Informes de la Construcción Vol. 11, nº 106
Diciembre de 1958

831 - 21

pabellón del I. N. I.

SINOPSIS

La tienda de campaña y su derivado el toldo de circo han sido antecedente primordial de las cubiertas colgadas con estructura de cables, tan en boga hoy día.
Se describe una construcción realizada por arquitectos e ingenieros españoles en el año 1953, cuando se iniciaba el auge de este tipo de estructuras.
Sirve, además, de homenaje a la memoria de uno de ellos, Juan Bautista Esquer, prematuramente fallecido.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)

cubierta colgada
con estructura de cables

feria internacional del campo - Madrid

JUAN B. ESQUER y FRANCISCO BELLOSILLO, arquitectos
CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, ingeniero

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

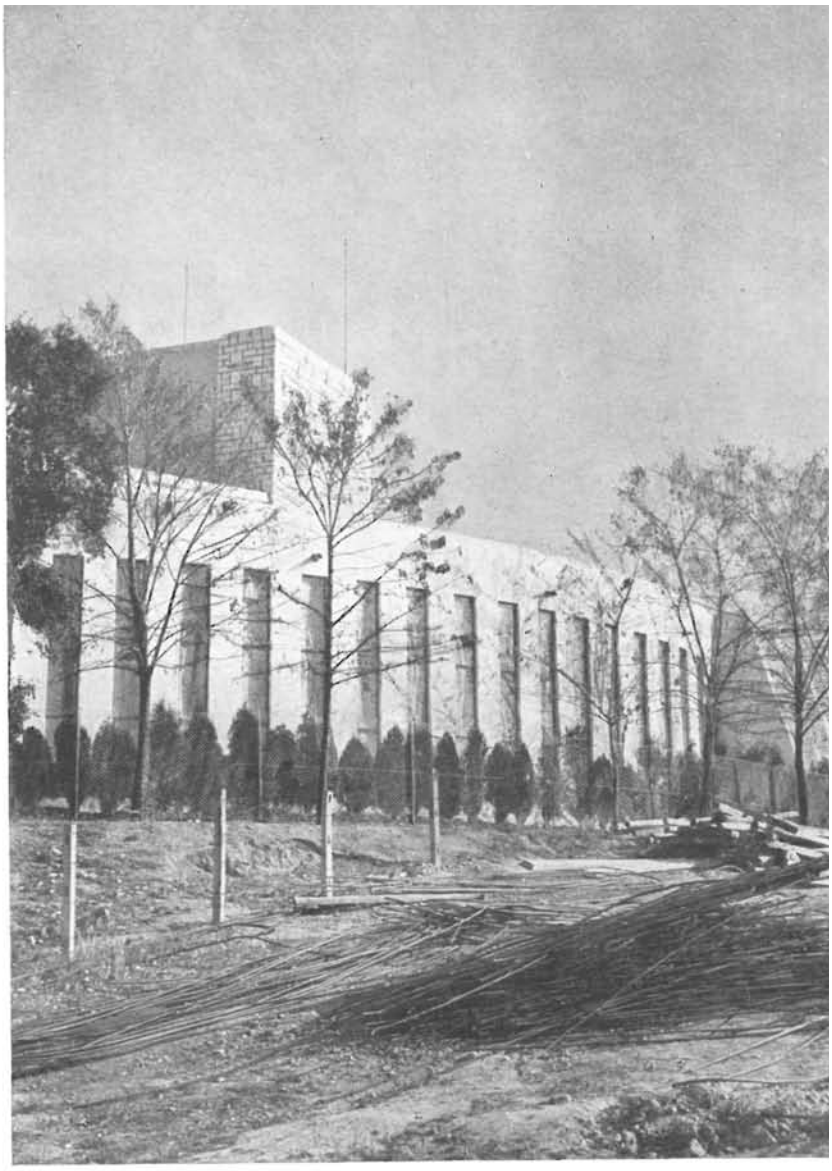
introducción

Desde la prehistoria aparece la forma circular en competencia con la rectangular, como soluciones al problema de limitar un espacio que será vivienda o tumba. Tenemos el círculo en los fondos de cabañas neolíticas en los castros célticos y en las tumbas megalíticas de cúpula. Miradas las cosas en su aspecto técnico, dicha forma deriva del sistema de cubierta: troncos de árbol agrupados en convergencia cónica, o anillos de piedra cerrados en hiladas horizontales con diámetro decreciente. En todos ellos, el contrarresto de empujes conduce a la forma circular, que resulta óptima desde el punto de vista mecánico.

Otro sistema constructivo que podemos considerar con antigüedad también remota es el de la tienda del nómada, que llega hasta nuestros días adscrito a todas las formas de nomadismo existentes: viviendas del desierto, tiendas de campaña, cubiertas de circos, etc. La forma circular corresponde también al mismo equilibrio por contrarresto de esfuerzos, aunque éstos hayan cambiado de polaridad, ya que, a las compresiones transmitidas que resistían los troncos de árbol o los anillos de piedra, corresponden ahora tracciones absorbidas por cuerdas o cables y por superficies de tela o material flexible.

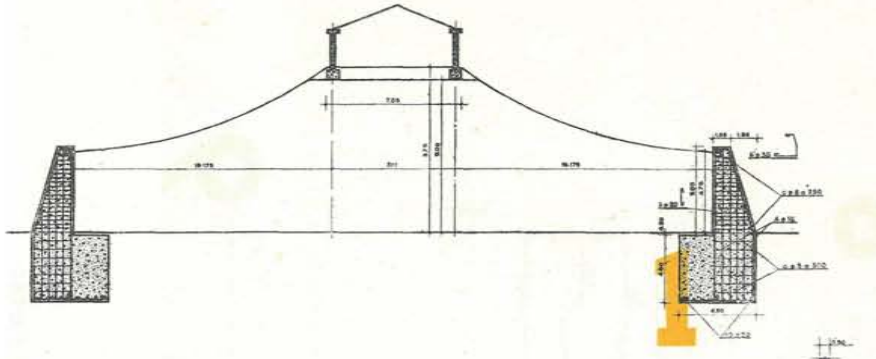
En el caso que nos ocupa queda un rastro de nomadismo, que corresponde a todo pabellón de exposiciones, en los que, por lo menos, su utilización esporádica está regida por un ritmo casi estacional. Por lo tanto, nuestra construcción entronca en una arquitectura milenaria, cuyas posibilidades se han multiplicado de un modo asombroso en el último quinquenio. La Arena de Raleigh, de Matheo Novicki, Fred Severud y W. H. Deitrick, que se terminó en la primavera del año 1953, abrió esta nueva etapa en las estructuras colgadas.

