Transformación del puente basculante en puente rotatorio por cambio de uso en el Puerto de Valencia

Transformation of a bascule bridge into a swing bridge at Valencia Harbour

Julio Martínez Calzón[1], Pilar Hué Ibargüen[2], Carlos Polimón Olabarrieta[3] y Felipe Tarquis Alfonso[4]

Recibido | *Received:* 03-04-2009
Aceptado | *Accepted:* 07-05-2009

Resumen

Los cambios urbanísticos acaecidos en los últimos años en el Puerto de Valencia, ocasionados principalmente por la celebración de la 32 edición de la Copa América de Vela en el año 2007, supusieron el cierre de la bocana de acceso a la dársena interior y con ello el desuso del puente basculante en ella existente, y la construcción de un nuevo canal de navegación que permite el acceso directo de las embarcaciones deportivas sin tener que atravesar el puerto comercial e industrial.

Con el nuevo canal surgió la necesidad de construir una estructura que lo cruzase y que permitiera ser utilizada como salida de emergencia del puerto y que, además, formaría parte del nuevo circuito urbano para Grandes Premios de Formula 1 de la ciudad de Valencia.

El nuevo puente, de tipo rotatorio, reutiliza gran parte de la estructura metálica y mecanismos del puente basculante, consta de dos hojas móviles, cada una de ellas con una longitud total de 67,6 m, de los que 49,6 m corresponden al tramo en voladizo desde el eje de rótulas hasta la clave y 18 m al vano de compensación donde se ubican los contrapesos y los carretones que le dan movilidad.

La anchura total del puente es de 20,45 m, con un ancho útil de calzada de 18 m, correspondientes a dos carriles para tráfico rodado y sus vias de servicio, y una acera peatonal exterior de 1,25 m.

Palabras clave: Puente rotatorio, puente basculante, mecanismos, recintos, estructura metálica.

Abstract

The recent changes in urban layout at Valencia Harbour, made on the occasion of the 32nd edition of the America's Cup hosted by the city in 2007, called for closure of the neck providing access into the inner harbour and construction of a new navigation canal to enable recreational vessels to dock without having to sail through the commercial and industrial port. As a result, the bascule bridge sited over the former neck was no longer needed..

By the same token, a bridge was required for the new canal, which would serve as both an emergency exit for the port and as one of the legs of Valencia's new Formula1 street circuit.

* ***Page 107 of this issue contain an extensive English language summary of this article for inclusion in databases.***

(1) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MC-2 Estudio de Ingeniería, S.L. (Madrid, España)
(2) Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS, S.A. (Madrid, España)
(3) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Flota y Proyectos Singulares (FPS). (Madrid, España)
(4) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DRAGADOS, S.A. (Madrid, España)

Translation: Margaret Clark

Persona de contacto / *Corresponding author:* MHUEI@dragados.com

DISEÑO DEL PUENTE ROTATORIO PARA EL CIRCUITO DE FÓRMULA 1 EN EL PUERTO DE VALENCIA

Julio MARTÍNEZ CALZÓN
Dr. Ingeniero de Caminos
MC-2 Estudio de Ingeniería S.L.
Director
mc2@mc2.es

Ginés LADRÓN DE GUEVARA MÉNDEZ
Ingeniero de Caminos
MC-2 Estudio de Ingeniería S.L.
Ingeniero
gines@mc2.es

Resumen

Durante el mes de junio de 2008 se concluyó la ejecución del nuevo puente rotatorio en el Puerto de Valencia. El diseño del puente ha considerado la reutilización del puente basculante existente en un 100 % de la estructura metálica y en un 50 % de los mecanismos. El uso previsto para la nueva estructura es el tráfico portuario, formando parte integrante del Circuito de Fórmula 1 que alberga el Gran Premio de Europa celebrado, en su primera edición, en agosto de este año. La ejecución de las obras se ha llevado a cabo por DRAGADOS (Pilar Hué Ibargüen, Ingeniera de Caminos; Felipe Tarquis Alfonso, Ingeniero de Caminos), FPS (Carlos Polimón Olabarrieta, Ingeniero de Caminos) y CYES. La dirección de obra por parte del Puerto de Valencia la ha realizado Ignacio Pascual Navarro (Ingeniero de Caminos y Arquiecto).

Palabras Clave: puente rotatorio, puente basculante, Puerto de Valencia, circuito fórmula 1

1. Introducción

La ciudad de Valencia ha experimentado un importante desarrollo a lo largo de la última década. Del mismo modo, el Puerto de la ciudad ha ido adquiriendo gran relevancia como puerto comercial y, en mayor medida, como puerto deportivo destacando la celebración de la Copa América de Vela en el año 2007. En agosto de 2008 se ha celebrado, en su primera edición, el Gran Premio de Europa de Fórmula 1 en un nuevo circuito urbano que recorre las instalaciones del Puerto y la ampliación de la ciudad.

Uno de los iconos del circuito urbano es el puente móvil rotatorio que conecta los muelles sobre el canal de salida de la dársena interior. El movimiento rotatorio del nuevo puente responde a exigencias de tipo urbanístico y arquitectónico debido a que se encuentra situado en el entorno del edificio Foredeck, diseñado por David Chipperfield, para las instalaciones de la Copa América.

En el año 2002 se construyó en el Puerto un puente de movimiento basculante sobre el antiguo canal de la citada dársena entre los muelles de Levante y Poniente, proyectado por MC-2 Estudio de Ingeniería y en desuso desde el año 2006, de 98 m de luz y 8 m de plataforma para ferrocarril y carretera. El diseño del nuevo puente ha considerado la reutilización del puente existente en un 100 % de su estructura metálica y en un 50 % de los mecanismos originales. El nuevo puente tiene una luz de 99,2 m y una plataforma de 18 m para uso carretero: circuito de fórmula 1 y tráfico del Puerto.

2. Diseño de puente basculante original

El Puente basculante sobre la antigua bocana del Puerto de Valencia entre los muelles de Poniente y de Levante fue proyectado en el año 2001. El diseño del puente, realizado por MC-2 Estudio de Ingeniería S.L., se llevó a cabo considerando el paso de tráfico ferroviario y carretero. El proyecto tuvo en consideración los aspectos estéticos y de imagen que la presencia de esta obra incorporaba al paisaje de los muelles, destinados a incorporar un importante desarrollo urbanístico. Durante el año 2002 se llevó a cabo la construcción del puente y su puesta en servicio.

La luz del tramo central del puente original era de 98 m, correspondiendo una longitud de 49 m, aproximadamente, para cada una de las dos hojas móviles. Los tramos de compensación presentaban una luz de 13,50 m, determinando en conjunto una longitud total para el puente de 125 m; es decir, 62,5 m de longitud total para cada semipuente basculante.

Fig. 1 Puente basculante original

Todo el conjunto de la maquinaria y equipos tanto hidráulicos, como eléctricos y mecánicos, se situaban, para cada hoja, en sendos recintos de gran profundidad y dimensiones en planta apropiadas, no sólo para albergar los equipos antedichos, sino para acoger en la fase abierta y, en las intermedias de cierre y apertura del tramo, el vano dorsal de compensación, así como el contrapeso de equilibrio. Estos recintos de maquinaria y descenso de los vanos dorsales estaban constituidos por módulos de pantallas de hormigón armado de gran profundidad, realizadas en forma convencional tratando, precisamente con la elección exacta de la luz entre ejes de giro de ambas hojas, de reducir al mínimo compatible con la optimización general de la totalidad del puente, la interacción de la ejecución de dichas pantallas con la escollera y los bloques de protección que formaban los frentes de los espigones de ambos muelles.

Los tableros correspondientes a las dos hojas del puente fueron diseñados con una solución de tablero metálico ortótropo con nervios dispuestos en dirección transversal al puente. El sistema resistente global elegido para el puente estaba constituido por la disposición de dos vigas laterales situadas a ambos lados del tablero que recibían por el exterior de las mismas las subestructuras de las aceras, creándose una sección transversal que separaba netamente la calzada del tránsito ferroviario-carretero del tránsito peatonal.

Las vigas principales, reutilizadas íntegramente en el nuevo puente rotatorio, se componen de cuatro grandes piezas:

- Pieza inferior: formada por un dintel longitudinal que se extiende a lo largo de toda la longitud de cada hoja estando dividida a su vez en dos tramos: uno, principal, correspondiente a la zona central o frontal del puente, y que se sitúa, para cada hoja, entre la rótula de giro y la clave del puente, y otro, secundario, correspondiente a la zona lateral y dorsal o de culata. Estos dinteles, de sección en cajón rectangular, presentan un ancho de 0,60 m, constante en toda su longitud y un canto suavemente variable desde la clave hacia las rótulas. El canto en clave es de 1,60 m, y aumenta progresivamente hasta 3,60 m en la zona de culata.

