

PUENTES

BRIDGES

PUENTE EN TORTOSA SOBRE EL RÍO EBRO

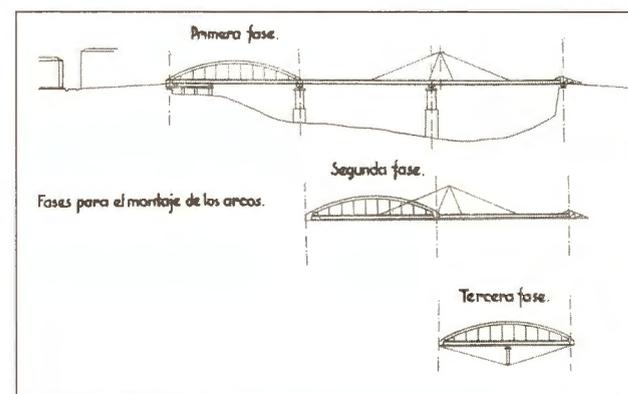
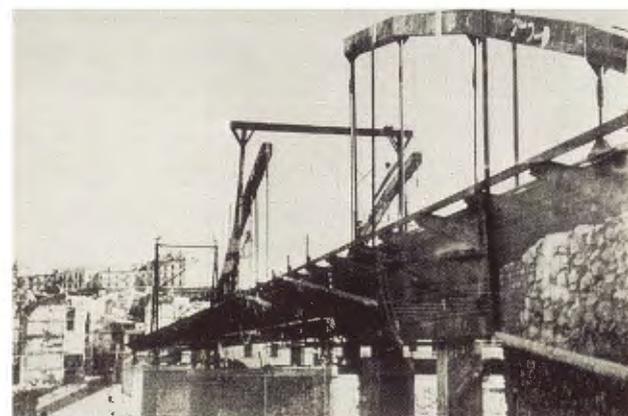
Se trata del primer puente metálico soldado construido en España. Durante la guerra civil el puente anterior, también metálico constituido por tres vigas Linville de 54 m de luz, fue volado y quedó completamente inutilizado. En junio de 1939 la Jefatura de Puentes y Estructuras recibió el encargo de realizar un nuevo proyecto: el ingeniero responsable fue César Villalba, y de nuevo Torroja —la colaboración entre ambos ingenieros fue muy amplia: puente de Tordera, puente sobre el Muga, puente del Pedrido, viaducto Martín Gil— actuó como consultor en lo relativo al montaje y a la soldadura.

A la vista del estado de las pilas y sus cimentaciones, de los estribos y teniendo en cuenta además que era urgente restablecer la comunicación entre ambos márgenes se adoptó como solución idónea la de estructura metálica, desechando la posibilidad de arcos que produjeran empujes oblicuos. La utilización de soldadura eléctrica permitía un mejor aprovechamiento de material para el caso de arcos atirantados con viga de rigidez, y ésta sería la tipología desarrollada. Así, el puente está formado por tres tramos de directriz parabólica de 54 m de luz y 8 m de flecha —la parábola de segundo grado es la que mejor responde al funcionamiento mecánico de la estructura— que soporta un tablero de 6,50 m de anchura y dos aceras exteriores voladas, de 1,50 m cada una. Las pilas parcialmente conservadas en el nivel inferior, presentan paramentos de sillería que,

BRIDGE AT TORTOSA OVER THE EBRO RIVER

This was the first welded steel bridge ever built in Spain. The bridge that it replaced, likewise made of steel and consisting of three Linville beams with 54-m spans, was bombed and completely destroyed during the Civil War. In June 1939 the National Bureau of Bridges and Structures was ordered to draw up a new design: the chief engineer was César Villalba and once again Torroja —the two engineers worked together on many an occasion, in projects such as the bridge over the Muga River, the bridge over the Pedrido River or the Martín Gil viaduct— was the senior consultant for bridge assembly and welding.

In light of the condition of the piers and their foundations, as well as of the abutments, and of the urgent need to restore traffic between the two banks of the river, it was decided that the most suitable solution would be a steel structure bridge, and to rule out the possible use of arches with an oblique thrust. Since the use of material in tied arch structures with stiffening girders could be optimized with electric welding techniques, this was the approach adopted. The bridge's three parabolic arch sections, with spans of 54 and rises of 8 m —a second order parabola being the curve best suited to the demands of the mechanics of the structure— support a 6.50-m deck and two cantilevered pedestrian walkways, each 1.50 m wide. The partially conserved lower piers had stone walls that were filled with concrete for use as a kind of





utilizados a modo de ataguía, se rellenaron de hormigón; por encima del nivel normal de estiaje se construyó un forro de sillarejo artificial —que evitaba la construcción de encofrados y andamios— relleno asimismo de hormigón en masa.

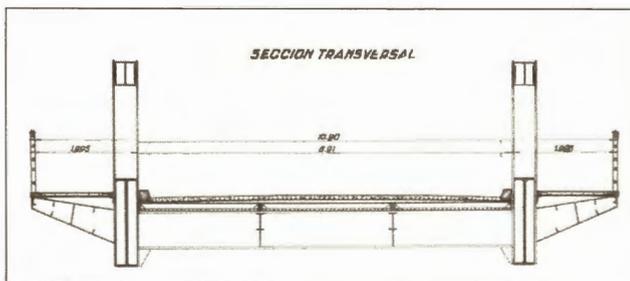
Los arcos presentan una sección transversal en cajón, de 500×500 mm, formado por cuatro palastros soldados de 20 mm de espesor; la separación entre cuchillos es de 7,40 m, y descansan sobre la placa de apoyo mediante rótulas y rodillos.



