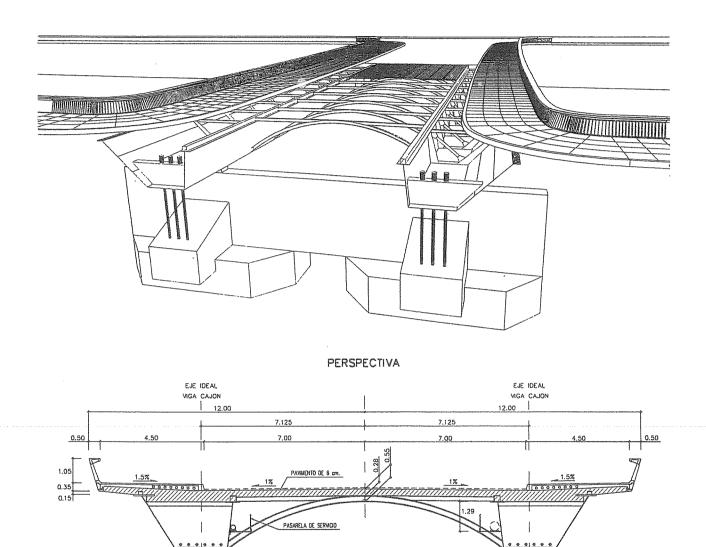
4° PUENTE SOBRE EL RÍO URUMEA SAN SEBASTIÁN

Ponente: Julio Martínez Calzón



SECCION TRANSVERSAL

Autores y Dirección de

Obra del Proyecto

Julio Martínez Calzón

José A. Fernández Ordoñez

Propietario

AYUNTAMIENTO DE SAN SEBASTIÁN

Joaquín Oroz

Empresa Constructora

AGROMAN

CONSTRUCCIONES GALDIANO

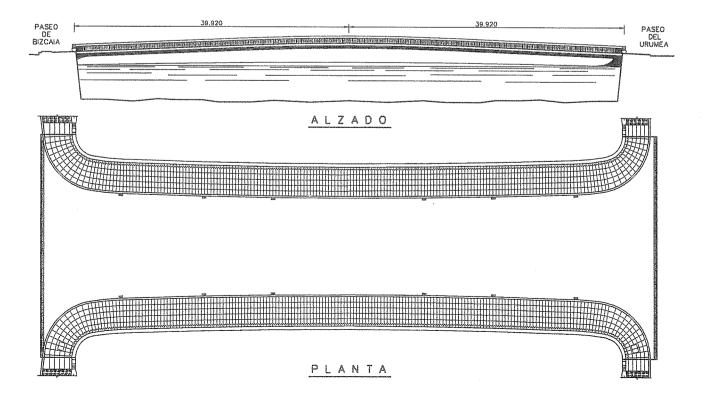
Pedro Manuel Rodríguez (Jefe de Obra)

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El puente se plantea sobre la base conceptual de lograr una obra que, profundamente vinculada al ámbito tecnológico y estructural, ofrezca una visión exterior de la más alta dignidad, armonía y serenidad, y a la vez, una intensidad y una potencia conseguidas a través de su realización en un solo vano de gran esbeltez: aproximadamente, un treintavo de su luz.

La tipología estructural del puente consiste en una solución mixta constituida por dos cajones metálicos semiabiertos, de sección trapezoidal ligeramente irregular suavemente variable en su lado exterior. Estos dos cajones se conectan a una losa de hormigón armado para formar una sección mixta de gran potencia que permite lograr una extraordinaria esbeltez y conseguir que, aún con la máxima cota de marea viva equinocial, el puente no sea afectado por ella, discurriendo libremente el agua bajo el puente.

Esta losa del tablero, además del trabajo global como cabeza de compresión del sistema principal mixto, trabaja también longitudinalmente en su trabajo local de reparto de carga, apoyándose transversalmente cada cuatro metros en unas riostras transversales que conectan las dos vigas cajón. La forma de pórtico-arco de las riostras favorece las condiciones resistentes y permite aligerar profundamente la visión del intradós del puente que, aunque directamente oculta, se percibirá mediante el reflejo en el agua entre ambos elementos principales, dotando al conjunto de este artesonado de una cualidad levemente vibrante.



La rasante está suavemente peraltada para conseguir un desagüe favorable y una sensación de levitación del tablero.