La planta de nuestro edificio combina las dos formas tradicionales, componiendo un semicírculo y un rectángulo. De este modo se ha conseguido, conservando la visión de conjunto inicial de más de medio horizonte, ordenar la circulación en el espacio interno, así como dar fachada al volumen externo, con torre que lo define desde lejos en el conjunto de edificaciones.

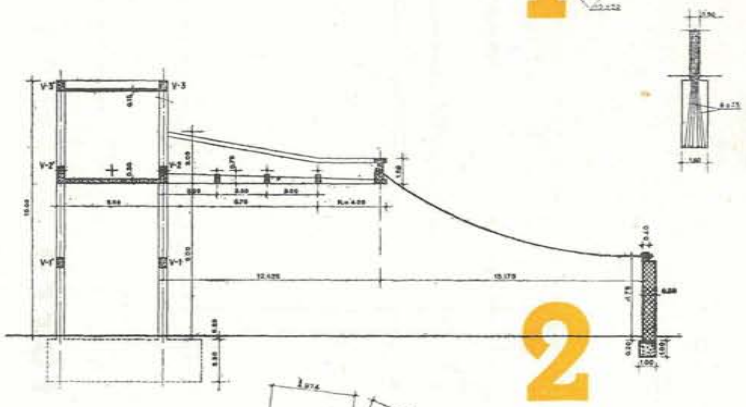


© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)

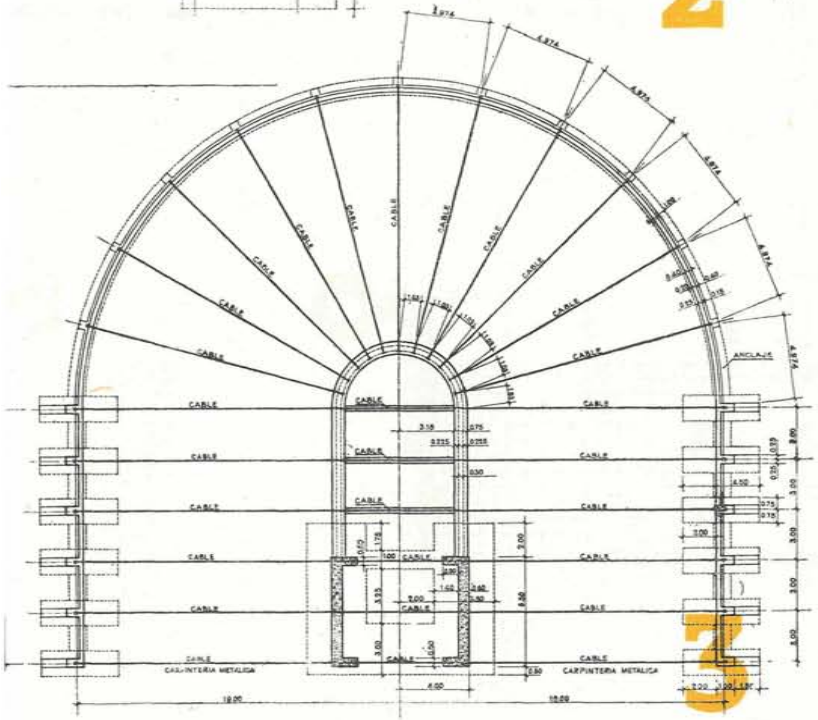
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)



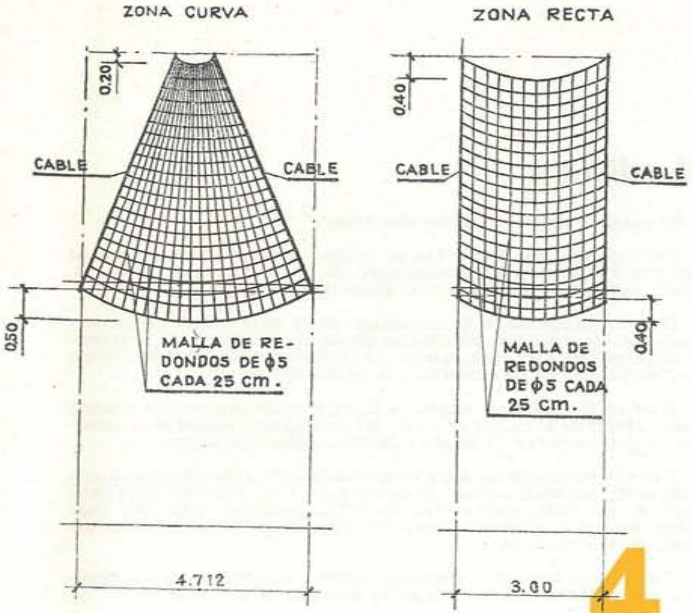
1



2



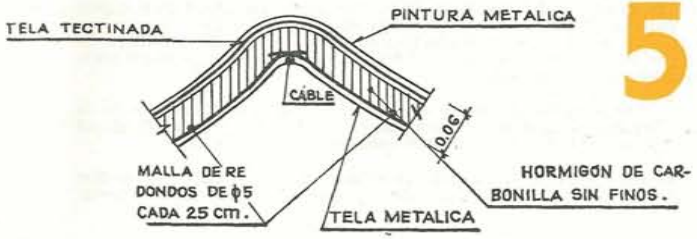
3



4

planos generales

1 sección transversal
2 sección longitudinal
3 planta
4 detalle armaduras
5 detalle de la lámina



5

http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)

El edificio

Se compone de los siguientes elementos:

Torre rectangular, de 8 × 6,50 m, la cual, arquitectónicamente, es el elemento indicativo con el emblema del INI y, estructuralmente, el elemento sustentador por excelencia. Tiene 15 m de altura.

Voladizo horizontal en U arrancando de la torre con su misma anchura 8 m, de modo que prolonga en planta el rectángulo que le corresponde, alcanzando un vuelo máximo de 12,70 en el vértice del semicírculo concéntrico del que da contorno a la edificación.

Muro de contorno que amplía la figura formada por torre y voladizo a una latitud de 38 m, que es ancho del rectángulo y diámetro del semicírculo que completan la planta cubierta propiamente dicha.

Cubierta enlazando los dos contornos indicados, cuyo desnivel—5 m—y distancia horizontal—15 m—se salvan por un conjunto de cables idénticos, de los cuales cuelga una lámina de hormigón ligero que tomó forma natural al moldearse sobre red de redondos complementada por malla de tela metálica.

Cierre de fachada en carpintería metálica, adaptado a los dos trapecios que en el frontis acusan la curva funicular de los cables.

Descripción, con algún detalle, de estos elementos:

La torre

La torre es de planta rectangular 8 × 6,50 y se organiza en tabiques de hormigón armado de 60 ó 50 cm de espesor. Los tabiques paralelos a fachada se rasgan en zona inferior para dejar un paso de 4,20 × 5, y la sección de cajón se convierte en dos U, que descansan en un macizo de cimentación de 2,50 m de altura.

