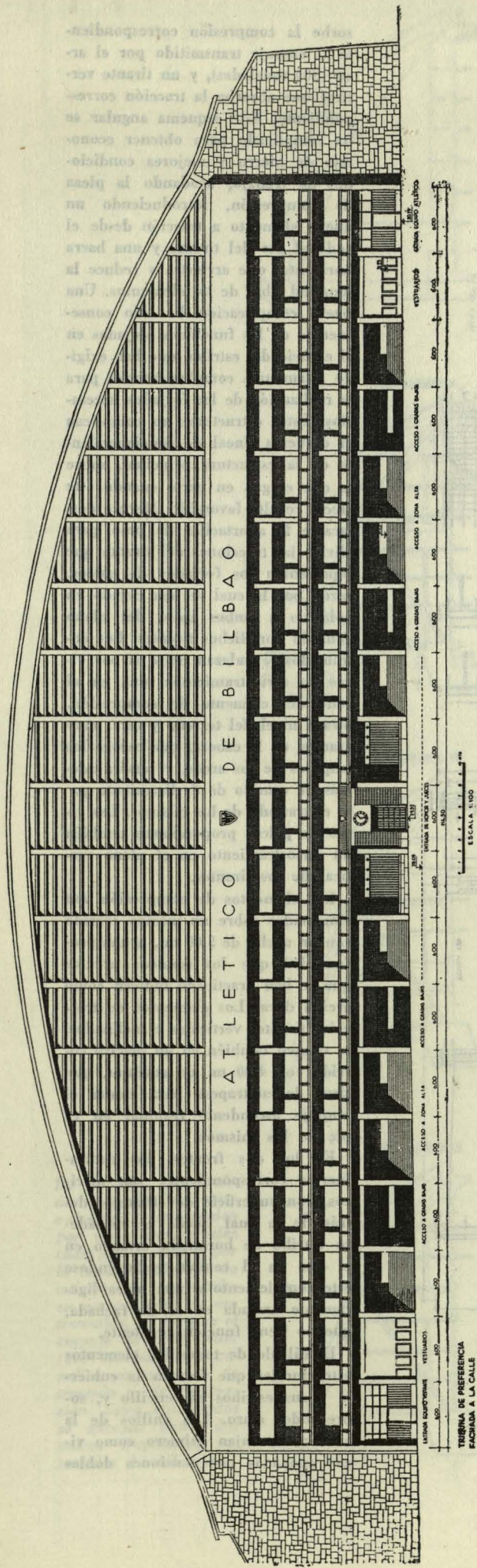
Resultan ocho anillos, cubriéndose nueve entrepaños de 3,20 m., pues en fachada el arco correspondiente se obtiene al coronar el entramado respectivo, y, además, un lienzo marginal de 1,50 m. en voladizo sobre el arco frontero al campo.

Estos arcos de directriz catenaria con sección doble T de altura variable, para aproximarse a las condiciones ideales del arco de igual resistencia se construirán en cuatro trozos sobre las gradas de la tribuna principal, que se ha construido previamente. Cada uno de estos trozos, trabajando como viga apoyada, se trasladarán, ascendiendo primero por la tribuna y después por el pla-