La viga de rigidez, de alma llena, está formada por una doble T de 1,66 m de canto —1/35 de la luz según la regla práctica al uso—, cabezas de 450×30 mm, y alma de 15 mm de espesor, compuesta con tres palastros soldados.

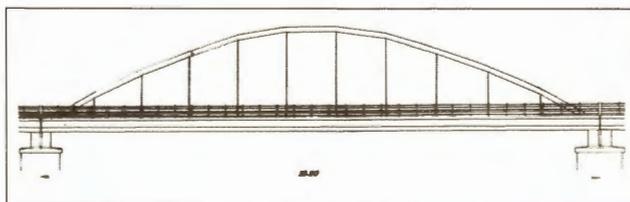
Las péndolas son simples redondos de 72 mm separados 4,90 m y provistos de un manguito para conseguir la tensión necesaria; posteriormente se soldaban los manguitos a los redondos.

El tablero está compuesto a base de viguetas y largueros: las viguetas presentan un perfil doble T de 690 mm de canto compuesto por soldadura de tres palastros de 8 mm de espesor el de alma y de 200 mm los de cabeza; para los largueros se utilizaron perfiles laminados doble T del 32. Los recuadros resultantes se recubrían con losas de hormigón armado de 17 mm de espesor.



Para evitar el pandeo de los arcos y resistir el empuje del viento se arriostran en la parte superior mediante una elegante solución de vigas en K; el arriostramiento inferior lo constituye el propio tablero.

Para evitar el uso de andamios intermedios, teniendo en cuenta las brascas crecidas del Ebro y que incluso en épocas de estiaje se alcanzaban calados de 15 m, se acometió el montaje mediante lanzamiento del tablero con todo el conjunto como viga continua. Para ello se construyó una plataforma de montaje en la margen derecha sobre la que se disponían dos vías, separadas 7,40 m



cofferdam; the artificial stone casing built above the normal water mark and likewise filled with mass concrete avoided the need for formwork or scaffolding.

The arch ribs, hollow box girders with a cross section of 500×500 mm, are made of four strips of welded 20-mm rolled sheet steel; the trusses, spaced at distances of 7.40 m, are attached to the bearing plate by means of hinges and rollers.

The standard s-shape (I-beam) sheet steel stiffening girder consists of a solid 15-mm web 1.66 m deep (1/35 of the span, in keeping with practice prevailing at the time) welded to the 450×30 -mm flanges.

The hangers, simple 72-mm rounds spaced at 4.90-m intervals, are fitted with tensioning sleeves that were welded to the hangers after tensioning.

The deck understructure is a web of floor joists and stringers: the steel sheet joists are I-beams 690 mm deep with an 8-mm web welded to the 200-mm flanges; the stringers are made of 32 grade rolled steel I-beams. Each square in the grid is filled with a 17-mm layer of reinforced concrete.

To prevent buckling and enhance their wind resistance, the arches are elegantly K-braced across the top; the deck braces the bottom of the bridge.

Inasmuch as the Ebro River is given to flash flooding and reaches depths of up to 15 m even in the summer months, the girder launch method was used to build the bridge, with the entire assembly acting as a continuous beam, to avoid having to erect scaffolding in the river bed. This involved building a platform on the right bank, fitted with two outer tracks 7.40 m apart, i.e., the same distance as

Puentes

PUENTE DEL PEDRIDO, 1940

«Para salvar la luz de 57 m, correspondiente al tramo central, proyectamos un arco atirantado de hormigón armado de 12,50 m de flecha, con dos articulaciones y tablero inferior, suspendido mediante péndolas espaciadas a 3,65 m.

El tablero se proyecta como un forjado continuo de 3,65 m de luz, excepto los dos extremos de 2,83, apoyando sobre viguetas transversales de 7 m de luz, suspendidas por sus extremos de las péndolas del arco.

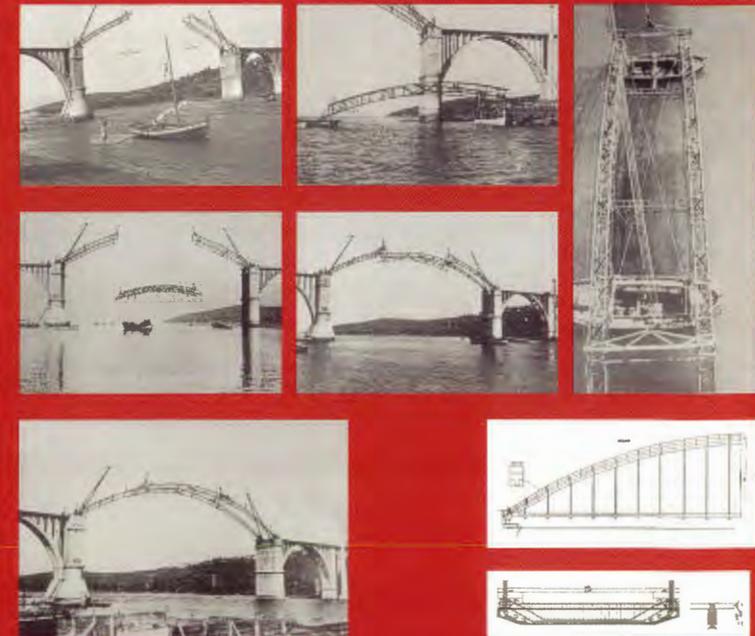
El arco está constituido por dos nervios principales de canto variable entre 1,10 m en los arranques y 1,70 m en la clave, con un ancho uniforme de 1,20 m. El arriostamiento entre ambos nervios principales consiste en unos montantes de 60 x 60 cm cada 10,95 m, coincidiendo con los ejes de las péndolas.»

