

PUENTES ARCO CON TABLERO INFERIOR

BOWSTRING, TIED ARCH

JAVIER MANTEROLA ARMISÉN. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Carlos Fernández Casado, S.L. cfcs1@cfcs1.com

RESUMEN: Se presentan una serie de posibilidades de relación entre tablero y arcos superiores al mismo. Se analiza la respuesta resultante de cada una de las configuraciones y su imagen que amplía el repertorio visual de una tipología que se realiza desde el siglo XIX.

PALABRAS CLAVE: ARCOS, ESPACIO, ACERO, TORSIÓN

ABSTRACT: The article considers a number of possibilities regarding the design of bowstring or tied arch bridges. The author assesses the appearance and resultant response of each type of arrangement which serve to broaden the standard repertoire of a bridge design employed ever since the 19th century.

KEYWORDS: ARCHES, SPACE, STEEL, TORSION

Los puentes arco con tablero inferior presentan dos particularidades que los han mantenido entre las soluciones habituales a lo largo de los años oscuros para los arcos que produjo la irrupción del pretensado en los años 50. La primera de ellas es su comportamiento resistente, ya que es una estructura arco que no transmite cargas horizontales a la cimentación al estar atrantada en el tablero. Esta propiedad permite su aplicabilidad hasta en las peores circunstancias de cimentación. En segundo lugar su condición de puente arco la mantiene, resaltando, quizás con más intensidad que en los arcos con tablero superior, la relación entre la rigidez del arco y la rigidez del tablero, relación fundamental en la respuesta ante sobrecargas no simétricas. La tendencia de proporcionar al arco una rigidez a flexión considerable resulta lógica para utilizar las ventajas que tiene la compresión para resistir flexiones, muy importante, este hecho, en arcos de hormigón. En cambio, cada vez con más frecuencia, se tiende a minimizar la rigidez del arco y su tamaño en los arcos con tablero inferior, concentrando la rigidez del puente en el dintel, que con su rigidez a flexión gobierna tanto la respuesta ante las sobrecargas como la estabilidad ante el pandeo del arco en el plano como fuera del plano.

La segunda particularidad la constituye su expresión formal, la cual se ha desarrollado especialmente durante

Bowstring or tied arch bridges have two characteristics which have ensured their continued use in spite of the fading popularity of arch bridges as a result of the introduction of prestressing in the 50's. The first of these characteristics refers to its strength behaviour as it is an arch structure which does not transfer horizontal loads to the foundations as the deck is tied to the arch. This allows the use of this type of bridge even under the worst foundation conditions. Furthermore, its condition as a tied arch with a lower deck further develops the relationship between the arch stiffness and that of the deck to a somewhat greater degree than that of arch bridges with upper decks. This relationship being fundamental in the response to unsymmetrical loading. The practice of providing the arch with considerable bending stiffness appears logical in order to take full advantage of compression to resist bending, this being particularly important in concrete arches. However, there is a growing tendency to minimise the stiffness and size of the tied arch and to concentrate the stiffness of the bridge in the string as the bending stiffness of this bottom chord governs the response to loadings as well as the stability against in-plane and out-of-plane buckling of the arch.

The second characteristic lies in its appearance and this has undergone particular development over recent



Figura 1/ Figure 1.

estas últimas décadas. Y esta expresión se manifiesta de una manera doble. La primera es que constituye una estructura en la cual el canto del dintel bajo la capa de rodadura puede ser mínima, lo que la convierte en una tipología aplicable a los casos en los que las luces a salvar son grandes, pero el gálibo bajo el puente es pequeño, propiedad ésta extraordinariamente útil. La segunda característica que presenta esta tipología es su expresión formal exterior. Al ser puentes que se ven tanto por el que utiliza el puente como el que pasa bajo él, se presta a muchas variaciones formales expresivas que en los últimos tiempos se han desarrollado mucho y que constituyen en sí mismo un objeto de búsqueda.

Paso a describir algunos puentes de este tipo desarrollados en nuestra empresa.

decades. The appearance of the bowstring bridge is affected by two main factors. Firstly, the bowstring bridge is a structure in which the depth of beam section below the pavement layer may be minimum and this factor makes it readily applicable for relatively large span bridges with little clearance below the bridge and this property alone makes this bridge type extremely useful. The second aspect is found in its external appearance. This is a bridge which may be equally observed by those using the bridge as well as those passing below the same and this has led to many variations in appearance, particularly over recent years and this is now a factor which is actively sought after.

There follows a brief description of some of the bowstring or tied arch bridges which have been designed by our company.

1. PUENTE PORTAL DE CASTILLA - VITORIA

Dirección: Jesús Marcos Egido,
Proyecto: Javier Manterola, Amando López Padilla.
Año 1994

Es el primer puente de este tipo que realizamos para el cruce del ferrocarril sobre las vías de entrada a la ciudad de Vitoria, extraordinariamente constreñida por el puente metálico existente, construido a principios del siglo XX. Adoptamos la disposición clásica de un arco en cada borde del tablero, Fig. 1, para sostener la doble vía de ferrocarril en un puente de 64,0 m de luz y de gran oblicuidad, 54,7 g.

Adoptamos una estructura tubular con doble arco, a fin de hacerlos más delgados, ($\varnothing = 711$ mm), a la vez de controlar su pandeo fuera del plano. Esta última condición podría haberse resuelto también, con la propia rigidez a flexión de los montantes y diagonales que relacionan el arco y el tablero.

Por tratarse de un puente de ferrocarril la relación entre arco y tablero es triangulada, extraordinariamente útil para controlar las flexiones que produce una sobrecarga de ferrocarril cuando ésta no es simétrica. La oblicuidad no presenta problema especial, en un puente con una rigidez a torsión total no muy grande.

El tablero es de hormigón pretensado, característica ésta muy apreciada por RENFE dada la tranquilidad (no total) que produce, de cara a su conservación, un dintel situado bajo las vías, siempre más difícil de ver.

La construcción se realizó en una situación paralela a la definitiva, sin interrumpir para nada ni el tráfico carretero ni el ferroviario. Una vez terminado totalmente el puente se procedió a eliminar el puente antiguo y a reparar el nuevo hasta su situación definitiva (Lastra), operaciones que junto a la reposición de los anteriores se realizó en 14 horas.

2. PASARELA EN PLENTZIA

Dirección: Carlos Estefania,
Proyecto: Javier Manterola, José Montero.
Año 1991-1992

La pasarela de Plentzia fue necesario realizarla para restituir el paso entre la estación de ferrocarril y el pueblo de Plentzia a través de la ría del mismo nombre, paso que había sido gravemente dañado por las famosas inundaciones de Vizcaya. Fig. 2.

En esta caso los arcos se inclinan uno hacia el otro hasta encontrarse en el centro. Se consigue así una configuración espacial interesante. Los usuarios que se introducen en

1. CASTILLA - VITORIA GATEWAY BRIDGE

Director: Jesús Marcos Egido,
Design: Javier Manterola, Amando López Padilla.
Year 1994.

This was the first bridge of this type that we designed for the rail crossing over the access roads to the city of Vitoria. These approach roads being very much restricted by the existing steel bridge which had been built at the beginning of the 20th century. We adopted the traditional arrangement with one arch set on each side of a deck (Fig. 1) supporting double railway track on a 64m span bridge set very skew to the road (54.7°).

We employed a double arch tubular structure in order to make the arches as slim as possible (711mm) and to control the out-of-plane buckling. This latter condition could also have been solved by the bending stiffness of the uprights and diagonal hangers tying the arch to the deck.

As this was a railway bridge the arch-deck connection was triangulated as this very much helps control the bending caused by railway loadings when these are not symmetrical. The oblique nature of the arches do not pose any specific problems in a bridge of this nature with a relatively low total torsional stiffness.

The deck is formed of prestressed concrete, this being much appreciated by Spanish Rail (RENFE) given the peace of mind offered in terms of maintenance (though not total) by a slab set directly below the track and which is always more difficult to see.

The bridge was built parallel to its final location without ever interrupting road or rail traffic. Once the bridge was totally erected, the old bridge was dismantled and the new one was shifted to its final position in an operation which, including the resetting, took just 14 hours.

2. PLENTZIA FOOTBRIDGE

Director: Carlos Estefania.
Design: Javier Manterola, José Montero.
Year 1991-1992.

The Plentzia Footbridge was built to restore the crossing from the railway station to the town of Plentzia, as the old river bridge had been seriously damaged by flooding (fig. 2).

In this case the arches lean towards each other until meeting in the centre. This arrangement creates an interesting spatial effect and pedestrians crossing the bridge experience immediately become enveloped within the area

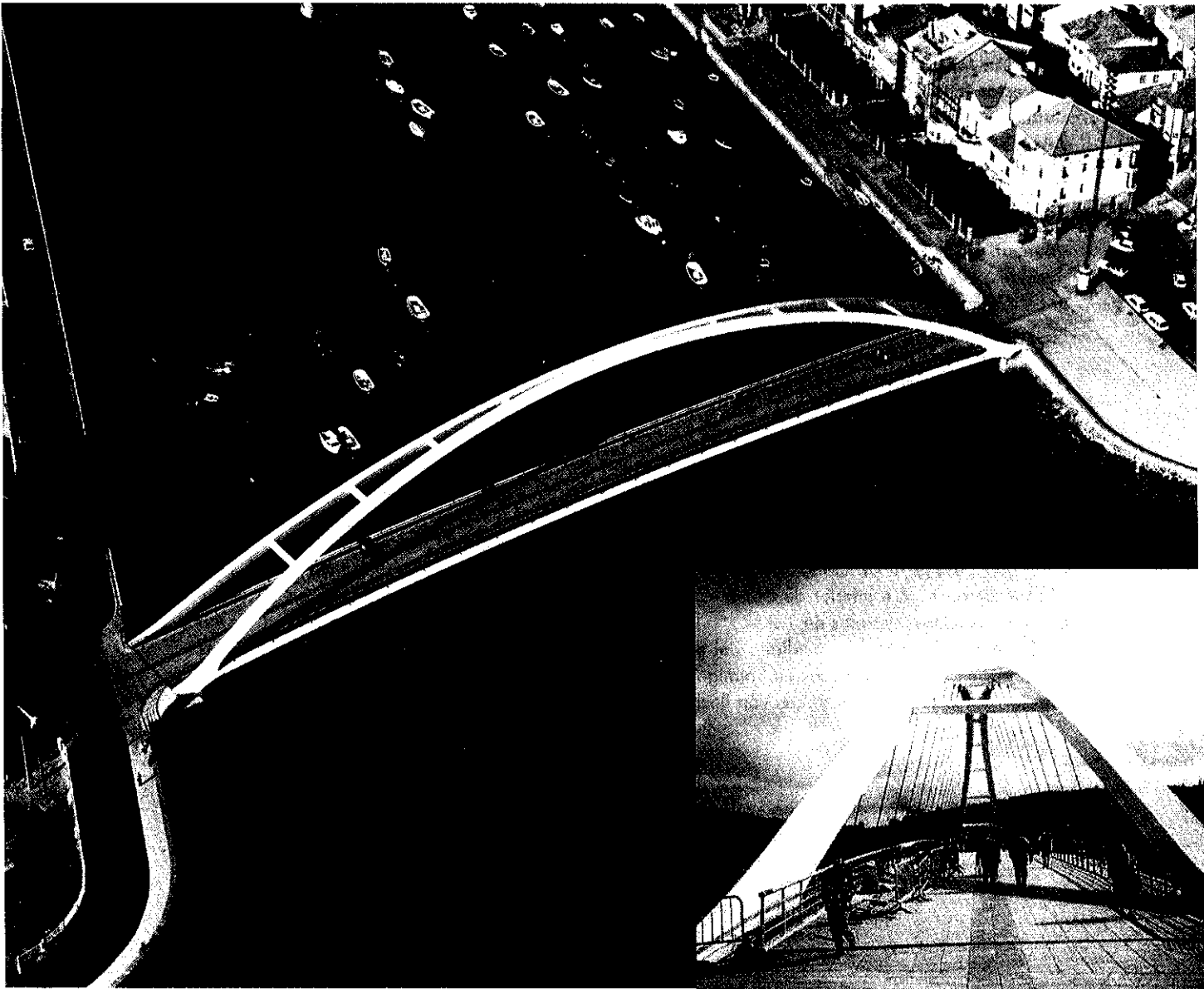


Figura 2/ Figure 2.