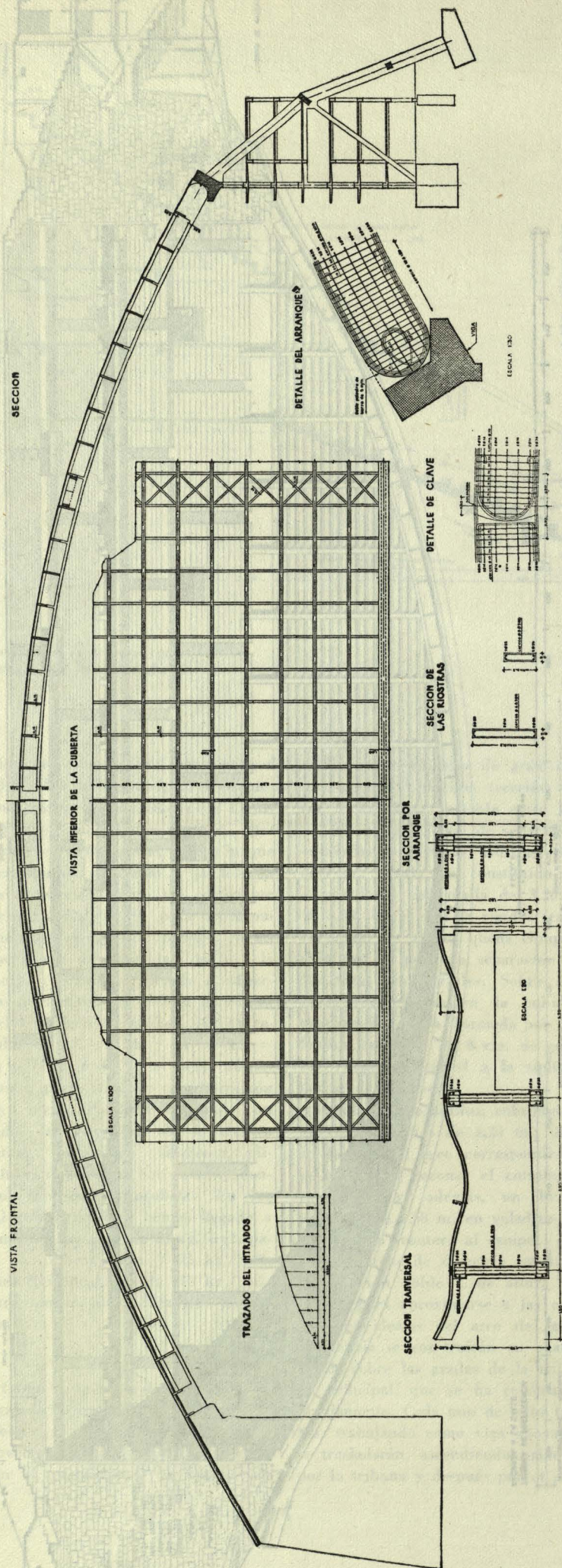
no interior del entramado de fachada, hasta adaptarse contra el arco de coronación de ésta, que servirá de plantilla de replanteo para transformar los cuatro trozos en dos mitades. Estas mitades constituyen nuevos elementos estructurales en la metamorfosis de la estructura, y trabajarán unidas en arco de tres articulaciones con tirante. En estas condiciones, agrupando tres anillos para conseguir una rigidez transversal suficiente, se hará el corrimiento de la parte de emparrillado correspondiente, desde el entramado de fachada hasta su posición definitiva, deslizando sobre sus extremos a lo largo de las vigas de apoyo, que tienen una pendiente del 3 por 100. Al terminar esta operación se suprimirá el tirante, y los anillos quedan estribados, pero con las tres articulaciones originales. La supresión de éstas para obtener continuidad de arco y estribos se llevará a cabo cuando se haya montado la placa ondulada de la cubierta.

El apoyo de los arcos se realiza sobre estribos de hormigón armado, organizados en entramados transversales, que prolongan los planos de los anillos. Estos entramados están constituidos en esencia por una pieza inclinada de gran sección, que ab-









