

HANGARES

HANGARS

TORREJÓN, 1942 - BARAJAS, 1945 (MADRID)

El proyecto de Eduardo Torroja para el hangar de Torrejón fue el ganador del concurso que convocara el Instituto de Técnica Aeroespacial (INTA), para cubrir una superficie rectangular de 182,88 m × 47,24 m, de la cual uno de los lados mayores debía quedar diáfano o cerrarse mediante puertas corredera. Además, en paralelo a este lado abierto sólo se podría colocar un soporte intermedio a una distancia mínima de 11 m de las puertas; por otro lado, la altura libre en toda la nave no podía ser inferior a 9 m. La cubierta habría de afrontar, además del peso propio, la sobrecarga de nieve y el empuje del viento, determinante en este caso a tenor de las dimensiones de la estructura.

La solución propuesta por Torroja está formada por una gran viga continua de dos vanos —de 90,50 m cada una— paralela al lado abierto y situada a 11,30 m de las puertas correderas; sobre esta jácena apoyan las cerchas transversales que sostienen las correas de cubierta.

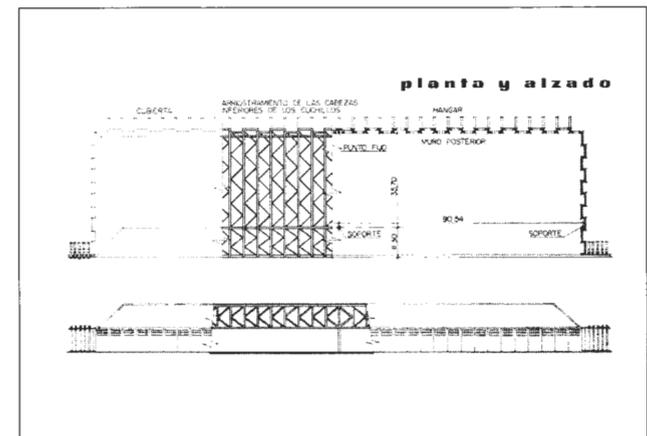
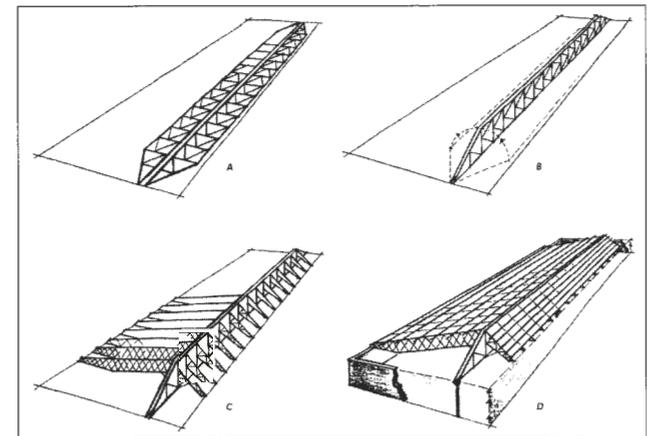
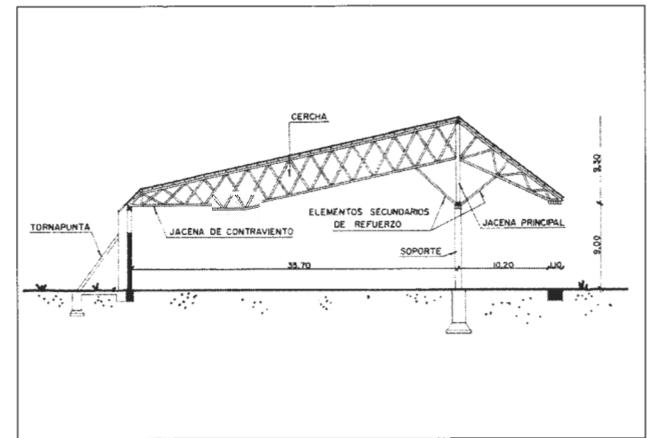
La jácena es una viga triangulada en K, de 9,50 m de canto, que permite reducir los esfuerzos secundarios y que facilita una adecuada disposición de los montantes verticales, enfrentado cada uno a una cercha y con una separación propicia para que las correas sean lo más ligeras posible frente a la sobrecarga que han de aguantar. Las cerchas, de 4,30 m de canto, que se apoyan sobre el muro posterior y sobre la jácena, volando a continuación hasta la línea de fachada, son de doble celosía: dia-