- Tirantes frontales: formados por barras diagonales inclinadas que parten desde un punto intermedio de cada dintel, elegido para optimizar las acciones de flexión en el mismo, y reducir las flechas y giros del sistema a valores funcionales apropiados. La forma de la sección de esta pieza es de viga cajón rectangular con un ancho constante de 60 cm, igual al del dintel, y un canto ligeramente variable a lo largo de su longitud.
- Tirantes dorsales: formados por barras también diagonales de constitución análoga a la del tirante frontal.
- Montante o fuste: el sistema se completa y cierra con esta cuarta pieza que une el punto superior con el eje de la rótula, dirigiendo en acción directa de compresión hacia la misma, la resultante de las dos componentes de los tirantes frontal y dorsal actuantes en el nudo superior.

Dos sistemas importantes auxiliares se integraban en la superestructura resistente:

- La pieza eje, que conecta internamente las rótulas del eje de giro.
- Estructura de sustentación del contrapeso a la culata.

Cada una de las dos hojas móviles del puente, de 62,5 m de longitud cada hoja, se equilibra mediante los oportunos contrapesos dorsales, de forma que el centro de gravedad de las cargas permanentes (peso propio de la estructura y cargas muertas), incluido el propio contrapeso, se sitúe con toda precisión en el eje de giro de cada hoja. De esta manera, la incidencia de los émbolos de movilidad resulta mínima, debiendo hacer frente exclusivamente a los efectos de las sobrecargas inevitables: viento, fuerzas de inercia, rozamientos, etc.

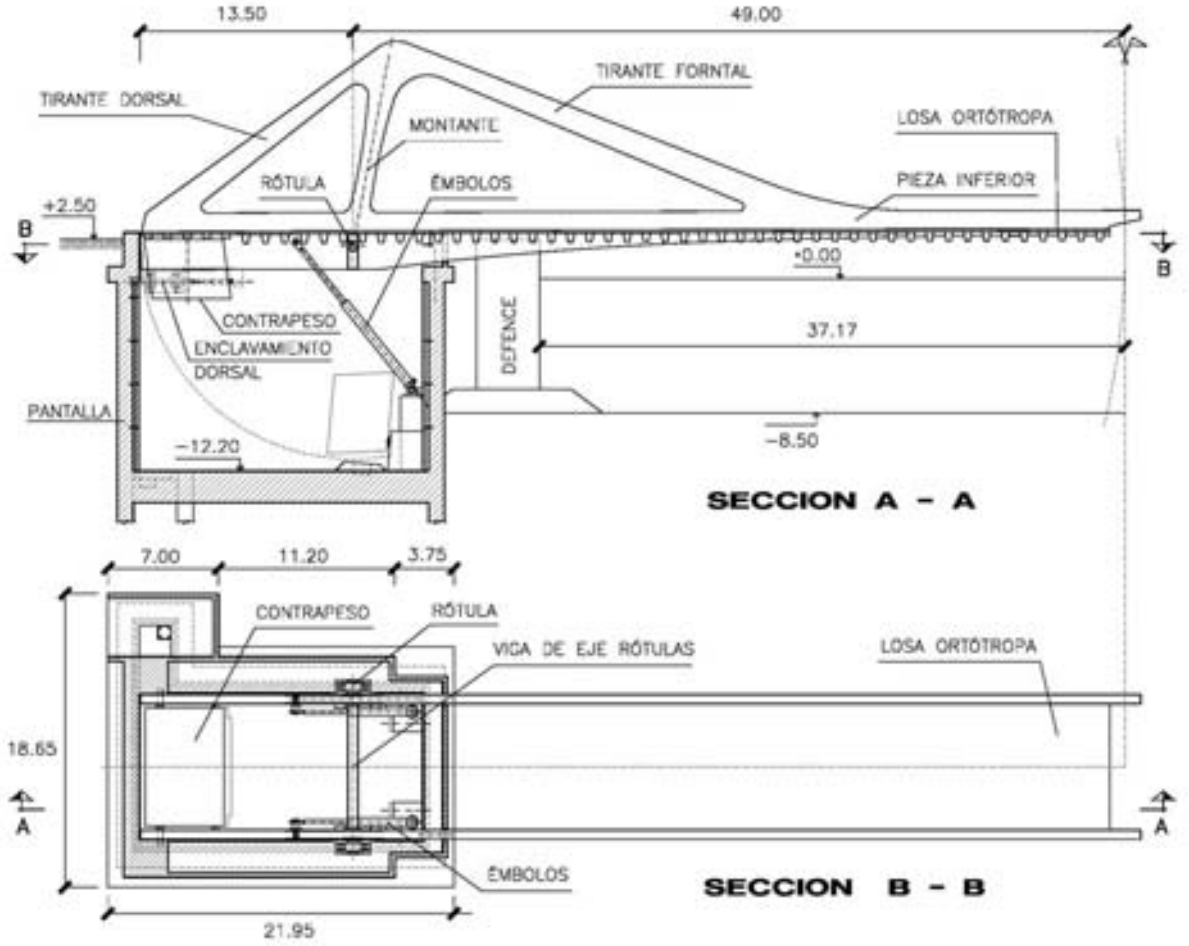


Fig. 2 Puente basculante original

Con estos planteamientos la disposición de elementos de accionamiento del puente se planteaba en la forma siguiente:

- Émbolos de movilidad: situados en la zona frontal, lo más adelante posible respecto a la rótula de giro y compatibles con las dimensiones del recinto para poder albergar adecuadamente el contrapeso en la posición abierta. Esta posición resultaba además la más favorable respecto a otras posibles en el presente caso, porque con dicha disposición frontal, los émbolos se encontraban recogidos en la situación cerrada, que

resultaba dominante en esta estructura; y extendidos en la posición abierta, que era más coyuntural. Otro aspecto favorable de dicha disposición era el hecho de que la longitud de dichos émbolos resultaba mínima respecto a cualquier otra disposición posible; y lo ya expresado de conseguir también el máximo brazo en relación a la posición del eje de giro y, consiguientemente, reducir al mínimo los esfuerzos a aplicar frente a cualquier solicitación en las fases de apertura.

- Enclavamientos dorsales y de fondo: los enclavamientos fijos estaban destinados a conseguir que el puente en sus posiciones fundamentales: cerrado o abierto, no presentase ningún tipo de inestabilidad e hiciera frente en la mejor forma posible a los diferentes tipos de solicitaciones producidas por las sobrecargas.
- Enclavamientos de la clave del puente: la estructura del puente original propiamente dicho consiste, en términos generales, en un sistema de dos grandes vanos en ménsula compensados por vanos dorsales cortos de equilibrio, lo cual determina, debido a la fuerte flexibilidad de estos sistemas, movimientos apreciables en el extremo de las ménsulas, incompatibles con la funcionalidad del sistema, especialmente del ferrocarril. Para evitar este efecto se hace necesaria la inclusión de un sistema de enclavamientos en la clave del puente que anulen totalmente los movimientos relativos transversales, y reduzcan en lo posible los giros relativos; es decir, la rotación total, de las secciones de clave de ambas hojas.

3. Diseño del nuevo puente rotatorio

3.1 Introducción

La reordenación urbanística del Puerto de Valencia supuso el cierre de la bocana sobre la que estaba dispuesta el puente y, por tanto, la inutilización del mismo. Sin embargo, el nuevo curso de los acontecimientos que, como aspecto fundamental, podría centrarse en la reciente realización de una nueva salida directa al mar de la dársena interior, sin tener que atravesar el puerto industrial mediante la apertura de un canal propio, introdujo una serie de circunstancias que llevaron a requerir, precisamente, la incorporación de un puente móvil que cruzase dicho canal. Estas circunstancias estaban fundamentalmente centradas en la necesidad del Puerto de disponer de una salida de emergencia o alternativa para el tráfico de camiones y vehículos interior al mismo, en caso de cualquier incidente en el viario interior, que permitiera de inmediato el poder seguir manteniendo la plena actividad hasta la suspensión del inconveniente.

