

ALGUNAS OBRAS DE EDUARDO TORROJA

Como homenaje al insigne maestro, incluimos a continuación unas pocas fotografías de algunas de sus obras. No hemos pretendido recoger toda su inmensa labor creadora, que está repartida en cientos de proyectos, sino algunas de sus concepciones más originales y en las que se puede apreciar parte de su aportación al progreso de las estructuras.

La mayoría de las obras elegidas han sido ampliamente descritas en revistas técnicas. Por ello, hemos incluido sólo un pequeño resumen de sus características más destacadas.

En esta ocasión, y por tratarse de un homenaje a nuestro querido Torroja, se han silenciado los nombres de sus colaboradores y de las Empresas constructoras que realizaron las obras.

Acueducto de Tempul. 1925.

El abastecimiento de aguas de Jerez de la Frontera incluía la construcción de un acueducto sobre el río Guadalete. En el primitivo proyecto, el acueducto estaba formado por 14 tramos de 20 m. de longitud, simplemente apoyados sobre pilas. En la mayor parte de los tramos, el río cubría el terreno de cimentación únicamente durante los períodos de crecida, mientras que en tres de las luces situadas en el curso normal del agua, las pilas debían cimentarse a 11 m. de profundidad.

Ante el temor de que las cimentaciones de las dos pilas situadas en el cauce pudieran ser socavadas, y con el fin de evitar, por otra parte, los difíciles tra-

bajos de cimentación necesarios, se sometió a la Sociedad propietaria un proyecto modificado, en el que se respetaba la solución adoptada para el acueducto en la mayor parte de su longitud, y los tramos simplemente apoyados correspondientes al cauce, se sustituían por otros del tipo incluido en la figura 1.^a.

En 1926, este proyecto presentaba dos dificultades: primera, que la técnica del pretensado no ofrecía experiencia para construir voladizos de 20 m. de luz sin el tirante superior, y la segunda, que la construcción de este tirante en una sola pieza de 42 m. de longitud era difícil, ya que la técnica de la soldadura no estaba lo suficientemente avanzada.

En consecuencia, el autor del proyecto decidió utilizar para el tirante cables de acero de alta resis-

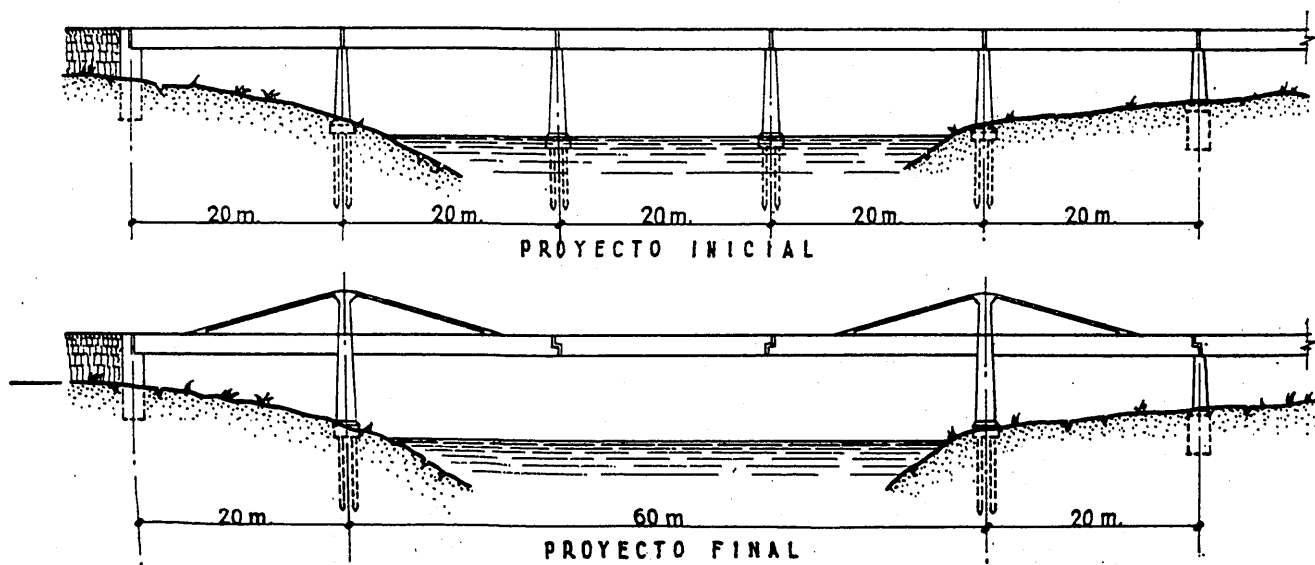


Fig. 1.^a — Acueducto de Tempul.

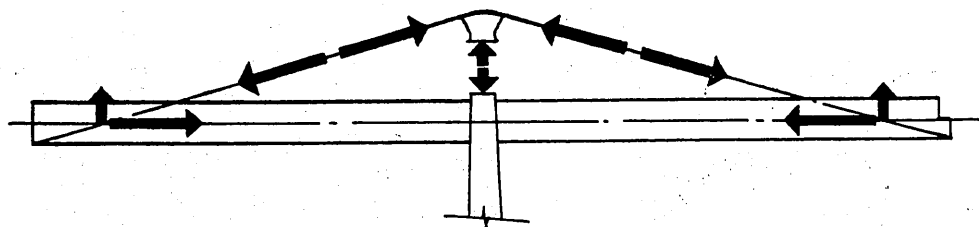


Fig. 2.ª — Acueducto de Tempul. Tesado de los cables.

tencia. De esta manera, los tirantes podrían fácilmente realizarse de una pieza y transportarlos convenientemente enrollados. La mayor dificultad se presentaba al valorar la influencia del considerable alargamiento que tendrían los cables al estar sometidos a la carga de trabajo. La solución adoptada que se indica en la

tencia adecuada, se elevaron los puntos de apoyo de los cables hasta que los extremos de las ménsulas se despegaron del encofrado, que de esta manera fué fácilmente retirado. Después de cargados los tramos, fueron retesados los cables y hormigonados los apoyos. Posteriormente se quitaron los gatos y hormigó-

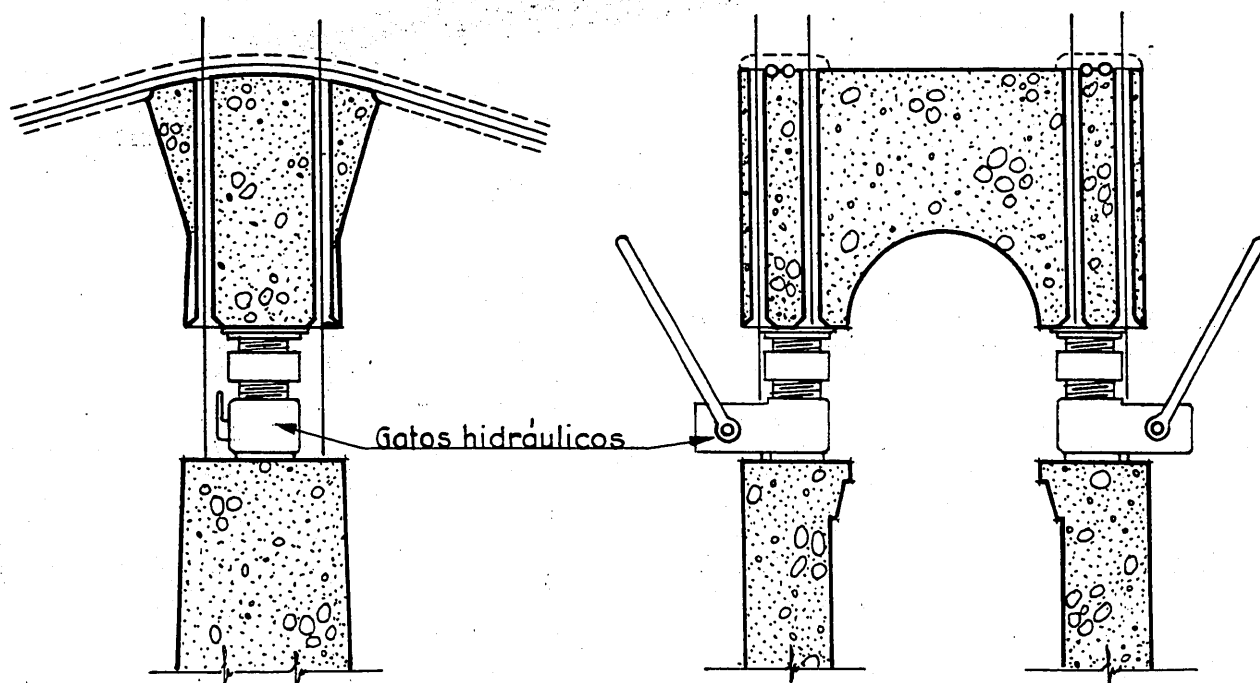


Fig. 3.ª — Acueducto de Tempul. Gatos para dar el postesado a los cables.

figura 2.ª consistió en anclar los extremos de los cables, dejándolos embebidos en el hormigón de las vigas y apoyados independientemente en su parte central en los extremos de las pilas. Estos apoyos podían elevarse por medio de gatos hidráulicos colocados en la forma indicada en la figura 3.ª. Por este procedimiento se tesaban los cables hasta que se alcanzaba la tensión de trabajo prevista.

Cuando el hormigón de las vigas alcanzó la resis-

nados los huecos que habían dejado éstos. Para evitar la corrosión de los cables se revistieron éstos posteriormente con hormigón. En la figura 4.ª puede verse una parte de la obra terminada.