Figura 3/ Figure 3.

el puente experimentan el espacio creado por los arcos inclinados, Fig. 3, y los tirantes. Toda la estructura es metálica salvo el tablero que es mixto.

La luz de esta pasarela es de 117,6 m y los arcos están formados por dos vigas cajón de 1,2 m x 0,8 m. Las vigas de rigidez laterales que bordean el tablero tienen 50 cm de canto y se completa con una estructura mixta transversal para soportar los 10 m de anchura útil del tablero.

El puente se construyó sobre el antiguo puente de unión entre la estación y el pueblo, que permitía soportar la nueva pasarela y después se ripó transversalmente a su situación definitiva (Lastra). El puente antiguo se demolió.

created by the leaning arches and the braces. The entire structure is formed in steel with the exception of the deck which is composite.

The footbridge has a span of 117.6 m and the arches are formed by two 1.2 m x 0.8 m box girders. The lateral stiffening edging the deck are 50 cm deep and are completed with a transversal composite structure to support the 10 m effective width of the deck.

The footbridge was built over the old bridge between the station and the town with the old bridge serving to support the new and this latter was then transversally shifted into its final position and the old bridge demolished.

3. PUENTE DE ALCANTARILLA SOBRE EL RÍO SEGURA

**Dirección José M^a Polo.
Proyecto: Javier Manterola, Antonio Martínez
Cutillas, Construcción: FCC.
Año 1991**

El puente de Alcantarilla es extremadamente largo, 656,00 m, y discurre sobre el río Segura en Alcantarilla (Murcia). Esta gran longitud corresponde a los vanos de avenidas, interesándonos aquí únicamente el tramo de 64 m de luz del cruce sobre el río Segura que es un arco con tablero inferior algo particular.

Y es algo particular porque el tablero sigue el trazado de los vanos de avenidas y no es sino una prolongación de éstos. También en este caso y antes que en el puente de Zaragoza la idea del proyecto es la de un dintel continuo diseñado para una luz tipo del tramo de avenidas de 34 m, que en el momento que tiene que atravesar el río de 64 m se ayuda de un arco centrado. Fig. 4.

Los dos dinteles son losas aligeradas trapeciales de hormigón de 1,5 m de canto y dimensión superior de 13,4 m de anchura e inferior de 6,2 m. Cuenta con cuatro aligeramientos interiores de 1,2 m.

El arco, centrado en la mediana del puente está formado por una pareja de arcos de hormigón de 1,0 m de espesor, y 1,5 m de anchura, con una flecha en el eje de 7,0 m.

Figura 4/
Figure 4.

3. ALCANTARILLA BRIDGE OVER THE RIVER SEGURA

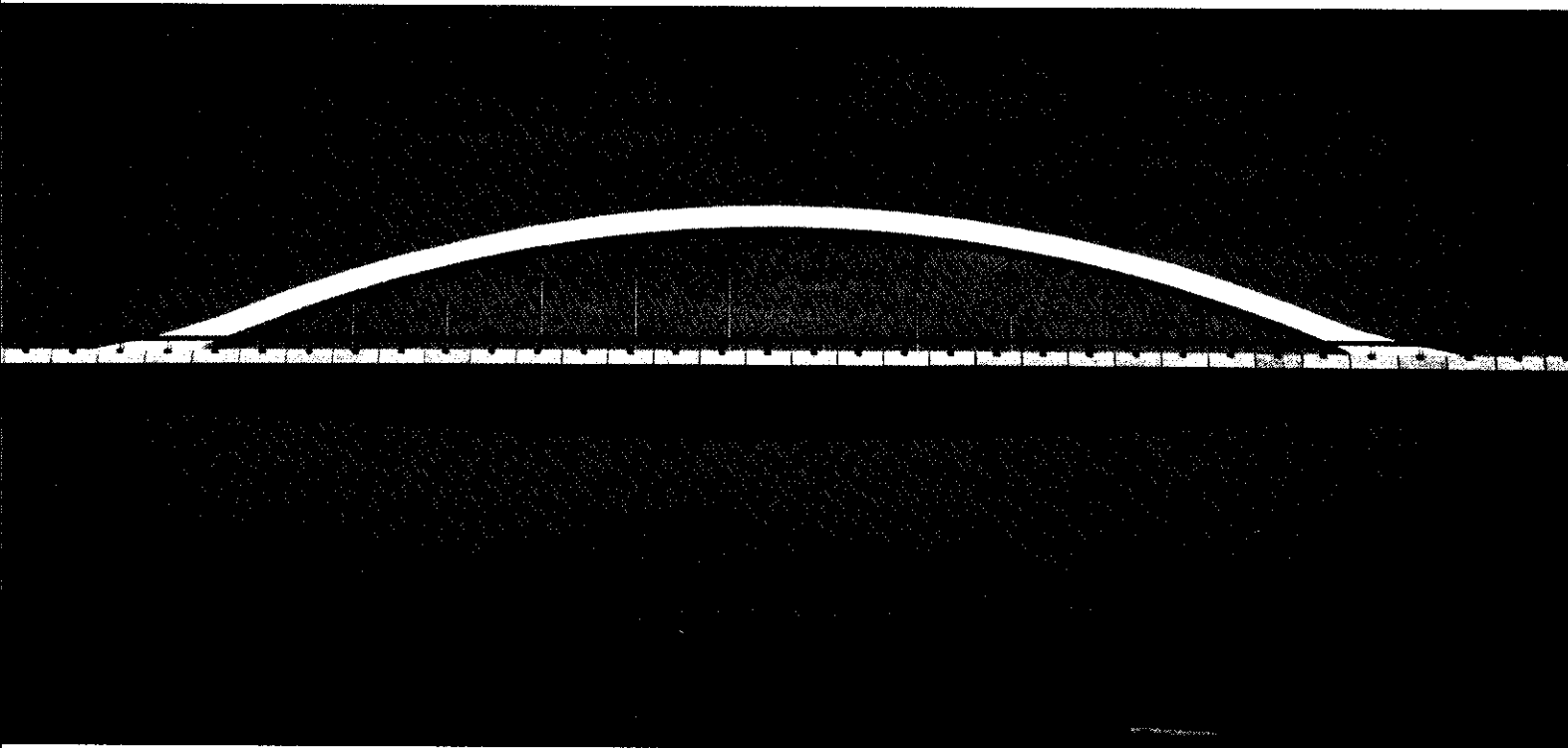
**Director: José M^a Polo.
Design: Javier Manterola, Antonio Martínez Cutillas.
Construction: FCC.
Year 1991**

The Alcantarilla Bridge is extremely long at 656 m and crosses the river Segura at Alcantarilla (Murcia). This great length is almost entirely made up of the flood water spans and here we are purely interested in the 64 m span section crossing the river itself and which is formed by a tied arch which is slightly out of the ordinary.

This peculiarity lies in the fact that the deck follows the line of the approach spans and is a mere extension of the same. In this case and as in a previous instance with a bridge in Zaragoza, the design is that of a continuous span formed by standard 34m freshet spans and at the point where the bridge crosses the 64 m wide river, the spans are supported by a central arch (fig. 4).

The 1.5m deep beam sections are formed of lightened slabs tapered on cross section from 13.4 m wide at the top to 6.2m at the bottom. The beams have four 1.2 m internal lightening voids.

The arch, centred at the median of the bridge, is formed by a pair of 1.0 m deep by 1.5 m wide concrete arches with a 7.0 m clearance at the centre.



La referencia entre el arco y el tablero son una serie de costillas transversales que unen un nervio longitudinal central de canto variable con las losas longitudinales. Y en este hecho se produce la particularidad de este puente, pues los tableros, de gran rigidez longitudinal, no descargan casi carga en el arco en la proximidad de las pilas (predomina la rigidez longitudinal sobre la transversal) mientras que cuando se alejan de las pilas la carga del dintel se transmite al arco en toda su cuantía. Fig. 5.

Esto ocasiona que las ménsulas transversales tengan que tener un canto mucho más importante en el centro del arco que en la zona de pilas, lo que ocasiona la forma curva de la viga longitudinal centrada lo que produce esa característica forma de pez constituida por el arco y la viga longitudinal centrada.

4. PUENTES DE ZARAGOZA, ELCHE Y LOGROÑO



Figura 5/ Figure 5.

The arch and deck are connected by a series of transversal cantilevers which join a central longitudinal rib of variable depth to the longitudinal slabs. This construction detail is one of the main characteristics of the bridge as the decks, which have great longitudinal stiffness, barely transfer any load to the arch in the immediate areas of the piers (the longitudinal stiffness prevailing over the transversal) but this loading gradually increases with the distancing from the pier until being fully transferred to the arch (Fig. 5).

This factor means that the transversal cantilevers are far deeper at the centre of the arch than in the area of the piers and gives rise to the curved form of the central longitudinal beam and this together with the arch serve to create a fish shape effect.

4. ZARAGOZA, ELCHE AND LOGROÑO BRIDGES

En estas obras realizamos una trilogía del puente arco con tablero inferior en el que un solo arco se mantiene en el eje del tablero y es el tablero el que adopta tres posiciones diferentes, tablero recto con arcenes adosados (Zaragoza), tablero y aceras curvas (Elche) y tablero recto y aceras curvas (Logroño). Se trata de variaciones formales con la pretensión de realizar un estudio comparativo sobre la espacialidad del puente cuando se penetra en él.

4.1. Puente sobre el río Ebro en Zaragoza.

Dirección: Ángel Morancho.

Proyecto: Javier Manterola, Antonio Martínez

Cutillas,

Construcción: Fernando Escorihuela y

Carlos José Conejo.

