

# PUENTES EMPUJADOS CON TABLERO FORMADO POR ESTRUCTURA MIXTA ACERO – HORMIGÓN. APLICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO COMO SOLUCIÓN EN CASOS ESPECIALES

## LAUNCHED BRIDGES WITH COMPOSITE STEEL-CONCRETE DECKS. APPLICATION OF THE CONSTRUCTION SYSTEM AS A SOLUTION IN SPECIAL CASES

JOSÉ ANTONIO LLOMBART JAQUES. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
*Presidente de Estudio de Ingeniería y Proyectos (EIPSA). jallombart@eipsa.net*

JORDI REVOLTÓS FORT. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
*Director de Proyectos de Estudio de Ingeniería y Proyectos (EIPSA). jrevoltos@eipsa.net*

**RESUMEN:** El artículo pone de manifiesto las posibilidades y recursos que aporta el empleo de estructuras metálicas, o mixtas acero – hormigón, en el diseño y construcción de puentes mediante el procedimiento del empuje del tablero. Se muestran las características fundamentales de tres puentes de distinta tipología estructural, con tablero metálico mixto acero – hormigón, en los que se ha utilizado el método de construcción consistente en el montaje en tierra firme y posterior lanzamiento, aprovechando la superficie inferior del tablero como elemento de deslizamiento sobre apoyos fijos. En cada uno de los puentes que se describen, el proceso constructivo mediante empuje del tablero ha permitido resolver satisfactoriamente los problemas originados por las peculiaridades de su posición en el terreno, existencia de obstáculos naturales, cruces de ríos, dificultades motivadas por condiciones especiales de trazado de la carretera, etc., sin la necesidad de empleo de grandes medios de elevación y con un mínimo de afecciones al medio ambiente.

**PALABRAS CLAVE:** ESTRUCTURA MIXTA, VIGA-CAJÓN, ARCO, PRELOSA, LANZAMIENTO, DESLIZAMIENTO

**ABSTRACT:** The article describes the possibilities and alternatives provided by steel or composite structures in the design and construction of bridges employing deck launch procedure. A description is given of the basic characteristics of three bridges of different structural arrangement with composite decks which have been assembled on the ground and then launched by sliding the lower face of the deck over fixed supports. In each of these three cases the deck launching process has satisfactorily resolved problems arising from location, natural obstacles, the crossing of rivers and difficulties arising from the road layout, etc., without the need to employ large hoisting mechanisms and with a minimum effect on the environment.

**KEYWORDS:** COMPOSITE STRUCTURE, BOX GIRDER, ARCH

### 1. INTRODUCCIÓN

El método del empuje utilizado en la construcción de puentes ha permitido resolver satisfactoriamente, en numerosas ocasiones, la problemática que se suele plantear ante la existencia de obstáculos importantes situados por debajo del nivel en que debe situarse el tablero.

En lo que respecta al proceso constructivo mediante empuje, la ligereza de los tableros formados por estructura me-

tálica, o mixta acero-hormigón, constituye una ventaja sobre los tableros de hormigón, mucho más pesados. En contrapartida, la flexibilidad de las construcciones metálicas introduce una serie de problemas a tener en cuenta, que no se presentan en los puentes de hormigón. Sin embargo, cuando se trata de resolver casos especiales, las ventajas relativas a la ligereza de las estructuras metálicas pueden ser determinantes para la elección del método por empuje, que en ocasiones proporciona una serie de recursos añadidos en fase de dise-

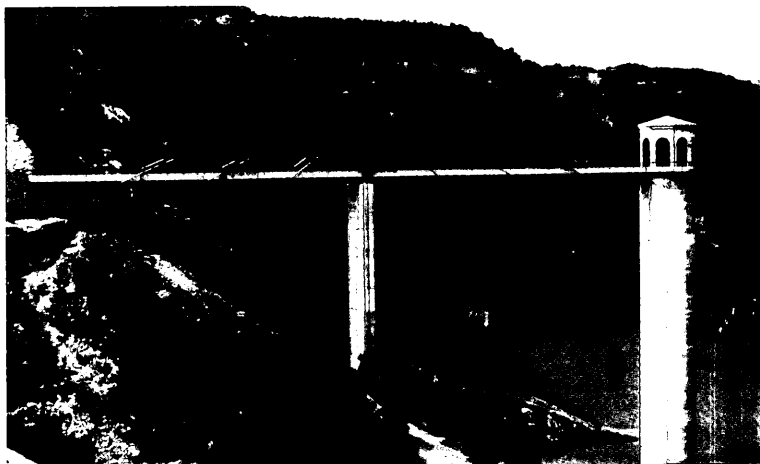


Figura 1.  
Estructura atirantada para acceso a la Torre de Toma. Embalse Francisco Abellán (Granada).

ño y posibilidades que difícilmente podrían tener aplicación en proyectos de puentes con tablero de hormigón.

## 2. LANZAMIENTO DE TABLEROS METÁLICOS SOBRE APOYOS DESLIZANTES

En todos los puentes que se van a describir se ha empleado un procedimiento de lanzamiento que destaca por su gran simplicidad. Consiste en utilizar la superficie inferior de la propia estructura del tablero como elemento de deslizamiento que discurre sobre unos apoyos fijos, constituidos por bloques de neopreno-tellón, o bien, neoprenopoliamida.

Con el objeto de conseguir que el coeficiente de rozamiento en la zona de contacto sea lo menor posible, la superficie metálica que sirve como patín deslizante debe ser lisa y carente de resaltes e irregularidades, siendo necesario además aplicar material lubricante durante las manio-

Figura 2.  
Lanzamiento de la estructura metálica completa.



bras de lanzamiento para conseguir buenos resultados. El sistema no precisa el empleo de sistemas rodantes, así como tampoco la interposición de las clásicas almohadillas colocadas manualmente entre apoyos fijos y la superficie inferior del tablero, en la forma como se suele hacer en el lanzamiento de puentes con tablero de hormigón.

Dado que la sustentación del tablero se realiza en su totalidad sobre un sistema deslizante, es imprescindible disponer unos aparatos de guiado transversal en la coronación de pilas y estribos, a fin de evitar movimientos no deseados y controlar en todo momento el desplazamiento del tablero en la dirección adecuada.

El lanzamiento del tablero, mediante deslizamiento, permite reducir a un mínimo la cantidad y complejidad de los elementos auxiliares y resulta altamente interesante desde el punto de vista de construcción, debido a las posibilidades de rapidez de montaje, que redundan en la economía global de la obra.

Un notable ejemplo, por la rapidez de montaje conseguida en fase de construcción, ha sido la estructura atirantada para acceso a la Torre de Toma del embalse Francisco Abellán en el río Fardes (Granada), cuya altura es de 80 metros (Fig. 1). La estructura metálica completa, formada por un tablero en forma de viga – cajón, pilonos y tirantes se montó en tierra firme en su totalidad (Fig.2) y el lanzamiento se llevó a cabo en un solo día, utilizando el propio tablero como patín de deslizamiento sobre apoyos fijos. El sistema de empuje estaba formado por dos gatos de pretensado adosados en la parte trasera del tablero, que actuaban sobre unos cables anclados al estribo.

## 3. CONCEPCIÓN EN FASE DE PROYECTO

Durante el proceso de lanzamiento, mediante el sistema de deslizamiento, la posición del tablero cambia de forma continua en relación con la situación de los apoyos. Si se trata del caso más general de un tablero constituido por una estructura hiperestática, el esquema estático varía consecuentemente durante el lanzamiento, así como la magnitud de las fuerzas de reacción de cada uno de los apoyos.

A lo largo de las distintas etapas del proyecto, especialmente en las que se determinan las formas y se dimensionan las partes fundamentales de la estructura, es necesario tener en consideración las situaciones previstas durante el proceso de construcción, así como el efecto de las contraflechas de construcción que, en general, suelen disponerse en los tableros formados por estructuras metálicas. El cálculo de esfuerzos y desplazamientos de las distintas partes de la estructura durante el proceso de lanzamiento, debe realizarse partiendo de la geometría inicial deformada por el efecto de las contraflechas especificadas.



Figura 3.  
Puenteduro.  
Puente antiguo  
sobre el río  
Duro.

Para lograr la simplicidad y rapidez con que se realizan las maniobras en este tipo de construcciones, es necesario desarrollar previamente una importante labor de ingeniería destinada a compatibilizar la propia tipología estructural del conjunto en fase de servicio de la obra terminada, con las exigencias estructurales inherentes al proceso de lanzamiento. El diseño conceptual del conjunto del puente debe quedar integrado con el proyecto constructivo y con el estudio de detalle del proceso de lanzamiento del tablero.