El conjunto del puente se completa con dos unidades ciertamente singulares destinadas a mejorar el trabajo básico de la estructura:

- En primer lugar, el pretensado exterior situado en el interior de las zonas centrales de los cajones que permite aligerar y reducir notablemente el coste del sistema.
- En segundo lugar, la creación de dos células atirantadas en los extremos que, actuando como leves empotramientos elásticos de valor controlado, permiten una distribución de flexiones más homogénea y favorecen el proceso constructivo.

2. TABLERO

El tablero del puente, que prácticamente configura de una manera completa la percepción de la obra en conjunto por la gran austeridad de los elementos involucrados en el diseño, está compuesto por cuatro grupos de elementos resistentes enlazados entre sí para constituir el sistema portante del puente. Estos cuatro grupos son los siguientes:

• Dos vigas mixtas en cajón, de canto y ancho ligeramente variables a lo largo de su directriz, formadas por dos piezas de acero estructural de alta resistencia A52d de sección transversal trapezoidal semiabierta, que se conecta en sus dos bordes superiores a una gran losa de hormigón de espesor variable para ajustarse en la mejor forma posible a la funcionalidad de la sección transversal, logrando el máximo canto estructural posible.

Esta viga mixta se completa en su interior con una serie de sencillos diafragmas de celosía y rigidizadores de las almas para hacer frente a los fenómenos de distorsión y abolladura.

La unión entre ambos materiales: acero estructural y hormigón, queda confiada a tres grupos de conectadores; dos ubicados sobre las platabandas superiores que rematan las almas inclinadas de la sección cajón, y el tercero, en el propio alma o en la pieza trapecial

de célula superior rigidizante que se incluye en las zonas centrales de la platabanda exterior, bajo ésta última, y que permite establecer la conexión provisional de la fase intermedia de la construcción, en la cual solamente se cuenta con el hormigón de cierre de las vigas cajón, y que recibe de esta forma el resto del hormigón que conforma la losa total del tablero.

• Un sistema de 16 tirantes de anclaje que vinculados a las vigas cajón metálicas en sus extremos, se sitúan verticalmente y se anclan al sistema de cimentación.

Estos tirantes, dotados de articulaciones esféricas en ambos extremos para permitir los giros y traslaciones de los apoyos, se enfundan en vainas metálicas, que permiten incluir en su interior, protegiendo a los tirantes metálicos, una emulsión de cera petrolífera. Independientemente y como protección adicional, la superficie de los propios tirantes se protege mediante una pintura previa de brea-epoxi.

El conjunto de los tirantes queda incorporado, y perfectamente accesible en todas sus unidades, a las cámaras previstas en los estribos, que vienen configuradas por la realización de las células extremas de atirantamiento.

Con estas condiciones, el sistema de tirantes se puede controlar de forma precisa y está prevista –caso de emergencia o mal funcionamiento de alguno de los referidos tirantes— la posibilidad de cambiar dichos tirantes, o efectuar operaciones de retesado o destesado, según las circunstancias, de forma muy sencilla, mediante perforaciones en la losa recubiertas para mantener la funcionalidad de la superficie y la estanquidad de la cámara, que se pueden abrir de forma simple.

Un grupo de armaduras activas de pretensado exterior, dispuesto en el fondo de las vigas cajón y en su parte central, que determinan ahorros en peso y condiciones resistentes adicionales a la estructura metálica de acero estructural a la cual se unen. Estos elementos, asimismo perfectamente accesibles, controlables y operativos, permiten en caso de emergencia su cambio, retesado o cualquier otra variante, al estar el cajón en su interior perfectamente preparado para su accesibilidad a través de alveolos de paso de hombre en los extremos, dentro de las zonas de cámaras de estribo. Asimismo, los mamparos de

apoyo en pilas presentan adecuados pasos de hombre –aparte de otros más reducidos para la ubicación de conductos o líneas de gran responsabilidad–, para lograr un cómodo acceso a las unidades de pretensado.

El pretensado se lleva a cabo por medio de cordones aislados autoprotegidos mediante una triple barrera: galvanizado de los alambres que componen los cordones; vainas de polietileno de alta densidad y grasa petrolífera en el interior de éstas, incorporado en el momento de la extrusión de la vaina sobre el cordón, de forma de reducir al mínimo la eventual presencia, o introducción posterior, del aire.