Año 2002.

El puente se proyectó en 1997 y se terminó de construir en 2002. Constituye la obra más importante de la Ronda de la Hispanidad. El puente tiene 120 m de luz

These works form a trilogy of tied arch bridges where one single arch is set along the centreline of the deck though in each case the deck adopts a different position: a straight deck with abutting verges (Zaragoza), curved deck and footway (Elche) and straight deck and curved footway (Logroño). These three bridges all show different arrangements and a comparative study is made of the spatial affect created when entering each of these bridges.

4.1. Bridge over the River Ebro in Zaragoza.

Director: Angel Morancho.

Design: Javier Manterola, Antonio Martínez

Construction: Fernando Escorihuela and

Carlos José Conejo.

Year 2002.

The bridge was designed in 1997 and was finally completed in 2002. This is the most important work on the Ronda de la Hispanidad, the new ring road skirting round

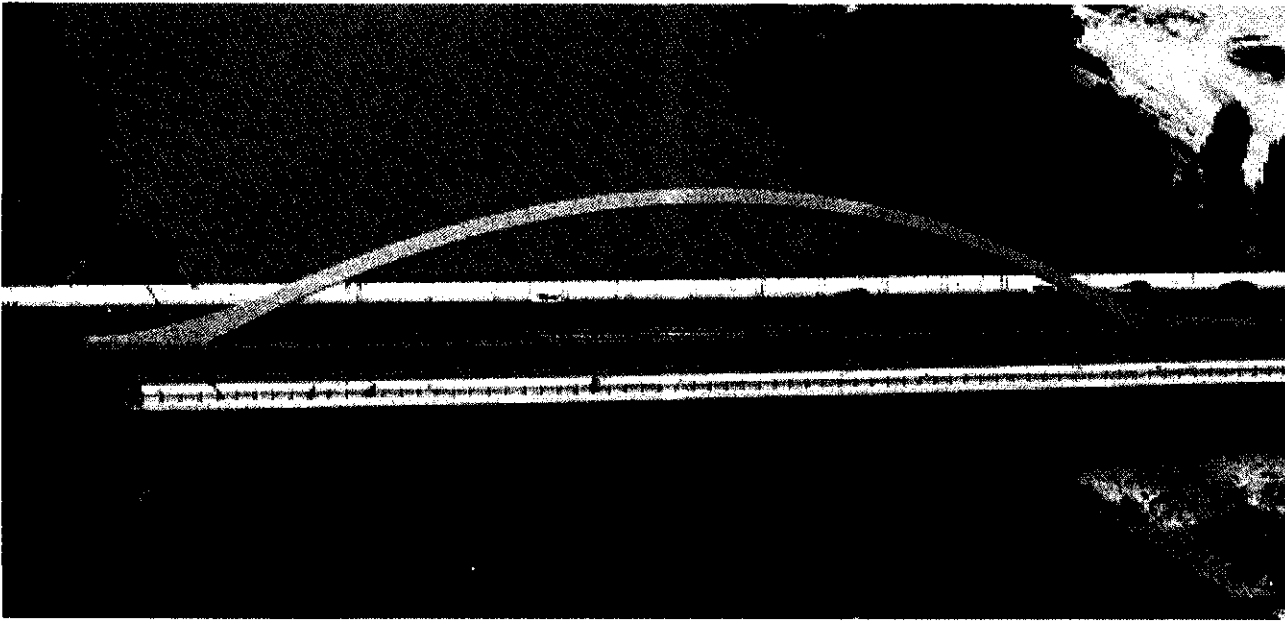


Figura 6/
Figure 6.

en el cruce del cauce y 52 m y 40 m en los tramos de acceso, Fig. 6.

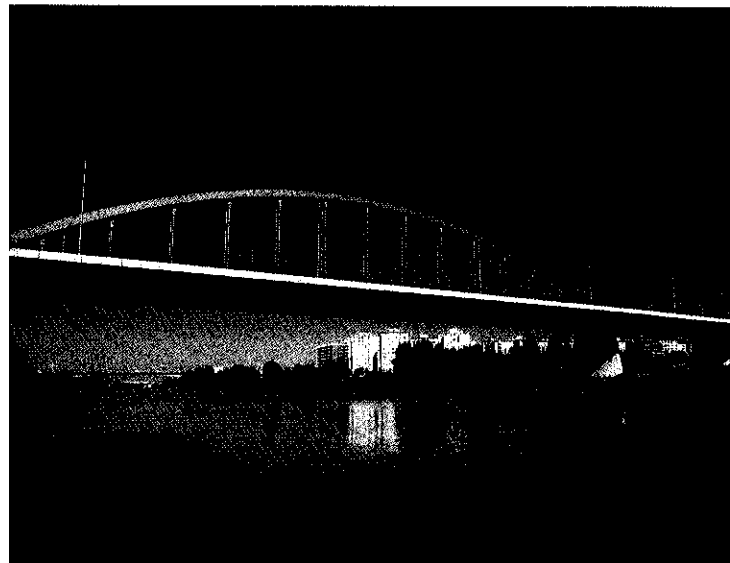
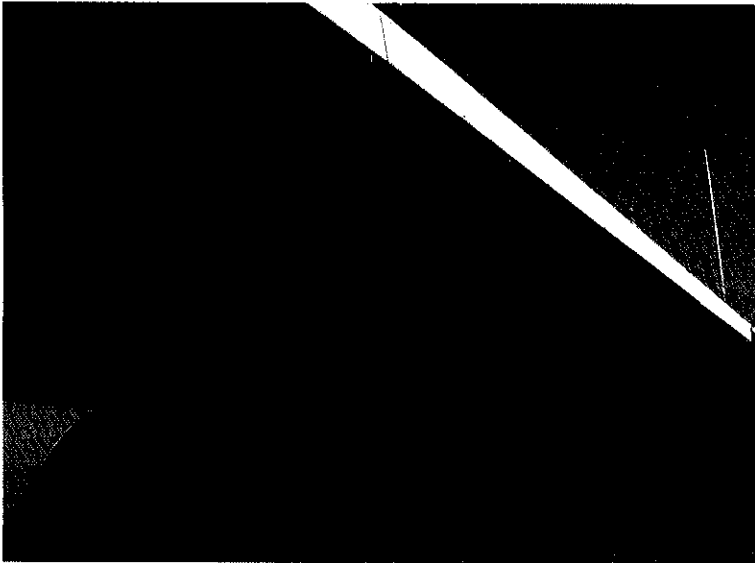
En este puente desarrollamos una idea simple, se diseña un tablero para salvar los 52 m de luz y se prolonga de uno a otro extremo, a lo largo de los 304 m de longitud del puente. En el cruce del río, el dintel necesita ayuda y ésta se la proporciona el arco centrado en el eje del tablero, arco que en este caso es mixto, de sección triangular, de 18 m de flecha en el centro y canto máximo variable entre 1,6 m y 1,74 m, Fig. 7.

Zaragoza. The bridge has a 120 m span over the river and 52 m and 40 m approach spans (Fig. 6).

The bridge was developed on the simple basis of a deck spanning the 52m of the river bed and extended at both ends to form the final 304 m of the bridge. The beam structure crossing the river required support and this was provided by means of an arch set on the centreline of the deck. The arch in this case being of composite construction, triangular section and with a 18m clearance at the centre and a variable maximum thickness ranging from 1.6 m and 1.74 m (fig. 7).



Figura 7/
Figure 7.



Figuras 8 y 9/
Figures 8 and 9.

La anchura del tablero es de 31,0 m y esta formado por una viga cajón curva en el centro de 2,2 m de canto y 10 m de anchura y dos voladizos transversales nervados y curvos de 11 m de luz. La curva inferior del dintel y la de los voladizos nervados se continuó en forma de "S" sin transición de continuidad.

El tablero controla el comportamiento del arco. Como su rigidez a flexión y torsión es grande, el pandeo en el plano del arco está sujeto por la rigidez a flexión del dintel y el pandeo fuera del plano del arco también, pues al intentar salirse fuera del plano, los tirantes también se inclinan e introducen una componente transversal contraria a la dirección del movimiento del arco.

El estribo es curvo en planta, de la misma manera que como hemos dicho, el dintel tiene forma transversal curva en "S". Esta conjunción entre estribo de planta curva y dintel de sección transversal curva funciona muy bien, tanto desde un punto de vista funcional, como resistente y visual. No es la primera vez que la utilizamos y no será la última, Fig. 8.

El dintel está pretensado longitudinal y transversalmente. Longitudinalmente para enfrentar el empuje del arco, que se cortocircuita a lo largo del dintel y además para reducir el efecto de la flexión vertical en el mismo. Transversalmente, en los nervios o costillas transversales para transmitir su efecto al cuerpo central.

Las péndolas están formadas por dos unidades, en cable cerrado, separados entre sí, en dirección transversal, 1,3 m. Sus diámetros son variables según su localización en el puente con valor típico de 80 mm y las extremas de 92 mm. Fig. 9.

El tablero se construyó en dos fases. En primer lugar el cajón central de 10 m de anchura que se realizó apoyándolo en una cimbra autoportante apoyada en tres apoyos fijos provisionales situados en el cauce. Una vez terminado el cuerpo central, un carro transversal fue realizando los voladizos nerva-

The deck is 31.0m wide and is formed by a 10m wide central curved box girder and two 11m span curved rib cantilevers on either side. The lower curve of the beam section and that of the ribbed cantilever is continued to form an apparently seamless "S" shape.

The deck controls the behaviour of the arch. As this has high torsional and bending stiffness, both in-plane and out-of-plane buckling of the arch is held by the flexural beam of the beam structure and when the arch attempts to move out-of-plane, the hangers also move and introduce an opposite transversal component to offset the movement of the arch.

The abutment is curved on plan to suit the cross-sectional "S" shaped curve of the beam section. This combination between the curve on plan abutment and the cross-sectionally curved beam section works very well in terms of function, strength and appearance. This is not the first time that we have employed this system and it will not be the last (fig. 8).

The beam section is longitudinally and transversally prestressed. The longitudinal prestressing is employed to withstand the thrust of the arch, which is distributed throughout the beam, and also to reduce the effect of vertical bending, while the cross-section prestressing is employed to transfer the effect of the ribs or cantilevers to the central beam section.

The hangers are formed by two groups of closed cables spaced 1.3m apart across the deck and varying in diameter according to location. The standard diameter cable being 80 mm while those at the ends are 92 mm (fig. 9).