#### 4. REALIZACIONES

A continuación, vamos a describir las características de tres puentes especiales (Puente sobre el río Duro en Puenteduro, Puente sobre el Jarama en Titulcia (Madrid) y Puente de Tejina en Tenerife), finalizados durante el año 2002 y cuyo proyecto constructivo hemos desarrollado anteriormente, habiendo participado además, en la asistencia técnica a la obra. Se trata de tableros de distinta tipología, formados por estructura metálica mixta acero – hormigón y en los que se ha empleado el procedimiento de construcción consistente en el montaje en tierra firme y posterior lanzamiento hasta su posición definitiva, mediante el sistema de deslizamiento sobre apoyos fijos.

##### 4.1. Puente sobre el río Duro, en Puenteduro (Valladolid)

El puente forma parte de la Variante de Puente Duro, perteneciente a la Carretera C-610 de Valladolid a Piedrahíta, por Medina y Peñaranda, de la Junta de Castilla y León.

En el momento de inicio del proyecto, el cruce de la carretera existente por el río Duro se producía por un antiguo puente (Fig. 3) con una estrecha calzada cuya anchura estaba apropiada únicamente para el paso de un solo carril de circulación y por tanto, se precisaba una regulación del tráfico mediante semáforos para establecer paso alternativo.

El nuevo puente está situado a escasa distancia del puente existente en la población de Puente Duro, en una zona en que existe arbolado en ambas márgenes del río. En el proyecto del puente, además de los aspectos puramente funcionales de la nueva obra a realizar, se tuvo en consideración un diseño apropiado para conseguir la integración en el paisaje, una perspectiva grata a los viandantes y unas formas arquitectónicas acordes con las exigencias estéticas derivadas de la consideración de la proximidad del puente existente. La idea de respeto al medio ambiente no sólo fue tenida en cuenta en la concepción general de la obra terminada e integrada en su entorno, sino que también fue determinante en la elección del sistema de construcción a emplear.

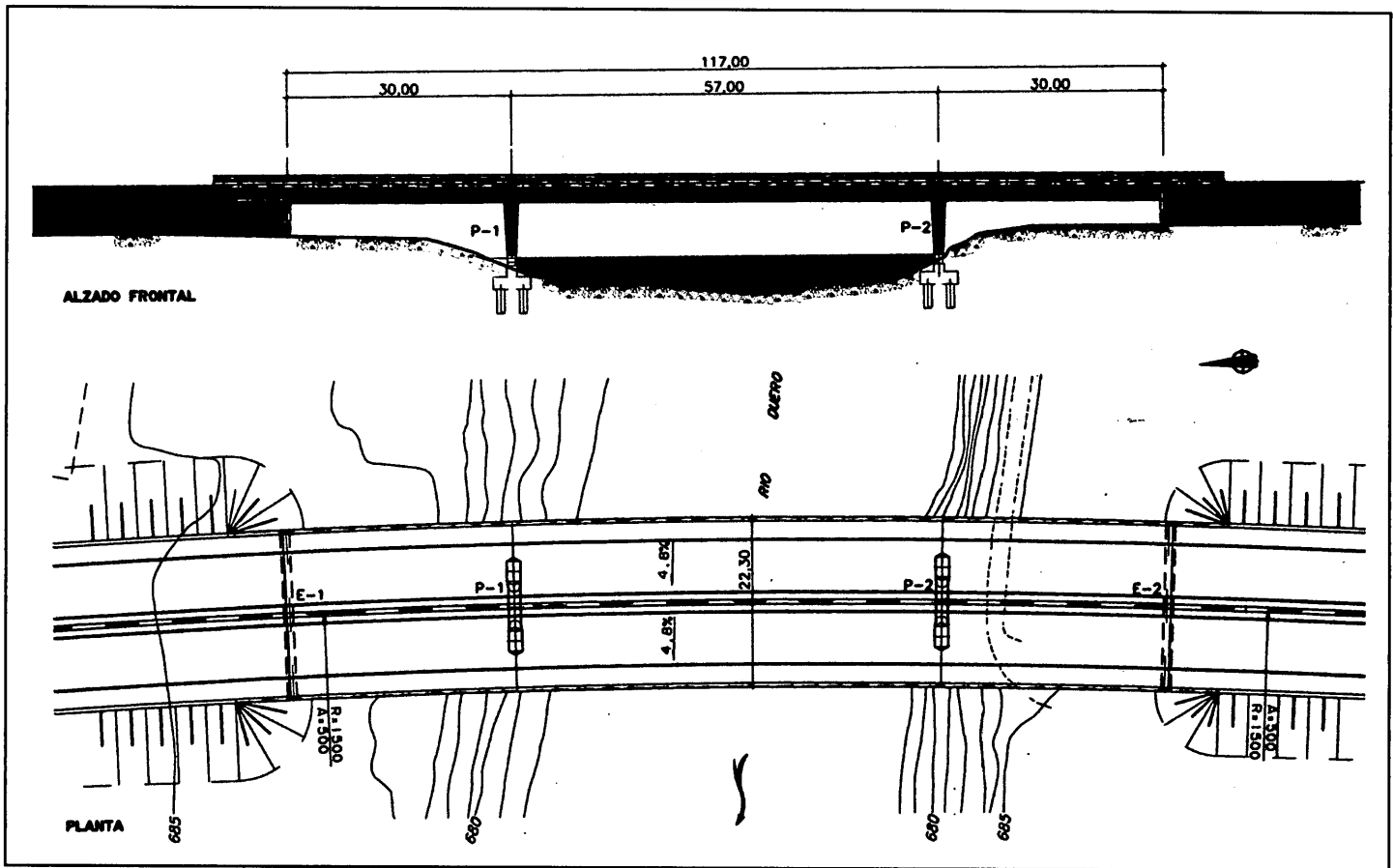


Figura 4.  
Puente sobre el río Duero.  
Dimensiones generales.

Se dispuso un tablero constituido por estructura mixta, a montar en tierra firme, para ser lanzado posteriormente, sin precisar apoyos provisionales, ni cimbras intermedias.

El tablero tiene 3 vanos continuos, con la siguiente sucesión de luces: 30,00 – 57,00 – 30,00 metros (Fig. 4). El vano central salva ampliamente el cauce del río Duero en su si-

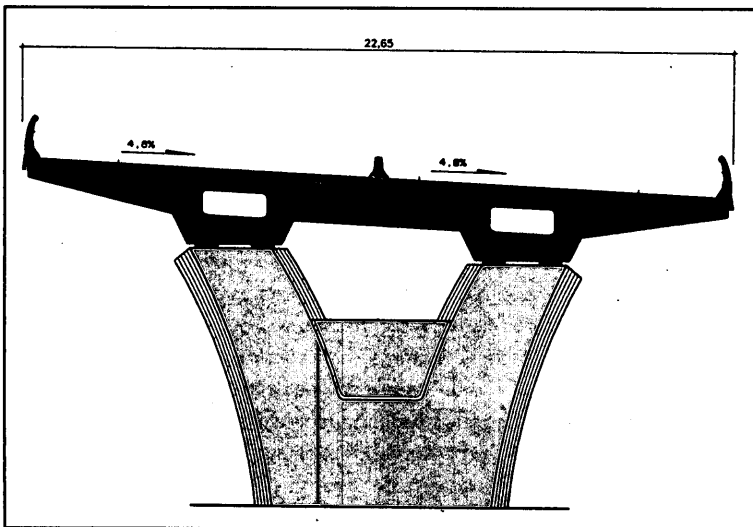
tuación normal. El tablero del puente tiene una anchura de 22,30 metros, apropiada para la plataforma de la variante, constituida por doble calzada, mediana intermedia y arce- nes en ambos lados (Fig. 5).

El tablero está constituido por un conjunto de dos viga-cajón metálicas de 3,00 m. de ancho y 1,90 m de canto, separadas 9,20 m. entre sí y unidas con traviesas transversales, separadas 3,80 m entre ejes. Las traviesas se prolongan al exterior de los cajones mediante unas costillas de altura variable.

En la chapa de fondo de la viga-cajón se han dispuesto unos refuerzos longitudinales especiales, a la manera de rigidizadores de sección rectangular (Fig. 6), destinados a resistir los esfuerzos de flexión local producidos durante las fases de empuje. Dichos refuerzos están colocados en posición coincidente con la línea de deslizamiento del tablero sobre los apoyos.

En la parte superior se ha dispuesto una losa de hormigón de 24 cm de espesor medio, que está formada por unas prelasas (Fig.7), apoyadas directamente en las traviesas metálicas, que tienen la doble función de colaborar estructuralmente y servir de encofrado del hormigón vertido "in situ" sobre la parte superior (Fig. 8). Cada prelasa está constituida por una placa de hormigón de 5 cm, provista de dos ner-

Figura 5.  
Puente sobre el río Duero.  
Sección tipo.