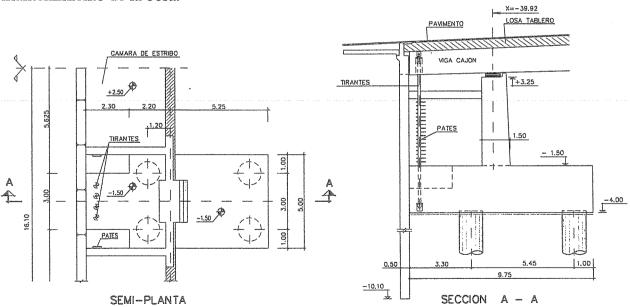
- Un sistema de perfiles de arriostramiento y unión entre vigas cajón, constituido por tres familias:
 - Vigas riostra propiamente dichas, formadas por el acoplamiento de una pieza en arco y un dintel recto. Situadas cada 4 m aproximadamente, son básicamente los sistemas que recogen las acciones de las cargas y sobrecargas de las zonas situadas entre las dos vigas cajón, y crean la necesaria unión entre ambas para dotar al sistema de un adecuado margen de reparto transversal y reducidas distorsiones entre ambos cajones.
 - Perfiles intermedios ortogonales a la directriz de las vigas cajón situadas también a distancias de 4 m entre sí, e intercalados entre vigas riostra que, favoreciendo el proceso antedicho de unión y reparto, tienen una tarea fundamental: recoger los elementos de chapa plegada que constituyen el sistema de encofrado autoportante previsto para la realización del hormigonado de la losa del tablero en las zonas del interior de los cajones y entre éstos.
 - Finalmente, un perfil longitudinal que arriostrando el conjunto de los dos anteriores tiene como misión fundamental reducir la luz de los perfiles auxiliares intermedios y canalizar sus reacciones centrales hacia las vigas riostra.

Tanto este último elemento, como el perfil superior de las riostras quedan conectadas a la losa de hormigón, formando —en conjunto y combinación con las adecuadas armaduras pasivas de

momentos negativos— vigas mixtas de carácter continuo y semiempotrado, que confieren una gran resistencia y rigidez a la losa del tablero.

3. CIMENTACIÓN Y ESTRIBOS

La estructura del puente se completa con dos estribos no tradicionales. En efecto, y tal como ha quedado expuesto anteriormente, el puente presenta en sus extremos unas cámaras accesibles, que formalizan las células atirantadas de su tipología estructural y que se ubican bajo las aceras del paseo fluvial del Urumea. Estas cámaras se cierran en sus partes dorsal y laterales mediante muros de hormigón y/o elementos de pantallas o tablestacas, según las zonas y orilla; mientras que en su parte frontal, lo hacen mediante el muro de encauzamiento. Los adecuados registros en su parte superior (losa del tablero del puente) permiten una sencilla accesibilidad para todo tipo de operaciones de control o inspección, reparación o incorporación de elementos o conductos y garantizan de forma total la calidad del mantenimiento de la obra.



En el conjunto de este muro de encauzamiento se insertan, sobresaliendo muy levemente del paramento exterior de dicho muro, las piezas de apoyo de las vigas cajón del tablero, prácticamente las pilas del puente. Piezas que están exclusivamente compuestas por elementos prismáticos verticales del mismo ancho aparente que el fondo de las vigas cajón, y situadas directamente debajo de las mismas.

Se crea así un adicional efecto de inserción y fuerza que delimita y precisa el sentido y carácter resistente de la estructura.

La cimentación de la estructura, que se reduce al apoyo de estas pilas antes descritas, se aprovecha para recoger el anclaje de los sistemas de tirantes, dando lugar a unas resultantes totales desplazadas hacia el interior del cauce.

En la margen derecha, la cimentación es directa sobre la roca.

Por el contrario en la izquierda, se lleva a cabo un pilotaje mediante cuatro elementos de Ø1.25 m por pila.