Si se considera la época en que fué realizada la obra, se nos muestra con toda claridad el autor del proyecto como un auténtico precursor del hormigón pretensado.



Fig. 4.^a — Acueducto de Tempul, terminado. Vista parcial.

Cajones para la cimentación por aire comprimido del Puente de Sancti-Petri. 1926.

En este proyecto, uno de los primeros de Torreja, se pone ya de manifiesto la facilidad creadora del gran maestro.

Los cajones, construídos en una ladera, se transportaron por flotación hasta el lugar de su ubicación, fondeándolos con lastre de agua para continuar después su hinca por aire comprimido.

En estas condiciones, fué necesario reducir al mínimo el peso de la estructura, lo que al mismo tiempo reduciría su coste, y así, eligió el cajón circular con doble pared, cada una de ellas en forma de hiperboloide de revolución.

La pared exterior, en hiperboloide, presenta ventajas indudables, ya que reduce el rozamiento con el terreno durante la hinca, al presentar mayor diámetro en su parte inferior. La forma de la pared interior, además de dar gran amplitud a la cámara de trabajo, no presenta el inconveniente de los cajones tradicionales con techo plano si se produce un hundimiento demasiado rápido durante su hinca en terrenos san-
gosos, momento en que se reduce peligrosamente la altura de la cámara de trabajo.

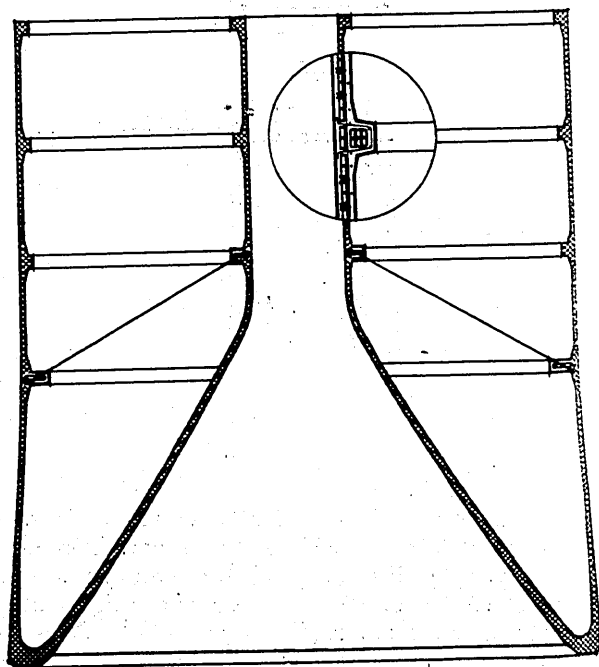


Fig. 5.^a — Cajones para la cimentación del puente de Sancti Petri. Sección.

Las paredes tienen un espesor total de 7 cm. y están constituidas por sencillos tabiques de rasilla ligeramente armada, y enfoscados por las dos caras,

dispuso un anillo de rigidización interior que se une mediante tirantes con tensores, y en forma análoga a los radios de una bicicleta, a otro anillo situado en

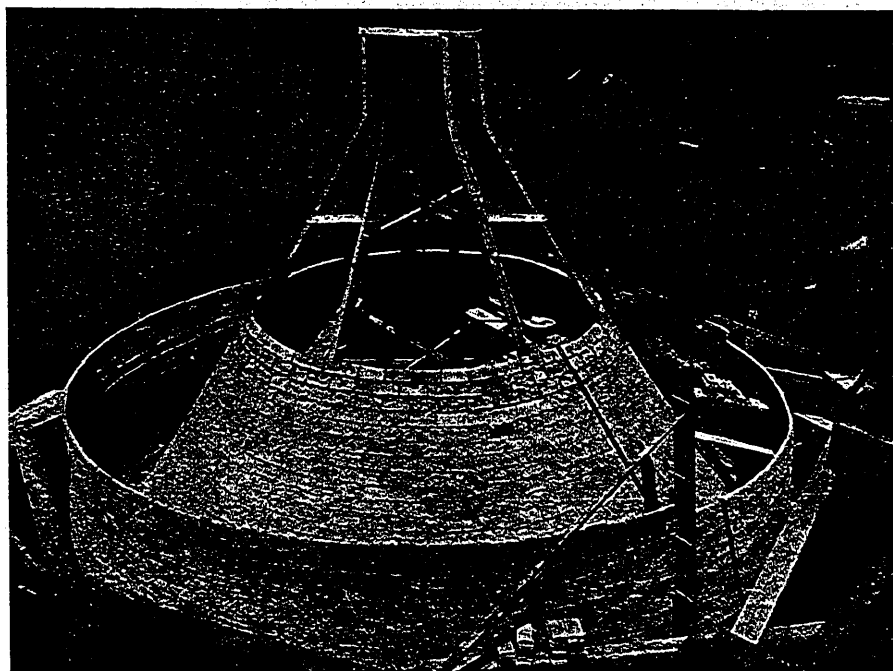


Fig. 6.^a — Construcción de uno de los cajones para el puente de Sancti-Petri.



Fig. 7.^a — Cajón fondeado, para la cimentación del puente de Sancti-Petri.

con lo que resultaron muy económicos al no necesitar la utilización de encofrado. El diámetro inferior del cajón fué de 7,50 m.

Para asegurar la pared exterior contra el pandeo,

la pared interior, a la altura en que empieza la chimenea del cajón.

El espacio entre las dos paredes se rellenó de hormigón.

Cubierta del mercado de Algeciras. 1933.

Esta cubierta es un casquete esférico laminar de hormigón armado de 44,20 m. de radio y la cúpula tiene un diámetro de 47,60 m. El espesor de la lámina es de 9 cm.

el anillo, se hormigonó para evitar la corrosión del acero.

En el centro de la cúpula, un gran lucernario también octogonal, de 10 m. de diagonal mayor, da iluminación al interior.

La cubierta se apoya en ocho soportes, y entre

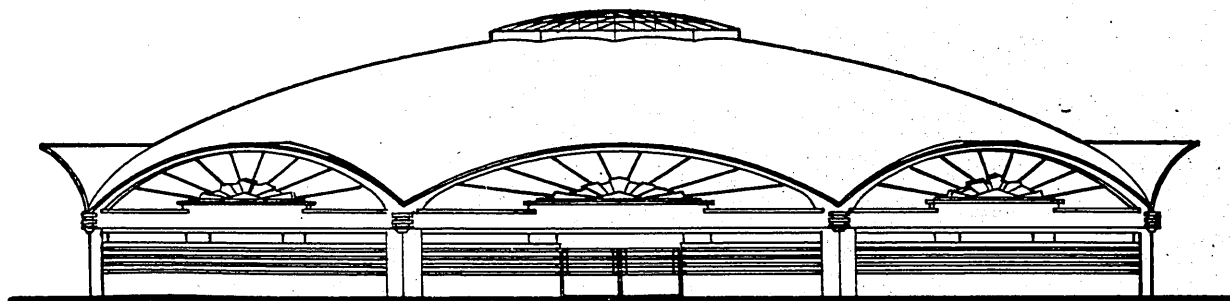


Fig. 8.ª — Mercado de Algeciras. Alzado.

Para absorber los empujes horizontales en los soportes, Torroja dispuso un anillo octogonal formado por 16 redondos de 30 mm. de diámetro, con sus correspondientes tensores. Después de hormigonada

cada dos de estos soportes, el casquete esférico está cortado por ocho láminas cilíndricas, que al mismo tiempo que dan rigidez a la cubierta canalizan los esfuerzos principales a los soportes.



Fig. 9.ª — Mercado de Algeciras, en construcción.

la cubierta y antes de descimbrar, se puso en carga el anillo, lo que al mismo tiempo que permitió un descimbrado fácil, ya que la lámina se separó del encofrado, redujo considerablemente los momentos de flexión secundarios en la lámina. Después de tesado

Esta construcción, realizada en el año 1933, tiene tanta más importancia y valora las excepcionales dotes de proyectista de su autor, si se tiene en cuenta que en la Exposición de Bruselas del año 1958, el pabellón de las Naciones Unidas, realizado como exhibición estructural y al que fueron dedicados merecidos

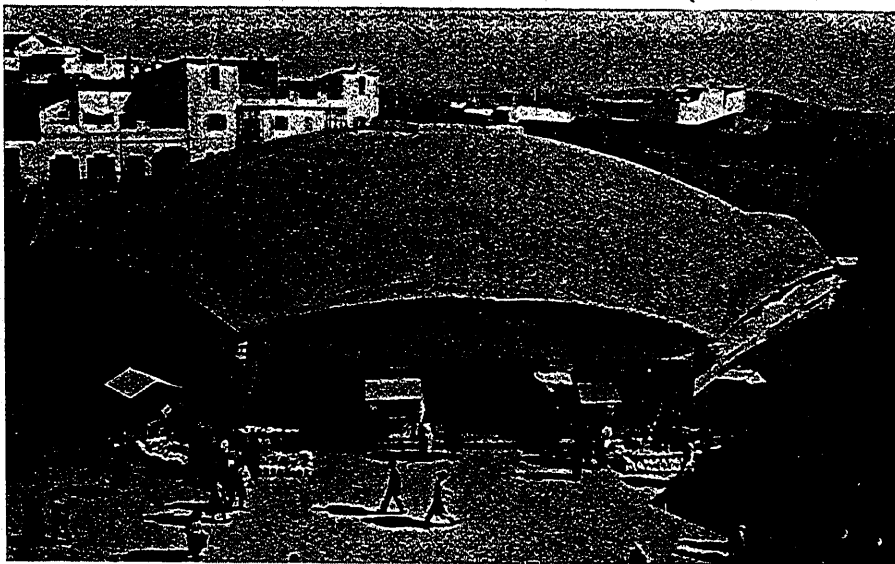


Fig. 10. — Mercado de Algeciras, terminado.

ologios, estaba constituido por una lámina esférica de 50 m. de diámetro y 8 cm. de espesor, apoyada en el terreno en seis puntos, no presentando ninguna discontinuidad en su superficie, como ocurre con la cubierta de Algeciras y su gran lucernario. Entre una y otra construcción, media un cuarto de siglo.