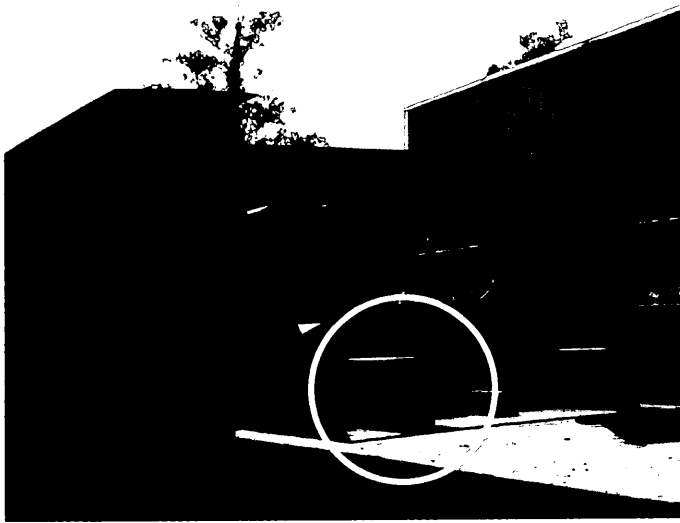


Figura 6. Viga cajón metálica en fase de montaje, en taller. Rigidizador de refuerzo, destinado a resistir los esfuerzos de flexión local durante el proceso de lanzamiento del tablero. A la derecha, figura 7. Prelasas.

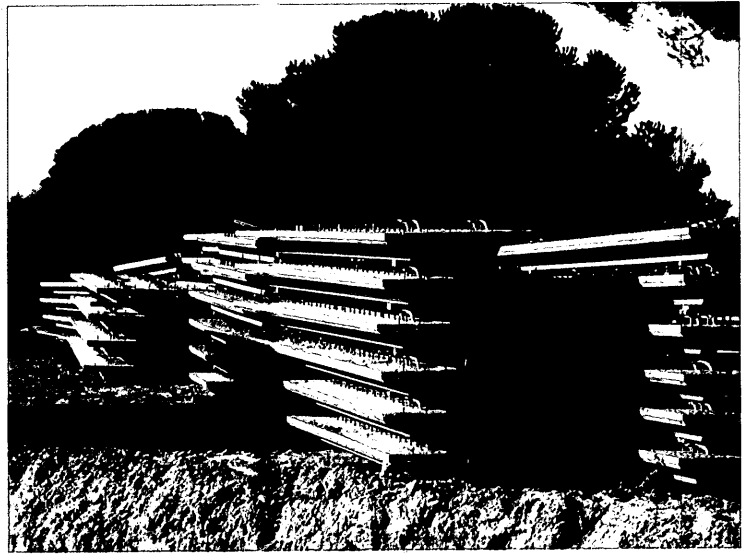
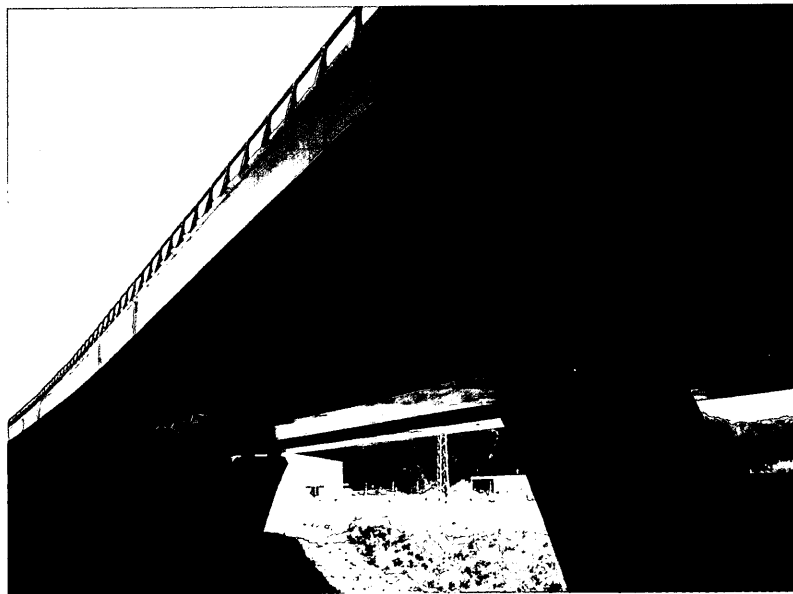


Figura 8. Prelasas montadas sobre el tablero metálico.

Figura 9. Aspecto del tablero por la parte inferior. Puede apreciarse la superficie nervada de hormigón, proporcionada por las prelasas, similar a la de las chapas ortótropas de los puentes metálicos.



vios longitudinales en su parte inferior, cuya forma es óptima para resistir la flexión debida al peso propio del hormigón colocado "in situ" en su parte superior. Esta forma crea un sugestivo aspecto por la parte inferior del tablero, mediante una superficie nervada de hormigón, similar a la de las chapas ortótropas de los puentes metálicos (Fig. 9).

La forma de la pila aúna en si misma las dos facetas fundamentales de la concepción del puente, por un lado enfatizar la característica del tablero nervado y por otro, resaltar el aspecto de pila tajamar.

#### Proceso constructivo del tablero

El montaje del tablero en su posición definitiva ha sido posible sin que se precisase construir pilas provisionales en el centro del cauce. Todas las fases de construcción del tablero del puente han sido resueltas sin la necesidad de disponer en ningún momento apeos ni cimbras en el espacio comprendido entre las dos pilas de la estructura definitiva.

Se describen a continuación las principales fases de construcción.

Fase 1: Construcción de la infraestructura: Formación de penínsulas artificiales en ambas márgenes del río, cimentación, alzado de pilas y estribos, terraplenes de acceso.

Fase 2: Montaje de los dos tramos de la estructura metálica que constituye el tablero, en ambos lados del río Due-ro. A continuación se han construido, en el interior de las vigas - cajón metálicas unas riostras de hormigón en la parte trasera, destinadas a actuar como contrapeso durante el proceso de lanzamiento. Montaje de prelasas en la mitad trasera del tablero, que actúan también como contrapeso del vano frontal, en fase de lanzamiento.



Figura 10. El tramo izquierdo del tablero ha sido lanzado, quedando el extremo frontal en voladizo sobre el río. En la fotografía pueden apreciarse las prelasas montadas en la parte trasera de las dos fracciones del tablero.

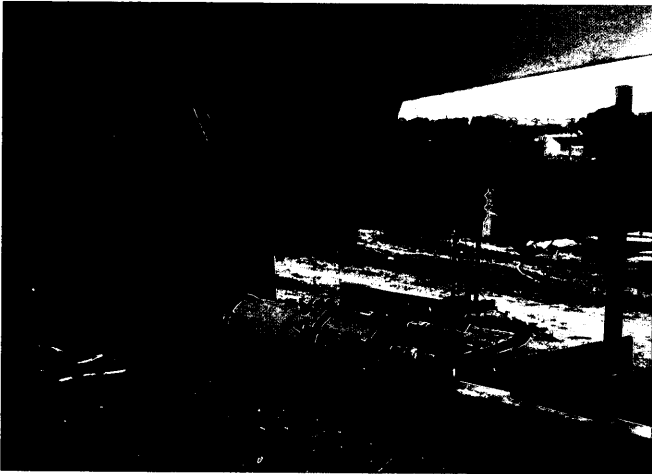


Figura 11. Gato de empuje. Detalle. A la derecha, figura 12. Perfiles metálicos en cuya parte superior están anclados los cables de tracción tesados por los gatos de empuje.