La armadura está formada por emparrillado en las dos caras con ø 16 en vertical y ø 10 en horizontal, en retícula de 50 × 50, reforzada por ø 30 en los ángulos.

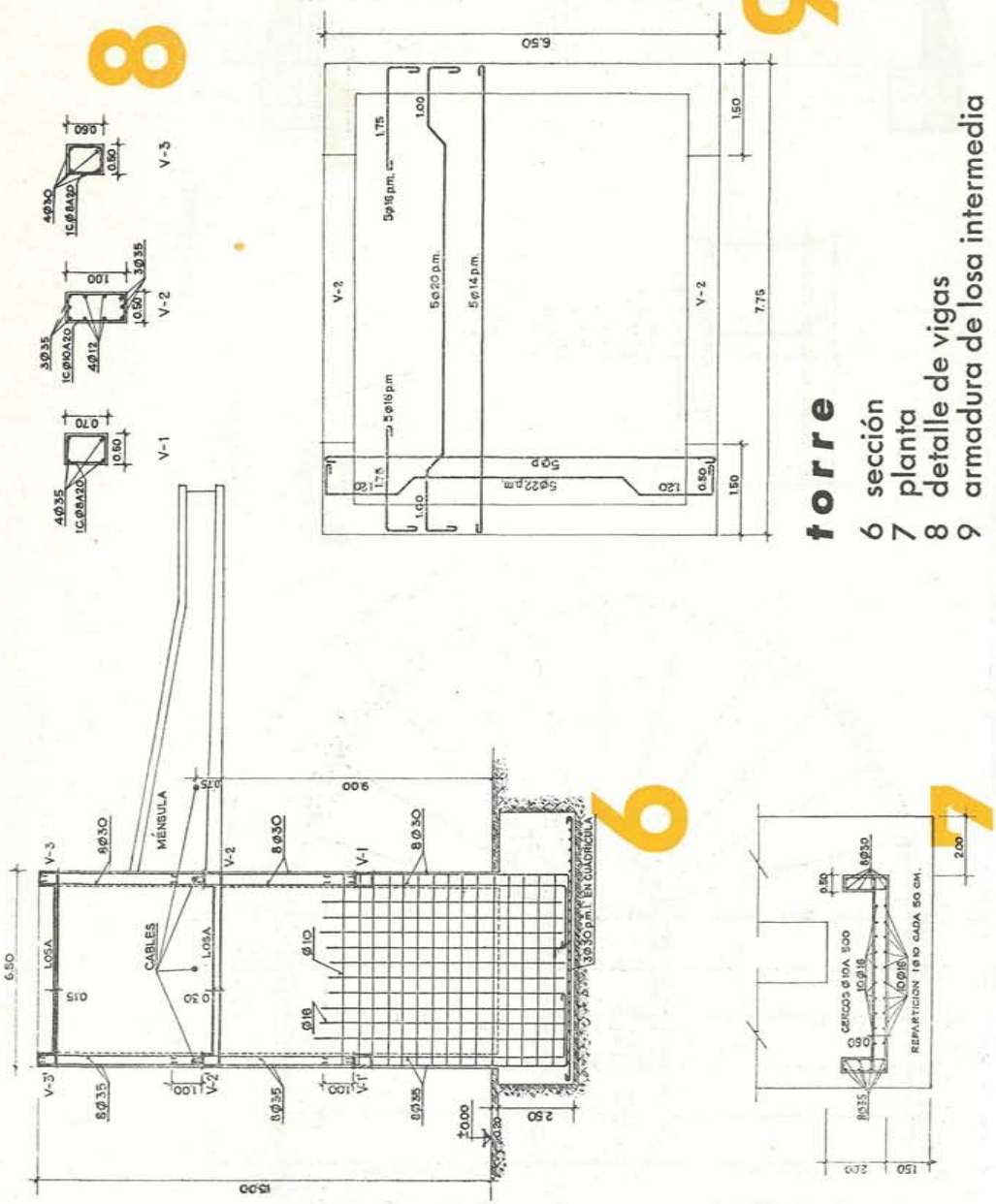
Unas vigas dintel de 70 × 50 limitan los huecos indicados, y a partir de ellas la torre sube con sección total chapada con sillarejo de piedra de Colmenar, excepto en una faja central del frente, recubierto con ladrillo, que lleva un gran dibujo inciso con emblema del INI. Dos losas horizontales sirven, una en coronación de cubierta y otra a nivel con la cara inferior de la ménsula, para contener las tierras que completan el peso estabilizador del conjunto.

La viga ménsula

La ménsula en horquilla tiene sección doble T de altura variable en las ramas rectas desde 3 m a 1,50, conservándose esta última dimensión en toda la zona semianular. La cabeza inferior es rectangular con 75 cm de anchura constante y altura desde 60 a un mínimo de 30 cm, también constante en zona anular. El alma es de 30 cm; y la cabeza superior, de 75 × 25 uniforme. Esta cabeza superior lleva la armadura principal que arranca en cada rama con 30 ø 35 en tres capas, las cuales disminuyen por parejas inclinadas 45° para armar el alma, llegando a un mínimo de 10 ø 35 en el enlace semicircular de ambas ramas. La armadura de alma se completa con cercos de 10 a 200 mm y con una armadura horizontal de cuantía análoga.

Las armaduras horizontales se anclan en los muros laterales de la torre, llegando 10 ø hasta la cara anterior de la misma. La continuidad de las barras queda asegurada por soldadura eléctrica a tope.