The deck was built in two stages. The 10 m wide central beam section was constructed on self-bearing formwork set on three provisional supports placed in the river bed. Once the central core was completed the 40 cm deep transversal rib cantilevers were cast by sliding form and spaced every 4

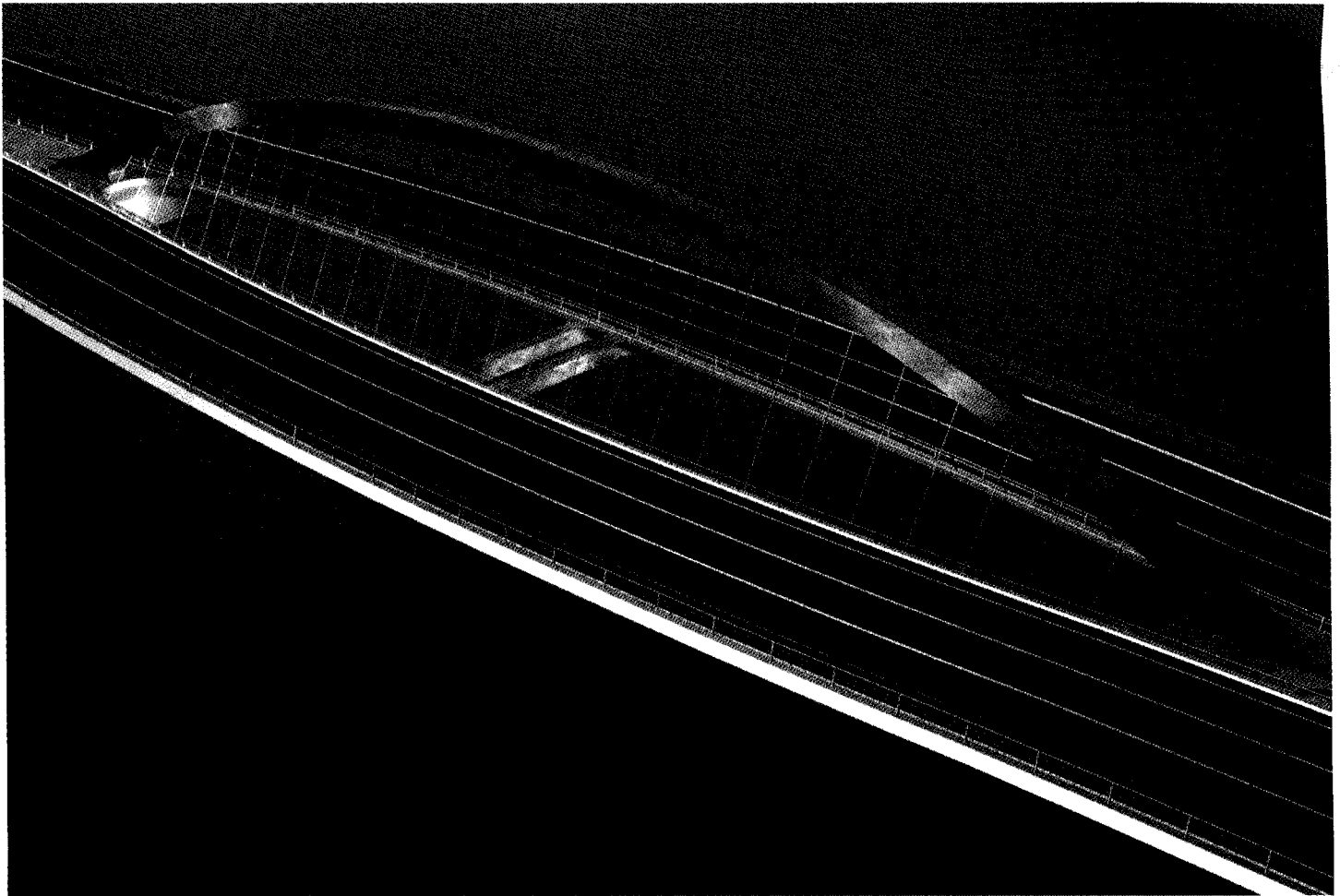


Figura 10/
Figure 10.

dos transversales, con nervios de 40 cm de espesor, separados entre sí 4 m. El carro se movía apoyado en el cajón central.

Una vez realizado todo el dintel se construirá el arco en su parte superior, apoyándose en el tablero y, una vez descimbrado, se hormigonaba el interior del arco. Por último se ponen en carga los tirantes hasta descimbrar el tablero de sus apoyos provisionales.

4.2. Puente de Elche.

Dirección: Andrés Fuster,

Proyecto: Javier Manterola, Miguel Ángel Gil.

Año 1995.

Este es el único de los puentes que presentamos que no está construido. El proyecto de construcción se terminó a finales de 1994. La razón de traerlo aquí es la de que completa la trilogía de los puentes de este capítulo. Aunque realizado el proyecto poco después del puente de Zaragoza, quisimos obtener una dimensión espacial del mismo, para lo cual, separamos el tablero en dos mitades por medio de la intercalación de una elipse central, Fig. 10.

m. The sliding form was supported on the central beam section.

Once the entire span was completed the upper part of the arch was constructed, while being supported from the deck, and once the formwork had been struck, the lower part of the arch was formed. The bracing was then loaded until the deck formwork was struck.

4.2. Elche Bridge

Director: Andres Fuster.

Design: Javier Manterola, Miguel Angel Gil.

Year 1995.

This is the only bridge not to have been built among those presented here. The design was completed at the end of 1994 and it is purely presented in order to complete the trilogy of bridges in this section. While the design was carried out shortly after that of the Zaragoza Bridge, we sought a different spatial arrangement and, subsequently, separated the deck into two halves around a central intersecting elliptical opening (fig. 10).

Tiene 120 m de luz, dos calzadas de 13,5 m de ancho que están separadas entre sí 15,00 m entre bordes interiores. El arco central tiene 13,0 m de flecha y unas dimensiones de 1,6 x 2,0 m. Tanto arco como tablero son metálicos, y este último de sección trapecial con canto entre 1,6 m y 1,2 m y 7,85 m de anchura.

El atrantamiento entre arco y tablero se realiza en los bordes interiores del tablero consiguiendo de esa manera un espacio lateral al paso de los coches.

El planteamiento formal, como variante del puente de Zaragoza nos satisfacía, pero a lo largo de su realización encontramos varias dificultades no pequeñas principalmente debido a la torsión de los tableros curvos. Tenemos bastante experiencia en la sustentación de dinteles curvos desde un borde, generalmente en pasarelas y los problemas de torsión que producen no son muy grandes siempre que la curvatura en planta del dintel sea suficiente y la anchura del tablero no sea demasiado grande. En estos casos la torsión proporcionada por la curvatura en planta se recoge bastante bien por el par transversal que se produce con la carga y la descarga entre tirantes. Pero para que este mecanismo funciones bien, la curvatura en planta debe ser suficiente, la anchura reducida y la sobrecarga pequeña, cosa ésta que no pasa en este puente, pues la anchura de cada tablero es de 13,5 m y el radio de curvatura en planta del borde interior es muy grande.

Esto ocasiona que la rigidez a torsión de un tablero cargado la quiera buscar, además de en su propia rigidez a torsión, en la del tablero gemelo al cual está unido por los tirantes inclinados y el arco. Y esta rigidez aunque suficiente para controlar los esfuerzos de torsión no era suficiente para controlar las flechas verticales que resultaban excesivas. El arco intermedio no proporciona en sí casi ninguna rigidez en dirección fuera del plano.

Para controlar las flechas verticales, la referencia entre tableros debía ser directa, a través de las dos vigas que existen entre los dinteles de 1,6 m x 0,4 m, y no indirecta a través de la deformabilidad tirante, del arco fuera del plano y del tirante. Razón ésta por la que aparecen las dos vigas intermedias. Fig. 11.

Con esta disposición se resolvía todo el problema y la presencia de las vigas no enturbia la idea inicial del tablero.

Un problema que nos volvimos a plantear en este puente fue el de la resistencia a torsión de secciones en cajón mixtas y la flexibilidad añadida ocasionada por la fisuración del hormigón. Entonces no nos atrevimos a adoptar esta solución, habida cuenta las graves consecuencias ocasionadas por la torsión, por lo que decidimos realizar el tablero totalmente metálico.

Otro problema añadido era la transmisión del empuje del arco a través de los dos tableros curvos entre uno y otro

The bridge has a span of 120 m with two 13.5 m wide carriageways spaced 15 m apart at the widest point of the ellipse. The 1.6 x 2.0 m central arch has a 15 m clearance and both arch and deck are formed in steel, this latter being tapered in section and between 1.6 and 1.2 m deep and 7.85 m wide.

The bracing between arch and deck is set at the inner edges of the deck and, thereby, allows lateral clearance for the passage of vehicles.

While we were fully satisfied with the formal arrangement of the bridge, and considered this as a variation on the Zaragoza Bridge, we encountered a number of serious difficulties throughout the design procedure which were largely due to the torsion of the curved decks. We have wide-ranging experience regarding the edge support of curved beam sections, particularly in terms of footbridges and the torsional problems which arise are never particularly severe providing that the curve on plan of the beam section is sufficient and the width of the deck is not too excessive. In these cases the torsion produced by the curve is suitably absorbed by the transversal coupling produced by the loading and unloading between braces. However, in order for this mechanism to work correctly, the curve on plan should be sufficient and there should be a reduced width and small loadings. This was not the case in this bridge as each deck was 13.5 m wide and the internal edge of the same was very curved on plan.

This meant that the torsional stiffness of a given loaded deck had to include both its own torsional stiffness as well as that of the twin deck to which it was connected by the sloping braces and the arch. While the stiffness was sufficient in terms of torsional forces, it could not control vertical deflections and these were seen to be excessive. The intermediate arch provided little or no stiffness in the out-of-plane direction.

In order to control the vertical deflection, it was necessary that there be direct reference between the decks by means of the two 1.6 x 0.4 m cross beams set between the longitudinal beam sections and not an indirect connection by means of the deformability of the out-of-plane arch and the ties. This is the reason behind the two intermediate cross beam shown in fig. 11).

This arrangement then solves the problem and the presence of the cross beams does not unduly disrupt the original idea regarding the deck.

One problem that made us reconsider this bridge was that of the torsional strength of the composite box sections and the added flexibility caused by the cracking of the concrete. As such, we did not dare adopt this solution in view of the serious consequences caused by the torsion and we, instead, decided to make the deck entirely in steel.

A further added problem was the transfer of the arch's thrust through the two curved decks between the abutments.