«La armadura principal del arco se proyecta de perfiles laminados soldados eléctricamente y estudiada para permitir el lanzamiento del arco en sus mitades desde cada extremo, y una vez unidas ambas partes en la clave, y colocado el tirante, permitir el hormigonado del arco en tres roscas.»

«Las péndolas se montan antes de hormigonar el arco, y una vez hormigonado se suspenden de ellas las viguetas transversales, hormigonadas en taller, y dispuestas para recibir el encofrado de los forjados.»

El tirante se proyecta formado por hierros cuadrados, soldados eléctricamente en sus empalmes agrupados dentro del espesor de los andenes.»

«La unión del tirante y el arco se hace rígidamente, puesto que la elasticidad del tablero es suficiente para permitir el libre juego del arco en sus extremos. Las articulaciones de los apoyos se proyectan una fija y otra móvil, mediante rótulos de hormigón armado.»



PUENTE DE TORTOSA, 1939

«Este puente, proyectado para sustituir al puente antiguo volado durante la Guerra Civil, está formado por tres tramos de 54 m de luz y con estructura metálica totalmente soldada.

Cada tramo está formado por un bow-string de 1/7 de rebajamiento.

El arco es muy ligero y está formado con una sección cajón de 0,50 x 0,50 m constituido por cuatro planos de 20 mm de espesor.

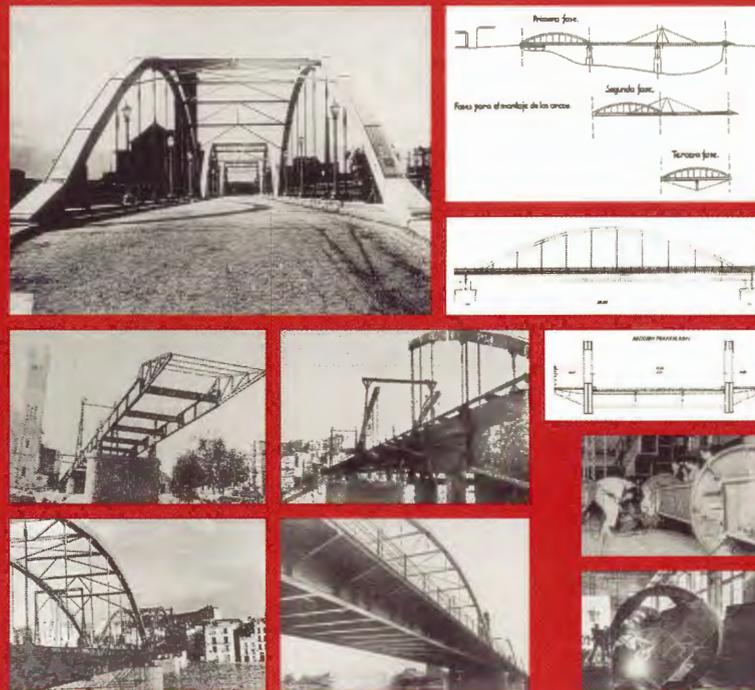
Los pendolones son verticales, distanciados a 4,90 m y formados por un simple redondo de 42 mm, con un tensor intermedio para las correcciones verticales.

La viga de rigidez inferior es una viga doble T de 1,66 m de altura con cabezas de 450 x 30 mm y alma de 15 mm de espesor.»

«El tramo está constituido por dos cuchillos o vigas principales del tipo que acabamos de describir, unidas entre sí en la parte superior por un arriostamiento sencillo, para evitar el pandeo de los arcos y resistir el empuje del viento, y en la parte inferior por viguetas transversales, separadas 2,45 m sobre las que apoyan dos largueros para formar el entramado del plano de la calzada, que está constituido por una losa de hormigón armado de 14 cm sobre la que apoya el adoquinado.»

La viga de rigidez tiene resistencia suficiente a flexión para salvar todo el tramo en voladizo durante el montaje; gracias a ello, el sistema de montaje ha podido ser el siguiente: dadas las fuertes avenidas del Ebro y los arrastres que trae durante las mismas, se consideró necesario reducir al mínimo posible todos los elementos de cimbra y andamiaje en el río durante la construcción; se construyó una pequeña pila supletoria provisional junto a unas vigas provisionales como camino de rodadura para el lanzamiento de las vigas de rigidez.»

«Las vigas de rigidez se construyeron por trozos en la margen derecha, donde la longitud de la calle a la pila no permitía construir simultáneamente más que una longitud de 38 m de viga. En esta longitud más los 17 m que quedan entre el estribo y la pila provisional, se montó la primera parte de la viga de rigidez, y sucesivamente se fue avanzando sobre los caminos de rodadura y construyendo por detrás nuevos elementos de viga hasta llegar con el voladizo a alcanzar la primera pila definitiva.»



«Para pasar los otros dos tramos, como no se podían colocar pilas provisionales, se montó en el sistema de pilas de rigidez un castillete, y sobre él un grupo de cables de arriostamiento para disminuir la flecha en la punta del voladizo y el trabajo de la viga de rigidez durante la operación.

Con objeto de dejar la viga de rigidez sin flexión inicial ninguna, se han dispuesto todos los pendolones con tensor para corregir su longitud; de este modo, y habiéndose hecho previamente medidas de la forma inicial de la viga de rigidez, al soldar se lograba volver a colocar éstas en condiciones normales de trabajo sin flexión, haciéndole perder totalmente la flecha que toma durante este período provisional.»

«Con objeto de poder corregir las flechas durante la operación, se colocaron dos gatos hidráulicos entre el castillete y la cama de asiento de cables para poder corregir o modificar la tensión de éstos durante la maniobra.»