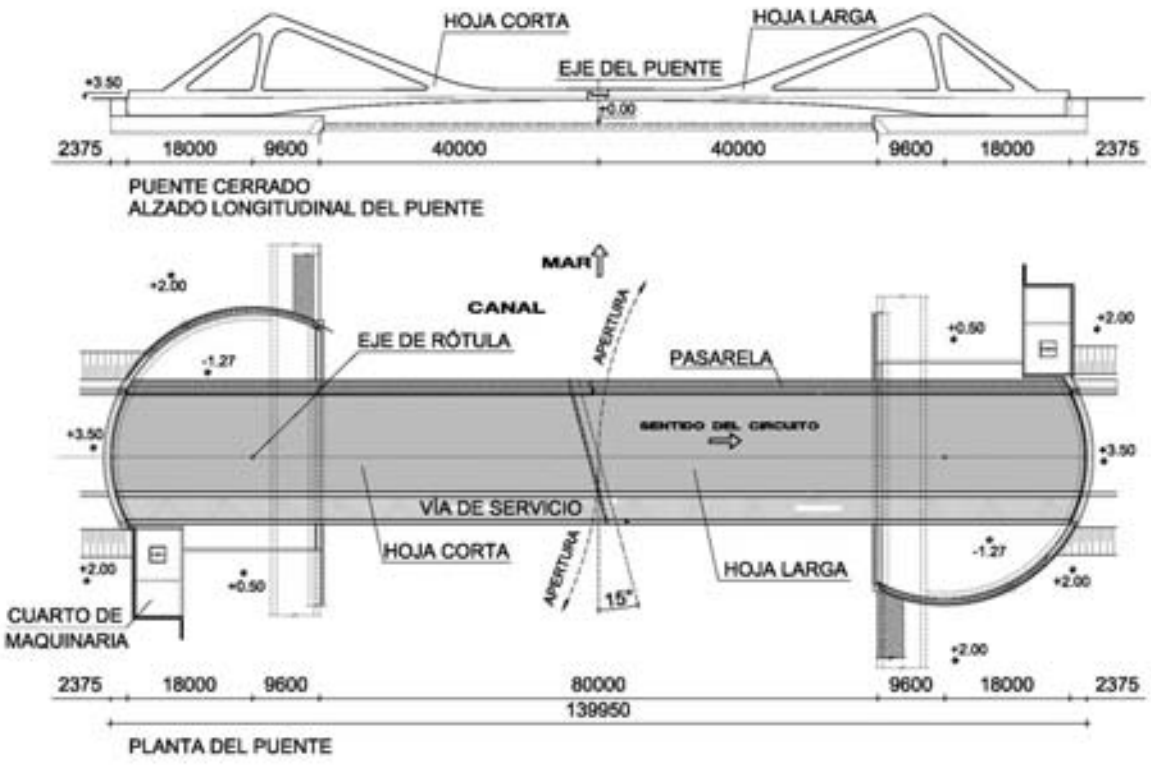


Fig. 3 Nuevo puente rotatorio

Posteriormente, una nueva circunstancia interviene en el diseño del nuevo puente, consistente en que a la ciudad de Valencia se le otorgaba la realización en el año 2008 de un gran premio de automovilismo Formula Uno, en un circuito urbano que rodearía prácticamente la citada dársena interior y cruzaría -precisamente- el canal en el que se pretendía disponer el nuevo puente rotatorio.

En estas circunstancias se desarrolló el proyecto de un nuevo puente de movimiento rotatorio con la premisa fundamental de aprovechar al máximo la estructura y los mecanismos del puente basculante existente.

La anchura y disposición de la plataforma ha venido condicionada por los dos tipos de uso dominantes, que han podido ser perfectamente incorporados a la solución adoptada:

- Utilización de calzada capaz para el paso de los sistemas de camiones procedentes del puerto, en caso de utilización de emergencia de la salida alternativa del recinto del puerto; manteniendo los posible usos ciclistas y peatonales.
- Utilización en fase de Gran Premio de Fórmula 1: dimensiones y protecciones de la pista de carreras, vía de servicio paralelo y sistema peatonal exterior al circuito de accesos y circulación entre márgenes.

La anchura total de la obra alcanza los 20,45 m; y el ancho útil entre cuchillos es de 18 m, que resulta algo mayor del doble del ancho útil de la obra actual (8,00 m), reflejando claramente la envergadura de la operación realizada. Debe señalarse no obstante que el cambio de utilización ferroviario-carretero a sólo carretero, ha permitido, prácticamente, mantener intocadas las piezas principales, a excepción de especiales refuerzos en las zonas de vuelos situadas al exterior de las zonas de los cilindros de enclavamiento en clave, para adaptar dichas zonas a los requerimientos giratorios.

El empleo de la estructura del puente actual sobre el nuevo canal de acceso, la anchura útil entre cuchillos y la ubicación de las hojas en posición abierta en las márgenes de dicho canal sin invadir el ancho del mismo, determinan prácticamente las restantes dimensiones; que se completan con las necesarias disposiciones geométricas que impone la maniobra giratoria antimétrica de las hojas.

Así, considerando la anchura teórica del canal de 80 m y una anchura interior útil entre cuchillos de 18 m, la distancia mínima entre rótulas resulta: 80 + 18 + 1,20 = 99,20 m, de forma que el semiancho de 9,60 m exterior del puente, en posición abierta, quede exactamente al interior del cantil de los muelles.

Las ideas fundamentales que coordinan toda la actuación de reutilización de los materiales del actual puente basculante son las siguientes:

- Utilización integral de las dos piezas principales o cuchillos, constituidas por piezas cajón de 60 cm de anchura, como elementos principales del nuevo sistema, con los eventuales cambios que las longitudes y geometría general de la nueva solución imponen sobre estos sistemas.
- Esta condición incluye además el aprovechamiento completo, y sin cambios básicos, de los sistemas mecánicos de enclavamiento en clave y en extremos dorsales.
- Así pues, los únicos materiales del puente actual que no se aprovecharon fueron los contrapesos de las dos hojas (por la dificultad de su manejo y el relativo bajo coste y facilidad de sustitución en plazo), los émbolos de apretura y las dos rótulas principales por su diferente constitución intrínseca.

3.2 Ampliación y refuerzo de la estructura metálica del tablero

Las operaciones críticas para conseguir los objetivos buscados descritos en el apartado anterior se describen a continuación.

Realización de un corte longitudinal total por el eje del puente actual, para separar en dos el sistema portante principal y llevarlo hasta la nueva anchura requerida, incorporando en la parte central entre dichas dos zonas separadas, una nueva estructura parcial que, por una parte, da continuidad transversal a los nervios del tablero ortótropo de la actual solución; y, por otra, permite disponer, en cada uno de los bordes del corte realizado, nuevas vigas longitudinales capaces de mantener el trabajo apropiado de los antedichos nervios. Estas nuevas vigas longitudinales son recogidas por diversas vigas transversales, también totalmente nuevas, que se sitúan a intervalos apropiados, intercalándose en los espacios existentes entre los nervios trapeciales transversales, permitiendo recoger las acciones transferidas por aquellas hasta los cuchillos longitudinales laterales recuperados de la estructura existente.

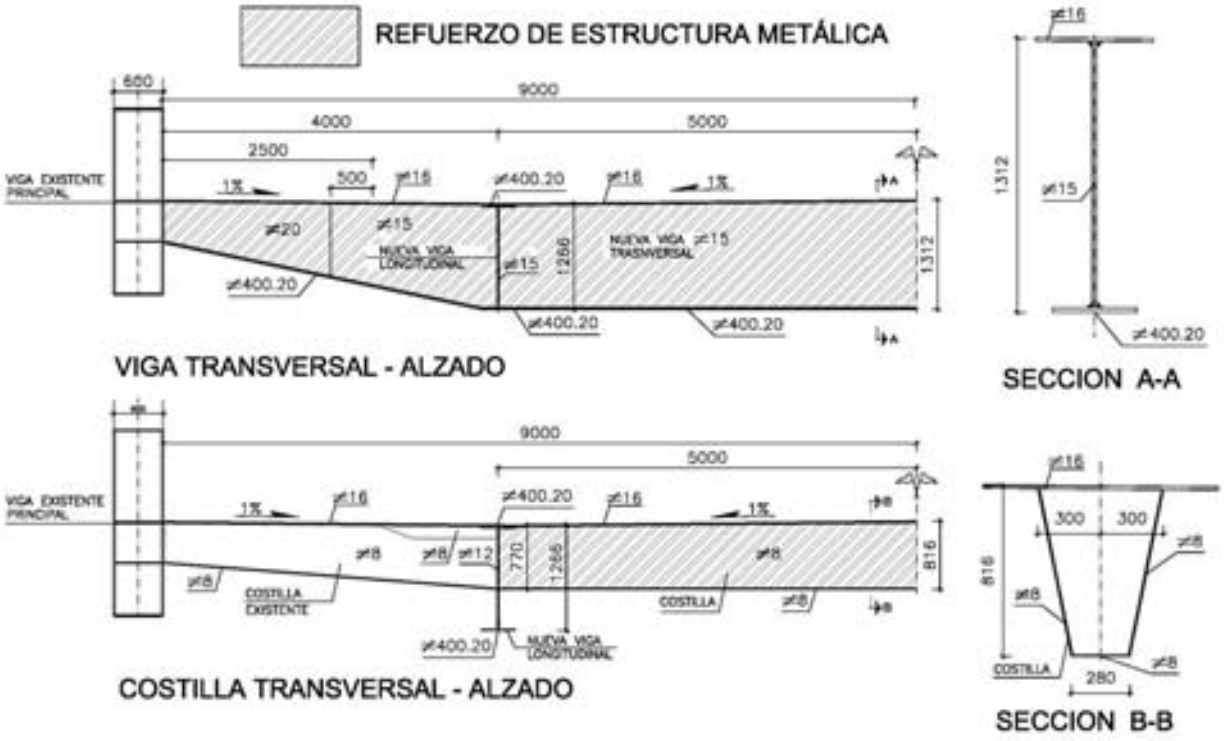


Fig. 4 Vigas y nervios trasnversales

Se constituye así un potente emparrillado de respuesta longitudinal y transversal fuertemente equilibrada, que permite el pleno aprovechamiento del material actual y la minimización del nuevo requerido.