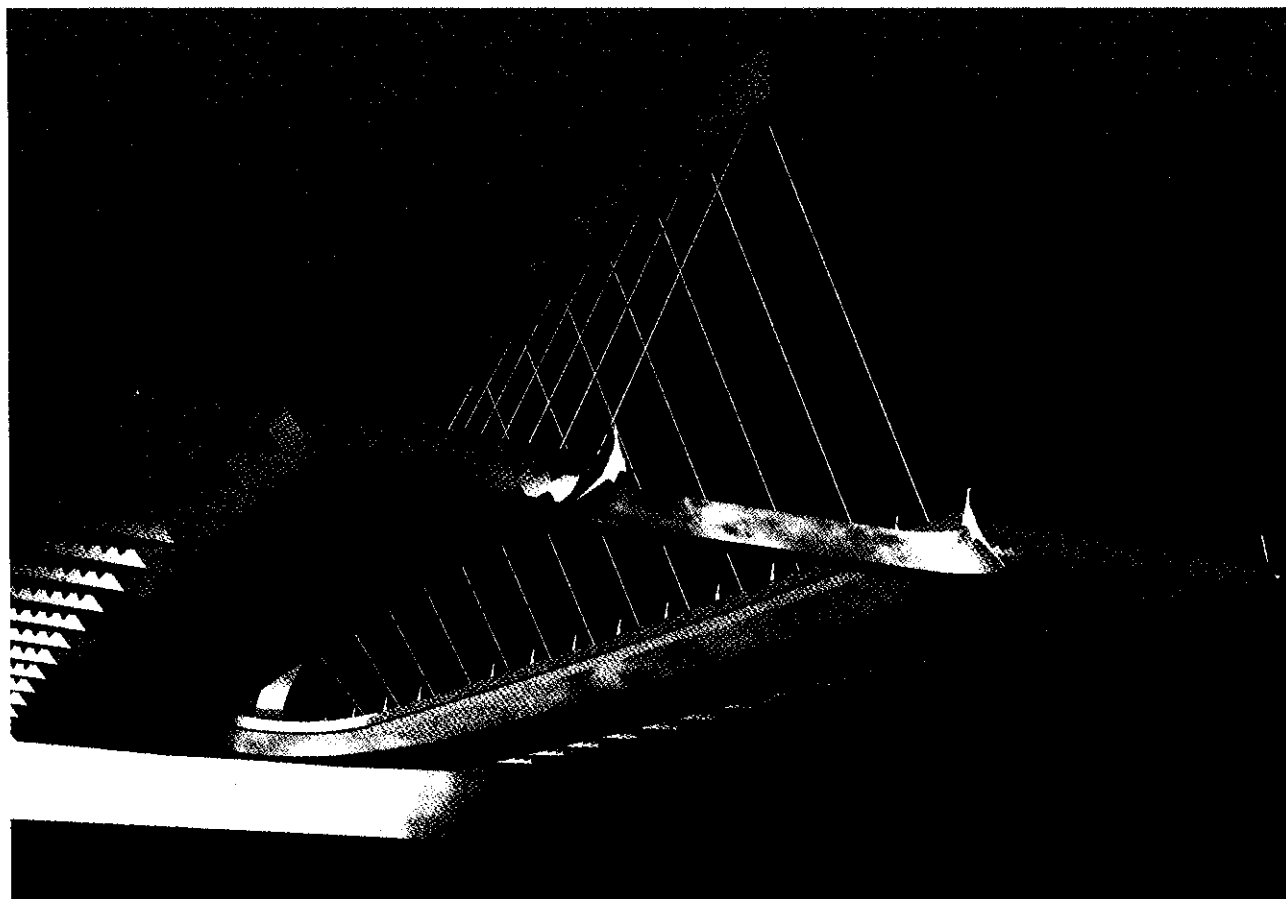


Figura 11/
Figure 11.

estribo lo que ocasionaba flexiones significativas en las vigas horizontales de borde y en los propios tableros.

En este puente como en el puente de Zaragoza los estribos son curvos en planta con lo cual se suaviza perfectamente el encuentro entre tablero y terreno.

La curvatura en planta de las vías producía un problema a considerar en la circulación de los vehículos lo que nos obligó a reducir la curvatura en planta. El diseño final fue el resultado de la adecuación entre configuración espacial del puente y la idoneidad de las condiciones de circulación. Esto en una autopista no tendría sentido pero si en un puente urbano como es el puente sobre el río Vinalopó en Elche.

4.3.- Puente sobre el Ebro en Logroño.

Direcc, Francisco Herrero,

Proyecto. J. Manterola,

Miguel A. Gil. Construcción Ferroviol, Kenneth

Martínez, Elena Peyró.

Año 2003.

Con este puente se completa la trilogía de puentes arco con tablero inferior, en el que el tablero se divide en dos partes, una centrada, para su utilización por vehículos y

This led to significant bending in the horizontal edge beams and in the decks themselves.

This bridge, like the Zaragoza Bridge, is fitted with curved on plan abutments which serve to graduate the meeting point between deck and ground.

The curvature of the carriageways posed a further problem in terms of traffic movement and this forced us to reduce the curvature on plan. The final design was the result of a compromise between the spatial arrangement of the bridge and suitable traffic conditions. This would make absolutely no sense whatsoever on a motorway but can well be applied to an urban bridge such as that over the River Vinalopó in Elche.

4.3. Bridge over the River Ebro in Logroño.

Director: Francisco Herrero.

Design: Javier Manterola, Miguel A. Gil.

Construction: Ferroviol, Kenneth Martinez,

Elena Peyró.

Year 2003

This bridge completes the trilogy of tied-arch bridges and in this case the deck is divided into two parts; one central section for traffic and an outer section set 23 m

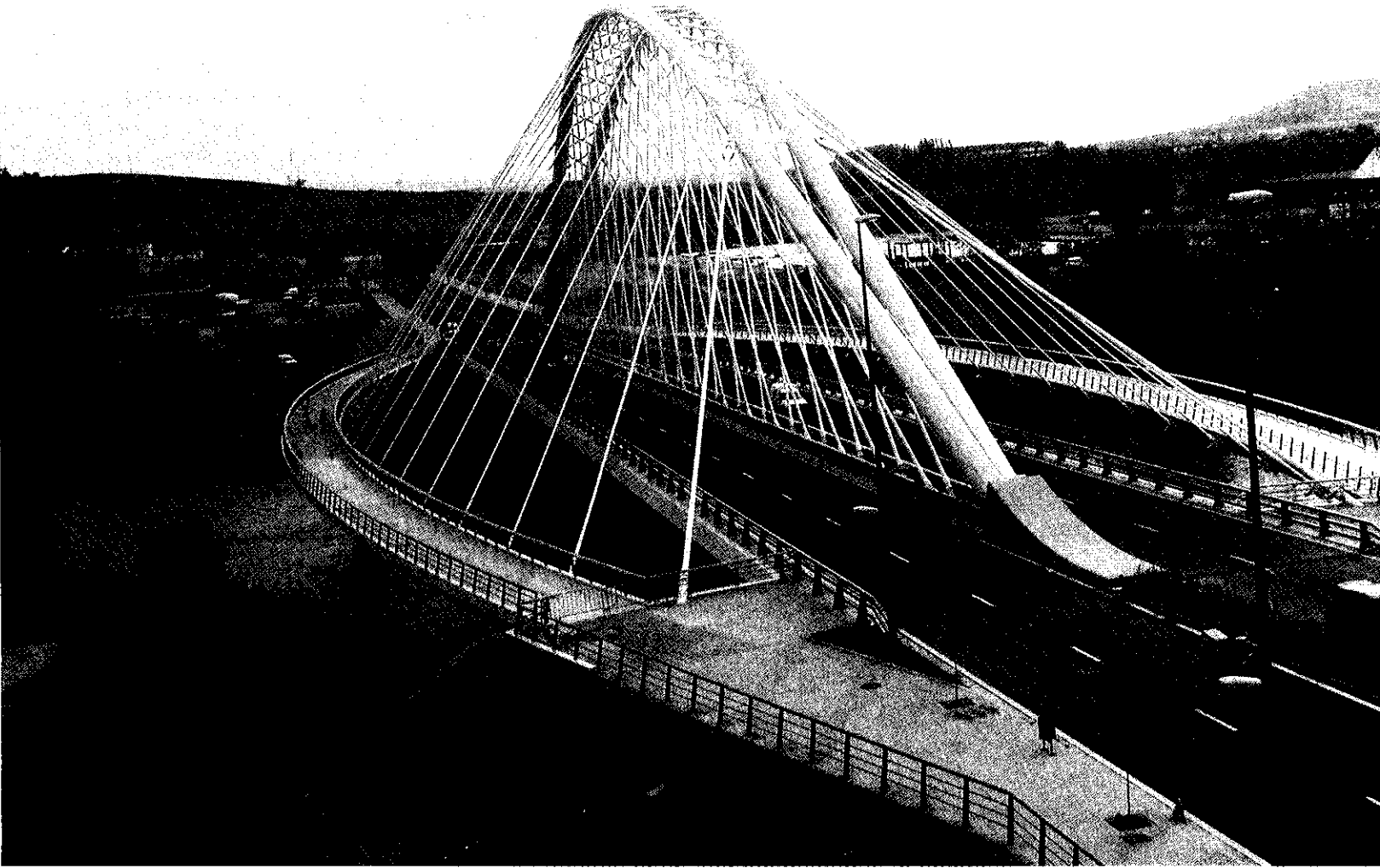


Figura 12/Figure 12.

otra que se separa 23 m, por donde discurren los peatones. Ambas calzadas cuelgan de uno mismo arco central con lo que se consigue un verdadero espacio interior en el que penetran los coches. Los peatones se deslizan lateralmente bordeando el espacio.

Es un puente eminentemente urbano que une la zona residencial de la margen derecha del río con las instalaciones deportivas de la margen izquierda, tiene pues un tráfico local intenso.

Se trata de un puente arco de 140 metros de luz compuesto por tres tableros. El central sirve para el tráfico de vehículos y los laterales son pasarelas peatonales, los tres cuelgan del arco central, Fig. 12.

El tablero para el tráfico de carretera es un cajón mixto de sección trapecial de 18,6 metros de ancho y 2,0 metros de canto. Está compuesto de tres células, la central de 4,0 metros de an-

apart for pedestrian use. Both roadway and footway hang from the same central arch which forms a type of tunnel effect for approaching traffic, while pedestrians pass along outer footways in the manner of raised balconies

This is essentially an urban bridge which connects a residential area on the right bank of the river to a sports complex set on the left bank and is, therefore, subject to fairly heavy local traffic.

The bridge has a 140 m span and is composed of three decks. The central deck is for road traffic while the side decks are employed for pedestrian use. All three arches hang from the central arch (fig. 12).

The deck for road traffic is formed by an 18.6 m wide and 2 m deep tapered composite box section. The box girder is composed of three cells, one 4 m wide central cell

cho y las laterales de 7,3 metros de ancho cada una. Sobre el cajón metálico se dispone una losa de hormigón de 26 centímetros de espesor hormigonado sobre un encofrado perdido de chapa perfilada.

Las pasarelas peatonales son vigas cajón metálicas con forma trapecial irregular. La anchura superior es de 4,0 metros y la inferior de 2,0 metros, tienen un canto constante de 1,1 metros, Fig. 13.

En este puente, como otros del mismo tipo, la capacidad del arco a la flexión longitudinal está limitada, por tanto frente a cargas alternativas de tráfico, el tablero central contribuye en gran medida a la resistencia del conjunto.

Para que las péndolas que soportan las pasarelas laterales no estorben el paso de los vehículos del tramo central se ha diseñado un arco funicular en el que las péndolas que soportan las vigas cerca de los apoyos suban a posiciones elevadas del arco. De esta forma el antifunicular del arco termina en línea recta, Fig. 14.