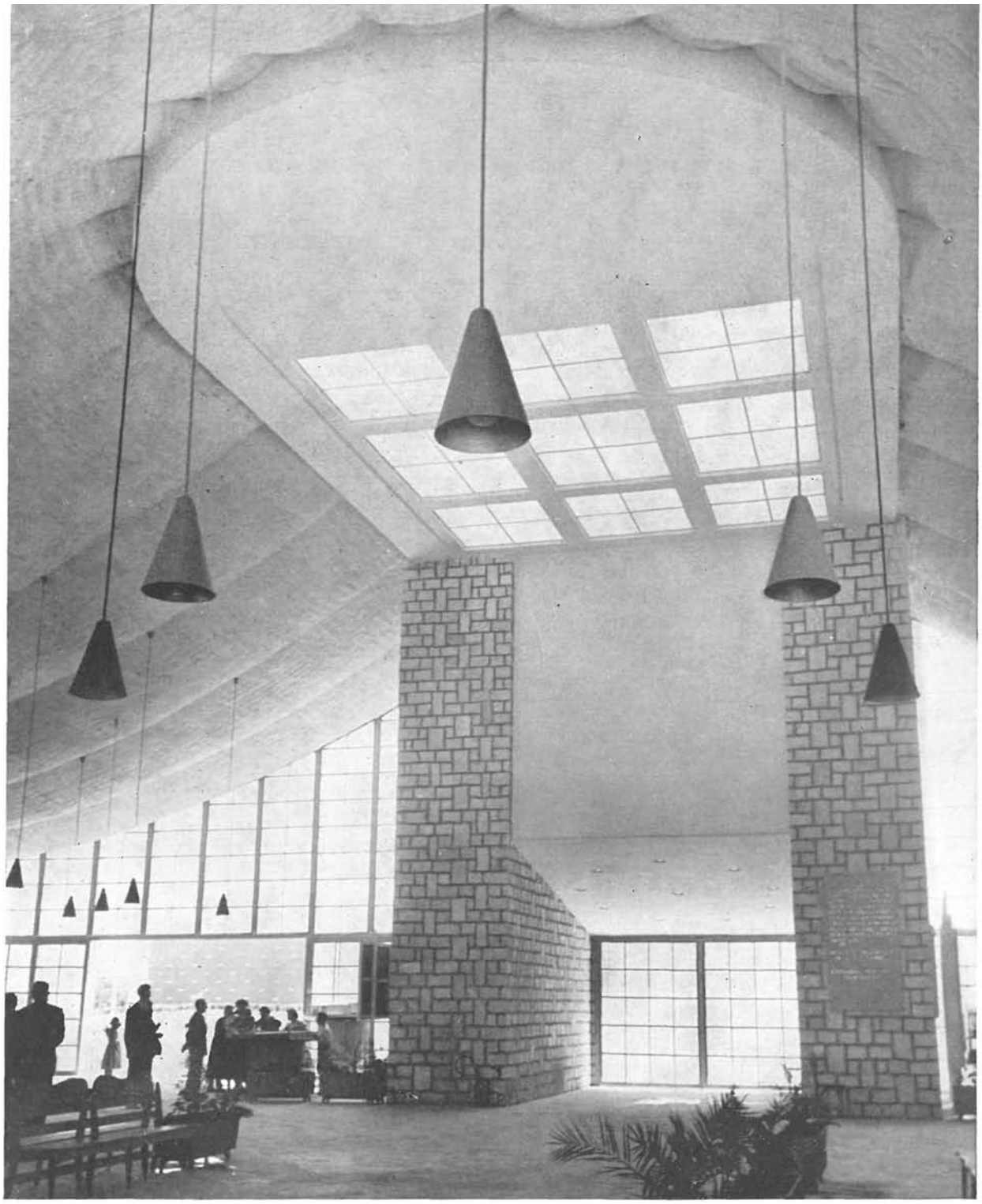
Las dos ramas de la ménsula se enlazan por tres vigas intermedias de 75 × 30, situadas en los planos de los cables rectos que las atraviesan.



torre

6 sección
7 planta
8 detalle de vigas
9 armadura de losa intermedia

http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



Los muros de contorno

Los muros destacan claramente su función resistente: Los laterales rectos son de contrafuertes trapeciales acusados, ya que han de resistir los esfuerzos horizontales correspondientes a la tracción de los cables de dos ramas en sus anclajes terminales. En cambio, el muro semicilíndrico es de poco espesor (80 cm) y queda rasgado por huecos verticales de toda la altura. Va cimentado sobre una zanja corrida de 1×1. La estructura resistente está constituída por pilares radiales en correspondencia con los cables y una viga superior, de 50×40, en semicircunferencia, que absorbe las tracciones de los cables, trabajando a compresión longitudinal constante y transmitiendo por sus extremos un empuje a los muros rectos en su coronación.

En la fachada frontal aparecen a los dos lados los contrafuertes finales del muro; en el centro la torre, y enlazando a ambos elementos los bordes funiculares de la cubierta. Quedan, de este modo, delimitados dos trapecios que se han dejado transparentes, cerrando con ventanales completos de carpintería metálica.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

La cubierta

Como ya hemos indicado, la superficie entre muros exteriores y contorno de torre y voladizo se cubre mediante superficie ondulada, apoyada sobre cables que salvan un vano de 15 m y un desnivel de 5 m y se disponen radiales en la zona anular y paralelos a equidistancia de 3 m en las dos alas rectangulares.

Los cables radiales se anclan en los dos extremos de un vano, arriba en el anillo de la ménsula y abajo en una sencilla viga de 50 × 40, que corona el muro de contorno circular. En cambio, los cables paralelos tienen dos ramas útiles que se anclan en los muros rectos opuestos, atravesando sin sustentar cubierta la zona del voladizo o la de torre. Para moldear la lámina se dispuso sobre los cables una retícula de redondos de 5 cada 25 cm en su separación máxima, y sobre ella una tela metálica tipo gallinero. De este modo se consiguió una continuidad de la superficie, cuya forma quedó definida en dirección transversal por los cables y en dirección longitudinal por los redondos de 5 mm, a los cuales se les dió la longitud correspondiente a la flecha que habían de tomar las ondas.

Sobre esta malla resistente y bastante tupida se vertió una capa de 6 cm de hormigón de carbonilla sin finos, que fué dando rigidez y forma definitiva a la cubierta, impermeabilizándose la superficie externa mediante tela tectinada que se pintó con pintura de aluminio para reducir al mínimo el calentamiento. En la superficie interior los cuadrados de la retícula de redondos de 5 contuvieron la deformación de la tela metálica, ésta quedó recubierta por la lechada del hormigón, acusando, con una regularidad agradable, los abombamientos producidos por su deformación bajo el peso. El hormigón se pintó por debajo sin más recubrimiento.

cálculo

En los esquemas que reproducimos se resume el cálculo de los elementos más importantes de la construcción.

Empezamos por elegir los cables de modo que fueran comerciales, y además en existencia, ya que el plazo de construcción era mínimo. Se adoptó el cable de acero flexible de 15 mm de Quijano (6 × 19 × 1); con arreglo a su resistencia determinamos la curva funicular en carga total y con la condición de que la curva tuviera tangente horizontal en su anclaje inferior, para conseguir desagüe natural de todas las ondas. La curvatura de éstas era también proporcionada a la resistencia de los redondos de 5 de la retícula.

Determinadas las tensiones del cable en extremidades tenemos, por un lado, las fuerzas horizontales en cabeza de contrafuertes y, por otro, las fuerzas radiales que, actuando en los semianillos de ménsula o de muro circular, someten a dichos elementos a una tracción o compresión circunferencial puras, respectivamente.

La ménsula sometida a fuertes flexiones y tracciones longitudinales se proporcionó mediante variación de la armadura y del canto útil.