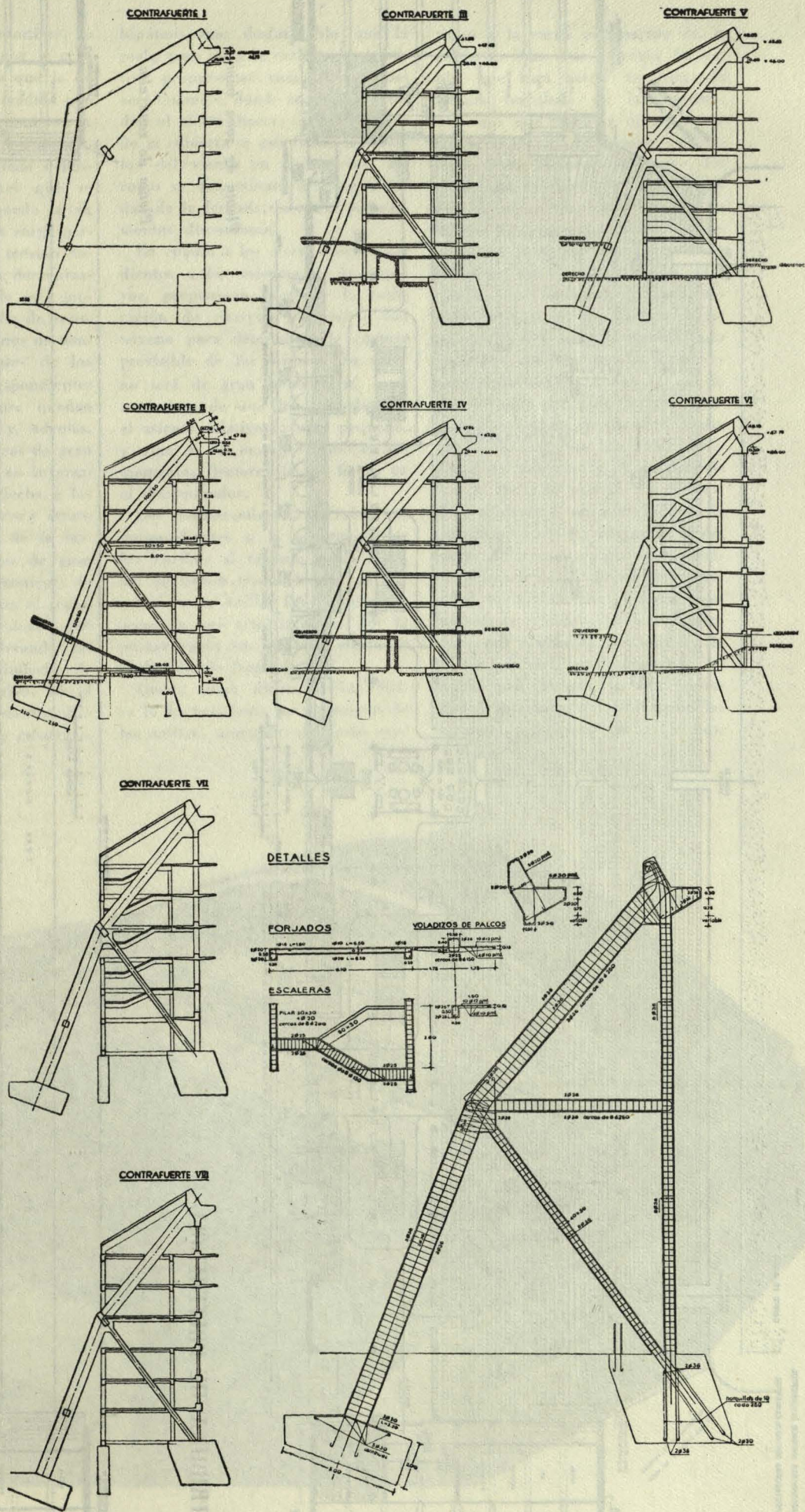
sorbe la compresión correspondiente al empuje transmitido por el arco (200 toneladas), y un tirante vertical que absorbe la tracción correspondiente. Este esquema angular se ha complicado para obtener economía de hierro y mejores condiciones de trabajo, acodando la pieza de compresión, introduciendo un nuevo elemento a tracción desde el codo al pie del tirante y una barra horizontal que arriestra y reduce la longitud libre de los elementos. Una nueva complicación ha sido consecuencia de las funciones alojadas en el espacio del estribo, que han exigido estructuras complementarias para la realización de los forjados necesarios. Estas estructuras no complican el esquema lineal de funcionamiento de la estructura principal, sobre la que cargan en parte cuando este efecto resulta favorable. Merece destacarse la aportación de peso para aliviar las tracciones del tirante que representan los forjados de palcos, razón por la cual se han dejado en voladizo a ambos lados del plano definido por dichos tirantes. Los entramados se enlazan entre sí por vigas de arriostamiento: una en el codo del elemento de compresión, otra a nivel del terreno y otra, muy grande, en la cabeza, que recoge los empujes de los arcos, y servirá además de camino de deslizamiento para el traslado de los mismos. Las vigas de palcos proporcionan también un arriostamiento en el plano vertical de los tirantes.

Los elementos de compresión van cimentados sobre un macizo corrido con un ancho de 5,00 m., a una profundidad que los sondeos previos que se han practicado indican como arcilla dura. Los elementos de tracción, tirantes verticales e inclinados, se reúnen también en un macizo corrido con 4,00 m. de anchura, que sirve de contrapeso para anular el empuje ascendente residual en el pie de los mismos.