Como siguiente aspecto fundamental puede citarse la rehabilitación del gran eje de rótulas del puente actual para, incorporando en su parte central un nuevo elemento de gran canto, en forma semejante a lo realizado para los nervios y con dimensiones análogas a las de los cuchillos, completar la nueva anchura del sistema y permitir que las reacciones incorporadas por dichos cuchillos en los extremos laterales del eje, sean transferidas hasta el centro de este eje, donde se sitúa la nueva rótula giratoria de eje vertical y gran capacidad de carga, que no recibe, prácticamente acciones horizontales de importancia.

3.3 Diseño del nuevo contrapeso

El diseño del contrapeso considera la plena utilización de los sistemas de enclavamiento mecánico dorsales existentes en el puente actual, utilizándolos tanto en el sentido de la gravedad, como en el contrario, de forma de reducir en lo posible las dimensiones del contrapeso; pero sin llegar, en ningún caso, a aplicar en fase cerrada reacciones de importancia hacia arriba provocadas por las situaciones de desequilibrios de carga del vano central cuando es el único sobrecargado. Es decir, la acción del contrapeso, en conjunto con dicha reacción máxima de estos enclavamientos, equilibra tales situaciones y son las reacciones de estos últimos las únicas que se producirán hacia arriba sobre las pantallas de apoyo del sistema de rodadura, capacitadas para absorberlas, sin necesidad de ampliación de sus dimensiones requeridas para el trabajo bajo las cargas máximas de signo opuesto.

Fig. 5 Gran viga de rótula a la espera de recibir a las vigas principales

3.4 Movimiento del puente

El movimiento y la estabilidad global del sistema en su fase rotatoria se consigue disponiendo en el borde circular dorsal de cada hoja un tren de ocho carretones o bogies automóviles sobre carril macizo, que acompañando al sistema del puente, reciben en todo momento las componentes de los pares de eje horizontal, requeridas para resistir las acciones horizontales de viento, sismo, inercia y eventuales impactos, frenados o arranques del movimiento. Dichos carretones se disponen globalmente autoequilibrados para garantizar, por una parte, un movimiento regulado y, por otra, un reparto homogéneo y garantizado de las cargas que absorba las eventuales tolerancias de ejecución y montaje de los sistemas de rodadura. La nueva rótula esférica de giro de eje vertical recibe acciones verticales y horizontales garantizando, junto con el sistema de carretones dorsales, la estabilidad global del sistema.

Todo este conjunto y ensamblaje de sistemas existentes y nuevos determina una presencia e imagen muy homóloga a la del puente original, con una activa funcionalidad y una realización asegurada en mínimos tiempos, al no precisar equipos nuevos de importancia en su conformación.

Fig. 6 Enclavamiento central

3.5 Obra civil

La obra civil requerida para el acondicionamiento de los tramos giratorios y el apoyo de las rótulas y carriles de rodadura es relativamente convencional y se compone de los siguientes elementos principales:

- Parejas de pantallas portantes, para absorber los esfuerzos verticales de las rótulas.
- Círculos de pantallas en bataches cortos, para el apoyo de los carriles y la absorción de las eventuales cargas verticales hacia arriba de los enclavamientos dorsales.
- Sistemas de encepados, vigas riostra, soleras y muros de contención de los recintos o zonas de posicionamiento de los tramos abiertos, que no requieren actuar sobre las estructuras portantes de los muelles, con lo que ello significa de facilidad ejecutiva, al separarse prácticamente de cualquier actuación con carácter real de obra marítima.

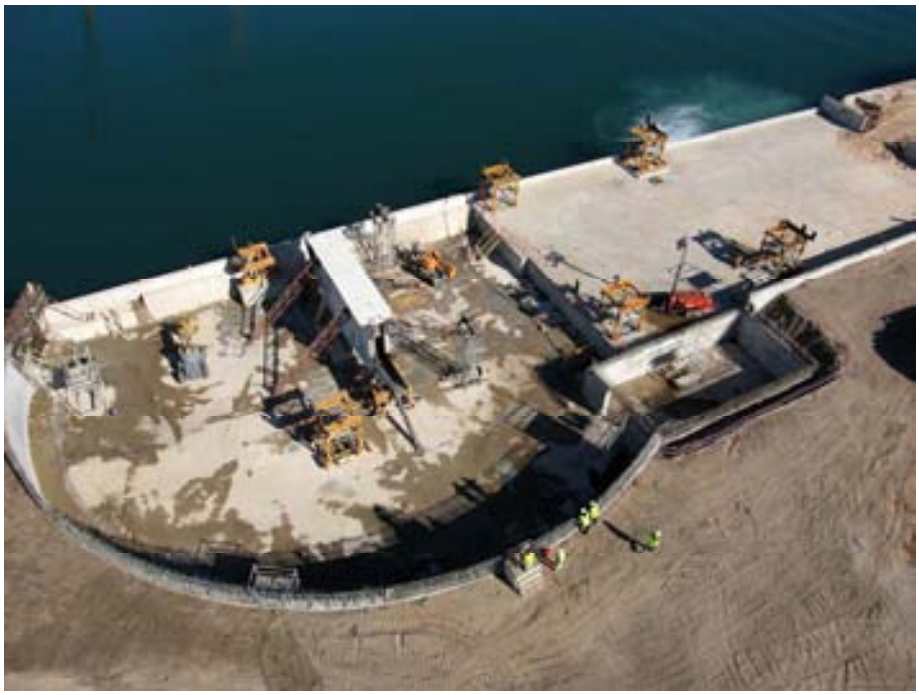


Fig. 7 Recintos. Obra civil

4. Conclusiones

A modo de conclusión se detallan a continuación los aspectos fundamentales considerados en el diseño del nuevo puente:

- Reutilización prácticamente completa de la estructura metálica principal del puente basculante original. Dicho objetivo se ha llevado a cabo considerando la reducción de las sobrecargas de uso, equilibrando el incremento de las cargas permanentes en la nueva solución de movimiento rotatorio.
- Reutilización de los sistemas de enclavamiento central y dorsal.
- Optimización de la ampliación y refuerzo del tablero ortótropo teniendo en cuenta el nuevo uso del puente.
- La solución adoptada se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la inminente celebración del Gran Premio de Fórmula 1 en agosto de 2008. El plazo de ejecución de la obra se reducía, de este modo, a solo siete meses (noviembre de 2007 a mayo de 2008). Este objetivo ha sido posible gracias a la reutilización del puente existente, a la disponibilidad de los materiales para la ampliación y refuerzos del tablero, y a los equipos adicionales requeridos.

Fig. 8 Traslado y ubicación de las estructuras principales

Fig. 9 Prueba de movimiento de las hojas del puente rotatorio

The new swing bridge, in which much of the steel and machinery from the bascule bridge have been re-used, consists in two movable leaves. Of their total 67,6-m length, 49,6 m cantilever out from the turntables to mid-span, while the remaining 18 m constitute the back spans, where the counterweights and traction wheel units that govern bridge mobility are housed.

Eighteen of its total 20,45-metre width accommodate a carriageway with two traffic and two emergency lanes, while 1,25 m are reserved for an outer pedestrian walkway.

Keywords: *Swing bridge, bascule bridge, bridge machinery, pits, steel structure.*

1. ANTECEDENTES

En el año 2001 fue concluido, en la bocana de la antigua dársena interior del Puerto de Valencia, entre los muelles de Levante y Poniente, un puente levadizo basculante para ferrocarril y carretera que permitía el acceso directo al Puerto Comercial e Industrial sin que el tráfico de ambos tipos tuviera que atravesar una parte de la ciudad, manteniendo el acceso a la terminal de ferrys de pasajeros y el uso de la dársena como puerto deportivo (Fig. 1). Dicho puente fue proyectado por MC2, y su luz central de 98 m entre ejes de rótulas de giro fue record mundial de este tipo de soluciones en puentes ferroviarios [1].