La torre tiene que absorber encauzando a cimientos, gracias a su propio peso y al de las tierras sobrepuestas, los empujes horizontales y las cargas excéntricas que le transmite la ménsula. Recibe cargas directas de tres cables, pero éstas son favorables ya que son verticales, pues los empujes se equilibran en las dos ramas del cable.

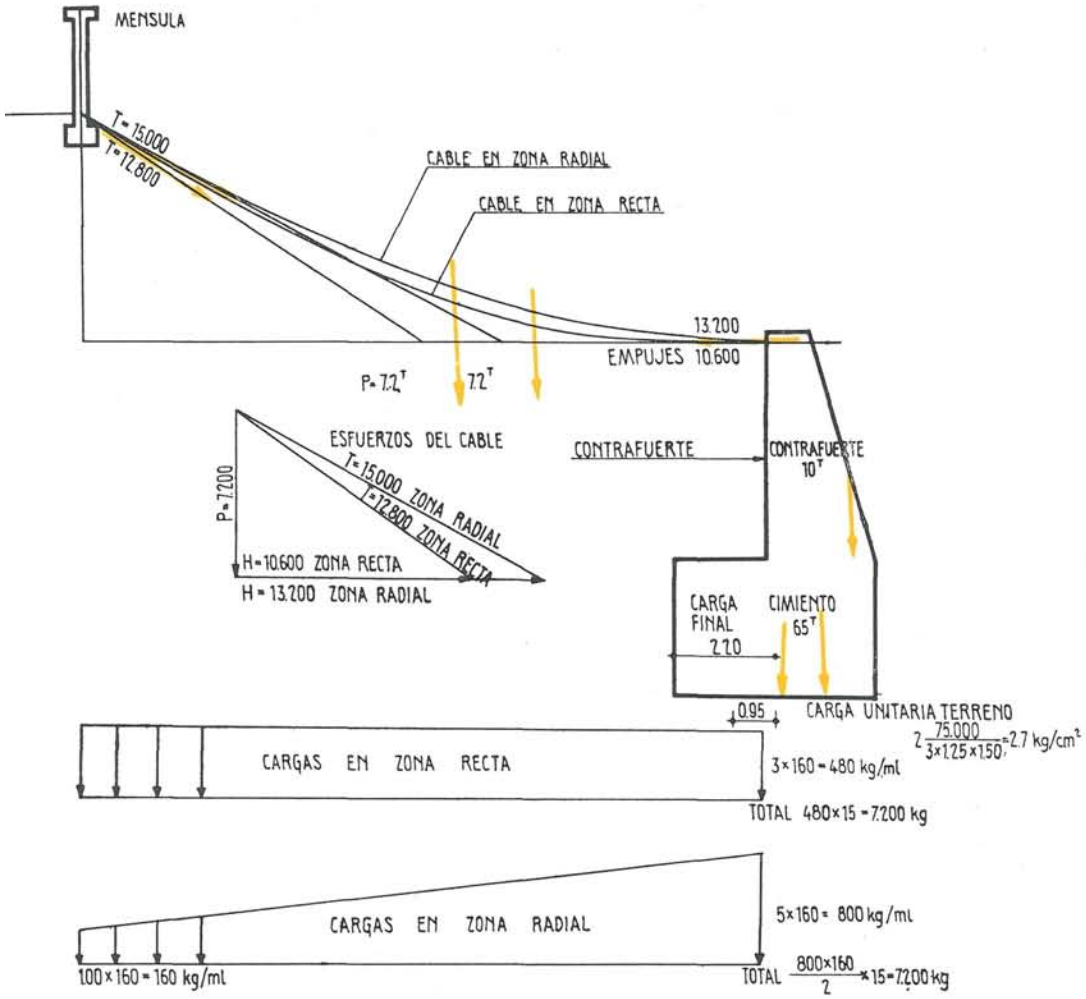
Construcción

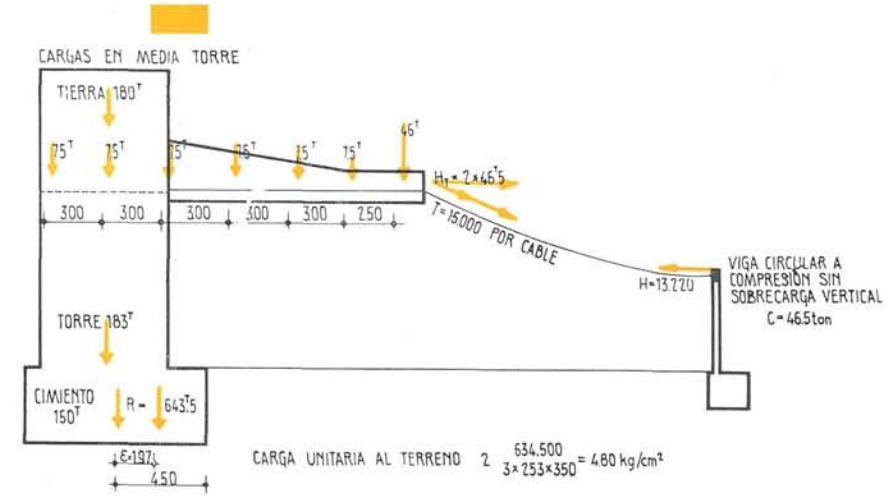
La construcción hubo de realizarse a marchas forzadas, puesto que al empezar la obra quedaban escasamente sesenta días hasta la inauguración de la Feria. Se comenzaron las excavaciones de cimientos sin tener resueltos problemas de detalle de la cubierta, como eran los anclajes de los cables y el hormigón de carbonilla. La torre hubo de coronarse rápidamente, haciendo el chapado a continuación. El elemento sustentante fundamental y que condicionaba toda la construcción era la ménsula, ya que tenía que adquirir resistencia para poder colgar a continuación los cables y después el hormigón de cubierta sin utilizar andamios para esta última fábrica.

En el mismo intervalo se coronaron los muros.