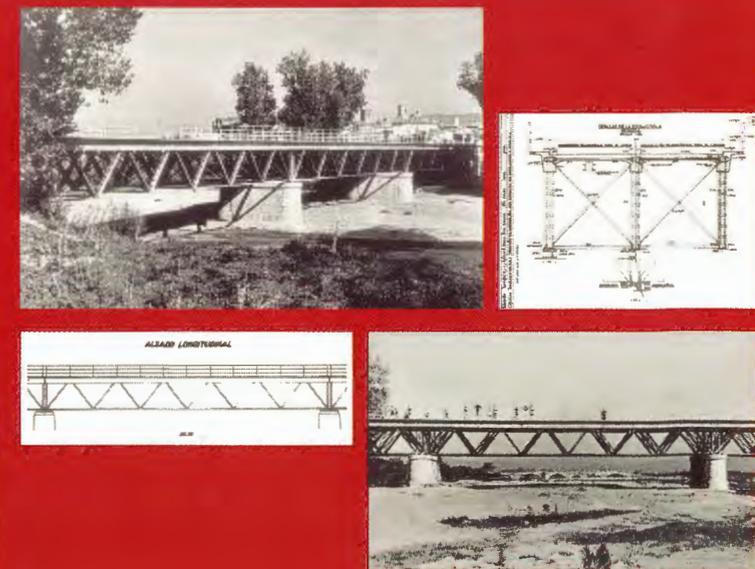
«Para asegurar esta maniobra, se han hecho no solamente determinaciones de la forma de la viga con nivel topográfico, sino también con elongómetros para medir las deformaciones que ha experimentado la viga de rigidez en sus cabezas durante todo el proceso de construcción.»

PUENTE SOBRE EL MUGA, 1939

«El mismo tipo de puente que el de Tordera puede hacerse con vigas de altura constante, como en el caso de este puente sobre el río de la Muga. En éste, el proyecto preveía el lanzamiento longitudinal de las tres vigas —soldadas entre sí unas a continuación de las otras—, como una viga continua de tres luces.»

Después de colocadas sobre sus apoyos definitivos, se cortaron a soplete sus uniones para que trabajasen como vigas independientes simplemente apoyadas; y se hormigonaron los tableros de piso que forman sus cabezas de compresión.»

«Indudablemente, podría hoy, con la seguridad que da la experiencia adquirida, realizarse la viga continua sobre varios apoyos. Bastaría reforzar con hormigón armado la cabeza inferior, en la zona de momentos negativos sobre los apoyos, donde su peso produce flexiones de poca importancia. El ahorro de costes que se obtiene con este tipo de estructura mixta puede llegar a ser considerable.»



PUENTE DE TORDERA, 1939

«Este proyecto supuso la primera vez que se empleaba una estructura mixta (metálica y de hormigón armado) para una luz relativamente importante.»

La cabeza de tracción sigue un arco de elipse elegida, tras diferentes tanteos, para lograr una tracción sensiblemente uniforme a lo largo de toda la cabeza y para tener, al mismo tiempo, una proporción entre los esfuerzos de tracción y de compresión que permitan evitar el peligro de pandeo. Las diagonales más cargadas son las extremas, cuya longitud es menor; y la sección en cajón las provee de una rigidez suficiente.»

«Para disminuir la importancia de los esfuerzos secundarios, la cabeza de tracción está formada de palastros horizontales provistos solamente de un pequeño rigidizador vertical, capaz de soportar las flexiones debidas al peso propio entre nudo y nudo.»

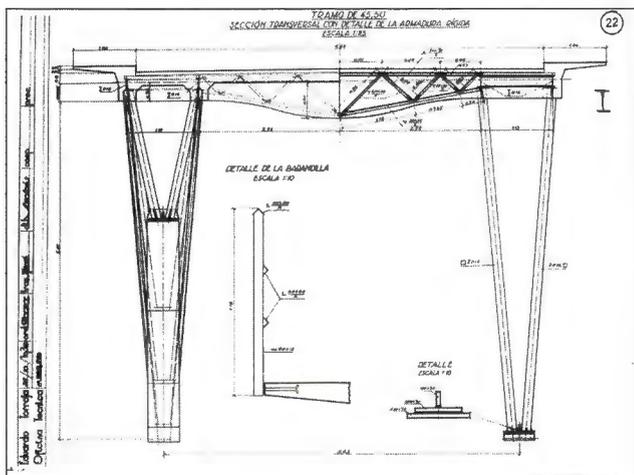
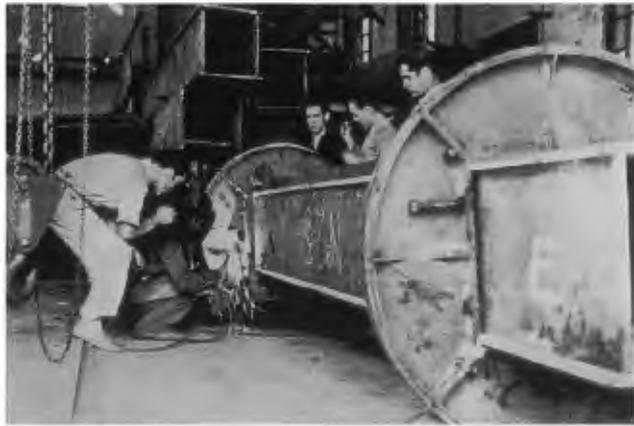
Este mismo deseo de disminuir los secundarios, condujo a suprimir los arriostamientos transversales corrientes entre viga y viga. Cada una de las diagonales se descompone en dos, en forma de V, con el vértice en el nudo inferior. El empotramiento de las dos ramas de la V en la vigueta transversal del piso de hormigón produce el oportuno efecto de arriostamiento y deja esa vigueta en condiciones de sustentación isostática, como una viga simplemente apoyada en los planos verticales medios de cada V.»