Con una longitud total de 125 m entre ejes de juntas, es decir 62,5 m de longitud para cada hoja basculante, y un ancho de plataforma útil de 8 m entre vigas principales, que se ampliaba exteriormente mediante sendas pasarelas peatonales en voladizo, permaneció en servicio hasta el año 2006, momento en el cual, debido a la apertura de una nueva bocana, que permitía el acceso directo a mar abierto de la citada dársena, sin tener que atravesar el gran puerto industrial, el puente dejó de

1. BACKGROUND

In 2001 a bascule drawbridge was completed over the former neck of Valencia inner harbour between Levante and Poniente Piers to provide direct rail and motor vehicle access to the commercial and industrial port, by-passing the city centre. The existing access to the ferry passenger terminal was maintained and the inner harbour was reserved for recreational vessels (Figure 1). The bridge, designed by MC2, had a central span of 98 m between hinges, a world record for this type of railway bridges [1].

With a total length of 125 m from end to end, i.e., 62,5 m for each leaf, and a useful deck width of 8 m between the main girders, subsequently broadened to add two cantilevered pedestrian walkways, the bridge remained in service until 2006. After that date, with the opening of a new neck providing direct access to the inner harbour from the open sea, circumventing the large industrial port, the structure was no longer needed as a drawbridge. It was, however, left in place as a fixed crossing for traffic [2]. At the same time, a large non-lift footbridge was built parallel to it to encourage pedestrian use, in keeping with the major transformation underway in the inner harbour.

Figura 1. Vista general del puerto en el año 2002.
Figure 1. Overview of the port in 2002.

Figura 2. Vista general del puerto en el año 2008.
Figure 2. Overview of the port in 2008.

utilizarse como obra móvil, manteniéndose en su posición cerrada como paso fijo de tráfico [2]. Incluso en paralelo al mismo, fue construida una gran pasarela peatonal fija, para incrementar este tipo de uso, en correspondencia con las nuevas e importantes transformaciones llevadas a cabo en la dársena.

Debe señalarse que la obra de la nueva bocana fue llevada a cabo como parte de la gran operación que supuso para Valencia la concesión de la mundialmente conocida regata de la Copa América en junio de 2007, en su 32ª edición.

Con fecha febrero 2007, la Autoridad Portuaria solicitó a MC2 el estudio de un posible trazado para reubicación y reutilización del puente móvil situándolo sobre el canal de la nueva bocana, con el fin de conseguir una doble utilidad (Fig. 2):

- Por una parte, como salida de emergencia del tráfico rodado no ferroviario del puerto, en el caso de un hipotético accidente en el nuevo túnel que actualmente conecta el puerto con sus viales de acceso.
- Por otra, como cierre del circuito semiurbano realizado para albergar las pruebas de Fórmula 1 que la ciudad de Valencia ha conseguido incorporar en los próximos años en el calendario del campeonato del mundo de este deporte.

Además, con la importante ventaja desde el punto de vista económico de evitar la devolución de los fondos de ayuda europeos obtenidos para la ejecución del puente basculante original que, en caso de desguace o retirada de servicio, hubiera tenido que realizar el puerto.

Construction of a new neck formed part of the vast renovation project undertaken in Valencia to prepare for the 32nd edition of the world famous America's Cup hosted by the city in June 2007.

In February 2007, the Port Authority asked MC2 to study the possibility of repositioning the drawbridge over the new neck, which would serve a dual purpose (Figure 2):

- *On the one hand, as an emergency exit for non-railway vehicle traffic in the event of a hypothetical accident in the new tunnel that now connects the port to its access roads.*
- *And on the other, as a semi-urban circuit for the official Formula 1 race to be hosted by the city of Valencia soon thereafter.*

Another important advantage to this approach was financial, for reusing the bridge meant not having to return the European funding awarded for its construction, a provision that would have had to be honoured had it been withdrawn from service altogether.

The conditioning factors that had to be addressed to transform the bridge included:

1. *The useful width between the outer main girders had to be broadened to the maximum possible to ensure optimal adaptation to Formula 1 requirements.*
2. *Since the bridge would be nearly always open (i.e., closed to road traffic), a swing rather than a bascule bridge was required. Otherwise, the vertical position of its leaves would obstruct the view of the Vela Building, the emble-*

La transformación del puente tuvo que resolver diversos condicionantes de importancia:

1. El puente debía aumentar notablemente su anchura útil entre vigas principales exteriores (cuchillos), hasta el máximo valor posible con el fin de adaptarse de la mejor manera a los requisitos de la Fórmula 1.

2. La movilidad del puente debía pasar a ser de tipo rotatorio y no basculante, ya que de otra manera, al tener que estar casi permanentemente abierto –es decir, cerrado al tráfico viario–, la disposición vertical de sus hojas entraría en competencia con el perfil del Edificio Vela, centro y emblema de la competición y actividades de la regata Copa América, minorando fuertemente la imagen iconográfica deseada para dicho edificio.

3. La obra debería ser realizada en ocho meses, para su ensayo a prueba en la carrera de Fórmula 3000, a celebrar algo menos de un mes antes de la prueba de Fórmula 1 que tendría una difusión televisiva universal.

4. Máxima reutilización de la maquinaria y estructura del puente basculante en la ejecución de la nueva versión rotatoria.

Debe resaltarse que la condición 2 había sido previamente establecida por MC2 en el estudio realizado a instancias de la Autoridad Portuaria, ya que la colocación de recintos profundos para la maquinaria en los bordes de la nueva bocana no era compatible con los muros de defensa de la misma; y la previa retirada de los elementos que conforman tales muros hacían inviable la realización en un plazo prudente.

Asimismo, dicho estudio limitaba a 18 m la anchura ampliable del tablero entre cuchillos, para no tener que reforzar profundamente tales piezas, manteniendo las condiciones de funcionalidad normativas. Por esta causa, aunque posteriormente a los organizadores de la carrera de Fórmula 1 les hubiese gustado disponer de una anchura de hasta 19 m, se mantuvo el valor previo antedicho, utilizando la acera exterior como camino del paso peatonal que había de rodear integralmente el circuito.

Al haberse eliminado el tráfico ferroviario, el incremento de carga ideal del tablero carretero, incluida la acción del doble vehículo [3], la sobrecarga uniforme y el aumento de peso propio, repercute en el sistema principal en forma semejante a aquél y sólo se requieren ligeros refuerzos puntuales en los cuchillos del puente existente.

2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE AMBOS PUENTES Y DE LOS CRITERIOS DE SU TRANSFORMACIÓN

2.1. Puente basculante

El puente original basculante (Fig. 3) estaba formado por dos tramos de 62,5 m de longitud: 49 m en el vano

Figura 3. Puente basculante original.
Figure 3. Original bascule bridge

matic centre of the America's Cup regatta and activities, detracting from the iconographic image the building was designed to embody.

3. *The works had to be ready in eight months to conduct a trial on the occasion of the Formula 3000 race scheduled for a little less than a month before the Formula 1 event, which was to be televised world-wide.*

4. *Maximum reuse was to be made of both the machinery and structure of the existing bascule bridge to build the swing version.*

The second condition had in fact already been established by MC2. The study conducted at the request of the Port Authority found that the installation of deep pits to house the machinery on the sides of the new neck would have entailed prior removal of the existing breakwater, rendering construction within the established deadline impossible.

That study also limited the width of the deck between outer girders to 18 m, for otherwise these members would have had to be highly reinforced to ensure conformity with functionality requirements. For this reason, although the Formula 1 organizers later expressed a preference for a circuit up to 19 m wide, the aforementioned width was maintained, using the outer walkway that circles the entire circuit as a pedestrian crossing.

The increase in the design load for the road deck, including two-way traffic loads [3], uniform service loads and greater self weight, was similar to the loads envisaged for railway traffic, which was eliminated. As a result, the girders on the existing bridge had to be reinforced only slightly.

2. BASIC CHARACTERISTICS OF THE TWO BRIDGES AND CRITERIA FOR THEIR TRANSFORMATION

2.1. Bascule bridge

The original bascule bridge (Figure 3) consisted in two sections 62,5 m long: 49 m spanned the canal and the remaining 13,5 m constituted the back span. All the hydraulic, electrical

del canal y 13,5 m de culata en el vano de compensación. El conjunto de la maquinaria y equipos tanto hidráulicos, como eléctricos y mecánicos, se situaban, para cada hoja, en sendos recintos de gran profundidad y dimensiones en planta apropiadas, no sólo para albergar los equipos antedichos, sino para acoger en la fase abierta el vano dorsal de compensación, en el que se integraba el contrapeso de equilibrio.