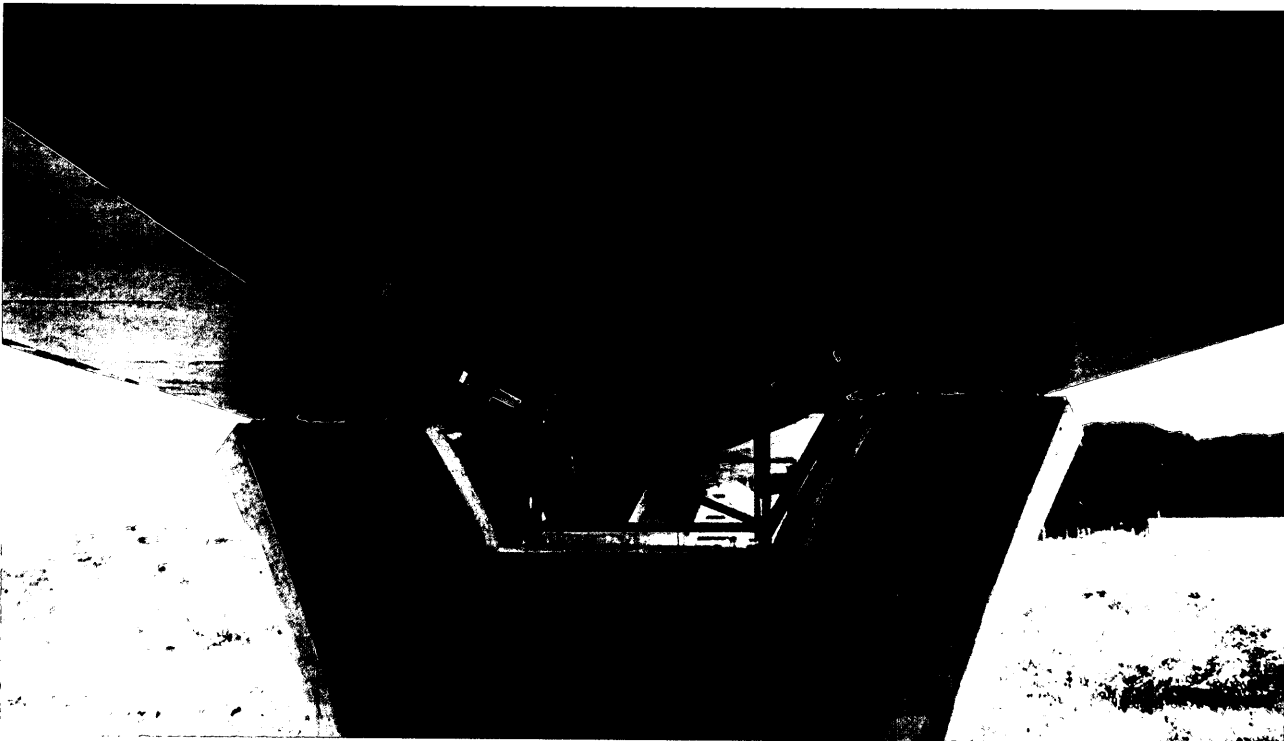
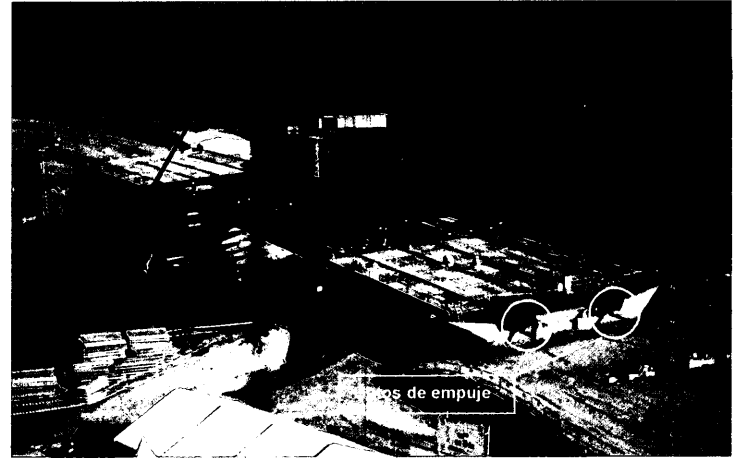
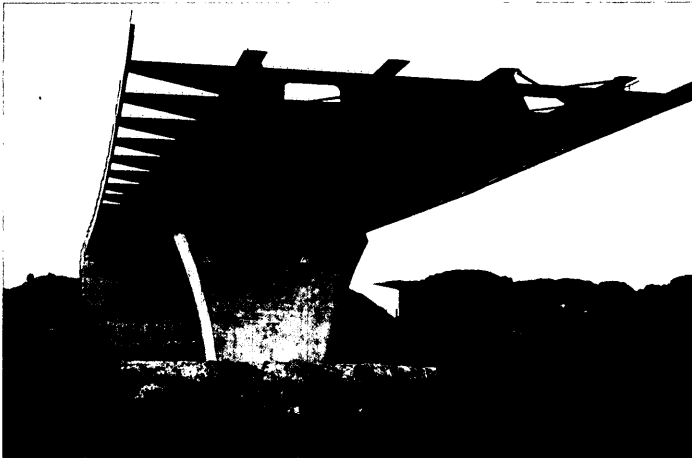


Figura 13. Medio tablero en posición definitiva.



Fase 3: Inicio del lanzamiento del tramo izquierdo. El tablero ha sido montado previamente con una pendiente longitudinal mayor que la de la rasante. Debido a esta disposición, la parte frontal sobrepasa la pila sin apoyarse. Con este procedimiento, se ha prescindido de la colocación del pescante delantero, que suele ser necesario en el lanzamiento de tableros metálicos.

El lanzamiento del tablero (Fig. 10) se ha realizado mediante la fuerza de empuje ejercida por dos gatos de pretensado montados en la parte trasera del tablero, cada uno de los cuales (Fig. 11) actúa sobre un grupo de cuatro torones de 0,6" de diámetro, anclados en un perfil metálico unido a la parte delantera del estribo (Fig. 12). Para evitar el desplazamiento lateral durante las operaciones de lanzamiento, se ha dispuesto un sistema de guiado transversal en la coronación de las pilas (Fig. 13).

Fase 4: Basculamiento del tablero, mediante accionamiento vertical de gatos hidráulicos situados por debajo

Izquierda, figura 14. Sistema de guiado transversal del tablero, dispuesto en coronación de pilas. A la derecha, figura 15. Lanzamiento del segundo tramo del tablero. Empalme de los extremos de los tramos, mediante soldadura.

del tablero en la parte trasera. La parte frontal del tablero queda apoyada sobre la pila.

Fase 5: Prosigue el lanzamiento hasta que la parte delantera del tramo, en voladizo, alcanza la posición definitiva en el centro del río (Fig. 14).

Fase 6: Repetición de las maniobras descritas anteriormente en el tramo del lado opuesto (Fig. 15). Una vez concluido el lanzamiento se han empalmado los extremos de los tramos mediante soldadura.

Fase 7: Colocación de prelosas en el vano central, armaduras pasivas y hormigonado de la parte superior de la losa de tablero. El hormigonado se realiza en 5 fases, dejando un tiempo suficiente entre fase y fase para el endurecimiento del hormigón.

Fase 8: Trabajos de terminación: Impermeabilización, pavimento, barreras y remates.

Figura 16. Puente sobre el río Duero. Obra terminada.

La obra ha sido puesta en servicio en septiembre de 2002 (Fig. 16). La Administración de la obra ha sido la Jun-



ta de Castilla y León (Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, perteneciente a la Consejería de Fomento). La construcción ha sido llevada a cabo por la Empresa CORSÁN - CORVIAM.

#### 4.2.- Puente sobre el río Jarama, en Titulcia (Madrid)

El nuevo puente sobre el río Jarama forma parte de la Variante de Titulcia (Madrid), perteneciente a la Carretera M-404 de la Comunidad de Madrid.

La obra llevada a cabo ha representado una notable mejora de la carretera existente, no solamente por el hecho de evitar el paso a través de la población de Titulcia, sino fundamentalmente por la construcción de un nuevo puente sobre el Jarama en sustitución de otro existente, cuya estructura resultaba inadecuada para las actuales exigencias de tráfico.

El tablero del puente antiguo perteneciente a la carretera existente tiene tres vanos, formados por vigas metálicas en celosía y las pilas son de sillería. Debido a la exigua anchura del tablero, la calzada por la que discurren los vehículos solamente permite el paso de un carril, por lo que ha sido necesario disponer paso alternativo en ambos sentidos de circulación, con regulación del tráfico mediante semáforos situados en los extremos del puente (Fig.17).



Figura 17. Puente antiguo existente. Calzada.

A lo largo del tiempo transcurrido desde su construcción, el viejo puente ha sufrido un progresivo deterioro. El paso constante de vehículos pesados ha afectado a la estructura metálica y se ha detectado además un importante asiento en



Figura 18. Puente de Titulcia. Al fondo de la imagen puede verse el puente antiguo.



una de las pilas situadas en el cauce del río Jarama. Todo ello, unido al estado general de conservación, ha obligado a disponer medidas precautorias consistentes en la prohibición del tráfico de camiones de más de 15 toneladas y la exigencia del mantenimiento de una distancia relativa de 50 metros entre vehículos. La necesidad de una variante y la construcción de un nuevo puente sobre el Jarama ha sido evidente.

La existencia de un puente antiguo y la expectativa de su permanencia en el futuro, una vez haya sido remodelado exclusivamente para uso peatonal, han sido tenidas en cuenta para la elección de formas del nuevo puente, situado a escasa distancia aguas abajo del río Jarama.

Por un lado, ha imperado la idea de disponer un tablero constituido por estructura metálica, con el objeto de mantener un entorno con el carácter del puente existente y marcar, al mismo tiempo, las diferencias derivadas de la evolución de la técnica que se ha producido durante el tiempo transcurrido desde la construcción del viejo puente hasta la actualidad.