TORREJÓN, 1942 - BARAJAS, 1945 (MADRID)

Eduardo Torroja's design for the hangar at Torrejón was the winner of a competition organized by the Aerospace Engineering Institute (Instituto de Técnica Aeroespacial or INTA). The specifications called for a rectangular building measuring 182.88 × 47.24 m, one of whose sides was to be fitted with a sliding door as the sole enclosure. Moreover, there was to be a space at least 11 m wide between the doors and the first row of intermediate columns and the bay was to have a clear height of no less than 9 m throughout. In addition to its self-weight, the roof would have to support snow and wind loads, both determinant in this case given the dimensions of the building.

Torroja's structural solution is based on a large-scale continuous girder whose two 90.50-m spans run along a line parallel to and 11.30 m inward of the sliding doors; the transverse trusses that support the roof purlins rest on this joist.

By reducing secondary stresses, the 9.50-m deep triangulated K-beam facilitated the positioning of the uprights, each of which is set opposite a truss and appropriately spaced to lighten the purlins as much as possible, given the live loads to be supported. The 4.30-m deep double lattice trusses rest on the rear wall and the joist, cantilevering outward from there to the facade line. Their web members criss-cross at the midpoints to shorten the free length between the upper and lower chords.





gonales que se cruzan en la línea media entre cabezas, acortando la longitud de pandeo; el arriostramiento y la rigidez de las llaves de unión entre los perfiles que forman cada diagonal son los encargados de hacer frente al pandeo en la dirección perpendicular.

La sección transversal así configurada tiene forma poliédrica, con una altura máxima en el vértice —situado en la línea definida por el soporte central y los dos extremos— de 18,30 m.



Las cerchas transfieren el empuje del viento al muro del fondo, reforzado mediante tornapuntas exteriores de hormigón.

El cuidado estudio de la forma estructural se completó con depurado plan de ejecución que permitió construir la estructura completa en el suelo, elevándola a su posición definitiva mediante gatos: la jácena se materializó a base de dos mitades gemelas, cuyas piezas se soldaban sobre el suelo, posteriormente se giraba cada una 90° sobre la cabeza inferior hasta enfrentar ambas mitades; las cerchas, soldadas en taller, se unían a la jácena y se izaba la estructura sobre los soportes ya instalados.



El hangar de Barajas es estructuralmente idéntico, con una altura libre máxima ligeramente superior —12 m.

CUATRO VIENTOS, 1949 (MADRID)

Esta hermosa estructura está formada por arcos triarticulados de canto variable que se cruzan para formar una viga triangulada de gran rigidez, apoyada sobre ménsulas que arrancan de los soportes laterales.

Los empujes horizontales son resistidos por los soportes extremos —triangulados con una diagonal—, y los transversales de viento se transmiten al



Perpendicular buckling is prevented by the bracing system and the stiff gussets that reinforce the joints between each two sections that form the diagonal web members.

The bay has a polyhedral cross section and reaches its maximum height —18.30 m— at the apex, located along the line defined by the central and the two end columns.

The trusses transmit the wind load to the rear wall, in turn strengthened on the outside with reinforced concrete batter braces.