Dichos recintos estaban constituidos por módulos de pantallas de hormigón armado de gran profundidad, realizadas en forma convencional tratando, con la elección de su luz entre ejes de giro de ambas hojas, de reducir al mínimo la interacción de dichas pantallas con la escollera y los bloques de protección que formaban los frentes de los espigones de ambos muelles.

Los tableros de las dos hojas del puente fueron diseñados con una solución ortótropa, con nervios dispuestos en dirección transversal al puente. El sistema resistente global estaba constituido por dos vigas laterales situadas a ambos lados del tablero, y recibían por el exterior de las mismas los voladizos de las aceras, creándose una sección transversal que separaba netamente la calzada del tránsito ferroviario-carretero del tránsito peatonal [4][5].

Las vigas principales, reutilizadas íntegramente en el nuevo puente rotatorio, se componen de cuatro grandes piezas (Fig. 4):

- Pieza inferior: formada por un dintel longitudinal que se extiende a lo largo de toda la longitud de cada hoja, dividida a su vez en dos tramos: uno, principal,

and mechanical machinery and equipment for each leaf were housed in two very deep pits with transverse section dimensions sufficient not only for such equipment, but also to accommodate the back span and attached counterweight when the bridge was open.

These pits were lined with conventionally built concrete walled modules. The span between the hinges of the two leaves was designed to reduce to a minimum the interaction between these walls and the breakwaters and blocks that protected the pier jetties.

The two half decks were orthotropic and had transverse ribs. The general bearing system consisted in two side girders. Each received a cantilevered walkway on its outer side, which was clearly separated from the carriageways for railway and motor vehicle traffic [4] [5].

These main girders, wholly reused in the new swing bridge, comprise four large members (Figure 4):

- *Bottom member: a longitudinal lintel stretching across the entire length of each leaf, in turn divided into two sections: one, the main section, at the front end or central part of the bridge, between the hinge and mid-span, and a secondary or back span member. These rectangular box section lintels were 0,60 m wide throughout, while their depth tapered gradually from 3,60 at the hinges to 1,60 m at mid-span.*

- *Front ties: these consisted in diagonal bars attached to each lintel at an intermediate point, chosen to optimize bending action on the lintel and reduce system deflection and rotation to suitable functional values. These ties had a rectangular box section with a constant width of 0,6 m, the same*

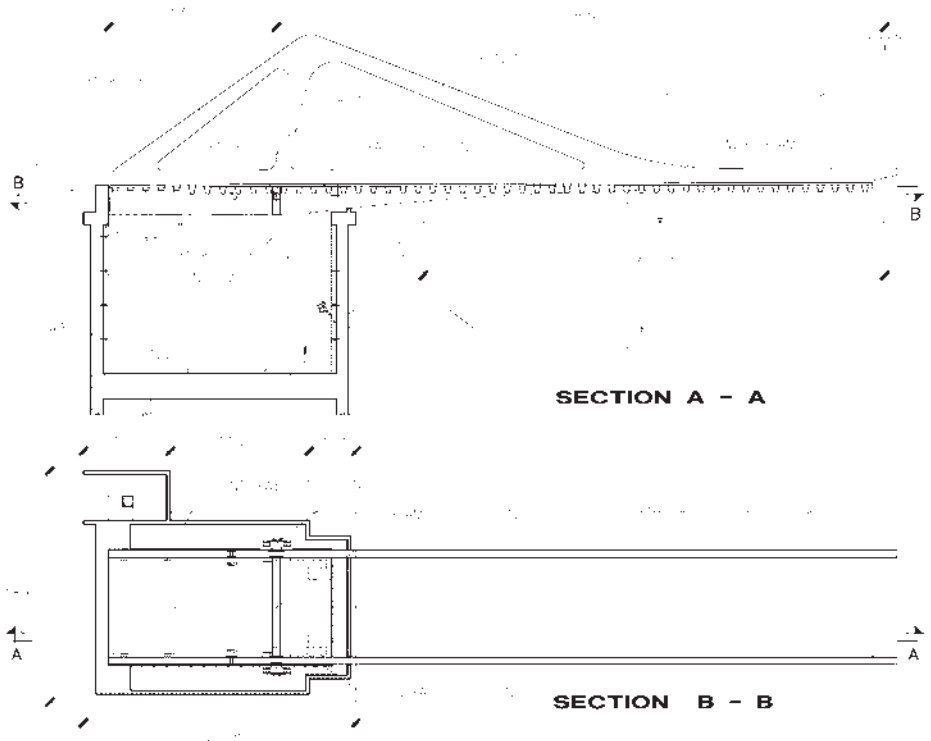


Figura 4. Puente basculante original.
Figure 4. Original bascule bridge.

correspondiente a la zona central o frontal del puente, y que se sitúa entre la rótula de giro y la clave del puente, y otro, secundario, correspondiente a la zona dorsal o de culata. Estos dinteles, de sección en cajón rectangular, presentan un ancho de 0,60 m constante en toda su longitud y un canto suavemente variable desde la clave hacia las rótulas. El canto en clave es de 1,60 m, y aumenta progresivamente hasta 3,60 m en la zona de culata.

- Tirantes frontales: formados por barras diagonales inclinadas que parten desde un punto intermedio de cada dintel, elegido para optimizar las acciones de flexión en el mismo, y reducir las flechas y giros del sistema a valores funcionales apropiados. La forma de la sección de esta pieza es de viga cajón rectangular con un ancho constante de 0,6 m, igual al del dintel, y un canto ligeramente variable a lo largo de su longitud.

- Tirantes dorsales: formados por barras también diagonales de constitución análoga a la del tirante frontal.

- Montante o fuste: el sistema se completa y cierra con esta cuarta pieza que une el punto superior con el eje de la rótula, dirigiendo en acción directa de compresión hacia la misma, la resultante de las dos componentes de los tirantes frontal y dorsal actuantes en el nudo superior.

Otros dos sistemas importantes auxiliares se integraban también en la superestructura:

- La viga que conecta internamente las rótulas del eje de giro.

- La estructura de sustentación del contrapeso en la culata.

Los elementos de accionamiento del puente eran los siguientes:

- Émbolos de movilidad: situados en la zona dorsal, lo más adelante posible respecto a la rótula de giro y compatibles con las dimensiones del recinto para poder albergar adecuadamente el contrapeso en la posición abierta. Esta posición resultaba la más favorable porque así los émbolos se encontraban recogidos en la situación abierta al tráfico marítimo (cerrado al tráfico viario), que resultaba dominante en esta estructura; y extendidos en la posición cerrada, que era más coyuntural. Otro aspecto favorable de dicha disposición era que la longitud de dichos émbolos resultaba mínima respecto a cualquier otra disposición posible y se conseguía el máximo brazo en relación a la posición del eje de giro reduciéndose al mínimo las fuerzas a aplicar frente a cualquier solicitación en las fases de apertura.

- Enclavamientos dorsales y de fondo: los enclavamientos fijos estaban destinados a conseguir que el puente en sus posiciones fundamentales: cerrado o abierto, no presentase ningún tipo de inestabilidad e hiciera frente

as in the lintel, and a depth that varied slightly along their length.

- *Back ties: likewise diagonal bars, compositionally analogous to the front ties.*

- *Upright or shaft: this fourth member closed the system by joining the upper node to the hinge and directly transferring to the latter the compression forces conveyed by the front and back ties to such upper node.*

Two other important ancillary systems were also built into the superstructure:

- *The girder that connected the hinges internally.*

- *The support structure for the counterweight in the back span.*

- *The elements that drove bridge movement were as follows:*

- *Hydraulic cylinders: located at the rear, as forward-most with respect to the axis of rotation as allowed by pit dimensions to leave room for the counterweight when the bridge was open. This proved to be the most favourable arrangement, for the cylinders were drawn in when the bridge was open to maritime traffic (closed to road vehicle traffic), the predominant position for this bridge, and extended when it was closed, which occurred more sporadically. Another advantage to such arrangement was the length of the cylinders, which was much shorter than in any other, providing for maximum leverage with respect to the position of the axis of rotation. This reduced to a minimum the forces that had to be applied to react to stresses arising during the opening procedure.*

- *Rear locking gear: the fixed interlockings were designed to ensure that when in its two basic positions, open or closed, the bridge was subject to no instability and able to optimally accommodate the different types of stress generated by the service loads.*

- *Mid-span interlocking gear: the original structure of the bridge per se consisted in two large cantilevered decks compensated by short back spans. The high flexibility of such systems generated perceptible movement at the end of the cantilevers that was incompatible with system functionality, particularly in the railway. This effect was eliminated by including an interlocking gear system at mid-span to totally cancel out the relative transverse movements in the vertical plane and reduce relative rotation, i.e., the rotation between the outer-most sections of the two leaves, as far as possible.*

2.2. *Change of bridge position and use*

The approach adopted to change bridge use and location consisted essentially in splitting the existing bridge along its longitudinal axis and inserting a new 10-m wide structural strip, an orthotropic lattice, in between the two halves to meet the new dimensional requirements [6].