El contraste entre las dos estructuras pertenecientes a épocas distintas se materializa en los siguientes rasgos exteriores que caracterizan la tipología del nuevo puente:

- Constitución de un tablero de tres vanos, con una luz central de 90 metros, que salva ampliamente el cauce normal del río Jarama (Fig. 18).
- Simplicidad de formas. El vano central está formado por un arco doble de tablero inferior. La sección de los arcos es rectangular y la dimensión vertical variable, decreciendo desde los arranques hasta la clave. El sistema de cuelgue está formado por péndolas verticales de sección circular y pequeño diámetro. El conjunto formado por dos arcos esbeltos que soportan el tablero mediante las péndolas, cuya presencia es casi imperceptible, proporciona una sensación de transparencia visual al observador situado a una distancia tal, que la perspectiva abarque la totalidad del puente. Las formas del tablero del nuevo puente contrastan fuertemente con el aspecto de la estructura metálica en celosía del puente antiguo.
- Los arcos que soportan el vano central son exentos, sin arriostramientos intermedios. Con el objeto de confe-



Figura 19. Puente de Titulcia. Aspecto desde la calzada de vehículos.

rir al nuevo puente una imagen moderna, el diseño estructural se ha realizado prescindiendo de la unión intermedia entre arcos, que es clásica en los puentes de arco tipo Langer, así como en los puentes con tablero soportado por dos vigas metálicas en celosía, como en el caso del puente existente. La diafanidad apreciada en el nuevo puente al circular por la calzada (Fig. 19) contrasta con la sensación de "techo" causada por la existencia del entramado metálico de arriostramiento del puente existente, destinado a asegurar la estabilidad transversal del cordón superior de las grandes vigas laterales, en celosía.

El tablero del nuevo puente está formado por un tramo continuo de tres vanos, con una longitud total de 134 metros, medidos entre ejes de apoyos sobre estribos. El vano central, de 90 metros de luz, está constituido por un doble arco de tablero inferior con un esquema del tipo "Bow string" (Fig. 20).

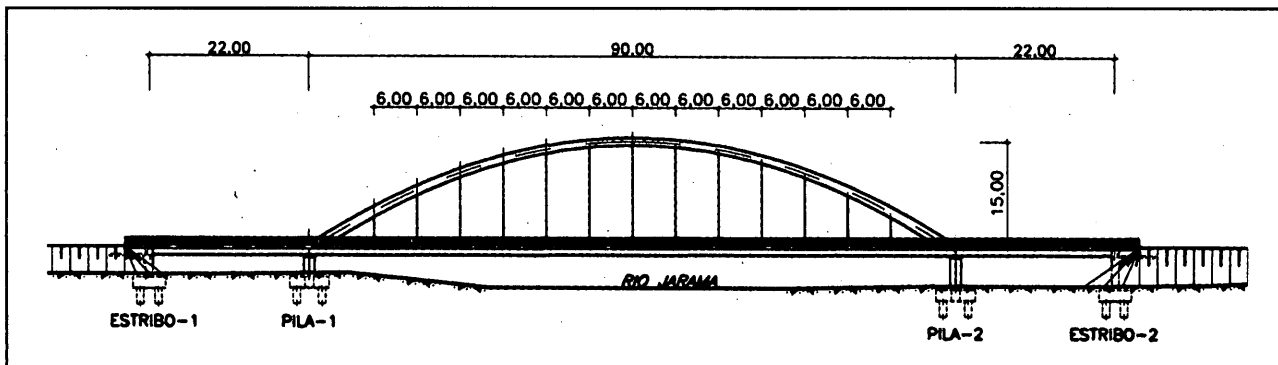
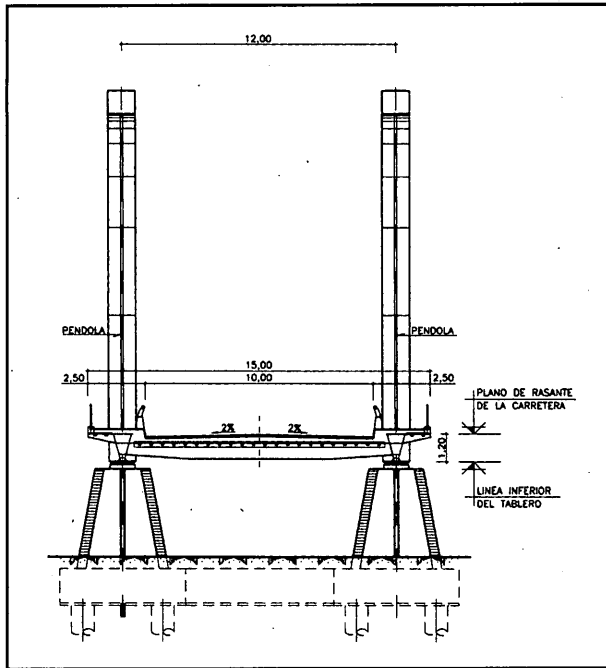


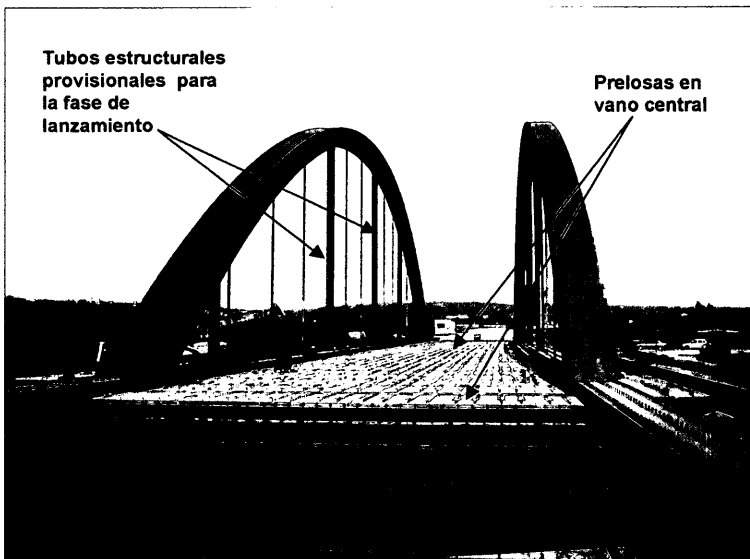
Figura 20. Puente de Titulcia. Alzado general.

Figura 21.  
Puente de  
Titulcia.  
Sección.



La estructura metálica del tablero está formada por dos vigas longitudinales situadas a ambos lados, en las que quedan empotrados los dos arcos en su arranque. En las zonas de apoyo de los arcos se han dispuesto unas potentes riostras transversales que quedan ocultas en el interior del tablero y están destinadas a proporcionar un empotramiento elástico de gran rigidez en el plano perpendicular. Las cualidades estructurales de este esquema de unión se han puesto de manifiesto a lo largo del proceso de cálculo, que ha mostrado la existencia de un alto grado de seguridad frente al pandeo lateral de los arcos, desprovistos de arriostramientos intermedios de unión.

Figura 22.  
Montaje de la  
estructura en  
tierra firme.



Además de las citadas riostras, las dos vigas longitudinales están unidas mediante un conjunto de traviesas metálicas de canto variable, separadas 3,00 m entre ejes, sobre las que se ha construido una losa de hormigón de 20 centímetros de espesor, constituyéndose una estructura mixta acero estructural – hormigón (Fig. 21).

Se ha utilizado acero con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (tipo CORTEN), que no precisa pintura de protección. Las péndolas son pasivas y están formadas por barras perforadas, de 90 mm de diámetro exterior, recubiertas por tubos de acero inoxidable de 1 mm de espesor.

Las pilas son de hormigón armado y tienen forma de tajarar para facilitar el paso de la corriente del río para el caso de grandes avenidas. La cimentación de pilas y estribos se ha resuelto con pilotes de 1 metro de diámetro y 25 metros de profundidad.

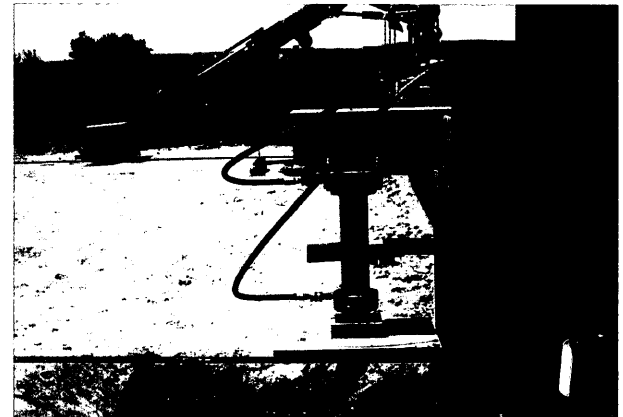
#### Proceso constructivo del tablero

Uno de los aspectos más singulares y digno de mención ha sido el proceso constructivo, consistente en el montaje de la totalidad de la estructura metálica, de 135 m de longitud, en tierra firme y el posterior lanzamiento hasta su posición definitiva, mediante empuje.

El diseño estructural se ha integrado con el proyecto constructivo y con el estudio de detalle del proceso de lanzamiento del tablero. Esta metodología utilizada en fase de proyecto ha permitido desarrollar un procedimiento caracterizado por su simplicidad, ausencia de potentes medios auxiliares y mínimas afecciones al medio ambiente.

La concepción de la estructura, así como el proyecto y verificación de sus elementos fundamentales se ha desarrollado con la expresa consideración de las situaciones previstas durante el proceso de construcción, lo cual ha permitido optimizar los medios constructivos y la cantidad de materiales de la propia estructura, a la que ha habido que dotar de un mínimo de elementos suplementarios destinados a garantizar su adecuada estabilidad durante el proceso de montaje y lanzamiento.