«Para dejar los fondos de las vigas a igual altura sobre el nivel de las aguas en avenida, se dio a la rasante forma parabólica, con mayor altura en el centro del puente que en las entradas; ello le proporcionaba, a la vez, mejor aspecto.»

Las vigas llevan una ligera cabeza metálica de compresión, calculada para soportar exclusivamente los esfuerzos debidos al peso propio de la estructura metálica, y al de un primer cordón larguero longitudinal de hormigón.

Las vigas metálicas se montaron por lanzamiento longitudinal.»





correspondientes a la distancia entre ejes de las vigas de rigidez, y una tercera vía sobre la que se movían dos grúas pórtico; se construyó asimismo una pila provisional.

Para salvar las dificultades que representaba el lanzamiento de vigas de 1,66 m de canto salvando vanos de 55 m, Torroja planteó un ingenioso sistema de montaje: la viga de rigidez se ejecutó a base de tramos de 38 m —que era la máxima longitud teniendo en cuenta el espacio disponible—, y a continuación se avanzaba por los caminos de rodadura mientras se construían nuevos elementos de viga hasta llegar en voladizo a alcanzar la primera pila definitiva. Para disminuir la flecha durante el lanzamiento se dispuso un pescante de 8 m de vuelo por delante de las vigas de rigidez, y en la primera pila se colocó un sistema de balancines con rodillos sobre rótulas y los desplazamientos transversales se corregían mediante dos rodillos de eje vertical colocados en los ejes de los balancines.

Como no se podían colocar pilas provisionales, para pasar los otros dos tramos era necesario salvar los 54 m de luz con el puente en voladizo: se construyó un castillete en el que mediante tres cables de cada lado se tensaba el conjunto. Según avanzaba el lanzamiento era necesario subir el apoyo de los cables, mediante gatos hidráulicos, para corregir la flecha en el extremo del pescante. Completada la operación se montaron las ménsulas laterales sobre las que se dispuso la vía para el desplazamiento de las grúas necesarias para el montaje de los arcos. Éstos se montaban mediante andamiajes provisionales y una vez colocadas las péndolas se cortaba la unión con la viga de rigidez y se colocaba en su posición definitiva sobre los apoyos, mediante cuatro gatos hidráulicos; a continuación se ponía el arco en carga, y una vez abierto se introducía una cartela en cada abertura. Durante las maniobras de montaje y lanzamiento se efectuaron las mediciones pertinentes mediante extensímetros de la marca ICON (Investigaciones de la Construcción, laboratorio de ensayo e instalaciones de control, creado por Torroja).

between the centrelines of the stiffening girders, plus a third track for the two portal cranes. A provisional pier was likewise built.

The inherent difficulties in launching beams 1.66 m deep across spans of 54 m led Torroja to devise an ingenious assembly system. The stiffening girders were built in lengths of 38 m—the maximum space available—at a time and gradually pushed outward over the tracks as the extensions were added to the end on the shore, cantilevering the girder across the river until it came to rest on the first permanent pier. An 8-m crane boom was positioned ahead of the girders to reduce deflection during the cantilevering operation and the first pier was fitted with a system of balance bars with rollers on hinges; transversal movements were corrected by means of rollers with vertical axes positioned at the centrelines of the bars.

Since provisional piers could not be erected for the other two lengths of the bridge, the 54-m spans had to be bridged by cantilevering the girders. The solution included building a tower with three tensioning cables on either side. As the launch operation advanced, the supports for the cables had to be raised with hydraulic jacks to correct the deflection at the free end of the girder. Once this operation was completed, corbels were built on both sides as support for the crane tracks required to build the arches. Provisional scaffolding was erected for arch construction. After the hangers were in place, the connection to the stiffening girders was severed and the arch was positioned onto the supports with four hydraulic jacks. The arch then received its full dead-weight loading and on site transverse stiffeners were placed in position. All the necessary measurements during the assembly and launch operations were taken with ICON («Investigaciones de la Construcción» —testing and control laboratory founded by Torroja) extensometers.

Una constante en el trabajo de Torroja fue no sólo el planteamiento continuo de nuevas soluciones estructurales sin acomodarse a las sancionadas por la experiencia, sino propiciar el desarrollo tecnológico que cada nuevo reto planteado exigía resolver. Así, como consecuencia de los problemas que planteara la soldadura y la inexistencia de normativa oficial al respecto, el Instituto Técnico de la Construcción y Edificación redactó, bajo la dirección de César Villalba, una propuesta de Normas para la Construcción de Estructuras Metálicas Soldadas.

PUENTES DE TORDERA Y POSADAS

El puente de Tordera, situado en la carretera de Barcelona a Gerona, es la primera estructura mixta acero-hormigón con una luz importante construida en España. El puente primitivo, cercano a Barcelona, había sido destruido durante la guerra civil: quedaban en pie las pilas y era necesario reconstruir los vanos laterales de 45 m y el central de 54.

La estructura está formada por dos vigas laterales metálicas a las que se dotó de forma elíptica para conseguir una tracción sensiblemente uniforme, a la vez que se reducían los esfuerzos de pandeo gracias al equilibrio entre los esfuerzos de tracción y de compresión. La cabeza de tracción está formada por palastros horizontales —dotados de un rigidizador vertical— y las diagonales, dobles en forma de V, presentan una sección en cajón, de rigidez suficiente. El empotramiento de las ramas de la V en la vigueta transversal del tablero de hormigón produce el arriostamiento que permite que aquélla trabaje como una viga simplemente apoyada.