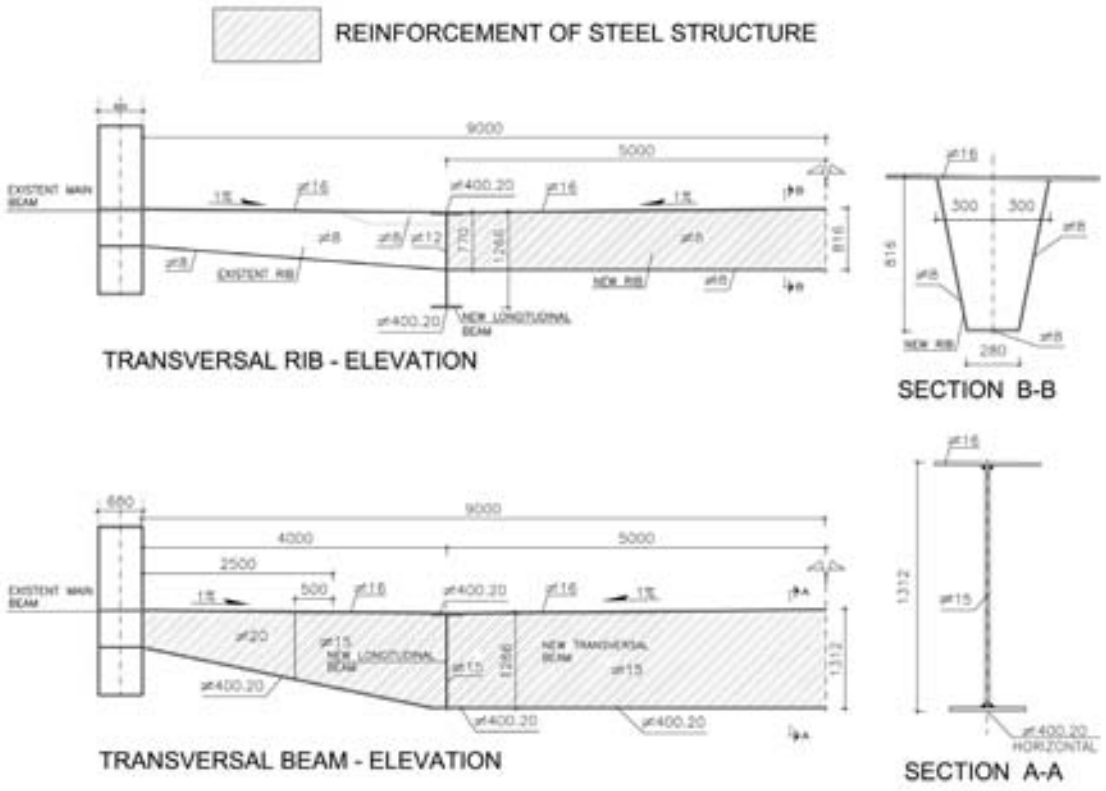


Figura 5. Vigas y nervios transversales.
Figure 5. *Girders and transverse joists.*

en la mejor forma posible a los diferentes tipos de solicitaciones producidas por las sobrecargas.

- Enclavamientos de la clave del puente: la estructura del puente original propiamente dicho consistía, en dos grandes vanos en ménsula compensados por vanos dorsales cortos de equilibrio, lo cual determina, debido a la fuerte flexibilidad de estos sistemas, movimientos apreciables en el extremo de las ménsulas, incompatibles con la funcionalidad del sistema, especialmente del ferrocarril. Para evitar este efecto se hace necesaria la inclusión de un sistema de enclavamientos en la clave del puente que anulen totalmente los movimientos relativos transversales en el plano vertical y reduzcan en lo posible los giros relativos; es decir, la rotación entre las secciones de clave de ambas hojas.

2.2. Cambio de posición y uso del puente

A efectos del cambio de uso y localización, la idea fundamental de la transformación se centraba en llevar a cabo un corte del puente existente a lo largo de su eje de simetría longitudinal, separando 10 m entre sí las dos partes cortadas, para introducir entre las mismas una franja de estructura nueva de esta misma anchura, constituida por un emparrillado de tipo ortótropo que completaba la nueva anchura total requerida [6].

Los únicos aspectos adicionales secundarios a considerar en las partes antiguas fueron:

The only additional or secondary aspects that needed to be considered with regard to the existing parts were:

- *Regeneration of the top of the two longitudinal bands in the area formerly occupied by the railway, ensuring the continuity of the top steel plate on that deck and welding its underside to the transverse ribs in those areas.*

- *Adjustment of the mid-span or end sections of the girders to adapt them as needed to swing bridge requirements and each girder's new length, removing or adding any necessary intermediate sections. To accommodate the change from lifting to swinging movement, the straight mid-span edge of the deck had to be re-shaped to a 15º oblique angle to prevent the leaves from colliding during movement. This in turn determined a change in girder length.*

- *Re-shaping of the edge of each leaf in the back span areas to conform to the new circular pit.*

- *Removal of one of the walkways that was not going to be used.*

Three types of components were used to build the new 10-m strip in the deck (Figure 5):

– *Two main girders, I-sections 1,226 m deep, positioned along the edges of the new strip parallel to the existing bridge girders, with their upper flanges on the same plane as the top steel plate in the existing orthotropic deck.*

– *Ten transverse, likewise I-section beams of the same depth as the main longitudinal girders, to which they are*

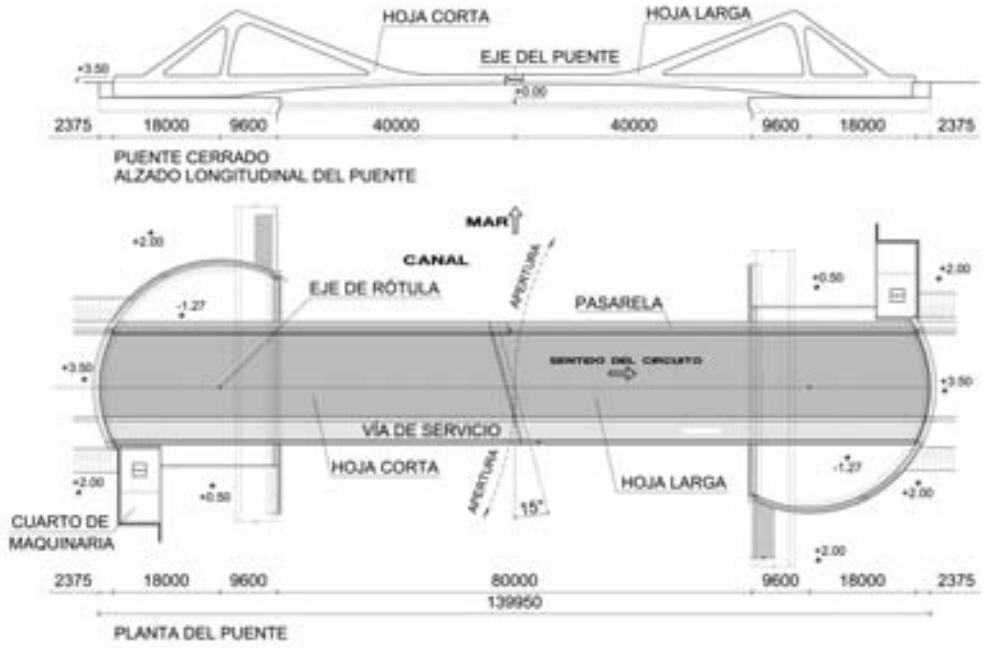


Figura 6. Nuevo puente rotatorio.
Figure 6. New swing bridge.

- Regenerar la parte superior de las dos bandas longitudinales de la zona anteriormente ocupada por la vía férrea, dando continuidad a la chapa superior del tablero y soldándola inferiormente a los nervios en cajón transversales de tales zonas.
- Ajustar las piezas de clave de los cuchillos para adaptarlas a las necesidades de los movimientos rotatorios y a las nuevas longitudes de cada cuchillo, quitando o añadiendo las partes intermedias necesarias. El cambio de movimiento de basculante a rotatorio exigió modificar la geometría del tablero y la longitud de los cuchillos en la zona de junta en clave de forma que, en lugar de ser recta, ésta fuera esviada con un ángulo de 15º para evitar que las hojas rocen entre sí durante su movimiento.
- Ajustar en las zonas dorsales de cada hoja los remates rectos a las nuevas condiciones curvas circulares de la junta de rotación.
- Retirar en uno de los cuchillos la acera, puesto que no había de ser utilizada.