Cubierta del Frontón Recoletos. 1935.

Cubierta laminar cilíndrica, de 55 m. de luz y 32,50 de ancho. La directriz estaba formada por dos

arcos de circunferencia de 12,50 y 6,40 m. de radio, con encuentro ortogonal formando una gaviota disimétrica.

La lámina de hormigón armado, con 8 cm. de espesor, presentaba dos grandes lucernarios longitudinales en cada uno de los lóbulos y en la cara Norte de los mismos, formados por una triangulación, también de hormigón armado, que transmitía los esfuerzos laminares a la zona continua de la lámina.

El estado tensional de la estructura se determinó utilizando los últimos avances del estudio matemá-

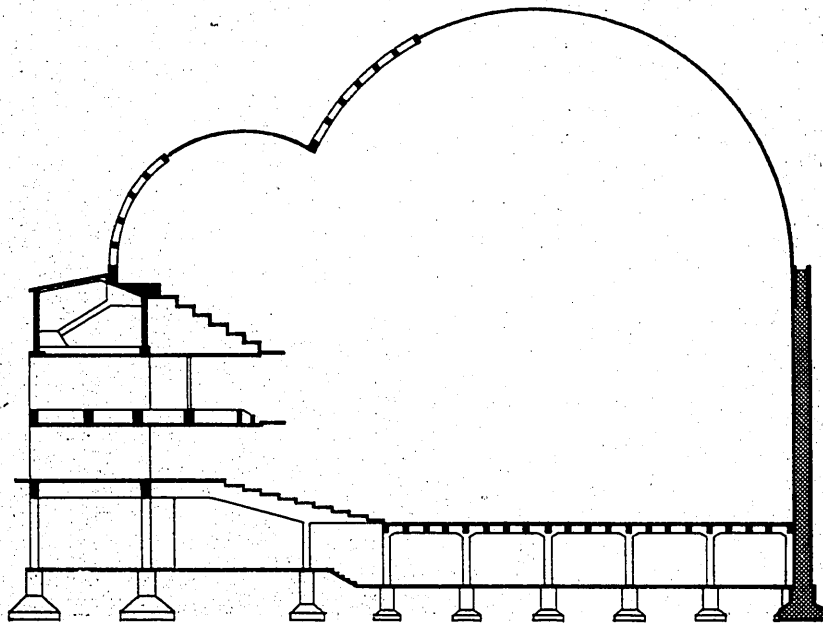


Fig. 11. — Frontón Recoletos. Esquema de la sección transversal.

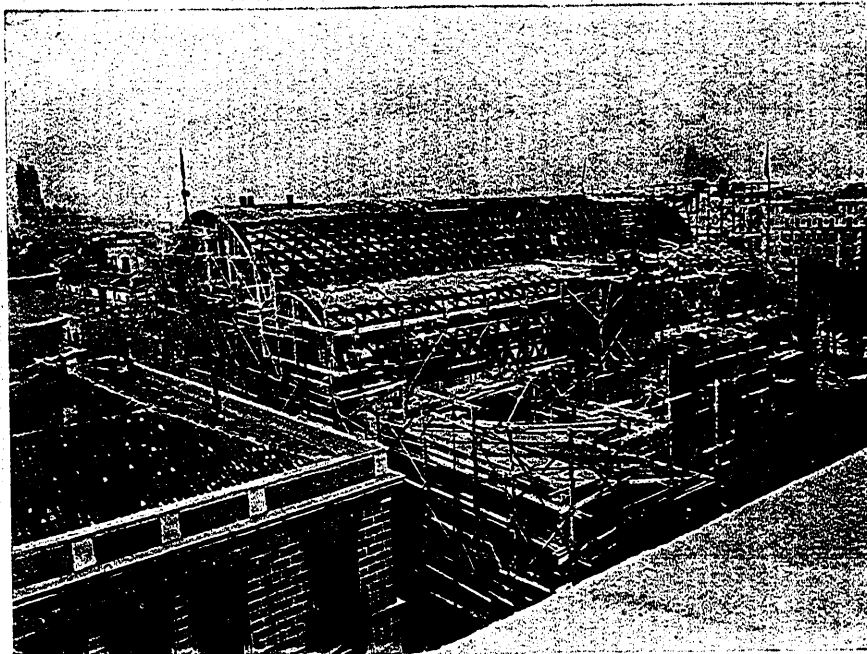


Fig. 12. — Frontón Recoletos, en construcción.

tico de las láminas circulares, mediante un proceso operatorio largo y complicado, para después comprobar su comportamiento resistente mediante el ensayo en modelo reducido de la estructura.

Para hacerse idea de lo que representó esta obra en la técnica de las estructuras laminares, bastará

señalar que por primera vez en España se aplicó todo el aparato matemático necesario al cálculo de una estructura de este tipo, y que fué y sigue siendo récord mundial de luz en este tipo de láminas.

La cubierta, terminada poco antes de iniciarse la guerra, fué seriamente dañada por los bombardeos,

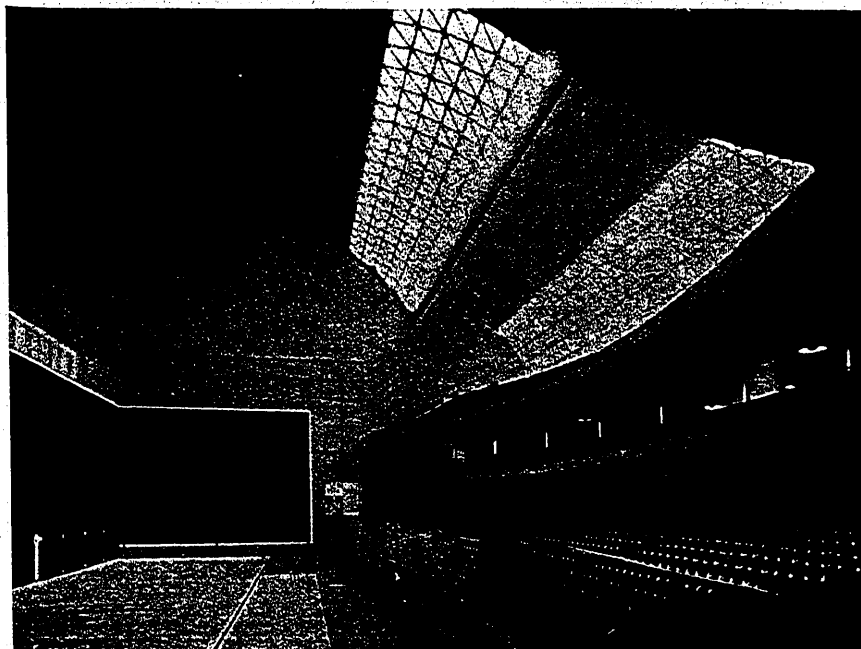


Fig. 13. — Frontón Recoletos. Vista interior.

que al producir unos esfuerzos de sentido contrario a los que sirvieron para proyectarla, hicieron que se levantara de los apoyos. Cuando se estaba preparando el andamiaje para su reparación, una racha de viento completó la obra destructora de los obuses, derrumbándola.

El estudio de la comprobación y comportamiento de esta estructura laminar fué objeto de una Memoria premiada por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid.

Cubierta del Hipódromo de Zarzuela, de Madrid, 1935.

Esta cubierta laminar tiene un vuelo de 12,60 m. y está formada por hiperboloides de una hoja de eje horizontal, secantes entre sí, que se apoyan en pilares distanciados 5 m. y sujetos por tirantes posteriores a igual separación, anclados a la cubierta de la sala de apuestas inferior, que vuela en sentido contrario y que proporciona el necesario contrapeso a la cubierta. El espesor de la lámina es de 5 cm., aumentando su espesor en la zona próxima al apoyo con objeto de resistir la carga concentrada transmitida a los soportes.

Proyectada para un concurso, fué construída el año 1935, y ante la dificultad matemática de un cálculo riguroso, la gran intuición y conocimiento del trabajo resistente de las estructuras que tenía Torroja, le permitió dimensionar la cubierta con todas las armaduras, para proceder a continuación a ensayar un lóbulo a tamaño natural. Los resultados del ensayo no pudieron ser más satisfactorios y demostraron el correcto dimensionado de todos sus elementos.

Durante nuestra Guerra de Liberación estuvo sometida a bombardeos y fué perforada en más de

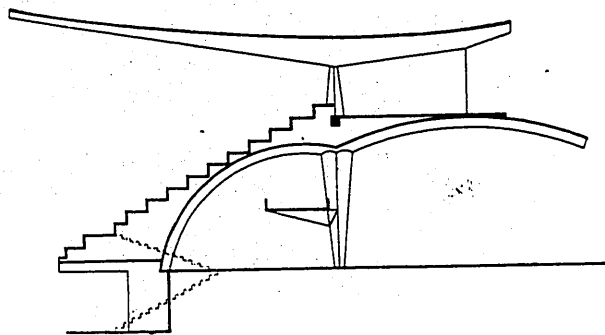


Fig. 14. — Hipódromo de Zarzuela. Esquema de la sección transversal.