La puesta a punto de la soldadura al arco con electrodo revestido permitió el diseño de los enlaces, y superar los clásicos inconvenientes de los formados a base de cartelas roblonadas que determinaban planos de deslizamiento peligrosos para el hormigón y que dificultaban, de forma considerable, la adherencia entre ambos materiales.

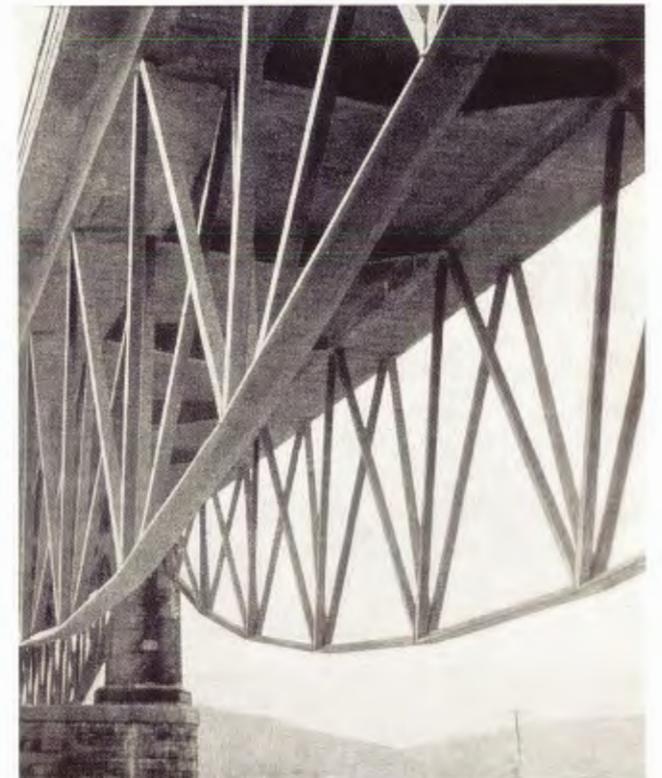
One of the features that characterized Torroja's work throughout his career, in addition to the continuous proposal of new structural solutions and a reluctance to conform to tried and true methods, was his furtherance of the technological development demanded by each new challenge that arose. Thus for instance, in response to the problems encountered in connection with welding and the lack of any official standard in this respect, the Technical Institute for Construction and Building¹, under the leadership of César Villalba, drafted a proposal for a Code for the Construction of Welded Steel Structures.

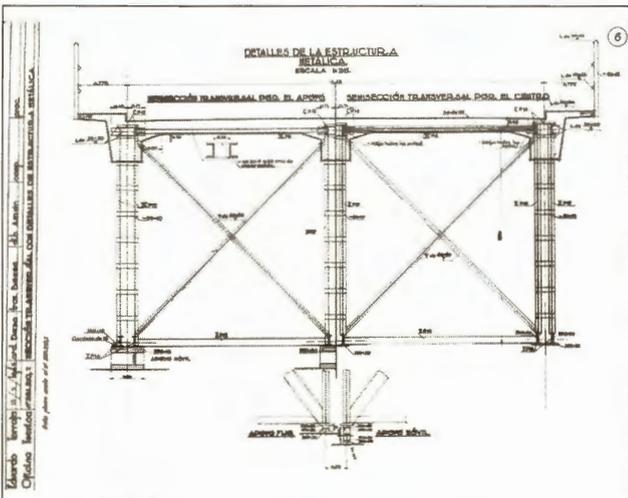
TORDERA AND POSADAS BRIDGES

The Tordera Bridge on the road between Barcelona and Girona was the first wide span composite steel and concrete structure to be built in Spain. Located on the outskirts of Barcelona, the former bridge had been destroyed during the Spanish Civil War. Although the piers were still standing, the two 45 m between these two members and the respective banks and the 54 m between them had to be rebridged.

The structure consists of two lateral steel girders, elliptically shaped to attain perceptibly uniform tension and reduce buckling stress by balancing tensile and compressive stresses. The tension member comprises horizontal sheet steel plates —fitted with a vertical stiffener— and the box section of the double, V-shaped diagonal ties affords sufficient stiffness. The end restraint on the two arms of the V attached to the crosswise floor beam in the concrete deck enables this member to work like a simple beam.

As coated electrode arc-welding had by then been perfected, this technique could be introduced in bond design, thus avoiding the need for bolted gussets and the creep generated around them that severely hindered concrete-steel bonding.





En el cálculo de los esfuerzos secundarios el proyectista tuvo en cuenta la diferente deformabilidad de los materiales. Así, consideró para el hormigón un módulo de deformación mitad del correspondiente a un ensayo normal —para tener en cuenta las deformaciones de los primeros meses— y también la diferencia de temperatura que se podía presentar entre los elementos de hormigón y los metálicos a la intemperie. Las pruebas posteriores confirmaron las previsiones.

Las vigas metálicas se montaron mediante lanzamiento longitudinal, a pesar de la dificultad que representaba la forma curva de la cabeza inferior, cuyo diseño obedeció más a razones mecánicas que de índole constructiva. Años más tarde, Torroja reconocía —con un característico rasgo de honradez intelectual— que si bien la solución adoptada representaba una economía de más del 25% respecto a una solución convencional, al ser la primera obra de este tipo que proyectaba «no me atreví a adoptar la solución de viga continua. El buen comportamiento de esta obra desde 1941 permitiría hoy lanzarse a ello, incluso con luces mayores».

El puente de Posadas sobre el río Guadalquivir, en Córdoba, es de la misma tipología estructural y fue construido en las mismas fechas.