La estructura metálica se ha montado en tierra firme, apoyada en unos macizos de hormigón separados 30 m entre sí, sobre los que se han colocado previamente unos pequeños aparatos metálicos provistos en su parte superior de unas placas de neopreno-poliámida, cuya superficie superior resulta adecuada para el deslizamiento del tablero. Los arcos metálicos se han unido provisionalmente a las vigas longitudinales del tablero mediante unos tubos metálicos dispuestos verticalmente, destinados a soportar los esfuerzos de compresión previstos durante la fase de lanzamiento. Estos tubos son los únicos elementos estructurales suplementarios que ha precisado la estructura para ser lanzada y han sido desmontados una vez concluido el lanzamiento (Fig. 22).



Una vez finalizado el montaje de la estructura metálica en tierra firme, se han colocado las prelasas pertenecientes al vano central, de 90 metros de luz, para proceder lanzamiento conjunto. Con ello se han evitado las maniobras que hubiesen sido necesarias en caso de realizarse el montaje de prelasas en el centro del río, una vez la estructura hubiese estado en su posición definitiva.

La forma de las vigas longitudinales metálicas se ha dispuesto con un doble objetivo: optimizar el comportamiento estructural durante el proceso de lanzamiento y aportar al mismo tiempo una cualidad estética en la obra terminada. La sección de la viga longitudinal, que puede apreciarse en la figura 23, está expresamente diseñada para disminuir el efecto de la flexión local en la chapa inferior en la zona en que se encuentra en contacto con los apoyos deslizantes. Las chapas colocadas en toda la longitud de las vigas metálicas forman parte de la sección metálica destinada a resistir la flexión general de la estructura, que se combina con la citada flexión local en fase de lanzamiento.

En el cauce del río se han materializado los apoyos mediante unos pilares provisionales de hormigón de sección circular (Fig. 24), estando cada uno de ellos cimentado mediante un pilote de 1,00 m de diámetro, en una disposición de pila - pilote.

El sistema de empuje ha estado formado por dos gatos de pretensado dispuestos en posición horizontal en la parte trasera de la estructura metálica. Cada uno de los gatos estaba preparado para someter a tracción un tendón constituido por 4 cordones de 0,6" de diámetro y 266 kN de carga de rotura, que discurrían por debajo del tablero y quedaban anclados en el extremo opuesto en una pieza metálica fijada al estribo. En la parte frontal del tablero se han colocado unos pequeños pescantes provistos de gatos

Figura 23. Tablero montado en tierra firme, dispuesto para iniciar el lanzamiento. Arriba a la derecha, figura 24. Pilas provisionales. Debajo, figura 25. Gatos destinados a recuperar la flecha elástica del conjunto, antes de alcanzar cada uno de los apoyos.

hidráulicos, en posición vertical, destinados a recuperar la flecha elástica del conjunto antes de alcanzar cada uno de los apoyos (Fig. 25).

Mediante la puesta en carga de los gatos y sucesivos anclajes para recuperar el recorrido de los émbolos se ha efectuado el lanzamiento del tablero hasta su posición definitiva (Fig. 26). La masa total desplazada en esta fase (estructura metálica más prelasas) ha sido 650 toneladas.

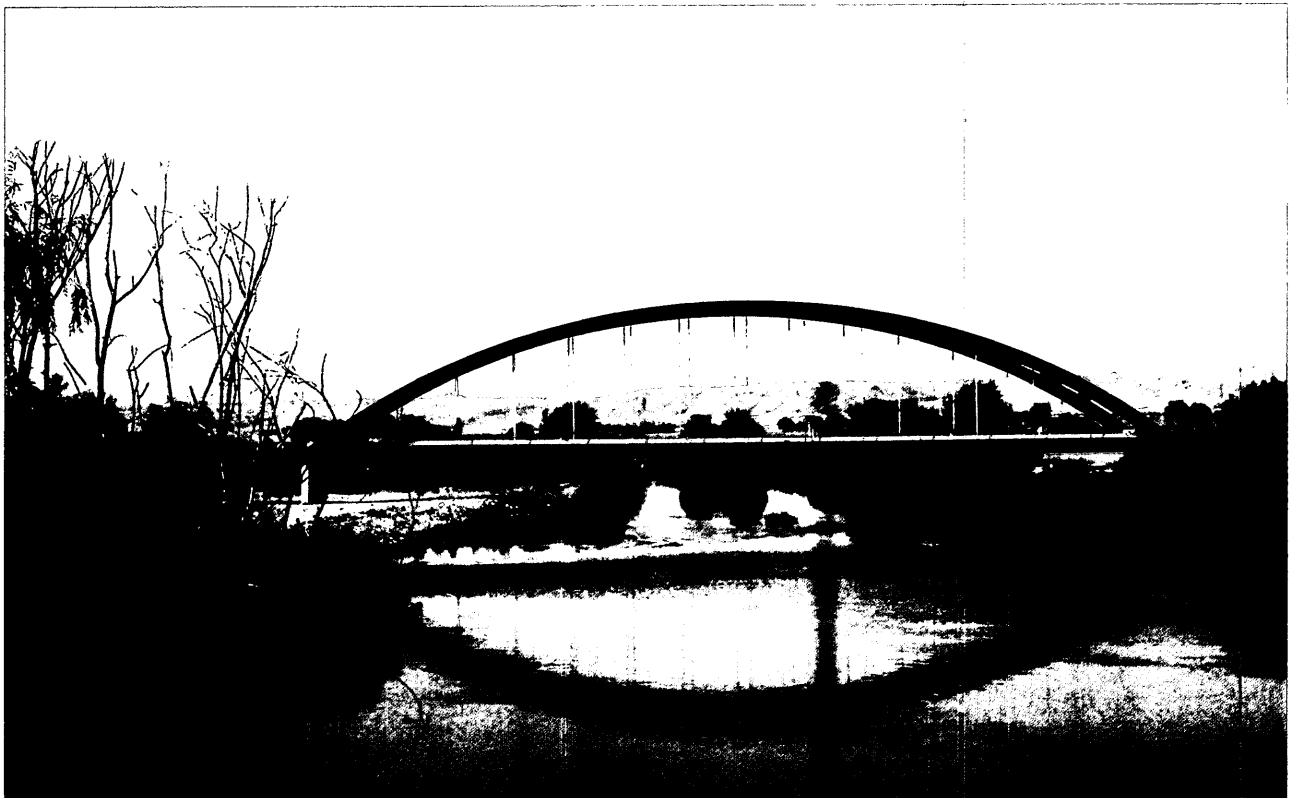
Figura 26. Lanzamiento del tablero.



Figura 27.  
Puente de  
Titulcia.  
Vista desde  
la calzada



Figura 28.  
Puente de  
Titulcia.  
Vista desde  
el puente  
antiguo.



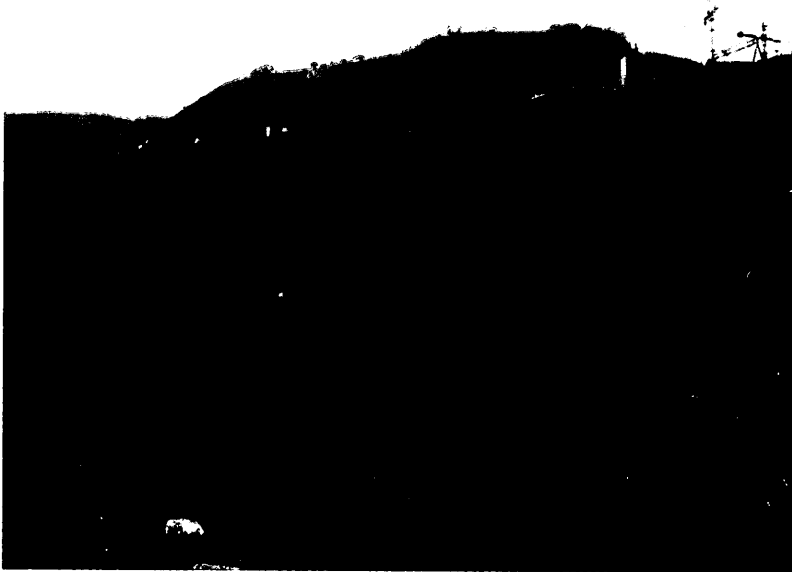


Figura 29.  
Barranco Aguas de Dios (Tenerife).

Posteriormente se ha completado la colocación de prelosas mediante grúas situadas en las orillas. A continuación se han colocado las armaduras complementarias sobre las prelosas y se ha procedido al hormigonado de la losa de tablero, sin la necesidad de encofrados. Una vez constituida la estructura definitiva, se han retirado las pilas provisionales y las islas artificiales del cauce del río.