In addition to his careful study of the shape of the structure, Torroja proposed a clever construction scheme: the entire roof structure was built on the ground and then raised with jacks to its permanent position. The twin lengthwise halves of the joist were assembled while lying flat on the ground, with the two bottom chords side by side. When completed, the half-girders were each rotated 90° on their lower chords into an upright position and facing one other, the shop-welded trusses were attached to the joist, and the entire structure was then lifted into place over the previously erected columns.

Structurally identical, the hangar at Barajas has a slightly higher maximum clear height —12 m.

CUATRO VIENTOS, 1949 (MADRID)

This handsome structure rests on four three-hinged arches that criss-cross to form a very rigid triangulated beam supported, in turn, by cantilevers springing from the lateral columns.

The horizontal loads are absorbed by the end columns —braced by diagonal members— while the transverse wind loads are transmitted to the

HANGARES



HANGAR DE BARAJAS, 1945

HANGAR DE TORREJÓN, 1942

«El planteamiento funcional pedía cubrir una superficie rectangular de 182,88 x 47,24 m, dejando libre una fachada longitudinal para las puertas correderas, y no estableciendo en el interior más que un soporte situado a 10 m, como máximo, de la línea de puertas.»

Para disminuir la acción del viento sobre la superficie de los muros laterales, conviene llevar la cubierta, en todo el contorno a la altura mínima exigida de 9,14 m sobre el suelo. Al mismo tiempo conviene reducir las pendientes de cubierta al mínimo necesario.

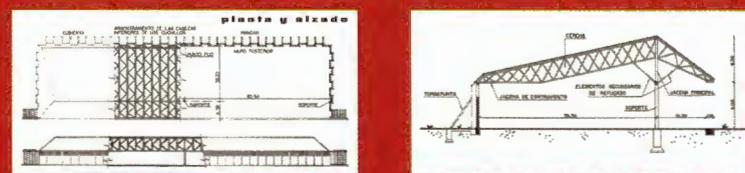
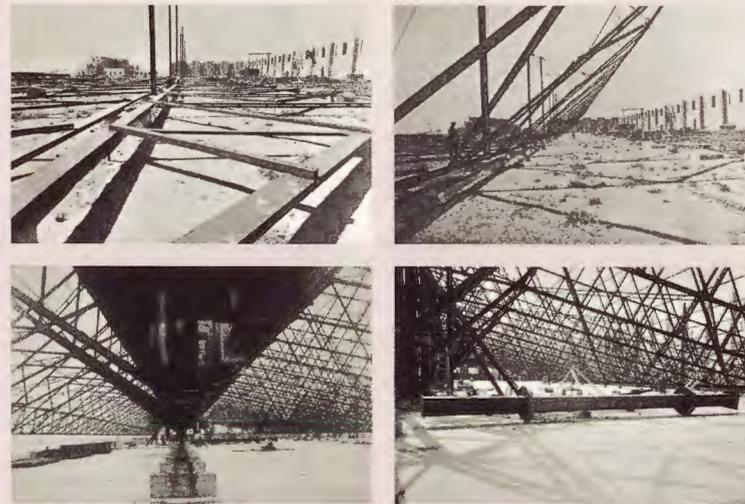
Con estas bases era conveniente establecer una jácena maestra a 10,06 m de la línea de puertas y apoyar sobre ella las cerchas transversales, con lo que se obtiene una superficie de cubierta poliédrica.

La jácena forma una viga continua de dos luces, de 90,5 m cada una, apoyada sobre tres soportes: uno central y dos alojados en las fachadas laterales. Las cerchas transversales apoyan en el muro de fondo por un lado y en la jácena por otro; y vuelan hasta alcanzar el plano de puertas.

Las cerchas son de doble celosía: es decir, con diagonales que se cruzan en la línea media entre cabezas. Esta solución se adoptó para cortar la longitud de pandeo de estas diagonales, en una dirección. En la dirección perpendicular al plano de la cercha, bastaba el arriostamiento o la rigidez proporcionada por las llaves de unión entre los dos perfiles que forman cada diagonal.