En los dos frentes, los contrafuertes correspondientes son macizos, con superficie de sillarejo, detrás de la cual queda el verdadero estribo de hormigón armado en el que da al campo, reduciéndose este complemento a una placa ligeramente armada en el de fachada, que no tiene función resistente.

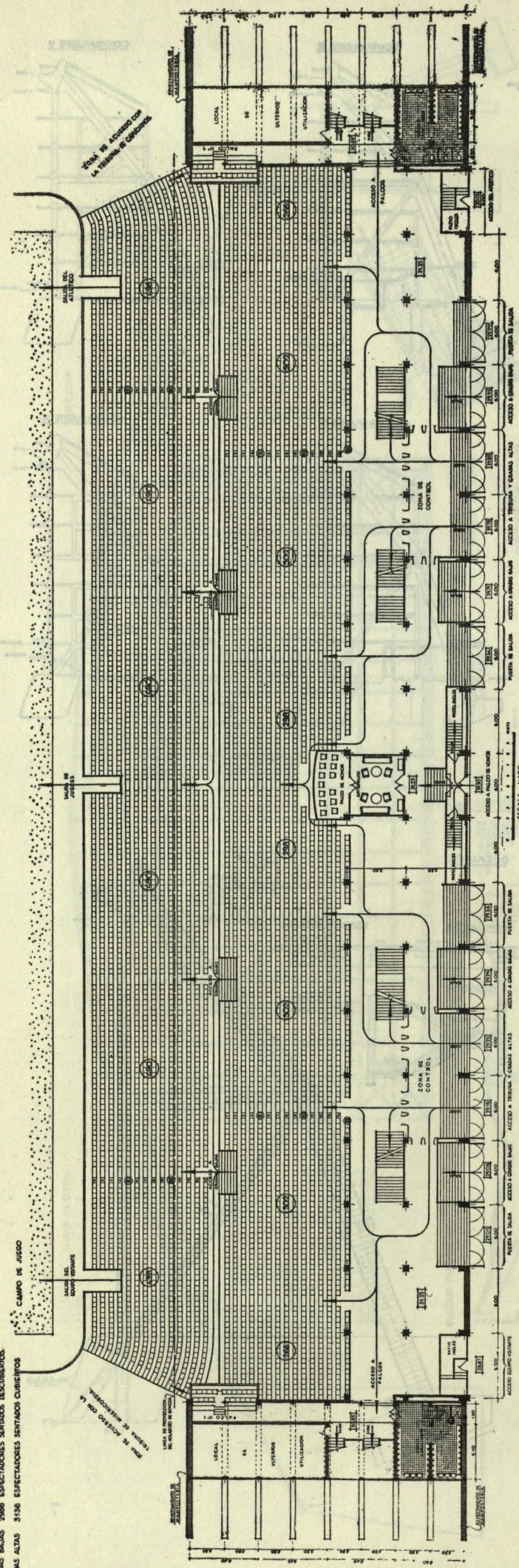
El cálculo de todos los elementos estructurales que forman la cubierta y sus estribos es sencillo y, sobre todo, claro. Los anillos de la cubierta trabajan primero como vigas apoyadas con tensiones dobles





La bóveda, integrada de ocho anillos muy esbeltos, arriostrados por vigas transversales cada 3,20 metros y por la lámina ondulada de cubrimiento, se estriba en un conjunto de entramados, en los que el empuje de cada anillo (200 toneladas) se canaliza en esfuerzos de tracción y de compresión. Estos entramados se encajan entre dos muros trapeciales revestidos de sillarejo.