La obra ha sido puesta en servicio en diciembre de 2002 (Figs. 27 y 28). La Administración de la obra ha sido la Comunidad de Madrid (Servicio de Construcción, perteneciente a la Dirección General de Carreteras). La construcción ha sido llevada a cabo por la Empresa VIAS Y CONSTRUCCIONES.

#### 4.3.- Puente de Tejina (Tenerife)

##### 4.3.1.- Introducción

Entre los puentes empujados construidos recientemente, cabe destacar por su singularidad el Puente de Tejina, cuya forma está adaptada a una calzada que discurre mediante un trazado caracterizado por una acusada curvatura en planta y una fuerte pendiente longitudinal. El puente cruza el Barranco Aguas de Dios (Fig. 29), de difícil acceso, habiendo sido necesario desarrollar un especial diseño estructural integrado con el sistema constructivo del tablero, mediante el método del empuje desde un estribo.

##### 4.3.2.- Estudio de la solución adoptada. Planteamiento general

He aquí un resumen de los datos más significativos del trazado de la Variante de Tejina, que han sido determinan-

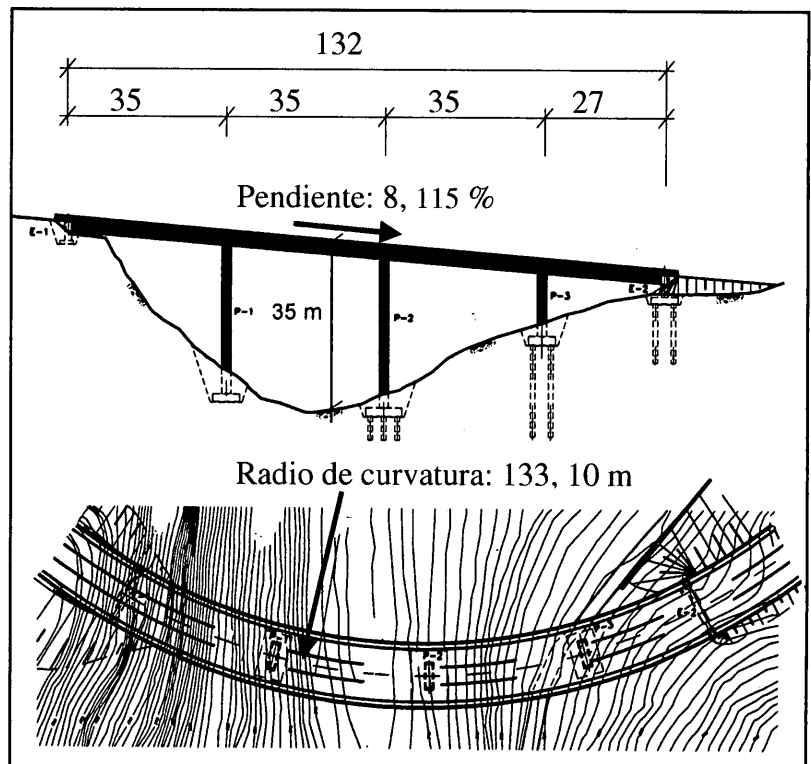
tes para el estudio y desarrollo de la solución constructiva adoptada (Fig. 30):

- Pendiente longitudinal en el eje de la estructura: 8,115 %
- Radio de curvatura, en planta (eje del tablero): 133,10 m
- Peralte transversal: 7 %
- Anchura total del tablero: 14,20 m
- Altura de la rasante sobre el fondo del Barranco: 35 m

La adopción del sistema mediante empuje de un tablero completo con una pendiente del 8,115 % representa una solución sin precedentes en este tipo de construcciones. A la dificultad derivada de la fuerte pendiente longitudinal, debe añadirse la existencia del radio de curvatura (133,10 m) del tablero, cuya geometría queda afectada por el peralte transversal (7 %). La consideración conjunta de los citados datos representa una problemática y un cúmulo de dificultades que rara vez suelen presentarse en el proyecto de un puente de carretera.

La Variante de Tejina discurre prácticamente en su totalidad con una pendiente de un 8 % en el eje de trazado (8,115 % en el eje situado en el centro de la calzada), por lo que en ningún momento pudo plantearse, en fase de proyecto, la posibilidad de modificar el trazado en la zona de cruce del barranco en condiciones más favorables para el desarrollo de la solución constructiva, que finalmente se llevó

Figura 30.  
Puente de Tejina.  
Dimensiones.



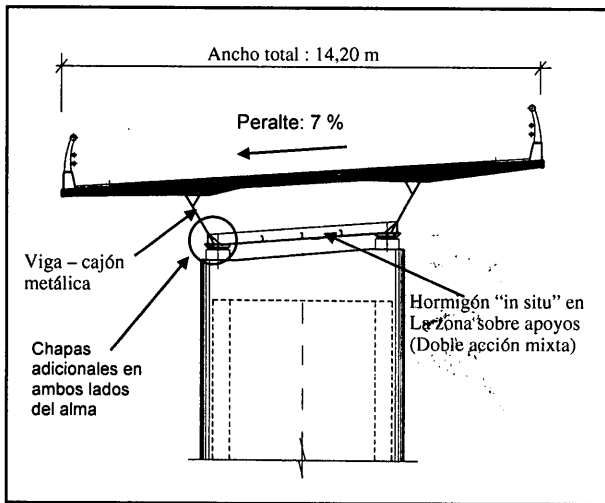


Figura 31.  
Tablero.  
Sección  
transversal.

#### 4.3.3.- Tablero

El tablero está formado por una viga-cajón metálica, continua a lo largo de los 132 m de longitud y está conectada en su parte superior a una losa de hormigón, provista de voladizos laterales. En el fondo de la viga-cajón se han dispuesto unas zonas rellenas con hormigón de 0,30 m. de espesor, en posición centrada con las pilas, constituyendo una estructura con doble acción mixta (Fig. 31).

La forma de la viga-cajón ha sido diseñada para permitir colocar las prelasas en su parte superior con una inclinación transversal del 7 %, correspondiente al valor del peralte. La forma del fondo inferior de la viga-cajón es el resultado de la asociación de tres superficies regladas, constituidas con chapas metálicas:

- 2 Patines de deslizamiento. Formados por franjas de anchura constante desarrolladas en superficies helicoidales cuya recta generatriz es paralela al plano horizontal.
- Superficie de unión de los dos patines de deslizamiento. La recta generatriz es inclinada y se apoya en la parte interior de los patines de deslizamiento

Los apoyos fijos sobre los que reposa el tablero durante el proceso de lanzamiento son coincidentes con el eje de unión de las almas de la viga-cajón y los patines de deslizamiento. Para disminuir los efectos de la flexión local de los patines inferiores en fase de lanzamiento, existen unas chapas adicionales en ambos lados de cada una de las almas de la viga-cajón. Con la disposición indicada, la totalidad de las chapas mencionadas forman parte integrante de la sección metálica resistente y por lo tanto, el aprovechamiento es óptimo desde el punto de vista estructural.

El cajón metálico se ha elaborado en un taller situado en la Península y se ha transportado a la Isla de Tenerife parcializado en cinco dovelas, cada una dividida a su vez mediante un corte realizado en el eje longitudinal del tablero.

El ensamble definitivo de piezas metálicas se ha realizado a pie de obra. El lanzamiento del tablero (Fig. 32) se ha llevado a cabo en cinco fases, iniciadas al concluir cada uno de los montajes de la correspondiente dovela. Dadas las especiales características del tablero se ha realizado un exhaustivo control geométrico, tanto en taller como durante las fases de montaje, en obra.

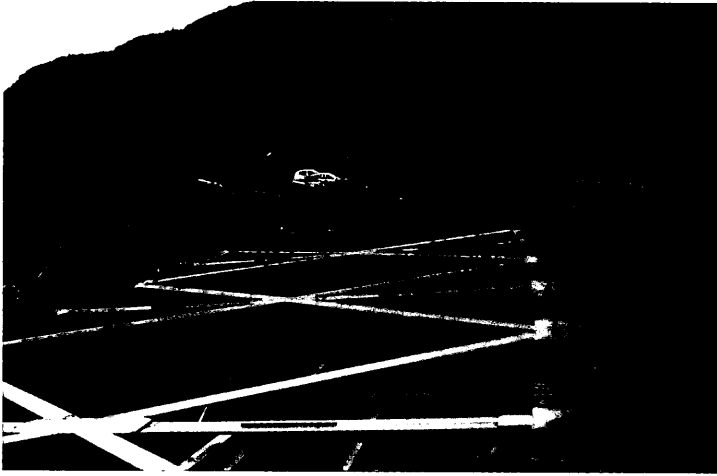
La viga-cajón metálica se ha construido con las correspondientes contraflechas, calculadas de forma que el perfil del tablero una vez finalizado el hormigonado de la losa superior estuviese ajustado a la rasante teórica, sin la existencia de ondulaciones. Es necesario indicar, además, que el montaje en obra de cada una de las dovelas se ha reali-

a cabo con las características técnicas que se resumen a continuación:

- Longitud total del tablero, medida en desarrollo, entre ejes de estribos: 132 m.
- Cuatro vanos. Luces: 35 - 35 - 35 - 27 m.
- Tablero formado por estructura mixta acero estructural-hormigón. (Cajón metálico continuo, provisto de losa superior de hormigón).
- Pilas de hormigón armado.
- Procedimiento constructivo del tablero: Empuje desde un estribo del cajón metálico, más prelasas superiores y más losa interior construida "in situ" (doble acción mixta).
- Empuje en sentido ascendente. Masa teórica total desplazada durante la última fase de lanzamiento: 954 toneladas.