4. PROCESO CONSTRUCTIVO

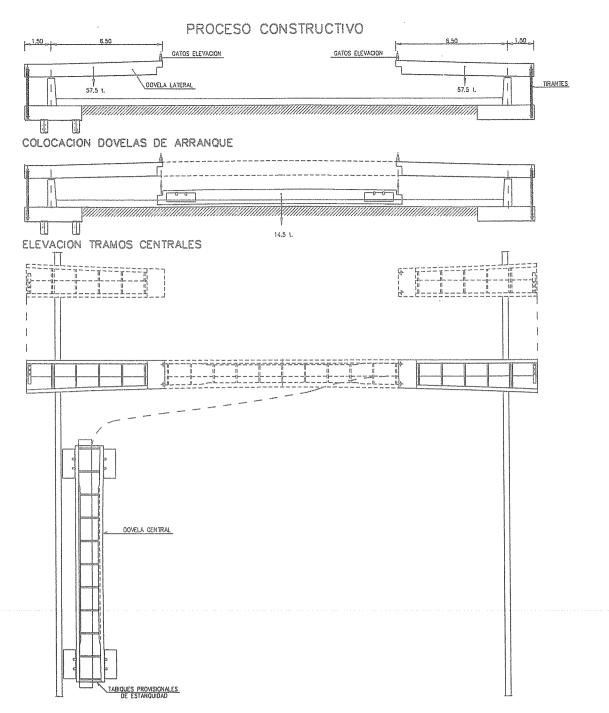
El proceso constructivo del puente respeta y mantiene la configuración de las márgenes, formando dos células extremas utilizando fragmentos de muro de la canalización actual situadas bajo la zona del puente, y dos grupos de tirantes situados dorsalmente a éstos, a unos cuatro metros hacia dentro de las márgenes, en el extremo de la losa de transición que finalmente completará el tablero.

Esta doble línea de elementos estructurales permite el montaje directo de las cuatro dovelas extremas de los cajones metálicos que, totalmente construidas y terminadas en taller, serán depositadas sobre los apoyos situados en los muros y fijadas por los tirantes extremos, situándose como cuatro voladizos, dos en cada margen, que permiten recibir directamente los tramos centrales de las dos vigas cajón. Estos cajones, asimismo construidos en taller, actuando ellos mismos como elementos flotantes mediante sencillos diafragmas provisionales de estanqueidad en sus extremos, se situarán sobre dos elementos auxiliares de flotación para ser guiados y conducidos hasta el centro de la corriente, y finalmente elevados mediante cables y gatos situados en los extremos de los voladizos, hasta su vinculación con éstos. Una vez unidos en continuidad con los voladizos, quedarán totalmente formados los dos cajones principales. Con la colocación de las riostras, la estructura portante recibirá las placas plegadas. El hormigonado del tablero, realizado de forma directa, culmina la totalidad de la obra.

Como puede apreciarse, el nivel de incidencia sobre la ciudad es prácticamente nulo por la alta prefabricación industrial de sus elementos y la flexible puesta en obra, aprovechando precisamente los conceptos de estabilidad y compensación incorporados a la estructura para homogeneizar, optimizar y mejorar su respuesta global.

Así pues, tras la ejecución de las cámaras de los estribos las fases de ejecución son las siguientes:

- Fase 1 Colocación de aparatos de apoyo en pilas.
- Fase 2 Montaje de las dovelas laterales mediante grúas en orilla, ajustando los tirantes de cada uno de estos elementos para lograr las cotas previstas.
- Fase 3 Montaje de gatos de izada en los extremos de las dos dovelas extremas que han de recibir la primera dovela central. Ensamblaje y posicionamiento en orilla de la primera dovela central.
- Fase 4 Botadura.
- Fase 5 Flotación hasta el centro del río y posicionamiento mediante vientos extremos de guiado y fijación.
- Fase 6 Izada mediante gatos y cables. Fijación provisional mediante perfiles y tornillos. Idénticamente para la segunda dovela central.
- Fase 7 Colocación de las riostras de extremo x = 24.0; x = -24.0 y central x = 0, entre sistemas para garantizar el posicionamiento del conjunto.
- Fase 8 Soldeo de unión entre dovelas centrales y laterales. Aplicación del pretensado exterior (280 t por unidad).
- Fase 9 Colocación de chapas plegadas y armaduras de zona de losa interior a cada cajón. Hormigonado de la primera fase de la losa en el interior de las vigas cajón hasta enrasar con el ala superior.
- Fase 10 Montaje y unión del resto de los elementos de riostras, perfiles transversales entre cajones y perfil longitudinal, aprovechando la presencia de las plataformas de hormigón ya formadas en la fase anterior. Colocación de pasarelas y conductos de gas y agua apoyados en las citadas riostras.
- Fase 11 Primer destesado de tirantes: 400 t por extremo de viga cajón.
- Fase 12 Colocación de chapa plegada en zona entre cajones.
 Colocación de los encofrados de voladizo.
 Colocación de las armaduras del tablero y principales del conjunto.