Fig. 15. — Hipódromo de Zarzuela. Ensayo de un elemento.

Esta estructura laminar, una de las más conocidas del malogrado maestro, ha sido y sigue siendo admiración de todos los técnicos que la han visitado, siendo muy frecuente el caso de conocidos especialistas extranjeros que vienen a España con el objeto principal de visitarla.

25 sitios, en algunos de los cuales las dimensiones de las perforaciones hicieron temer por su total destrucción; no obstante, al finalizar la guerra fué reparada y el reconocimiento efectuado en la estructura demostró que su funcionamiento como conjunto seguía siendo perfecto.

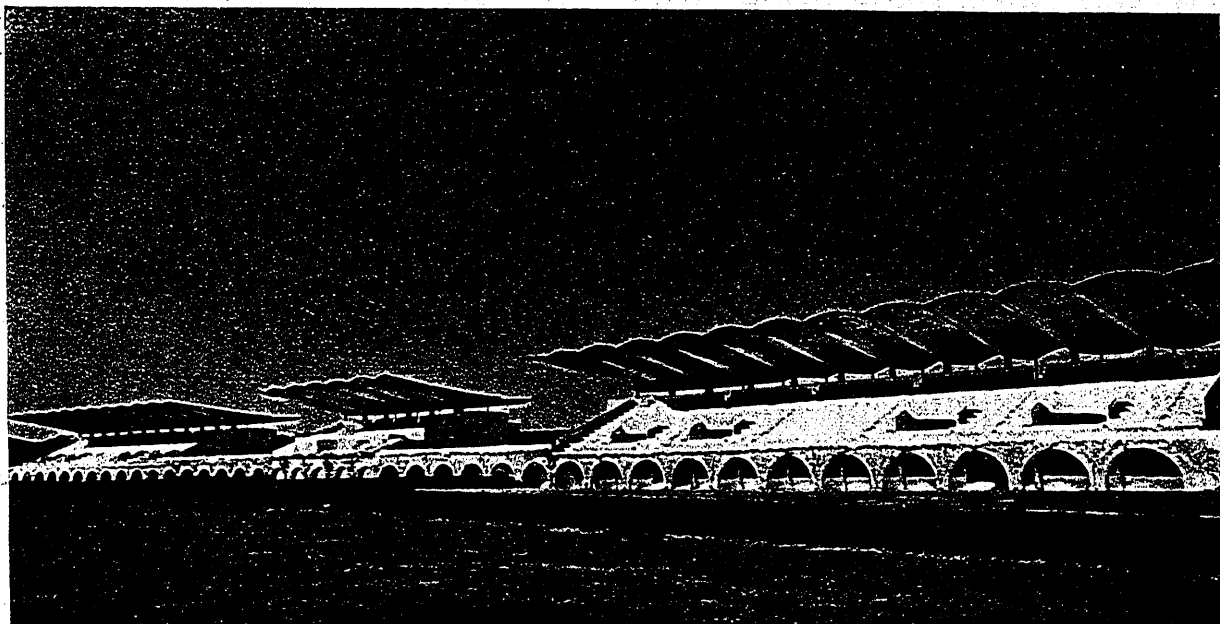


Fig. 16. — Vista de la cubierta del Hipódromo de Zarzuela.

El arco del viaducto Martín Gil, sobre el Esla, 1939.

Cuando comenzó nuestra guerra civil, ya se habían construido los accesos de este viaducto, así como la

cimbra de madera sobre la que se hormigonaría el gran arco central. Interrumpidos los trabajos durante tres años, el duro clima de la meseta castellano-leonesa impidió el uso posterior de esta cimbra.

El arco, de 208 m. de luz y 52 de flecha, hacía



Fig. 17. — Cimbra del viaducto sobre el Esla.

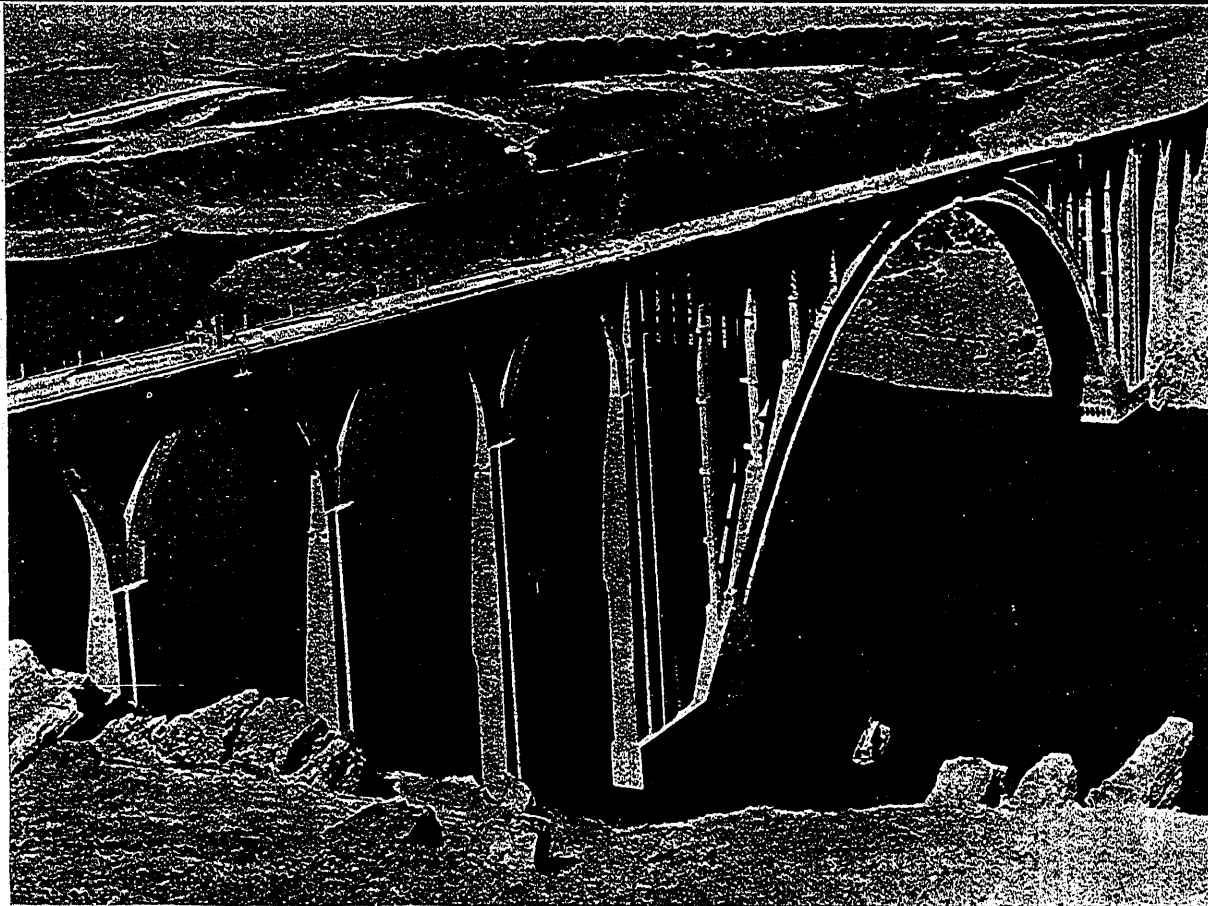


Fig. 18. — El viaducto sobre el Esla, terminado.

aconsejable la utilización de una cimbra arqueada, metálica, que quedase embebida en la masa del hormigón. Esta solución constructiva modificaba notablemente el proyecto del arco, que al ser nuevamente dimensionado, debería presentar (como homenaje al fallecido Ingeniero Martín Gil) la misma apariencia que tenía en el proyecto primitivo del viaducto.

Los detalles del proyecto y construcción de este gran arco de hormigón han sido recogidos en múltiples revistas técnicas, y muy especialmente en esta REVISTA. En aquella época, el arco fué *record* mundial en los de su clase.

Acueducto de Alloz. 1939.

La preocupación constante de Torroja por buscar la solución más económica a cada problema, fué quizá el factor más importante al que se deben la gran cantidad de estructuras originales y eminentemente funcionales creadas por el gran maestro.

Uno de los ejemplos más característicos es el acueducto de Alloz, formado por una cuba laminar autorresistente de hormigón armado, apoyada cada 20 m. en unos soportes en cruz, que en su parte superior constituyen el marco de rigidez de la lámina. La cuba es una lámina cilíndrica que tiene por directriz una

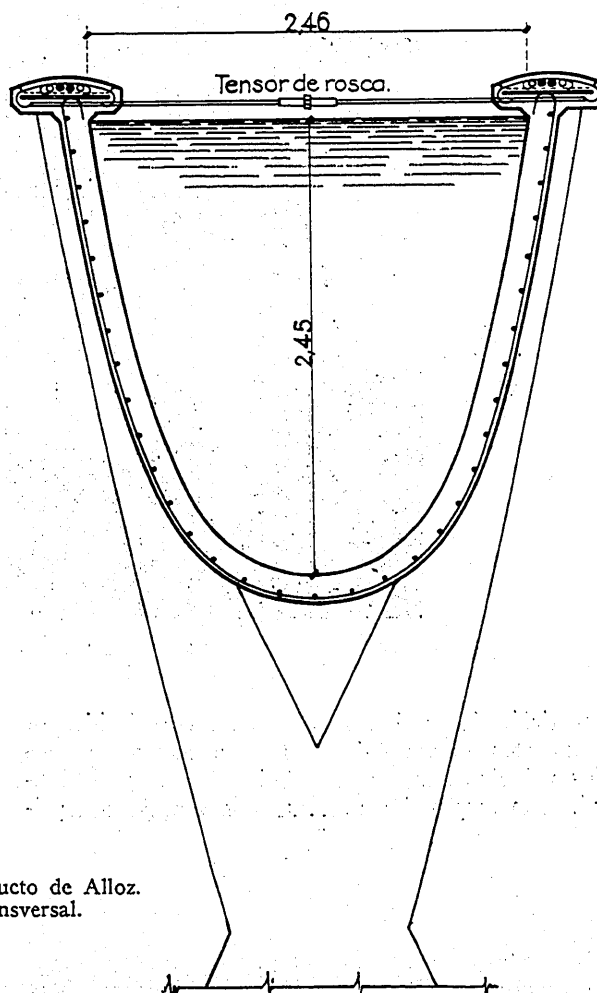


Fig. 19. — Acueducto de Alloz. Sección transversal.

parábola de tercer grado, lo que proporciona una buena sección desde el punto de vista hidráulico, al igual que resistente.