PUENTE SOBRE EL RÍO MUGA

La tipología estructural de este puente, situado asimismo en la carretera de Barcelona a Gerona, es análoga al de Tordera si bien las vigas longitudinales son, en este caso, de canto constante. Está compuesto por tres tramos de 30,50 m de luz, formado cada uno de ellos por tres vigas longitudinales arriostradas transversalmente mediante cruces de San Andrés y viguetas horizontales en las cabezas inferiores; las diagonales están conformadas mediante perfiles I empesillados.

Torroja proyectó el lanzamiento longitudinal de las vigas, soldadas entre sí, como si de una viga continua de tres vanos se tratara. Una vez colocadas sobre los apoyos definitivos se cortaban con soplete las

Material strength was taken into account when calculating the secondary stresses. In this regard, the deformation module assumed for the concrete was one half of the value used in normal testing —to allow for deformation in the early months— and the possible temperature differences between the concrete and the steel when exposed to the elements were likewise considered. Subsequent trials confirmed the forecasts.

The steel girders were erected by longitudinal launching, despite the difficulty inherent in the curved shape of the lower chord, whose design was mandated more by mechanical considerations than structural engineering concerns. Years later, Torroja acknowledged —with characteristic intellectual honesty— that whilst the solution adopted allowed for savings of over 25% compared to the conventional approach, as the first work of this nature that he had designed «I didn't dare adopt the continuous beam solution. The good performance of this structure since 1941 would make that procedure possible today, even with wider spans».

The Posadas Bridge over the Guadalquivir River in the province of Cordova is of the same typology and was built at around the same time.

BRIDGE OVER THE MUGA RIVER

The structure of this bridge, likewise located on the road between Barcelona and Girona, is similar in typology to the Tordera Bridge. It has three 30.50-m spans, each bridged by three longitudinal girders cross-braced with windbars and horizontal joists on the lower chords; the diagonal ties are gusseted I-beams.

Under Torroja's solution for the launch, the three girders were welded together and the operation was conducted as if for a single continuous three-span girder. Once all three girders were positioned on the

uniones para que trabajaran como vigas independientes simplemente apoyadas, y a continuación se hormigonaba el tablero que forma la cabeza de compresión.

De nuevo, el espíritu crítico de Torroja le llevaría, pasados los años, a reflexionar sobre su obra: «Indudablemente, podría hoy, con la seguridad que da la experiencia adquirida —y así lo haría si hubiese de proyectar otro puente de este tipo—, realizarse la viga continua sobre varios apoyos. Bastaría reforzar con hormigón armado la cabeza inferior, en la zona de momentos negativos sobre los apoyos, donde su peso produce flexiones de poca importancia».

Ambos puentes fueron construidos por la empresa OMES (Obras Metálicas Electro Soldadas) fundada por el propio Torroja.

PUENTE DEL PEDRIDO

El puente está situado próximo a la desembocadura de la ría de Betanzos, en la provincia de La Coruña. Existe un primitivo proyecto del ingeniero Luciano Yordi, de 1922, pero tras sucesivas modificaciones César Villalba redactó un nuevo proyecto, en 1928, en el que Eduardo Torroja actuaría como consultor para solucionar la construcción del tramo central. Éste se sitúa entre los tres arcos de hormigón y tablero superior situados en la margen derecha y los diez de las mismas características situados en la margen izquierda. Estos tramos apoyan sobre estribos cimentados sobre roca y en pilas de hormigón con núcleo de mampostería, cimentadas sobre roca las correspondientes a la margen derecha y sobre pilotes ejecutados in situ las de la margen izquierda. Para salvar el tramo central Torroja proyectó un arco atirantado de hormigón armado de tablero inferior apoyado en dos pilas estribo, de fábrica similar a las de los vanos laterales. El arco biarticulado de 75 m de luz y 12,50 m de flecha está formado por dos nervios de canto variable —entre 1,10 m en los arran-

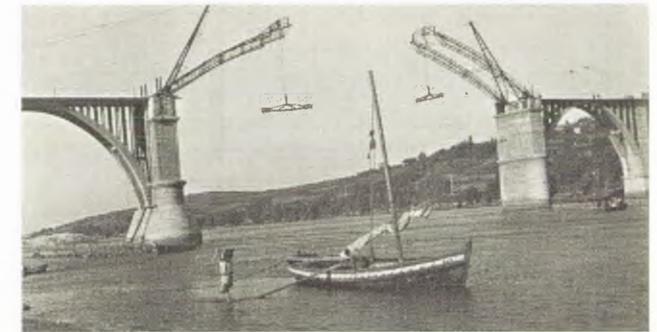
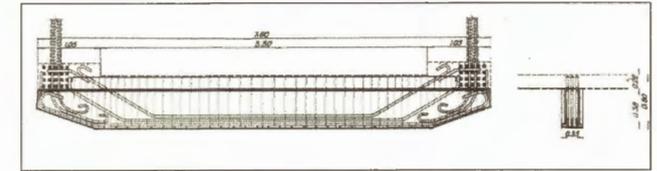
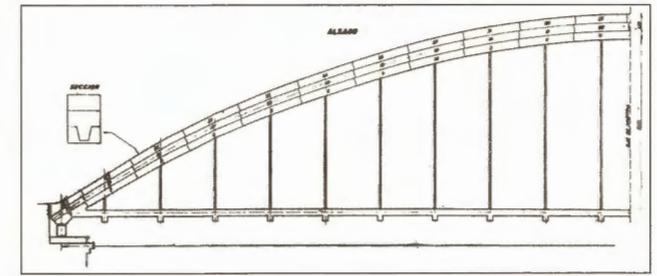
permanent supports, their welds were torched so they could work like independent, simple beams. The concrete was subsequently laid to form the deck, which constitutes the compression chord.