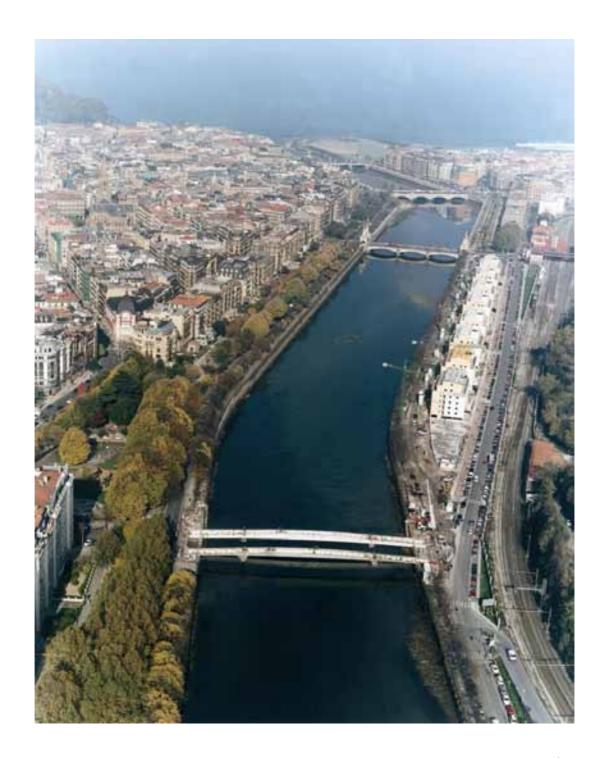
Fase 13 Hormigonado del resto de la losa hasta el borde de los berenjenos de separación con imposta.

- Fase 14 Segundo destesado de tirantes: 500 t por extremo de viga cajón.
- Fase 15 Colocación de carga muerta: pavimento asfáltico, bordillos y aceras.
- Fase 16 Tercer destesado de tirantes: 300 t por extremo de viga cajón y bloqueo mediante contratuercas. Cierre de alveolos de destesado.
- Fase 17 Colocación de la imposta y hormigonado de su unión con la losa.
 Colocación de la barandilla y remate del pavimento de aceras.
 Colocación de los sistemas de iluminación y ajuste de conductos.
 Acabados finales de pintura, señalización, iluminación, etc.

Fin de la obra.

II CONGRESO DE ACHE PUENTES Y ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN

Realizaciones: Puentes



PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE DE MUNDAIZ, SAN SEBASTIÁN

Julio Martínez Calzón José Antonio Fernández Ordóñez (†) Juan Jesús Álvarez Andrés Jorge Bernabeu Larena

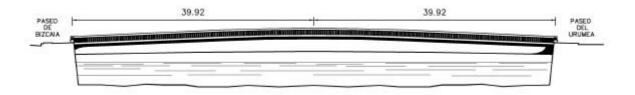


Figura 1. Alzado.

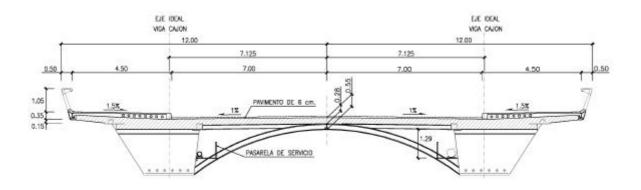


Figura 2. Sección transversal en centro de vano.

La tipología estructural del puente consiste en una solución mixta de gran novedad tecnológica, constituida por dos cajones metálicos semiabiertos, de sección trapezoidal ligeramente irregular y de sección suavemente variable al lado exterior. Estos dos cajones separados se conectan a una losa de hormigón armado para formar una sección mixta de gran potencia que nos permite lograr una extraordinaria esbeltez y conseguir que, aún con la máxima cota de marea viva equinocial, el puente no sea afectado por ella, discurriendo libremente el agua bajo su vuelo.

Esta losa del tablero, además del trabajo global como cabeza de compresión del sistema principal mixto, trabaja también longitudinalmente en su trabajo local de reparto de carga, apoyándose cada cuatro metros en unas riostras transversales que conectan las dos vigas cajón. La forma de pórtico-arco de las riostras favorece las condiciones resistentes y permite aligerar profundamente la visión del intradós del puente que, aunque directamente oculta, se percibe mediante el reflejo en el agua entre ambos elementos principales.

El proceso constructivo constituye en sí mismo una original y profunda solución tecnológica, que logra no solo proporcionar al puente la máxima esbeltez, elegancia y naturalidad, sino que además permite llevar a cabo una ejecución con las mínimas condiciones de interferencia con el normal desenvolvimiento de la ciudad y del tráfico. El proceso constructivo se constituye como una creación técnica que, sin añadirse visualmente a la forma final, es perceptible en cierta manera, no sólo conociendo directamente su desarrollo, sino para cualquiera que se acerque a la obra con interés en su comprensión.