Longitudinalmente, el acueducto está formado por

mera, reducir el número de juntas, y la segunda y más importante, conseguir que las tensiones de tracción a lo largo del acueducto y correspondientes al trabajo longitudinal de la lámina, estén siempre situadas en

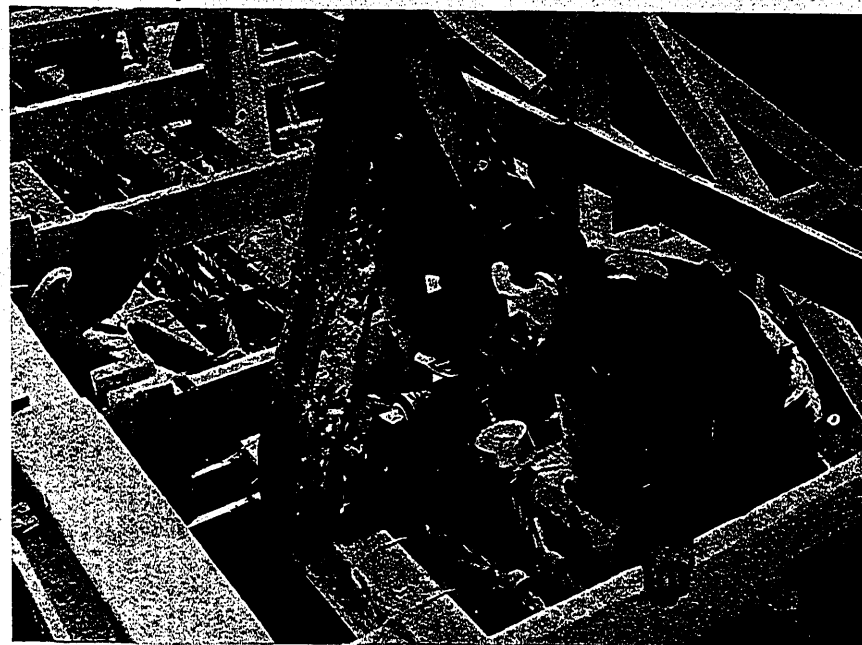


Fig. 20. — Acueducto de Alloz. Gatos para el tesado de los cables.



Fig. 21. — Acueducto de Alloz, terminado.

la repetición de un elemento de 40 m., constituido por dos soportes, el vano de 20 m. que apoya en ellos y dos voladizos, uno a cada lado, de 10 m. de longitud. Esta disposición presenta dos ventajas: la pri-

la parte superior de la cuba, donde dispuso dos cabezas longitudinales de rigidez.

La estanqueidad del acueducto se aseguró mediante una bicompresión de todo el hormigón de la

cara de la cuba en contacto con el agua. Longitudinalmente consiguió esta compresión, en toda la sección, mediante un postensado de cuatro cables en cada cabeza, que dejó anclados previamente en el hormigón de la cuba. Transversalmente, con unos rondos con tensores de rosca que unían las dos cabezas y a los que dió tensión produciendo momentos flectores que comprimen toda la cara interior de la cuba.

La puesta en tensión de los cables longitudinales se hizo mediante un dispositivo original que, con un gato, separaba los cables por parejas, dejándolos en su posición mediante codales. En este sentido se puede considerar esta obra como precursora del hormigón postensado mediante la utilización de cables.

Puente del Tordera. 1939.

El viejo puente del Tordera, cerca de Barcelona, fué destruído durante nuestra Guerra de Liberación.

la unión y mutua dependencia de ambos materiales. En el puente del Tordera, cuya forma puede verse en la figura 22, el autor utilizó por primera vez esta técnica en luces relativamente grandes. El desarrollo de este tipo de estructuras no ha podido progresar hasta que la técnica de la soldadura al arco ha permitido realizar uniones de perfiles metálicos lo suficientemente compactas para que sean embebidas en el hormigón sin romperlo. Como el hormigón no es tan resistente como el acero, las uniones entre estos dos materiales tienen que ser realizadas de una forma especial para que las cargas en el acero se distribuyan en una zona suficientemente amplia de hormigón. Al mismo tiempo, el hormigón tiene que ser reforzado en aquellas zonas de fuertes compresiones locales.

Además de las tensiones secundarias debidas a la retracción del hormigón y a la diferente deformabilidad de ambos materiales, el autor estudió la influencia de las diferencias de temperatura de las partes de acero y de hormigón expuestas al sol. Las conclu-

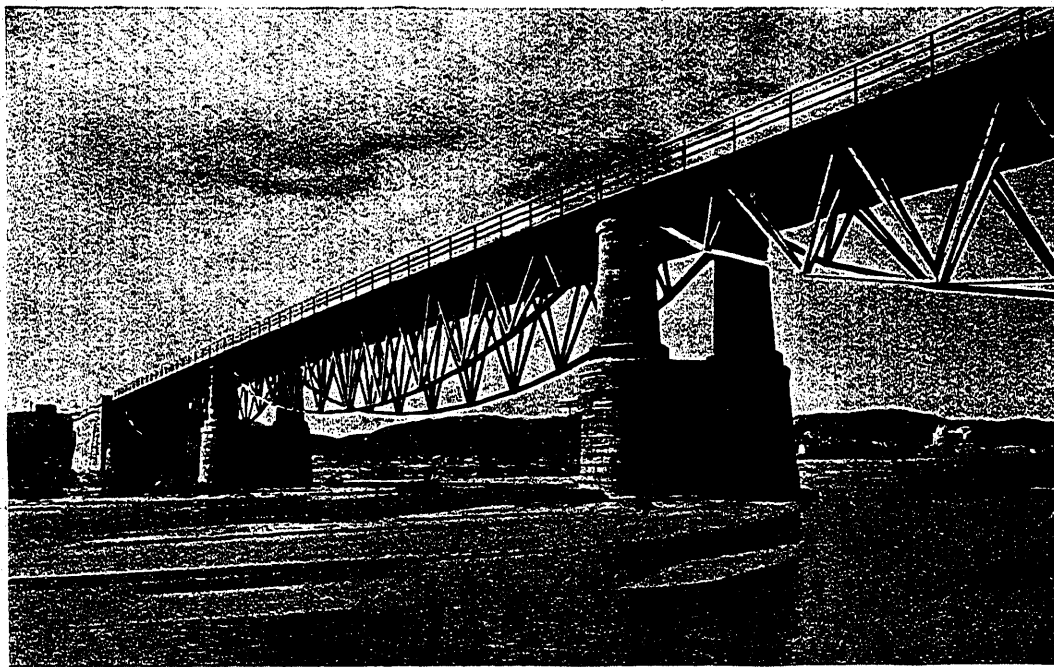


Fig. 22. — Vista del puente sobre el río Tordera.

Como las pilas permanecieron en buenas condiciones, fué necesario proyectar de nuevo los tres tramos independientes (uno central, de 55 m., y los dos laterales, de 46 m.).

En los puentes de tablero superior, puede imaginarse que el tablero, si es de hormigón, actúa como cabeza de compresión de cada tramo, mientras que las tracciones son resistidas por una estructura metálica. Se origina así una estructura mixta de hormigón y acero, que plantea problemas importantes en

siones obtenidas fueron comprobadas en obra una vez terminado el puente.

El concienzudo estudio realizado por el autor en esta obra y en otras estructuras mixtas por él proyectadas posteriormente, se recoge en su publicación titulada "Las estructuras mixtas y la soldadura eléctrica", que fué galardonada con el primer premio del Concurso Internacional organizado por la "Elektriska Svetsnings", celebrado en 1946 en la Universidad de Gotemburgo.