El sistema de construcción permitió construir toda la estructura metálica en el suelo y elevarla después, mediante gatos, hasta su posición definitiva.

Como toda la estructura es soldada, era necesario proyectarla de modo que pudieran extenderse los cordones de soldadura en posición horizontal o con poca inclinación, sin necesidad de los grandes tambores que suelen usarse para el volteo de las piezas.»



PUENTE SOBRE EL MUGA, 1939

«Las correas horizontales de la cubierta de este hangar apoyan sobre arcos metálicos de 115 m de luz. Estos arcos van oblicuos y cruzándose entre sí, de modo que el conjunto forma una especie de viga triangulada de gran rigidez, frente a los empujes del viento sobre los frentes verticales del hangar.»

Los arcos son triangulados y, por tanto, sufren los mayores momentos flectores en riñones. En consecuencia, el canto de estos arcos aumenta desde arranques hasta riñones, para volver a disminuir hacia clave. Esto se logra fácil y económicamente cortando en diagonal el alma del perfil y volviendo a soldar los dos trozos después de girar uno de ellos.

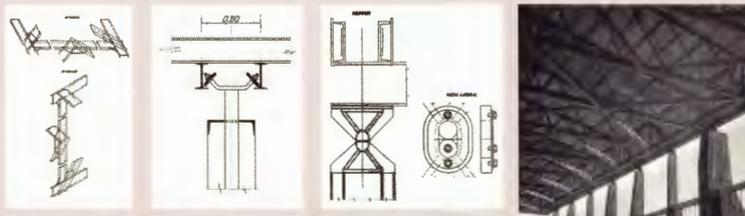
El conjunto de arcos de cubierta fue montado y soldado en el suelo, con unos tirantes provisionales. Este conjunto se elevó hasta la posición definitiva colgando de las ménsulas de los pórticos laterales; y una vez colocadas las rótulas en los arranques de cada arco, se desmontaron los tirantes que sólo eran necesarios para esta maniobra de elevación. Del arco de fachada cuelga la viga carril de las puertas, encargada de soportar los empujes debidos a la presión del viento sobre éstas.»

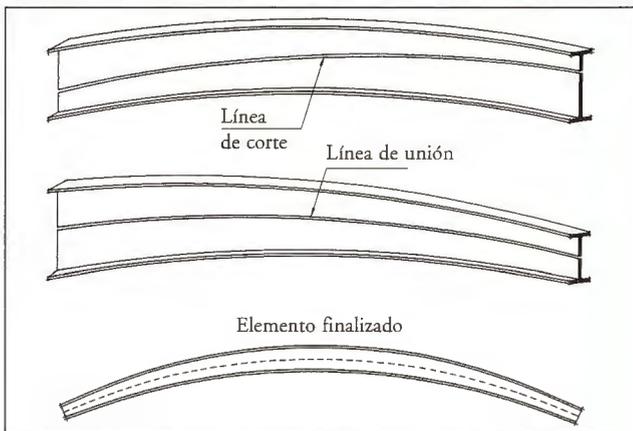
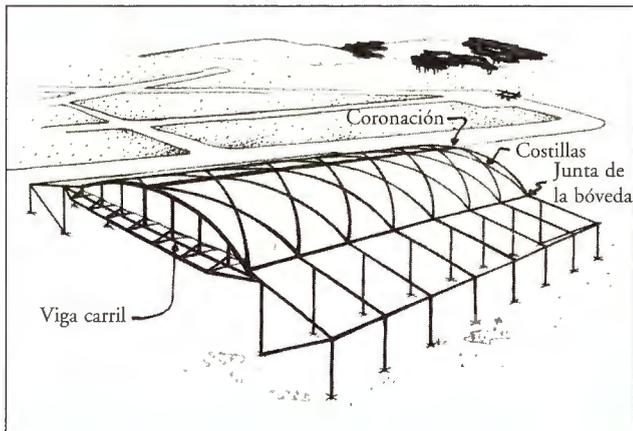


«Con este fin se proyectó la jácena en dos medias jácenas gemelas, unidas por llaves. Cada media jácena se montó tumbada en el suelo soldando todos sus elementos en esa posición. Después se voltearon 90°, girando alrededor de la cabeza inferior hasta enfrenar ambas mitades. En esa nueva posición, se hicieron los cordones de soldadura complementarios y se soldaron las llaves.»