In connection with this bridge also, Torroja's spirit of self-criticism would lead him, years later, to make the following remark on the design: «Today, with the confidence that comes with experience, I indisputably could—and would, if I were to design another bridge like this one— erect a continuous girder with several supports. All it would take would be to strengthen the lower chord with reinforced concrete to counteract the negative moments on the supports, where the weight induces deflection of only minor importance».

This bridge was built by Torroja's own company, OMES (Obras Metálicas Electro Soldadas).

PEDRIDO BRIDGE

This bridge is located near the mouth of the Betanzos Estuary in the province of A Coruña. After amending the initial design authored by engineer Luciano Yordi in 1922 a number of times, César Villalba drafted a whole new design in 1928. Eduardo Torroja was brought in as a consultant to build the inner span of the bridge. This section is located between the three concrete arches with upper decks on the right bank and the ten structures of the same characteristics on the left bank. All these arches rest on abutments built over rock foundations or concrete piers with a masonry core. The latter are built on rock foundations on the right bank and cast-in-place piles on the left bank. To bridge the inner span, Torroja designed a reinforced concrete tied arch with a lower deck resting on two masonry pile piers, similar to the ones built for the outer stretches of the bridge. The two-pinned arch, with a span of 75 and a rise of 12.50 m, is made of two ribs of varying depth—from 1.10 m at the springline to





ques y 1,70 m en clave— y una anchura constante de 1,20 m, y arriostrado transversalmente mediante elementos de $60 \times 60 \text{ cm}^2$ colocados cada 10,95 m coincidiendo con los ejes de las péndolas que sustentan el tablero —un forjado continuo de 3,65 m de luz apoyado sobre viguetas transversales de 7 m.

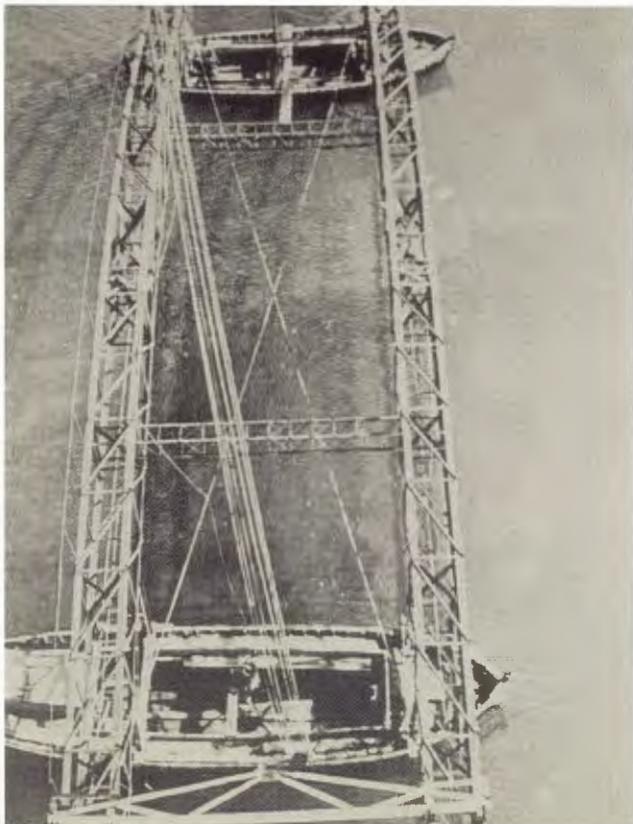
La directriz parabólica inicialmente adoptada fue posteriormente rebajada 20 cm en los riñones para acomodar el funicular de pesos propios.

El arco metálico —de perfiles laminados soldados eléctricamente— se lanzó desde ambos extremos y, una vez unidas ambas mitades en clave, se colocaba el tirante y se montaban las péndolas de sostén del tablero; posteriormente se hormigonaba el arco en tres roscas descompuestas en dovelas y con un orden prefijado de hormigonado para reducir los esfuerzos

1.70 at the crown— and a constant width of 1.20 m. The ribs are cross-braced at 10.95-m intervals by $60 \times 60\text{-cm}^2$ elements aligned with the centerlines of the hangers that support the deck —a continuous, 3.65-m wide slab resting on 7-m floor joists.

The parabolic axis initially designed was lowered by 20 cm at the quarterpoints to accommodate the dead load funicular profile.

The steel arch —made of electrically welded rolled shapes— was launched from both ends and joined at the crown, after which the tie was laid and the hangers that support the deck were mounted. Three courses of concrete were deposited segmentally on the arch in a pre-established order to minimise stress during construction. After the arch was completely



durante la construcción. Las viguetas transversales fueron fabricadas en taller y se suspendieron de las péndolas una vez hormigonado el arco.

El tirante, proyectado a base de cuadradillos soldados eléctricamente, se encuentra alojado en los andenes.

Durante el proceso de hormigonado del arco, la armadura conservaba una articulación en clave —30 cm por debajo del eje y que se suprimía al concluir la operación— para conseguir que los pesos propios produjeran en la sección de riñón un momento mínimo y de signo contrario al máximo producido después por las sobrecargas.

Las articulaciones, una fija y otra móvil, se materializaron mediante rótulas de hormigón armado.

concreted, pre-cast cross-joists were suspended from the hangers.

The tie, designed as a series of small electrically welded squares, is housed in the verges.

A crown hinge was maintained 30 cm beneath the centreline —and subsequently eliminated— as the concrete was being poured in the arch, to minimize the dead load-induced moment on the quarterpoints and ensure it would counteract the maximum moment subsequently generated by the live loads.

One of the reinforced concrete hinge bearings was a fixed hinge and the other a sliding joint.