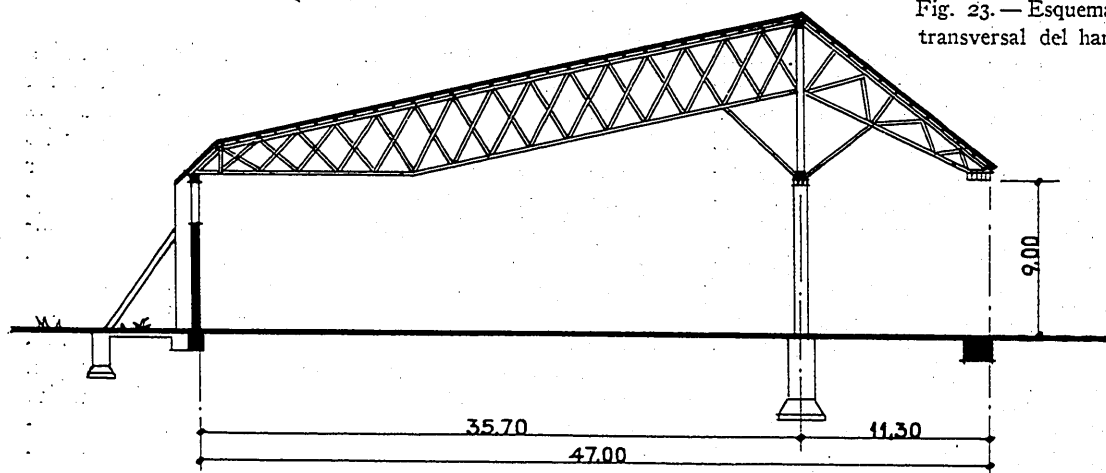


Fig. 23. — Esquema de la sección transversal del hangar de Torrejón.

Hangar en Torrejón. 1942.

Con este proyecto, el Profesor Torroja ganó el primer premio del concurso convocado por el I.N.T.A. para cubrir una superficie rectangular de 180×47 m., uno de cuyos lados mayores debería quedar diáfano o poderse cerrar con puertas correderas. Próximo a este lado libre podría colocarse como máximo un soporte intermedio que debería estar alejado de la puerta por lo menos 11 m. La cubierta debería soportar, además de su propio peso, una sobrecarga de nieve y el empuje del viento, en este caso factor de gran importancia.

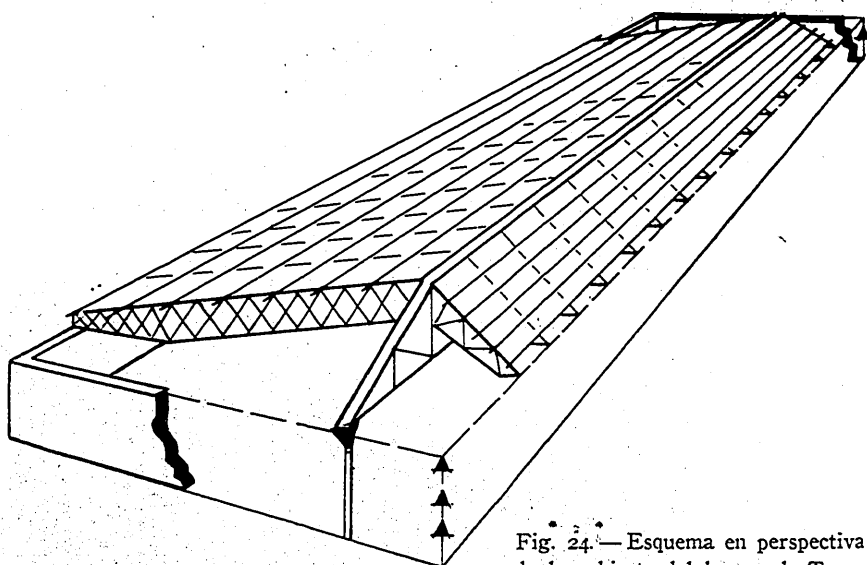


Fig. 24. — Esquema en perspectiva de la cubierta del hangar de Torrejón.

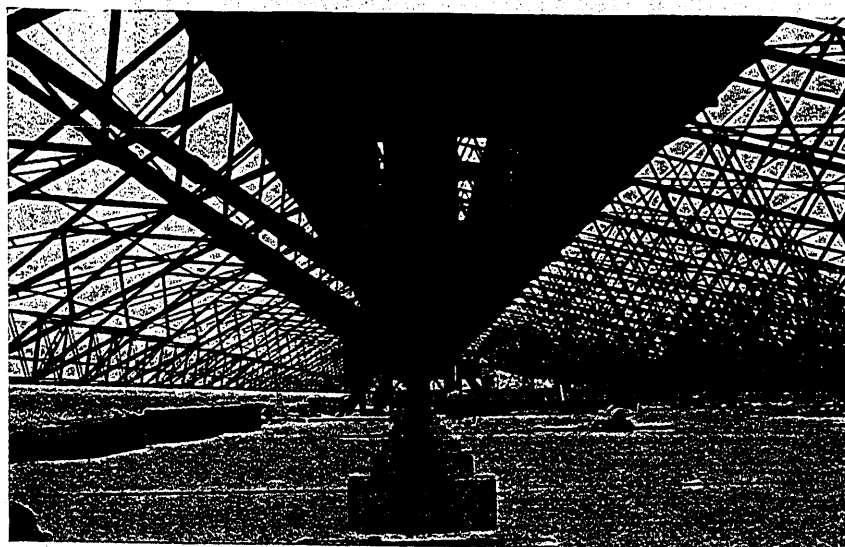


Fig. 25. — Hangar de Torrejón. Elevación de la cubierta.

La solución adoptada fué un record de economía en peso de acero por metro cuadrado de planta, dadas sus considerables dimensiones. La estructura está formada por una gran viga continua de dos vanos cada uno (de 90 metros) colocada paralelamente al lado abierto y a una distancia aproximada de 17 metros de las puertas correderas. Sobre esta viga se apoyan las vigas transversales que han de soportar el material de cubrición.

El éxito se logró con una perfecta compenetración de la forma estructural con el método previsto para su ejecución. La conveniente distribución de apoyos y arriostramientos, el estudio de las pendientes mínimas admisibles en los diversos faldones de la cubierta (para disminuir el efecto del viento), etc.,

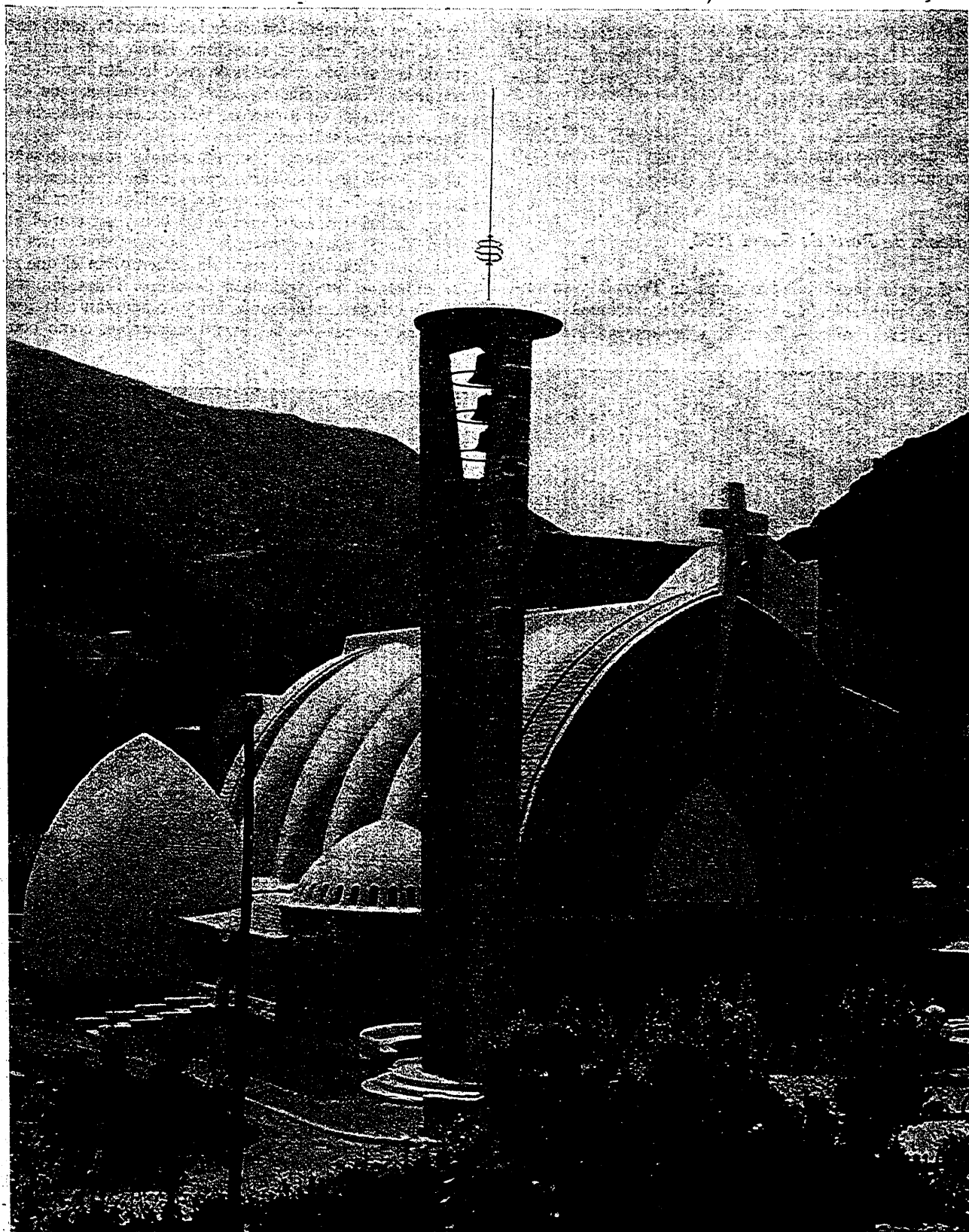


Fig. 26. — Iglesia de Pont de Suert. Vista exterior.

se completó con un detallado plan de construcción que permitió la realización de toda la estructura metálica al nivel del suelo, y luego, elevarla a su posición definitiva por medio de gatos.