Las cerchas y voladizos se soldaron en taller, se enfrentaron con los montantes de la jácena y se soldaron a ella. Con ello y con la colocación de los arriostamientos y de las correas, quedó la estructura dispuesta para su elevación.

Esta última operación se efectuó mediante tres gatos hidráulicos bajo los puntos de apoyo de la jácena, y mediante pequeños gatos de tuerca colgados de ménsulas en el muro de fondo.»



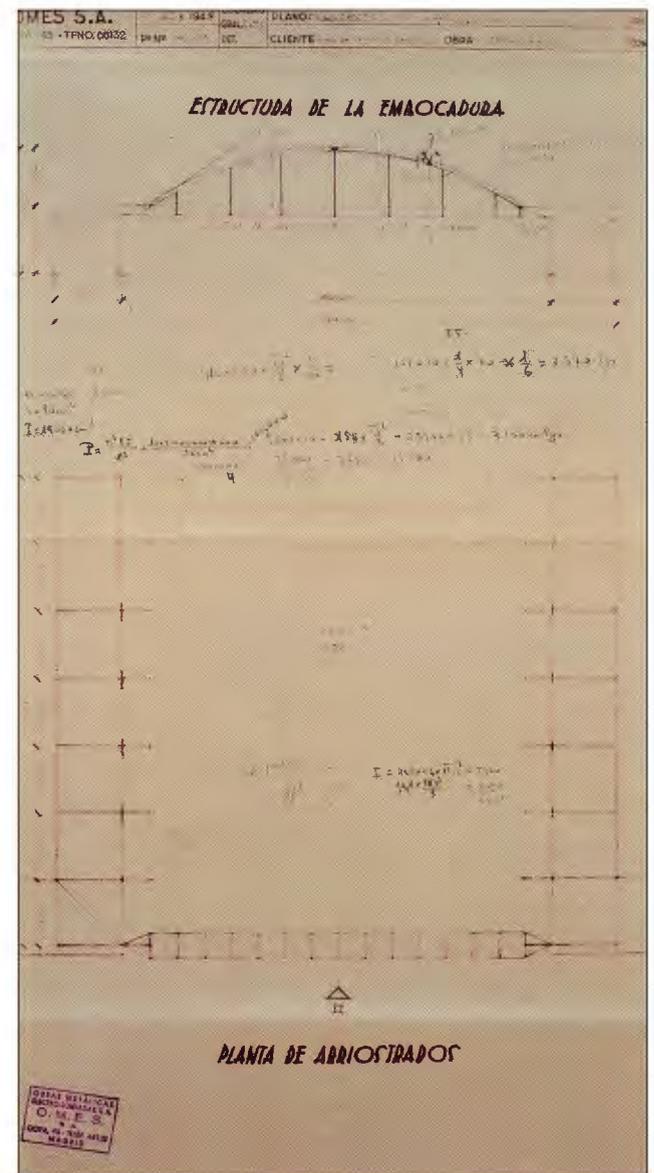
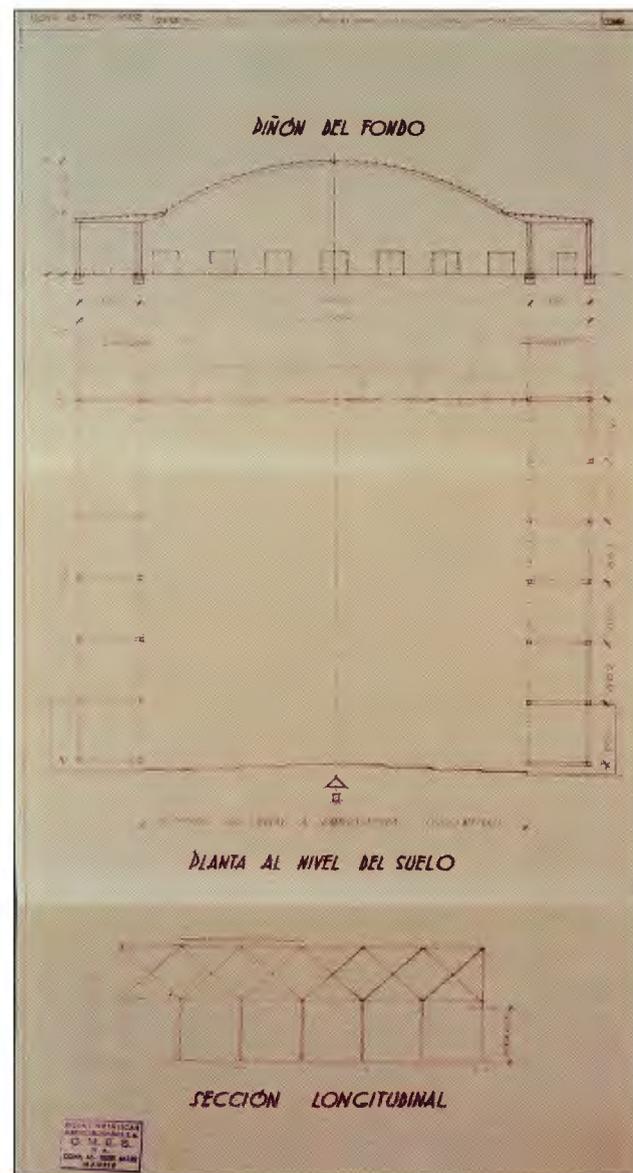