El proceso constructivo, cuando nace de una intensa correspondencia con la tipología estructural final, cuando se imbrica en los sistemas resistentes de la obra, configura en parte y transciende esa fase de la puesta en acto de la materia. No se suele conceder importancia a ese desarrollo técnico que conduce la materia uniforme a la materia actuada.



Cimentación y células de estribos



Colocación de dovelas laterales



Dovelas laterales de margen izquierda



Vista aérea con las dovelas laterales colocadas

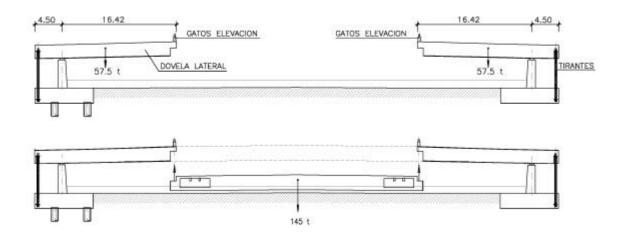


Figura 3. Colocación de dovelas laterales e izado de tramos centrales.



Montaje del tramo central



Botadura



Flotación del tramo central



Disposición bajo los gatos de elevación

Sin embargo, en los casos --como el de este puente-- en que tal proceso deviene desde la concepción como principio y participación de la totalidad de la obra, ésta se enriquece de tal manera que añade y transmite una nueva emoción conceptual y de plenitud.

El proceso constructivo del puente respeta y mantiene la configuración de las márgenes, formando dos células extremas utilizando fragmentos de muro de la canalización actual situadas bajo la zona del puente, y dos grupos de tirantes situados dorsalmente a éstos, a unos cuatro metros hacia dentro de las márgenes, en el extremo de la losa de transición que finalmente completará el tablero.

Esta doble línea de elementos estructurales permite el montaje directo de las cuatro dovelas extremas de los cajones metálicos que, totalmente construidas y terminadas en taller, se depositan sobre los apoyos situados en los muros y se fijan por los tirantes extremos, situándose como cuatro voladizos, dos en cada margen, que permiten recibir directamente



Preparación de izado



Izado del tramo central izquierdo



Izado del tramo central derecho



Unión de dovelas laterales y tramo central

los tramos centrales de las dos vigas cajón. Estos cajones, asimismo construidos en taller, actuando ellos mismos como naves flotantes mediante sencillos diafragmas provisionales de estanquidad en sus extremos, se sitúan sobre dos elementos auxiliares de flotación para ser guiados y conducidos hasta el centro de la corriente, y finalmente elevados mediante cables y gatos situados en los extremos de los voladizos, hasta su vinculación con éstos. Una vez unidos en continuidad con los voladizos, quedan totalmente formados los dos cajones principales. Con la colocación de las riostras, la estructura portante recibe la chapa plegada. El hormigonado del tablero, realizado de forma directa, culmina la totalidad de la obra.

El nivel de incidencia sobre la ciudad resultó prácticamente nulo por la alta prefabricación industrial de sus elementos y la flexible puesta en obra, aprovechando precisamente los conceptos de estabilidad y compensación incorporados a la estructura para homogeneizar, optimizar y mejorar su respuesta global.



Cajones laterales



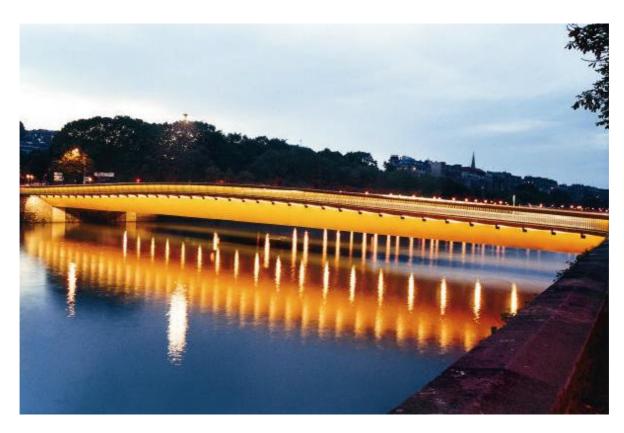
Arriostramiento entre cajones laterales



Hormigonado de losa de cajones laterales



Hormigonado central y acabados



Vista nocturna de la obra terminada (Inauguración: Mayo de 2000)



Vista inferior nocturna del tablero