La ejecución de la cubierta colgada era la especialidad de la construcción, ya que la forma quedaba fijada por el peso, y éste habría que disponerlo de modo que desde el principio hubiera un equilibrio longitudinal y transversal, pues los elementos sustentantes en primera fase tenían gran deformabilidad en ambas direcciones. Pensamos en un principio cargar los cables con pesos auxiliares representantes del peso definitivo, para que adquirieran la forma y tuvieran fijeza durante el hormigonado, sin más que ir descolgando pesos a medida que progresaba la superficie y quedaban materializados de hormigón. Pero, en definitiva, recurrimos a equilibrios parciales, hormigonando por fajas longitudinales continuas empleando un gran número de obreros que atacaban por varios tajos.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es





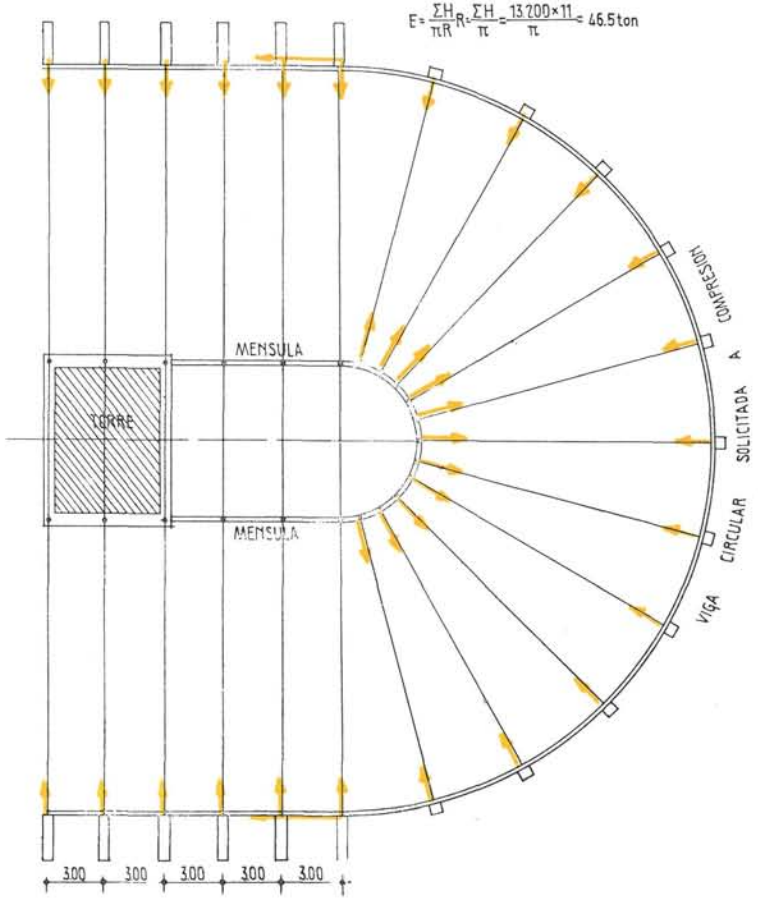
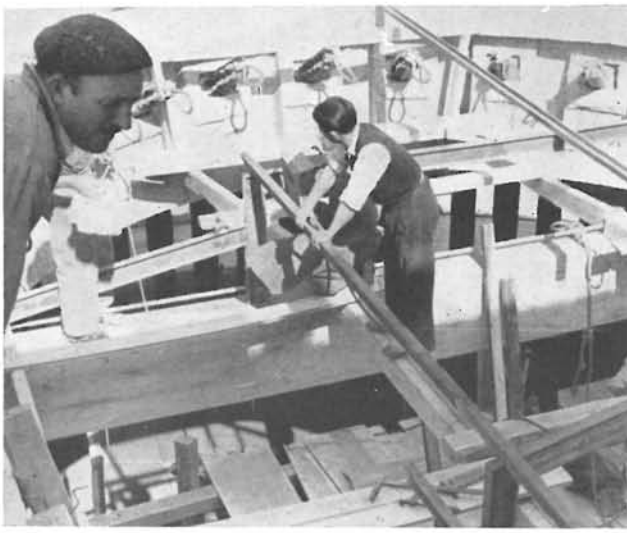


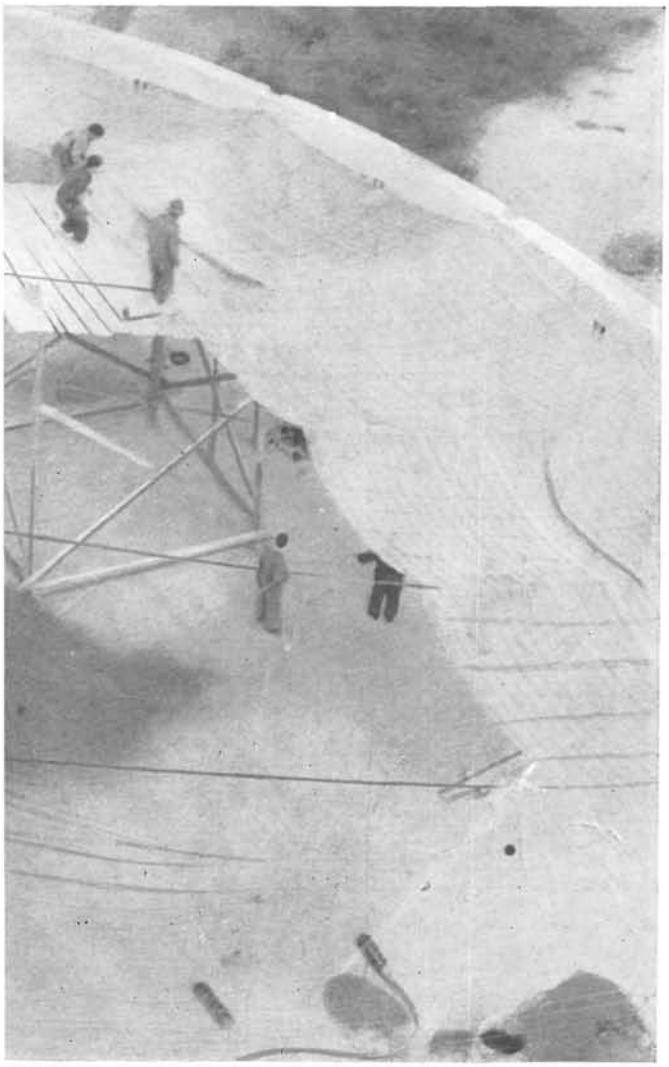
gráfico de esfuerzos

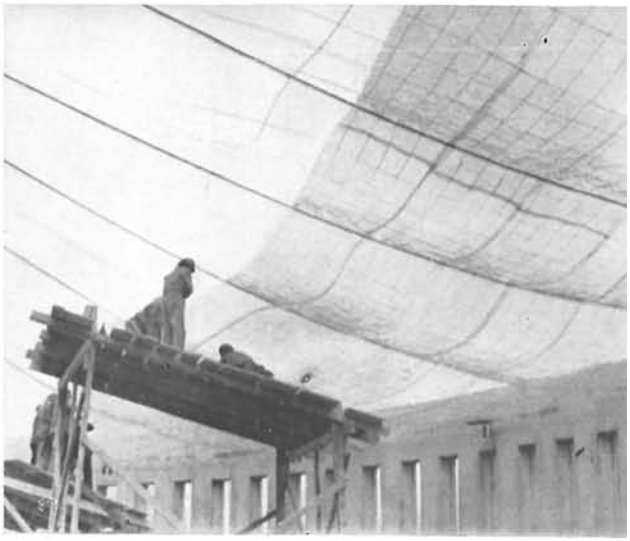
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)

http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

detalles de obra







Fotografía: M. GARCIA MOYA

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)