Figura 32.  
Montaje del  
tablero y  
lanzamiento.





zado posicionándola convenientemente de acuerdo con el giro elástico del extremo trasero de la dovela anterior, distinto para cada fase, de acuerdo con la posición de los apoyos fijos.

La losa de tablero se ha construido con prelasas de 8 centímetros de espesor medio, provistas de unos nervios en su parte superior (Fig. 33), que se complementan con un hormigonado "in situ" vertido en la parte superior. Cada prelo-sa tiene un ancho medio de 2,06 m y ocupa la anchura total del tablero, de 14,20 m

#### 4.3.4.- Lanzamiento del tablero

Tal como se ha comentado anteriormente, el montaje de las dovelas se realizó en tierra firme en el espacio contiguo al estribo situado en la cota más baja. El desplazamiento se desarrolló, por tanto, en sentido ascendente. Las dovelas se montaron apoyadas en su parte trasera en unos carretones que rodaban sobre carriles, dispuestos en curva convenientemente trazada de acuerdo con la forma del tablero (Fig. 34).

**Figura 33.** Preslasas de hormigón montadas sobre viga-cajón. **A la derecha, figura 34.** Montaje de dovelas metálicas. Carretones sobre carriles.

**A la izquierda, figura 35.** Lanzamiento del tablero (Viga cajón metálica más prelasas de hormigón). En el extremo frontal existe una zona libre de prelasas. **A la derecha, figura 36.** Aspecto del tablero durante una de las fases de lanzamiento.

Una vez concluido el montaje de la estructura metálica que constituye cada dovela, se construyó la zona de hormigón "in situ" sobre el fondo de la dovela, destinado a conseguir la doble acción mixta. A continuación las prelasas se colocaron en la posición prevista sobre la viga - cajón mediante una grúa automóvil situada en el área de montaje. En el extremo frontal del tablero, se dejó una zona libre de prelasas, con el objeto de limitar el esfuerzo de flexión global en la viga cajón, en las fases en que se encontraba en voladizo (Fig. 35). Una vez finalizado el lanzamiento, se completó la colocación de las prelasas desde el estribo de llegada, situado a la cota más alta.

El proceso construido descrito ha permitido colocar en su posición definitiva el tablero constituido por la viga - cajón metálica más las prelasas y más la losa interior construida "in situ" (doble acción mixta), mediante el sistema de lanzamiento desde un estribo, prescindiendo por tanto de la utilización de potentes medios de elevación, a situar en el fondo del barranco, de difícil acceso (Fig. 36). Todas las operaciones siguientes (Colocación de armaduras complementarias y

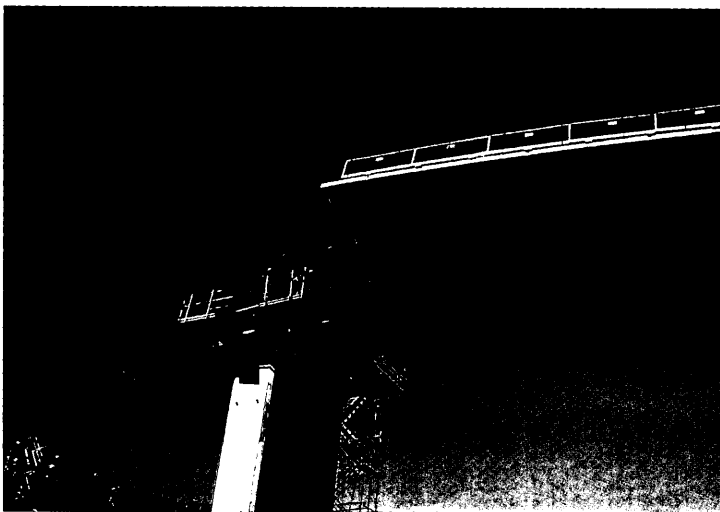


Figura 37. Gatos de empuje. A la derecha, figura 38. Sistema de anclaje inferior del tablero durante una fase de lanzamiento.

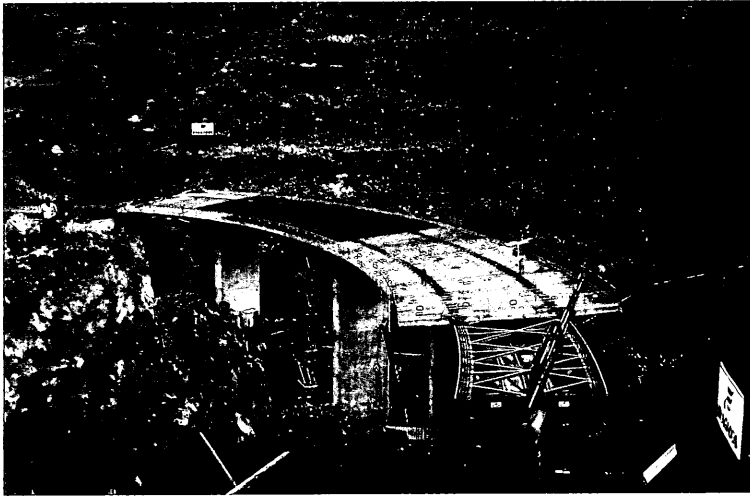
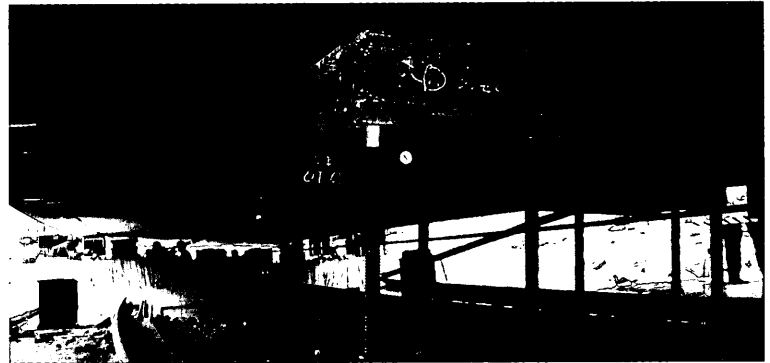


Figura 39. Última fase de lanzamiento. Llegada del tablero al estribo.

hormigón "in situ" sobre prelosas) se han realizado directamente por encima de las prelosas autoportantes.

El sistema de empuje y retenida frente al retroceso ha estado formado por un conjunto de tres gatos con pistón hueco (Fig. 37) que accionaban barras roscadas, de 40 mm de diámetro y 1300 kN de carga de rotura, ancladas en unas piezas metálicas adosadas en la parte inferior del tablero, mediante un cosido temporal con barras pretensadas, dispuestas en posición vertical (Fig. 38). Debido a la trayectoria en curva de la zona de anclaje durante el proceso de lanzamiento, los mecanismos de tracción estaban dotados

de rótulas para permitir el acoplamiento gradual del sistema de tracción, formado por barras rectas, a la posición adecuada.

Las operaciones de lanzamiento han sido estudiadas previamente con todo detalle, habiéndose estimado necesario desarrollar además una labor de gabinete consistente en un especial análisis estructural destinado a conocer en todo momento del proceso de lanzamiento el estado tensional de la viga - cajón, flechas en todos los puntos de control, reacciones verticales de apoyo y fuerzas transversales de guiado. Durante el lanzamiento se han controlado de forma continua los valores de las fuerzas de empuje, movimientos y flechas del tablero, así como el correcto funcionamiento de aparatos de apoyo y sistemas de guiado transversal, situados en la coronación de pilas.

Las sucesivas maniobras de montaje del tablero y lanzamiento (Figs. 39 y 40) se han realizado en la forma prevista, con aparente facilidad y sin la existencia de incidencias, habiéndose logrado reducir el tiempo previsto en la programación de obra correspondiente a las fases de construcción del tablero.

Dentro de la Variante de Tejina, la parte de obra correspondiente al puente ha quedado finalizada en diciembre de 2002. La Administración de la Obra ha sido el Gobierno de Canarias y la Dirección de Obra, VISOCAN. La empresa DRAGADOS ha llevado a cabo la construcción, con el apoyo y asistencia técnica de sus Servicios Técnicos Centrales. ■

Figura 40. Puente de Tejina. Aspecto de la obra, una vez finalizado el hormigonado de la losa superior de tablero.