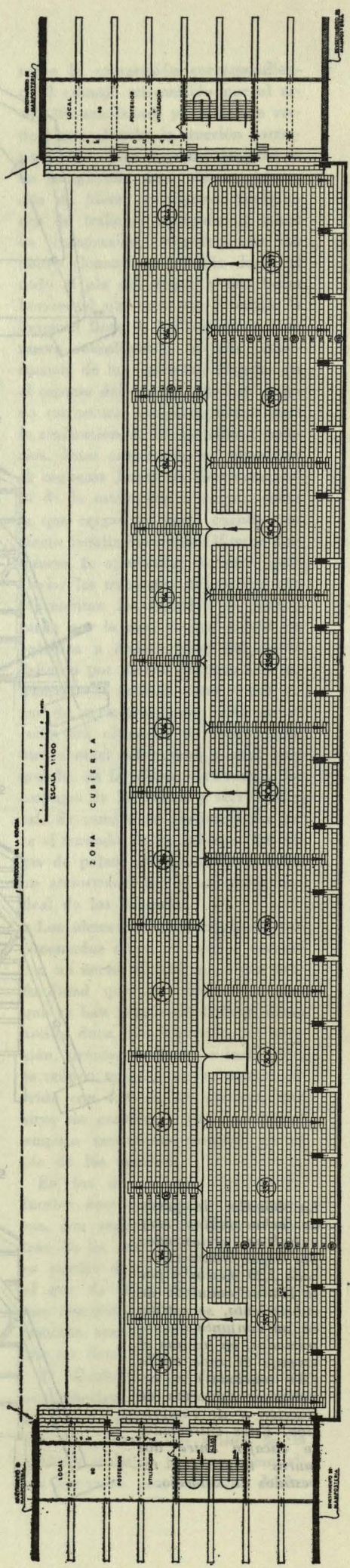




# TRIBUNA DE PREFERENCIA

*Planta de zona baja.*

*Planta de zona alta.*





de las que van a ser definitivas, lo cual constituye una prueba a gran escala, mucho más eficaz que la de las probetas. Después, a medida que se va realizando el lanzamiento y operaciones sucesivas, tienen un modo de resistir perfectamente definido, adquiriendo tensiones que se van superponiendo, llegando a su situación definitiva con la carga permanente total y con la tensión total acumulada, que es la denominada principal. A partir de este momento, las acciones que ha de resistir la cubierta son: cambios de temperatura, viento y asientos de los apoyos. Los efectos correspondientes a cambios de temperatura quedan perfectamente definidos, y, además, son muy reducidos en arcos de gran luz, ya que el empuje es inversamente proporcional a la flecha, y los momentos máximos en clave y arranques son independientes de la luz. El del viento tampoco es de gran importancia, dado el rebajamiento de nuestra bóveda, pues según el reglamento holandés las presiones son muy reducidas, preponderando las succiones con una zona indecisa de carga casi nula entre ambas. En el cálculo hemos supuesto una distribución asimétrica de ambos esfuerzos,

hipótesis más desfavorable que la real; pero para la evaluación definitiva proponemos ensayos en túnel aerodinámico, donde además de estudiar el efecto directo sobre el tradós de la cubierta se estudiarán los efectos del viento en el interior, así como se determinará la permeabilidad de la fachada, formada por elementos discontinuos.

En cuanto a los efectos correspondientes a los asientos de los apoyos, proponemos también la realización de ensayos geotécnicos del terreno para determinar la cuantía previsible de los mismos. Su valor no será de gran importancia, pues tratándose de una luz tan elevada, el asiento relativo es muy pequeño, y tanto en los empujes como en los momentos flectores la luz figura en el denominador.

Los desplazamientos iniciales, correspondientes a la adaptación de los estribos al empuje de la bóveda, no tienen trascendencia, ya que entonces los anillos funcionan como arcos de tres articulaciones. Por la misma razón no produce efecto la retracción de fraguado.

Queda como última acción física la fluencia lenta del hormigón de los anillos, sometidos de modo con-

tinuo a la carga permanente de la cubierta. Pero ésta es causa favorable, que hará entrar en carga la lámina ondulada de cubrimiento. Tenemos que destacar el no haber considerado en los cálculos esta lámina como elemento resistente. En el sistema de ejecución por premoldeo va incorporándose por trozos en la fase final, cargando sobre los arcos, que cumplen solos la función resistente. Mas no hay que olvidar que la placa ondulada en todo momento constituye una lámina delgada con forma muy apropiada para resistir y con una sección transversal aproximadamente mitad de la del conjunto de anillos. Al solidarizarse con el emparrillado aumenta extraordinariamente la rigidez transversal del conjunto y el aumento de inercia de cada uno de los anillos. Esto equivale a una reducción de la esbeltez, es decir, alejamiento del riesgo de pandeo y, por consiguiente, aumento del coeficiente de seguridad total. Además de todas estas mejoras, y debido a la fluencia lenta, como acabamos de indicar, la lámina entrará paulatinamente en acción para resistir las compresiones, disminuyendo notablemente las tensiones principales en los anillos.