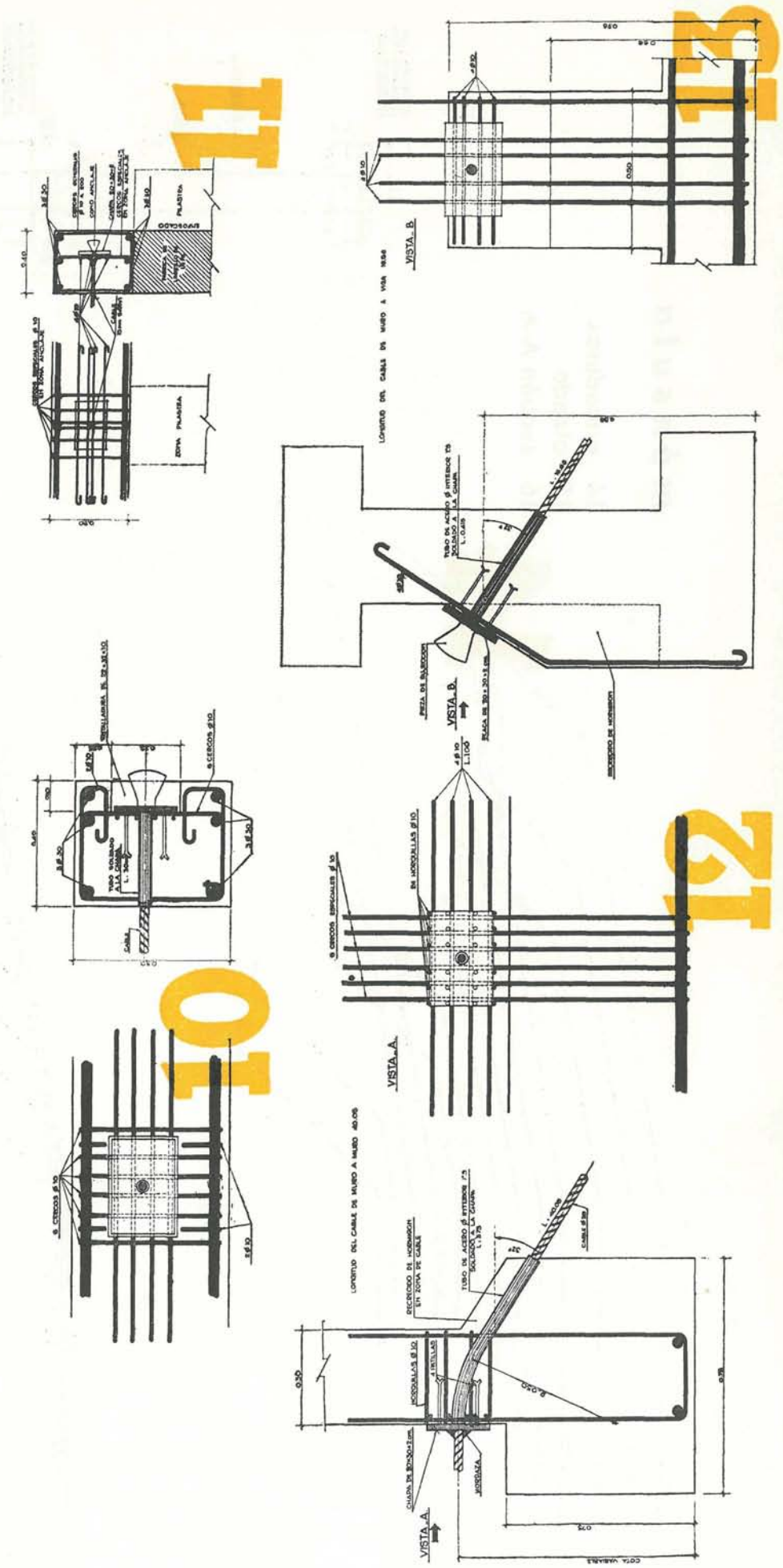
detalles de anclajes

Viga de contorno

10. Anclaje en zona recta.
11. Anclaje en zona curva.

Ménsula

12. Anclaje en zona recta.
13. Anclaje en zona curva.



Se hormigonó primero una faja en el contorno inferior, junto a los muros, a continuación otra en zona intermedia y, desde entonces, se procedió por sectores, avanzando de arriba abajo. Todo el andamiaje para sostener los obreros y transportar el hormigón tenía que hacerse sin transmitir peso accidental a la cubierta en ninguna de sus fases.

Para conseguir esto se recurrió a utilizar como estructura provisional otra red de cables, sujetos a anillos que se habían dejado en la cabeza superior de la ménsula y en la coronación del muro. Estos cables tenían flecha mucho menor que los de la cubierta y permitían montar sobre ellos andenes transversales y longitudinales con tablones que sustentaban a los operacios. Estos, en fila india, se pasaban los calderos de hormigón servidos desde el techo de la ménsula.

Casi toda la cubierta cargó sobre la ménsula cuando ésta se apoyaba todavía en el andamio. Existía, por este motivo, un problema importante de descimbrado, puesto que iba a entrar en acción toda la carga permanente de una vez. Pero este problema se resolvió de un modo natural, no sin una falsa alarma en la obra, cediendo los puntales del andamio cuando la cubierta estaba en sus dos terceras partes.