Su resultado fué tan satisfactorio, que tres años después de terminado este hangar, se construyó otro casi idéntico en Barajas.

Iglesia de Pont de Suert 1952.

La gran sensibilidad artística de Torroja y su amplio espíritu, abierto a todas las colaboraciones, le llevaba a crear nuevas formas, a las que adaptaba de

permiten apreciar la forma de la estructura, tanto desde el interior como al aire libre. En la parte izquierda de la nave y cerca de la entrada hay un baptisterio circular. Una capilla especial, cubierta por una cúpula apuntada, en forma de bellota, está dedicada al Santísimo Sacramento.

Tanto las bóvedas como la cúpula, son originales en su forma y en su estructura. Están formadas por tres capas de ladrillos huecos sencillos colocados a tope. La primera capa está unida con yeso, con el fin de utilizarla como encofrado. Las otras dos capas se han construido con mortero de cemento, en el que se ha embebido una armadura de acero. Estas láminas son de construcción económica y se adaptan a la forma deseada aunque la curvatura cambie, como ocu-

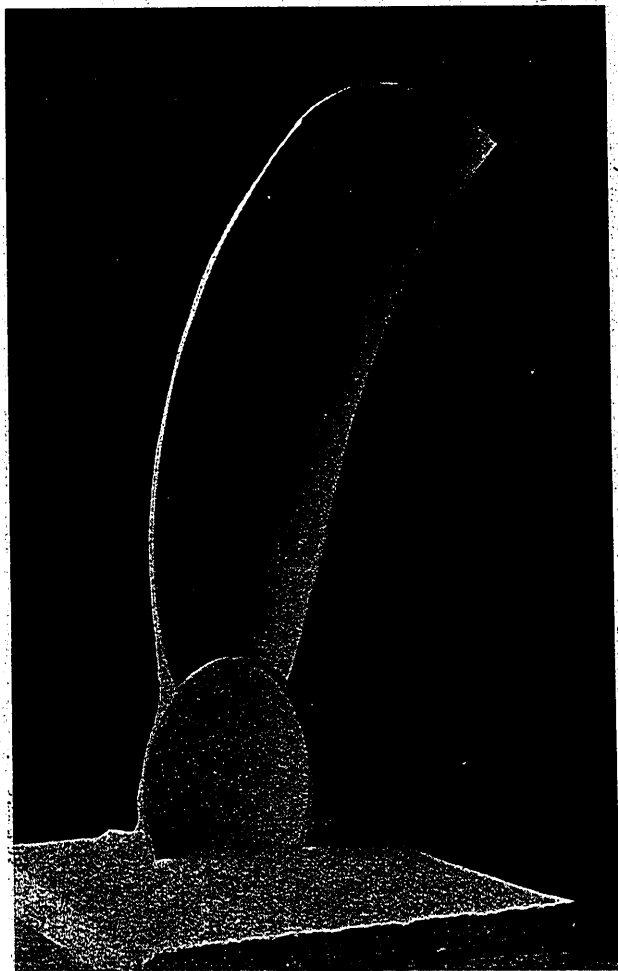


Fig. 27. — Maqueta de un elemento de la iglesia de Pont de Suert.

manera maravillosa el material más apropiado y la forma óptima de construcción. Un ejemplo representativo lo constituye la iglesia de Pont de Suert. La nave es rectangular y está cubierta con bóvedas ojivales equiláteras. Estas bóvedas, de pequeño espesor,

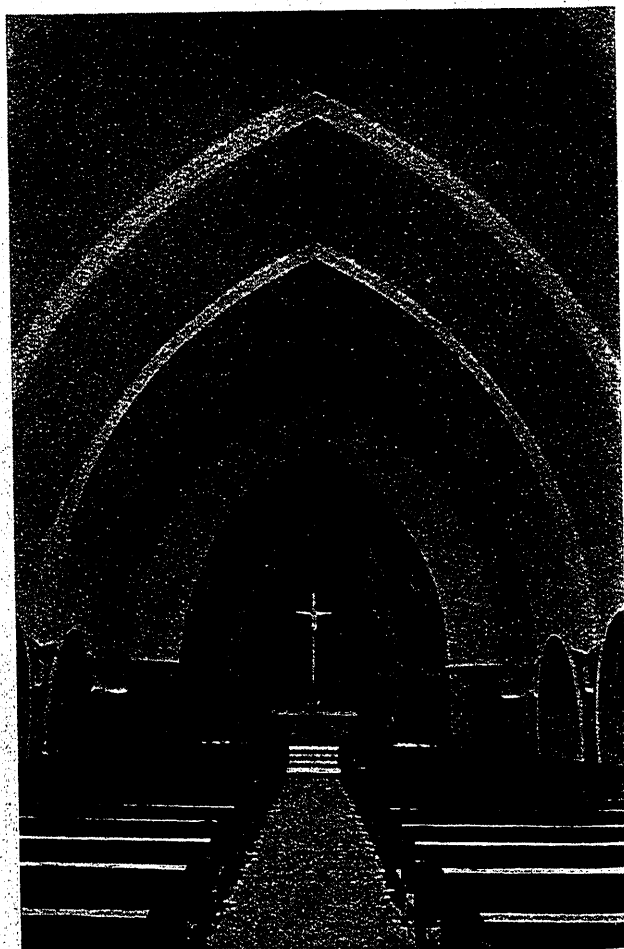


Fig. 28. — Interior de la iglesia de Pont de Suert.

re en las bóvedas de esta iglesia. La forma de estos lóbulos (fig. 27), guarda un parecido con algunas conchas marinas, y en su base nacen unos nichos que dan sensación de ligereza a la parte baja de los muros. En la figura 28 puede verse el interior de la iglesia.

Depósito elevado de Fedala. 1956.

Se trata del proyecto de una cuba para un depósito elevado de 3.500 m^3 de agua potable, montada sobre un conjunto de soportes ya existentes de hormigón armado. El depósito estaba destinado al suministro de agua a la ciudad marroquí de Fedala.

Con objeto de asegurar la impermeabilidad de la

tórica de hormigón armado, unida exteriormente a la cuba. Con objeto de disminuir flexiones en la pared, el anillo exterior de esta bóveda se postensó mediante armaduras con tensores formando un polígono estrellado inscrito en el anillo. El hormigonado de esta bóveda de fondo se realizó sobre una bóveda a la catalana, lo que permitió, con economía, prescindir de un encofrado costoso de doble curvatura.

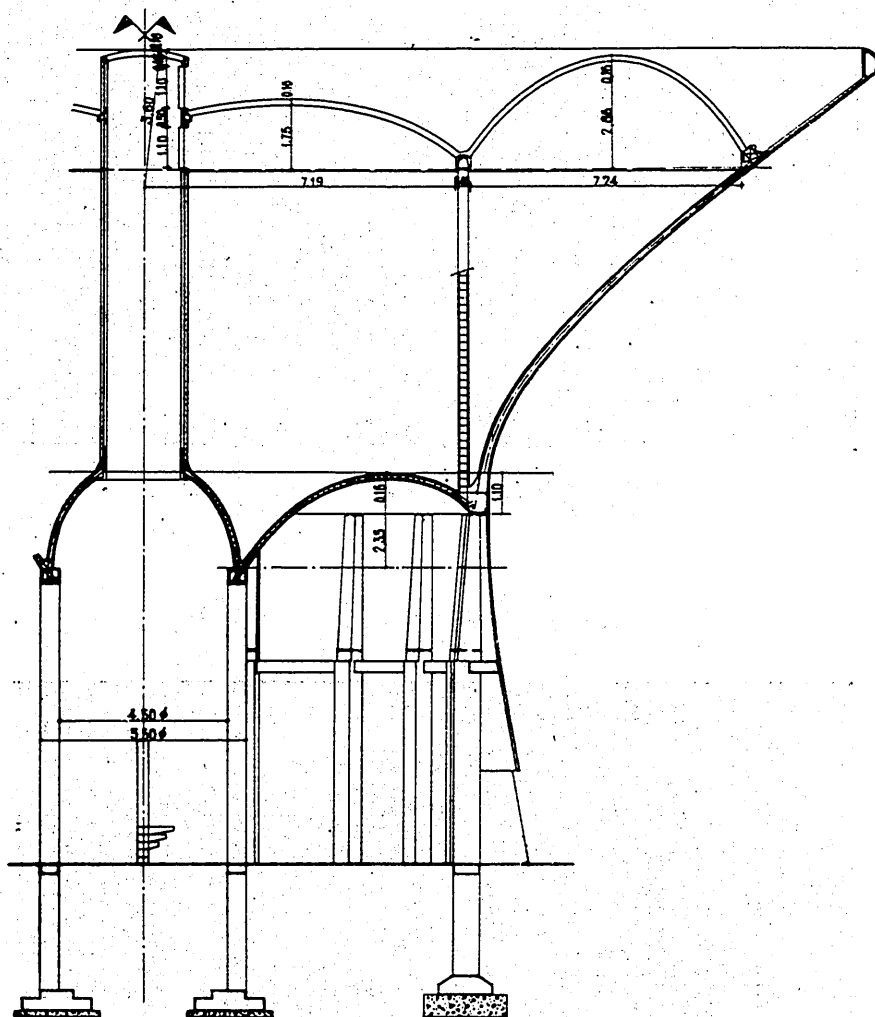


Fig. 29. — Sección esquemática del depósito de Fedala.

cuba, Torroja adoptó la forma de hiperboloide de revolución, disponiendo un doble pretensado según las dos familias de generatrices rectilíneas, con lo que se aseguró una bicompresión en toda la pared.