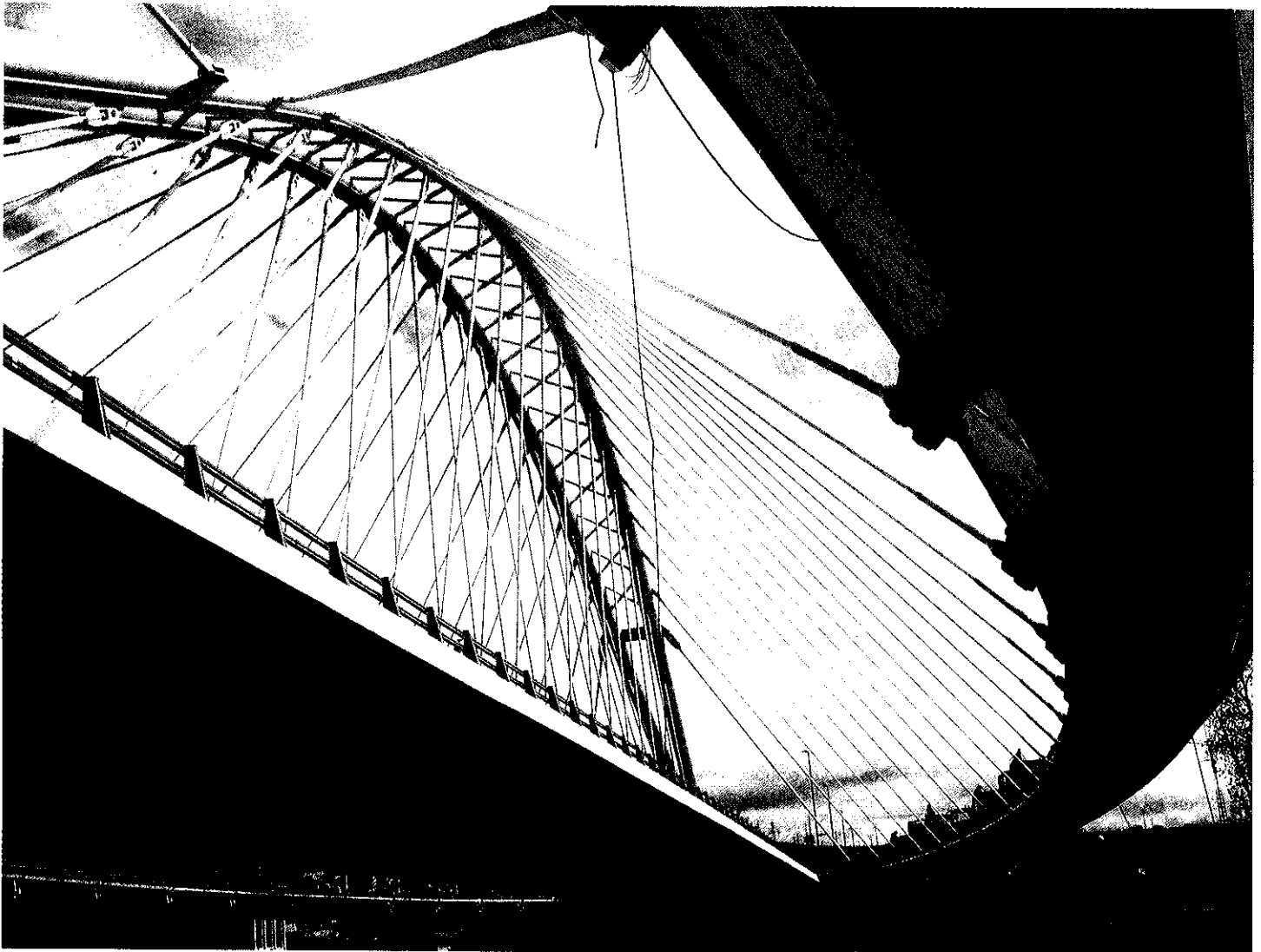
and two 7.3 m wide outer cells. The steel box girder is covered by a 26 cm thick concrete slab which was concreted on steel plate lost formwork.

The pedestrian walkways are formed of steel box girders with a constant depth of 1.1 m and irregularly tapered from 4.0 m at the top to 2.0 m at the bottom (fig. 13).

In this bridge, as in others of the same type, the arch's longitudinal bending capacity is restricted and, as such, in the face of varying traffic loads, the central deck largely contributes to the strength of the entire assembly.

In order to prevent any disturbance to road traffic by the hangers supporting the lateral walkways, a funicular arch was designed in which the hangers holding the beams close to the supports were raised to higher positions on the arch and, as such, the antifunicular of the arch ends in a straight line (fig. 14).

Figura 13/
Figure 13.



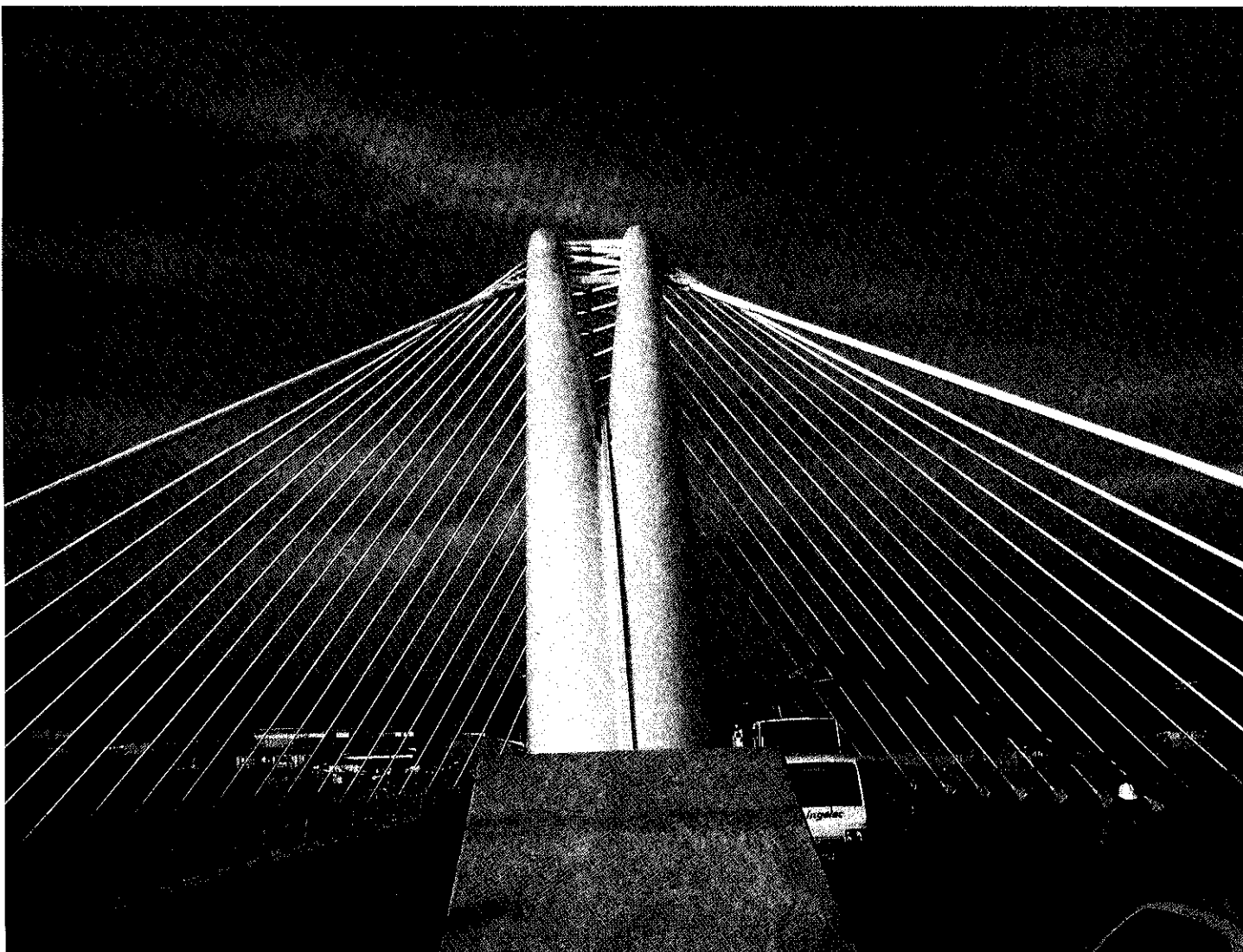


Figura 14/ Figure 14.

Este puente presenta un problema específico que corresponde a la situación de la carga de peatones en una de las pasarelas solamente, que se aleja 23,0 metros del eje del puente en el centro del vano.

Para este tipo de sobrecarga la deformación transversal del arco es muy grande y por tanto la flecha en la viga cargada. Para resolver perfectamente este problema, sin recurrir a dispositivos especiales, se han adoptado las siguientes medidas:

1. Incrementar la rigidez transversal del arco. Para ello se divide el arco central en dos tubos de 1,2 metros de diámetro con una separación máxima de 4,0 metros entre ejes en el punto más alto, a 26 metros sobre el tablero. Los arcos están arriostrados entre sí por una triangulación en aspa formada por tubos de acero que proporciona una gran rigidez horizontal, Fig. 15.

This bridge presents a specific problem in terms of the pedestrian loads on a single walkway spaced 23 m from the centreline of the bridge.

For this type of loading, the transverse strain on arch is very large and, subsequently, affects the deflection on the loaded beam. In order to overcome this problem without employing special arrangements, we chose to adopt the following measures:

1. *Increase the transverse stiffness of the arch. In order to do so, the central arch was divided into two 1.2 m diameter tubes with a maximum spacing of 4 m between centrelines at the highest point, and set 26 m above the deck. The arches are braced to each other by elongated "X" shape steel tube bracing which provides greater horizontal stiffness (fig. 15).*

2. La medida anterior no fue suficiente y se buscó otra más. Se dispuso un anclaje transversal de los arcos por medio de los cables extremos que se anclan en los estribos. De esta forma dado que la directriz del arco establece que los cables de retenida se anclen a 40 metros de arranque del arco, se constituye así y en dirección transversal, una viga balcón continua de 40 + 60 + 40 metros. Se obtiene así una respuesta excelente a la sobrecarga de peatones colocada en una sola pasarela.

3. El apoyo de las pasarelas es muy simple. Están sujetas del borde cada 7,75 metros y por tanto tienen todos los esfuerzos: compresión, torsión y flexión tanto horizontal como vertical. Sin embargo el nivel tensional no es grande ya que es una estructura ligera. Horizontalmente actúa como un arco que transmite su carga horizontal al conjunto arco-tablero.

4. El puente se apoya en dos estribos curvos de hormigón armado. La razón de que sean curvos es que permite ajustar la oblicuidad del apoyo del puente a las márgenes oblicuas del río mejorando el comportamiento hidráulico.

2. This bracing was not sufficient in itself and it was necessary to seek an additional measure. The arches were transversally anchored by means of end cables which were anchored at the abutments. As the directrix of the arch established that the retaining cables be anchored 40 m from the arch spring, this then formed, in a transverse direction, a continuous suspended beam of 40 + 60 + 40 metres. This provides excellent response to pedestrian loading in just one footway.