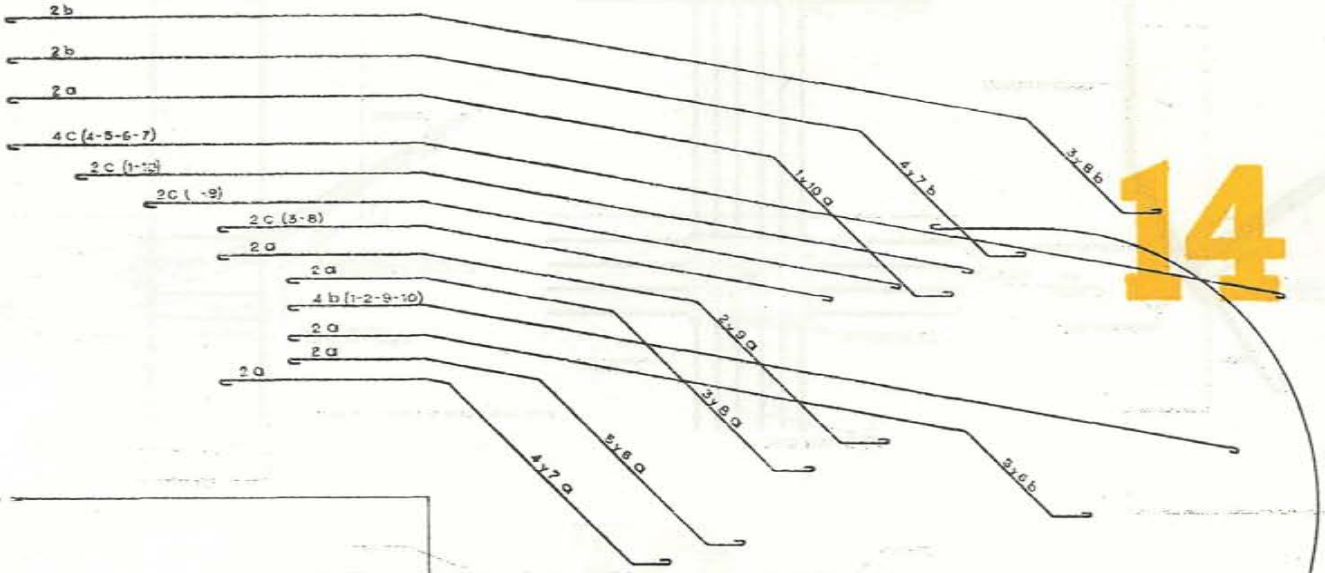
En el extendido de la tela tectinada, la cubierta permitía ya el paso de obreros, y éstos subían y bajaban por las zonas de gran pendiente mediante cuerdas amarradas en los ganchos de la ménsula. Estos mismos ganchos sirvieron para dar la pintura superior y reparar los desperfectos.

La obra comenzó el 15 de marzo de 1953 y se terminó el día 12 de mayo. La inauguración de la Exposición se hizo con toda solemnidad en la festividad de San Isidro. En el proyecto y en la ejecución de la obra, colaboró el Ingeniero de Caminos don Ignacio Vivanco.

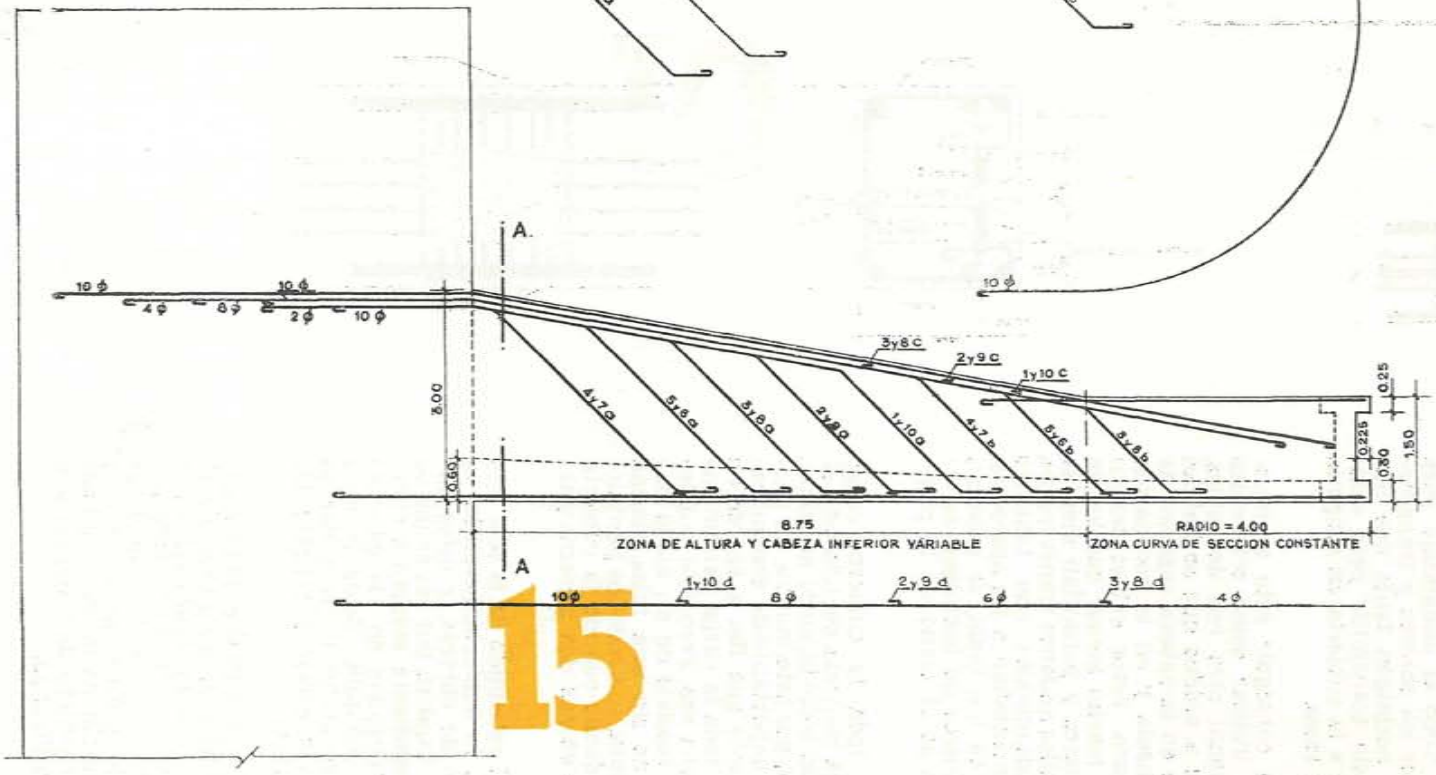
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)

ménsula

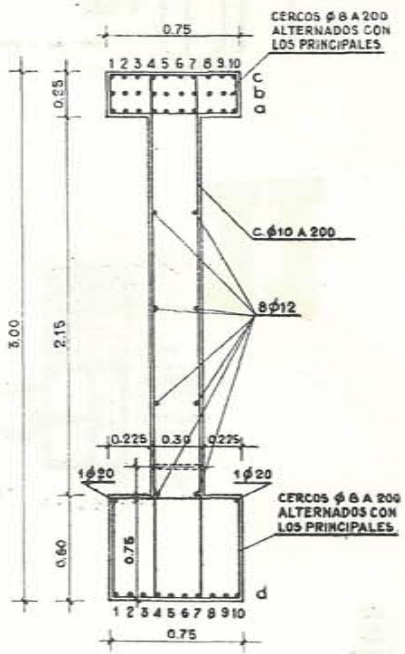
14 armaduras
15 alzado
16 sección A-A



14



15



NOTA: TODOS LOS ϕ a-b-c-d SON ϕ 25.
LOS EMPALMES SERAN POR SOLDADURA
EN PUNTA DE DIAMANTE.

16

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es