El espesor de la lámina hiperbólica es variable, desde un máximo de 28 cm. en la parte inferior hasta 17 cm. a la altura del máximo nivel de agua del depósito, para después mantener un espesor constante de 10 cm.

El fondo del depósito lo constituye una bóveda

La cubierta del depósito está formada por dos bóvedas a la catalana de triple tablero de rasilla, de forma tórica, que apoyan sobre tres anillos concéntricos de hormigón armado.

Las dimensiones extraordinarias de este depósito, cuya circunferencia de coronación tiene 40 metros de diámetro y la forma elegante y económica en que fué resuelta hacen que esta estructura laminar sea una de las de técnica más avanzada entre las realizadas en los últimos años.

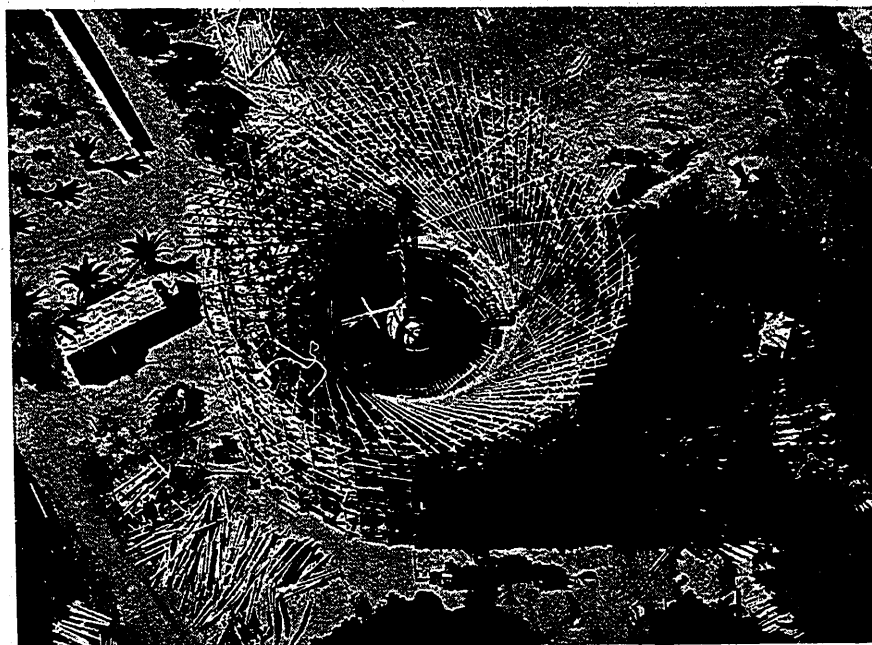


Fig. 30. — Depósito de Fedala, en construcción.

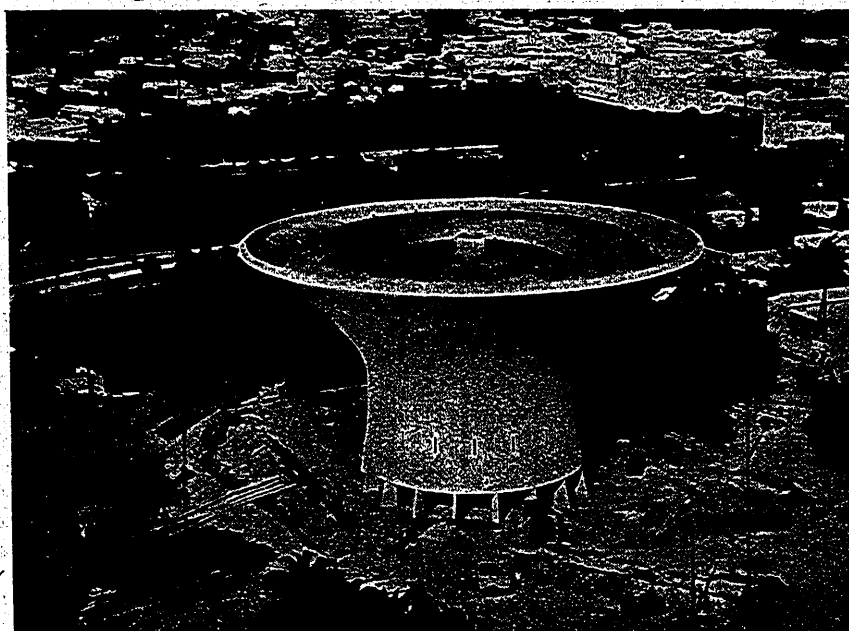


Fig. 31. — Depósito de Fedala, terminado.

Cubierta para el Club Tachira de Caracas. 1957.

La forma de esta cubierta se definió como una superficie engendrada por la traslación paralela de una catenaria invertida, cuyo vértice recorría una línea de doble curvatura en el espacio. Esta lámina, así

Con 60 metros de larga y 34 metros de máxima anchura, se proyectó con un espesor uniforme de solo 10 cm., que debía soportar una capa de aislamiento térmico y acústico por su interior.

En el proyecto se tuvo en cuenta el peso propio,

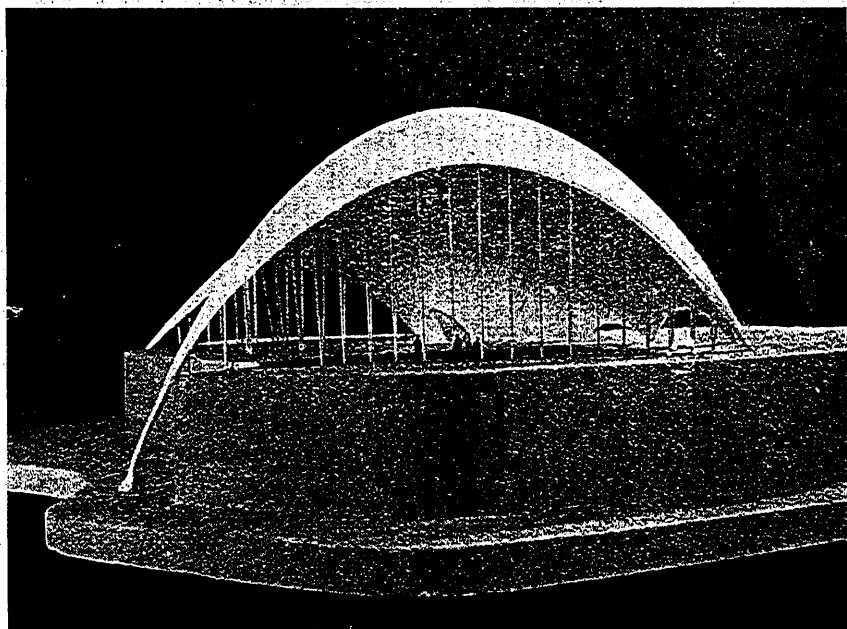


Fig. 32. — Maqueta de la cubierta para el Club Tachira, de Caracas.

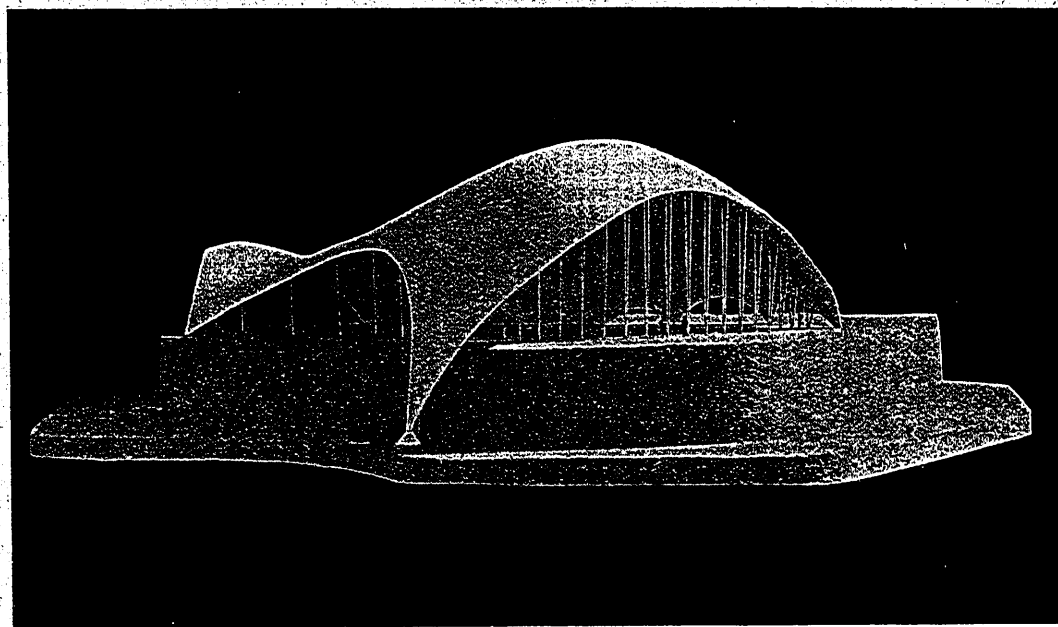


Fig. 33. — Maqueta de la cubierta para el Club Tachira, de Caracas.

determinada, quedaba cortada por un perímetro conocido en planta. Su borde se regresaba ligeramente y se rigidizaba con tirantes verticales muy delgados, con lo que se conseguía una vista lo más diáfana posible sobre el valle.

la sobrecarga de material aislante, el empuje del viento y las variaciones térmicas. Los métodos de cálculo utilizados fueron comprobados con ensayos hasta rotura de un modelo reducido, construido con mortero armado y ensayado en el Laboratorio Central.