3. The footways are very simply supported. The edges are held every 7.75 metres and, therefore, encompass all types of forces, be they compressive, bending or torsion in both horizontal and vertical directions. However, the stress levels are not large as this is a lightweight structure. In a horizontal direction the beam acts as an arch and transfers its horizontal loads to the arch-deck assembly.

4. The bridge is supported on two curved reinforced concrete abutments. The abutments are



Figura 15/
Figure 15.

5. Los tres tableros y el arco estarán conectados entre sí en los estribos por medio de una losa de hormigón armado de 50 centímetros de espesor y una viga de borde curva de acero de sección cajón rectangular.

6. Dinámicamente, los movimientos de la pasarela están muy amortiguados por la falta de acoplamiento entre los modos de vibración de los distintos elementos, lo que ha proporcionado una excelente respuesta dinámica ante el paso de los peatones.

Inicialmente el arco se diseñó como tubo de acero pero posteriormente se pensó hacerlo mixto. Este cambio proporciona varias ventajas.

Aunque la fluencia y retracción del hormigón en el interior del tubo hace que parte de la compresión de carga permanente pase al acero el resultado es muy positivo. La sección de los tubos se redujo de 1,4 a 1,2 metros de diámetro lo mismo que el espesor que pasó de 40 a 25 milímetros. Para la sobrecarga el hormigón reduce la carga en el acero y por tanto hay una reducción complementaria de dicho material en los arcos. El resultado final es económicamente beneficioso incluso teniendo en cuenta el coste adicional del hormigón y su puesta en obra. Para esta operación se dejaron previstas 5 ventanas en los tubos por donde se rellenó con hormigón HM-50 autocompactable.

La construcción del puente se realizó en cuatro etapas. El tablero central de acero se montó completamente en la margen derecha del río y se empujó a su posición definitiva empleando tres apoyos provisionales en el río, Fig. 16.

A continuación se hormigonó el tablero en tres etapas. Por medio de una grúa de gran capacidad situada sobre el tablero central del puente se colocaron las piezas de las pasarelas peatonales sobre tres apoyos provisionales situados en el río. Posteriormente se soldaron las piezas entre sí dando continuidad a las pasarelas.

Los arcos se montaron sobre torres provisionales que se apoyaban en el tablero central. Venían divididas en siete partes que colocaban en su sitio una grúa de gran capacidad. Con el arco completamente colocado se hormigonaron los apoyos y la losa del estribo, posteriormente se realizó la soldadura de las piezas del arco y se retiraron los apoyos provisionales.

A continuación se rellenaron los arcos con el hormigón en tres etapas.

Por último se colocaron las péndolas en su posición y se le dio la carga correspondiente al peso propio de la estructura en dos etapas para evitar flexiones no deseadas en el arco. Los tableros quedaron descimbrados y se procedió a eliminar los apoyos provisionales.

curved in order to suit the form of the skew bridge supports to the banks of the river and allow correct water flow.

5. The three decks and the arch are connected together at the abutments by means of a 50 cm thick reinforced concrete slab and a curved steel edge beam with rectangular box section.

6. In terms of dynamics, the movements of the footway are very much dampened by the lack of any coupled vibration modes within the different elements. This then provides excellent dynamic response under pedestrian loading.

The arch was initially designed as a steel tube but was subsequently changed to a composite section. This alteration provided several advantages.

As a result of the creep and shrinkage of the concrete within the tube, part of the compression of the permanent load is transferred to the steel. However, the end result is very positive. The tube section was scaled down from 1.4 to 1.2 m in diameter and the thickness was reduced from 40 to 25 mm. In terms of loadings, the concrete reduces the load in the steel and there is subsequently a corresponding reduction of the said material in the arches. The final result presents cost benefits even when including the additional cost of concrete and the corresponding construction work. This latter involving the pouring of HM-50 self-compacting concrete through 5 previously prepared openings in the steel tube casing.

The bridge was constructed in four stages. The sections of the pedestrian footways were set on three provisional supports placed in the river by means of a large capacity crane positioned on the central deck of the bridge. The sections were then welded together to give continuity to the footways.

The arches were assembled on provisional towers set on the central deck. These were divided into seven sections and were placed into position by a large capacity crane. Once the arch was completely placed in position, the supports and the slab of the abutment were then concreted and the arch sections welded together and the provisional supports removed. The arches were then filled with the concrete in three stages.

The hangers were then set in position and received the corresponding dead weight of the structure in two stages in order to prevent unnecessary bending of the arch. The deck formwork was then stuck and the provisional supports removed.

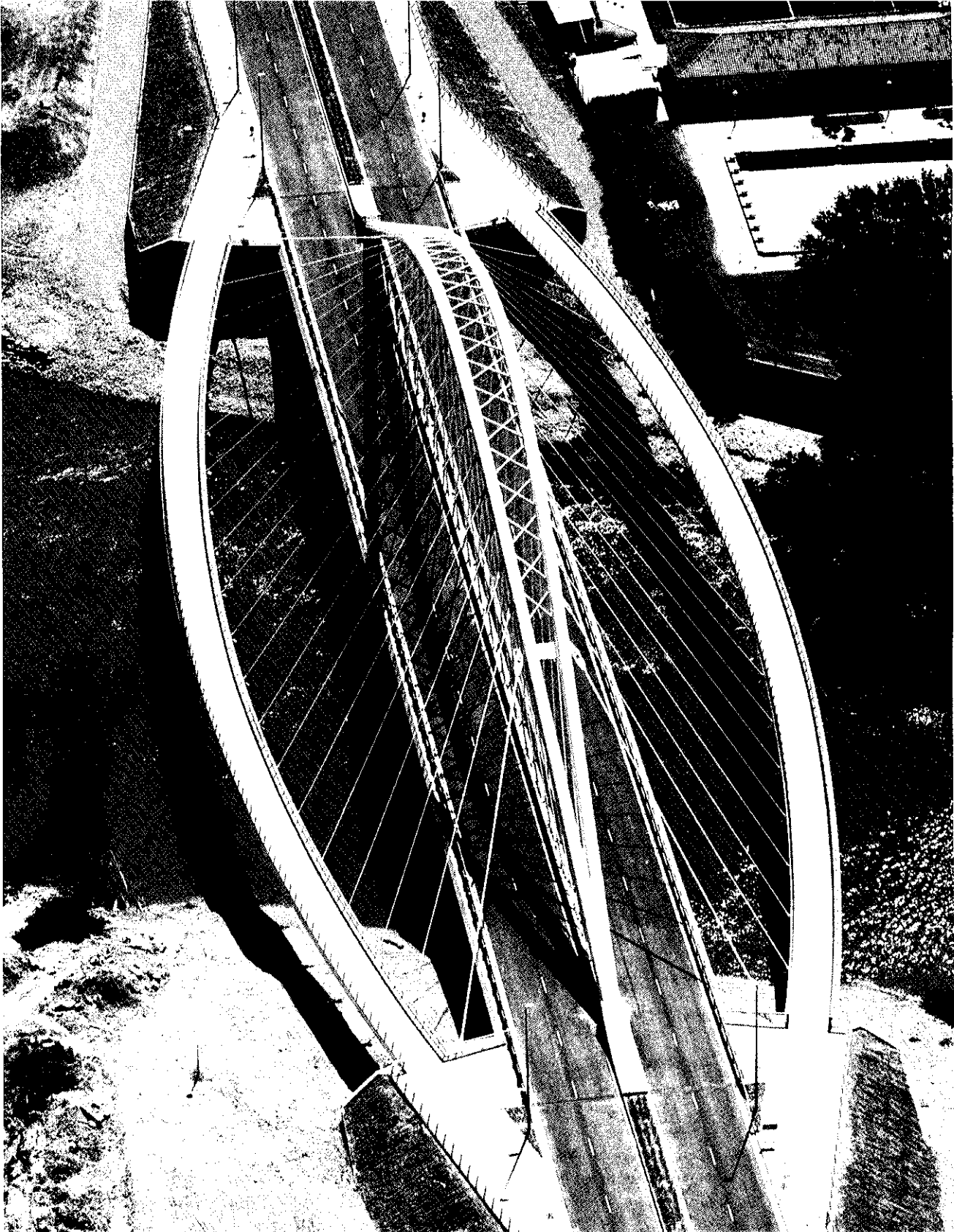


Figura 16/
Figure 16.

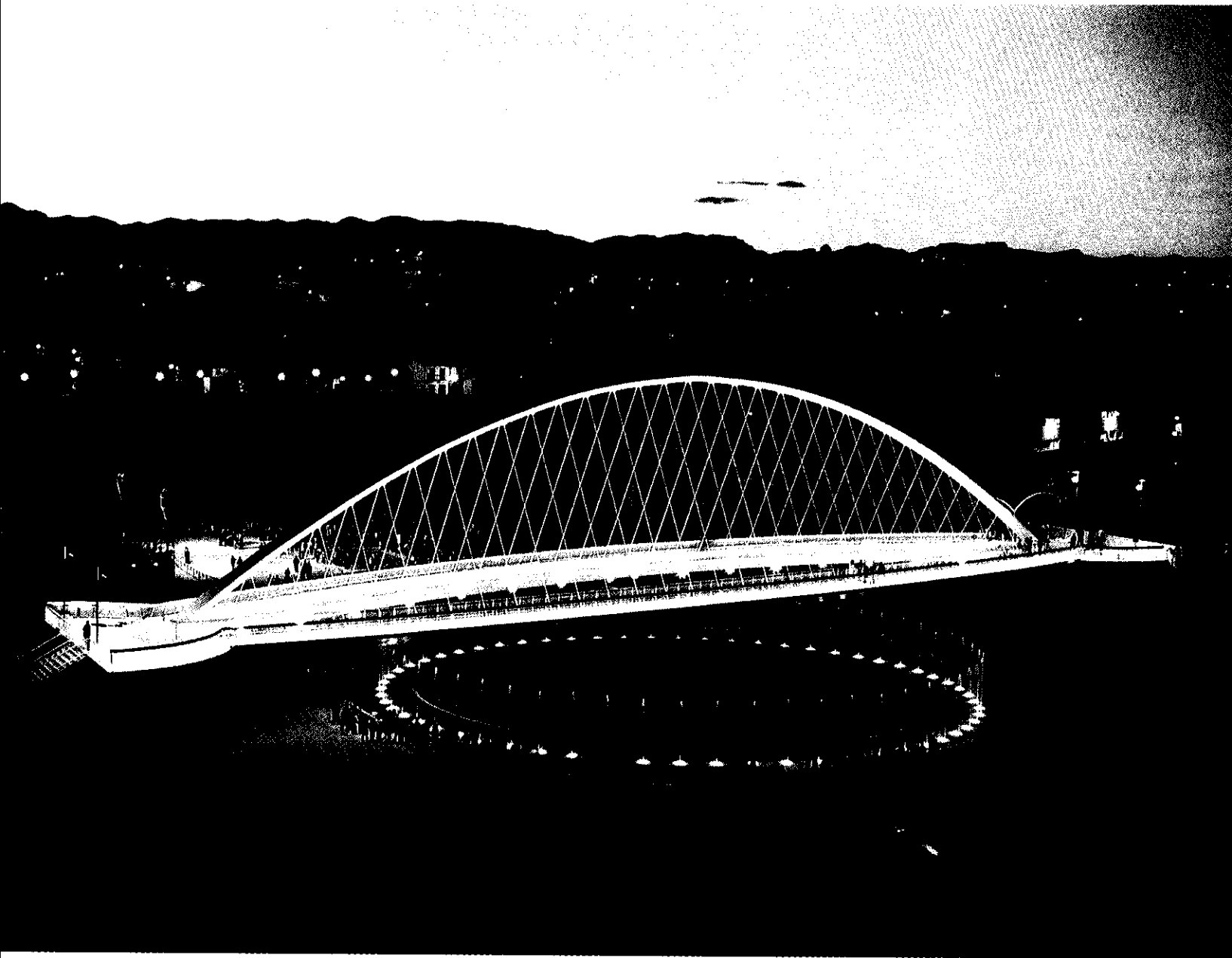


Figura 17/
Figure 17.