muro del fondo a unos contrafuertes de fábrica situados en la fachada posterior; la resistencia a los efectos del viento sobre las puertas del hangar se confía a la viga carril de las puertas, suspendida del arco de la fachada.

Puesto que los arcos son triangulados los mayores momentos flectores se producen en los riñones, zona que, por tanto, ha de ser la de mayor canto, disminuyendo hacia los arranques y hacia la clave. Torroja ideó una ingeniosa manera de aprovechar al máximo el material: cortar el alma de los perfiles diagonalmente, girar los trozos resultantes respecto a su posición inicial y unir, de este modo, las

rear wall, whose facade is reinforced with masonry buttresses; the wind pressure on the hangar doors is resisted by the rail girder on which they slide, which hangs from the facade arch.

As the greatest bending moments arise at the haunches of these three-hinged arches, they are deepest at the quarter-span and taper from there in both directions, i.e., towards the springlines and crown. Torroja devised an ingenious way to economize on material while achieving this tapering effect: he cut the webs of the sections diagonally, then turned one of the resulting pieces around so



partes más anchas entre sí, procediendo del mismo modo con las más estrechas.

El montaje y soldadura de la estructura se hizo en el suelo aplicando unos tirantes provisionales; posteriormente se izaba hasta su posición definitiva colgando de las ménsulas de los pórticos laterales y, una vez dispuestas las rótulas en los arranques de cada arco, se retiraban los tirantes, necesarios únicamente para la maniobra de elevación, «y que hubieran cortado inútilmente la diaphanidad del espacio interior».

that the two widest parts were on one end and two narrowest on the other, and finally welded the new shape back together.

The structure was assembled and welded on the ground, lifted into place with the help of provisional tie rods and hung from the cantilevers jutting out from the lateral portal frames. Since the tie rods were only actually needed for the lifting operation, they were removed after the springline hinges had been positioned on each arch, for leaving them in place —according to the author of the design— “would have interfered with the otherwise unobstructed spaciousness of the interior”.