5. PASARELA DE LORCA

Proyecto: J. Manterola, J.F. Revenga, M. A. Gil, A.L. Padilla, J. Muñoz-Rojas.
Construcción Ferrovial, Julio Céspedes y Antonio Nievas.
Año 2003.

Esta pasarela forma parte de una actuación urbanística en la margen del río Guadalentín. Se trata de una estructura similar al puente de Logroño, pero sin el tablero central destinado al tráfico de vehículos.

5. LORCA FOOTBRIDGE

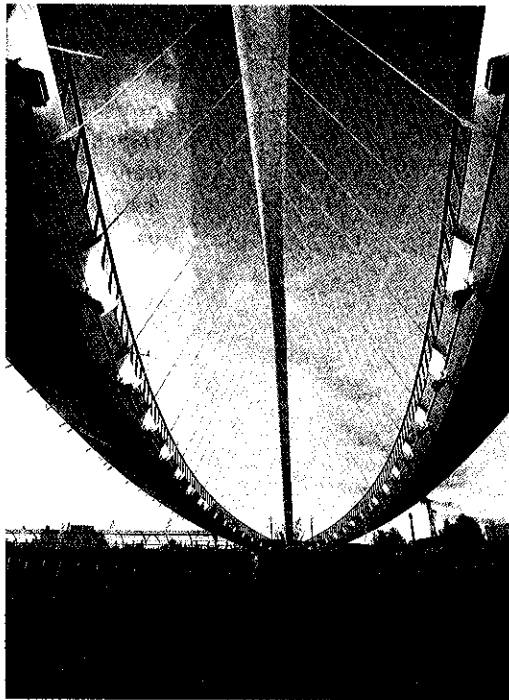
Design: J. Manterola, J.F. Revenga, M.A. Gil, A.L. Padilla, J. Muñoz-Rojas.
Construction: Ferrovial, Julio Céspedes and Antonio Nievas.
Year 2003.

This footbridge forms part of the town development on the banks of the River Guadalentín. This is a similar structure to that of the Logroño bridge, but without the central deck for vehicles.

La pasarela es un arco superior de sección tubular con dos vigas curvas laterales de acero. El arco tiene 85 metros de luz y 16 metros de altura. Está formada por dos tubos de acero de 710 milímetros de diámetro unidos por chapas horizontales de acero. La anchura total es de 1,42 metros para aumentar la rigidez transversal del arco, Fig. 17.

Los tableros laterales tienen una sección trapecoidal asimétrica con una anchura superior de 4,0 metros, inferior de 1,0 metros y con canto constante de 1,0 metros. Es un cajón de acero que está sujeto en el borde interior cada 2,40 metros para barras de acero de 28 milímetros de diámetro, Fig. 18.

Se han presentado problemas parecidos a los del puente de Logroño en el caso de actuación de la sobrecarga en una sola pasarela, aunque en este caso debido a la menor luz y, sobre todo, a la me-



The footbridge is formed of a tubular section upper arch with two curved lateral steel beams. The arch has an 85 m span and a 16m clearance and is formed by two 710 mm diameter steel tubes connected by horizontal steel plates. The overall width of the arch is 1.42m in order to increase its transversal stiffness (fig. 17).

The lateral decks are asymmetrically tapered in section from an upper width of 4.0 metres to a lower width of 1.0 m and have a constant depth of 1.0 m. The deck is formed by a steel box girder which is supported at the bottom edge every 2.4 metres by 28 mm diameter steel bars.

Certain problems arose which were similar to those encountered in the Logroño Bridge with regards to the loading of one single footway, though in this case the smaller span and smaller

Figuras 18 y 19/
Figures 18 and 19.

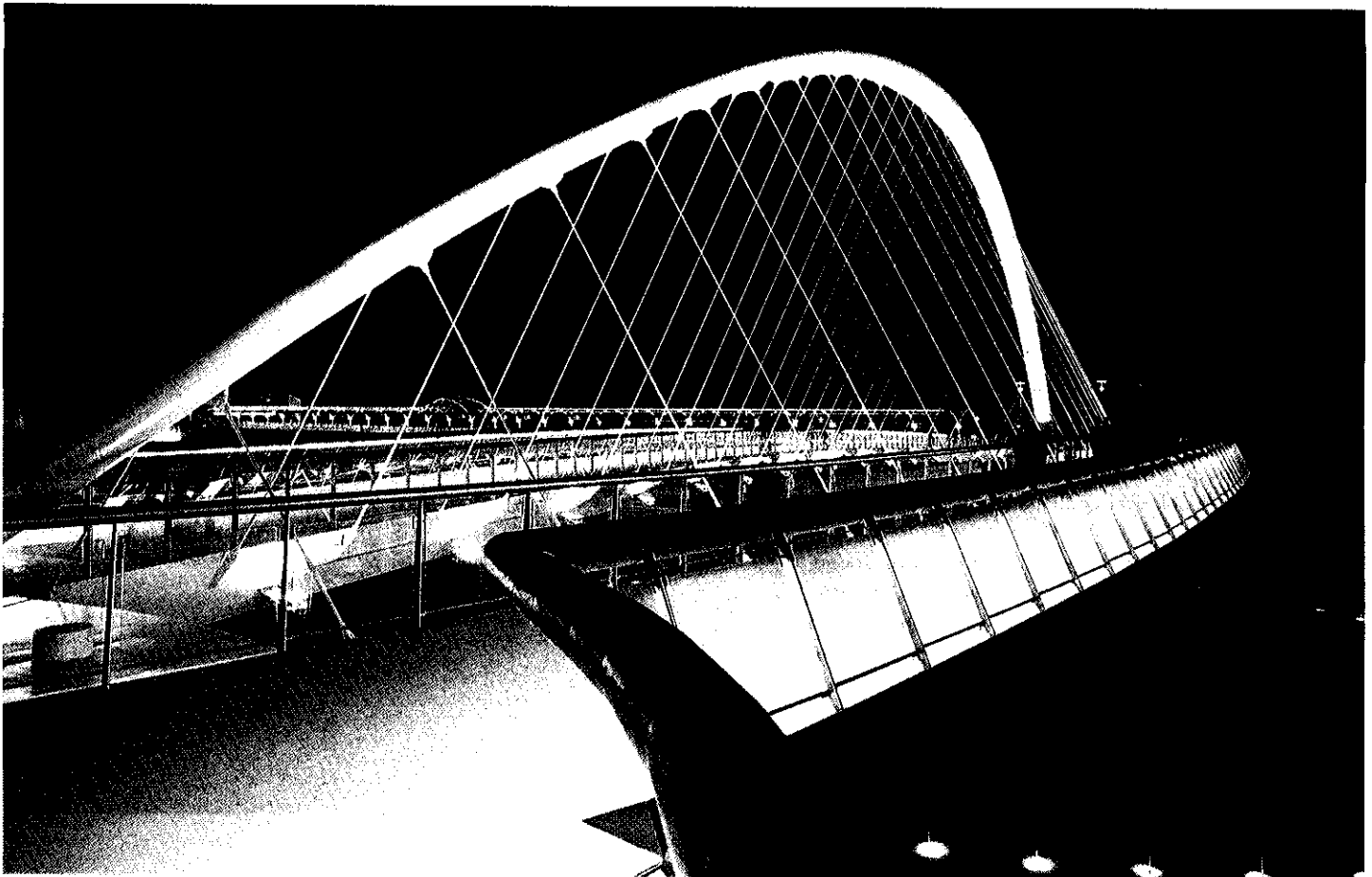




Figura 20/ Figure 20.

nor separación horizontal de las pasarelas en un grado menor.

La respuesta estructural del conjunto arco-tablero frente a la sobrecarga en una sola pasarela la proporciona fundamentalmente el arco a través de su rigidez vertical, transversal y torsional. La contribución de la pasarela descargada es pequeña pero significativa. El comportamiento del conjunto es robusto, Fig. 19.

Las pasarelas y el arco se conectan entre sí en los estribos a través de una viga cajón de acero que relaciona los tres elementos con los apoyos de los estribos. Este elemento lleva la carga horizontal del arco a las dos vigas curvas.

El comportamiento del río Guadalentín es como un torrente y está circunstancia ha permitido montar esta pasarela de forma muy sencilla.

En primer lugar se montaron las vigas cajón de los estribos. Las vigas peatonales se montaron sobre apoyos provisionales y se soldó el conjunto para hacerlo solidario, Fig. 20.

El arco se colocó en su lugar en cuatro partes apoyadas sobre torres provisionales. Posteriormente se soldaron las piezas entre sí y con la viga cajón del estribo. En ese momento se quitaron las torres provisionales del arco, Fig. 21.

Por último se colocaron las barras de acero que forman las péndolas y se les dio la carga correspondiente al peso propio de la estructura en dos etapas para evitar flexiones grandes en el arco. ■

horizontal distancing of the footways meant the problem was somewhat reduced.

The structural response of the arch-deck assembly against the loading of one single footway was essentially provided by the arch by means of its vertical, transversal and torsional stiffness. The contribution of the unloaded footway is slight yet significant and the entire assembly shows a robust behaviour (fig.19).

The footways and the arch are connected at the abutments by means of a steel box girder which ties the three elements to the supports of the abutments. This section carries the horizontal load of the arch to the two curved beams.

The River Guadalentín has a steady current and this made it very simple to construct the bridge.

The box girders to the abutments were first placed in position and then the footway beams were set on provisional support and the entire assembly was welded to make it act together (fig. 20).

The arch was placed in position in four separate sections and supported on provisional towers. The sections were then welded together and the arch was welded to the abutment box girder and the provisional towers removed (fig. 21).

Finally, the steel bars acting as the hangers were placed in position and loaded with the dead weight of the structure in two stages in order to prevent large flexural movements in the arch. ■

Figura 21/ Figure 21.