La nueva franja de tablero, de 10 m de anchura, se constituía mediante tres tipos de piezas (Fig. 5):

– Dos vigas principales en doble T de 1,226 m de canto, dispuestas en los bordes de la nueva franja, paralelamente a los cuchillos del antiguo puente, con sus alas superiores en coincidencia con el plano de la chapa superior del tablero ortótropo antiguo.

– Diez vigas transversales, también de sección en doble T e igual canto que las principales longitudinales, a las cuales se embrochaban, separadas entre sí 9,6 m y dispuestas regularmente en los centros de los huecos existentes entre nervios (una cada 8 nervios).

attached at 9,6-m intervals, positioned regularly at the centre of inter-rib gaps (one every eight ribs).

– *Trapezial joists 816 mm deep, in the same relative position as the ribs on the existing bridge and of the same dimensions, covered by the 16-mm thick steel plate that forms the deck surface.*

The new swinging structure comprises this system, inserted between and bound to the two split halves, to which ten variable depth pieces, continuous with the ten new transverse beams, are added; such pieces have a variable depth, the same as the new beams in contact with the longitudinal I-section girders and the same as the existing trapezial ribs that connect to the outer girders to take advantage of the existing internal longitudinal diaphragms.

2.3. The new bridge

Finally, the swing bridge described above (Figure 6) also contains the following elements:

- *Two new axes of rotation positioned as in the existing bridge and, as in the case of the trapezial joists, fitted at the centre with strong box-shaped members (Figure 7) that are continuous with the existing girders. The centres of these large members rests on the turntables on which the leaves pivot.*
- *Transverse girders at the ends of each leaf: curved at the back and oblique at mid-span.*
- *One of the cantilevered walkways, the one needed to complete the outer edge of the aforementioned F-1 circuit.*
- *A new counterweight, characterized by:*

– Nervios trapeciales de 816 mm de canto, coincidentes con los nervios del antiguo puente en el plano central de corte, y de iguales dimensiones que estos, que se cierran superiormente con la chapa de 16 mm de espesor que forma la superficie del tablero.

Este sistema –al unirse con las dos mitades cortadas a las cuales se les incorporan, en continuidad con las diez vigas transversales nuevas, sendas piezas de canto variable: igual al de las nuevas piezas en el contacto con las doble T longitudinales; y del mismo canto de los nervios trapeciales antiguos, en su conexión con los cuchillos exteriores, para aprovechar los diafragmas internos longitudinales existentes –forma el tablero de la nueva estructura rotatoria fundamental.

2.3. El nuevo puente

El puente rotatorio, previamente descrito (Fig. 6), se completa con los siguientes elementos:

- Dos nuevos ejes de rótulas, situados en correspondencia con los existentes en el puente antiguo y, al igual que en el caso de los nervios, completados en su zona central por unas potentes piezas en cajón (Fig. 7), en continuidad con las antiguas. Cada una de estas dos grandes piezas se apoya en su centro, en una de las dos nuevas rótulas esféricas de eje vertical, que permitirán la rotación de cada hoja.
- Vigas transversales en los extremos de cada hoja: curvilíneas las de las juntas extremas y diagonales esviadas las de la junta central.
- Una de las aceras exteriores en voladizo, precisamente la necesaria para completar el camino de ronda exterior del circuito F-1 antes referido.
- Un nuevo contrapeso que incorpora diversas cualidades:
  - Plena utilización de los sistemas de enclavamiento mecánico dorsales del puente antiguo, empleándolos tanto en el sentido de la gravedad para equilibrar el sistema; como en dirección contraria, hacia arriba, para reducir parcialmente el volumen del citado contrapeso.
  - Disponer sus dimensiones de forma que se emplee como material de relleno el hormigón normal, sin tener que recurrir al auxilio de áridos o bloques metálicos, de forma de minimizar el plazo de ejecución.
- Ajuste de los cuchillos del antiguo puente en las zonas de clave para adaptación de los enclavamientos centrales existentes (Fig. 8).

El nuevo puente rotatorio tiene una luz de 99,2 m entre ejes de rótulas, con una longitud total de 135,2 m. La anchura total del puente es de 20,45 m, repartidos en una calzada de 18 m, las dos vigas cuchillo de 0,6 m y una acera exterior de 1,25 m [7].

Figura 7. Gran viga de rótula a la espera de recibir a las vigas principales.
Figure 7. Large pivot girder prior to receiving the main longitudinal girders.

– *Full use of the back span interlocking systems in the existing bridge, both downward to balance the system with the force of gravity and upward to partially reduce the volume of the counterweight.*
– *Dimensioning to be able to use plain concrete as a filler, with no need to resort to aggregate or steel blocks, thereby minimizing construction time.*
- *Adjustment of the outermost lateral girders on the existing bridge at the mid-span edge to adapt to the existing central interlockings (Figure 8).*

The new swing bridge has a 99,2-m span between turntables, centres, and a total length of 135,2 m. Its full 20,45-m width comprises an 18-m carriageway, the two 0,6-m wide outer girders and a 1,25-m outer walkway [7].

The total weight of the steel structure in each leaf comes to approximately 820 t, 425 t of which correspond to the new structure. As in most of the bascule bridge, S355 J2 G3 structural steel was used in the new members.

The counterweights positioned in the back span weigh approximately 1 600 t each. Both their housing and connec-

Figura 8. Enclavamiento central.
Figure 8. Central interlocking.

Figura 9. Recintos. Obra Civil.
Figure 9. Pits. Civil works.

El peso total de estructura metálica de cada una de las hojas es de aproximadamente 820 t de las que 425 t corresponden a la nueva estructura. La calidad del acero estructural utilizado en los elementos de nueva construcción es S355 J2 G3, la misma que se utilizó mayoritariamente para la fabricación del puente basculante.

Los contrapesos situados en la zona dorsal del puente son de aproximadamente 1600t cada uno. Su estructura de cierre exterior y vinculación con las vigas principales es metálica, y el relleno de su interior se realiza mediante hormigón en masa.

3. OBRA CIVIL

Los recintos, para albergar cada una de las hojas en su nuevo emplazamiento, están formados por los siguientes elementos principales (Fig. 9):

- Muro pantalla dorsal con forma circular de 48 m de desarrollo, 0,6 m de espesor y 14 m de profundidad, coronado por una viga riostra, sobre el que apoya la vía de rodadura absorbiendo la reacción trasera de los carretones y la carga vertical de los enclavamientos dorsales.

- Núcleo de parejas de pantallas portantes hasta la cota -38, rematados por una viga cargadero, de 2 m de canto y 5 x 5,2 m en planta, que constituye el apoyo de la rótula de giro.

- Losa de hormigón de solera en dos niveles; uno, a la cota -1,27 y de 0,35 m de espesor, en la zona dorsal dónde están situados las rótula y carriles de rodadura y otro de 0,30 m de espesor a la cota +0,50 (cuando el alzado del puente lo permite).

- Muros de contención en todo el perímetro de los recintos, donde destaca un nuevo pretil de hormigón in situ, de 80 m de longitud, en el lado correspondiente al cantil del muelle.

tion to the main girders are made of steel, while their interiors are filled with plain concrete.

3. CIVIL WORKS

The pits that house each of the leaves in the new site comprise the following main elements (Figure 9):

- *Rear circular diaphragm wall 48 m long, 0,6 m thick and 14 m deep, crowned with a tie beam on which the roller track rests, to absorb the reaction generated by the traction wheel units at the rear of the leaf and the vertical load generated by the rear interlockings.*

- *Core made of twin bearing diaphragms to depth -38, crowned with a 2-m deep girder measuring 5 x 5,2 m that constitutes the support for the turntable gear.*

- *Concrete slabs at two elevations: one 0,35 m thick at -1,27, in the back span area where the turntable and roller tracks are located, and another, 0,30 m thick at an elevation of +0,50 (where the bridge bottom allows).*

- *Retaining walls along the entire perimeter of the pits, featuring a prominent 80-m long cast-in-place concrete guard rail on the seaward side of the pier.*

The civil works also included machine rooms for each pit and a control tower for bridge operation on one side of the canal.

4. NEW SWING BRIDGE MOBILITY

4.1. Machinery

As noted in the foregoing, one of the main aims sought in the swing bridge was to keep the civil works involved at shallow depths. The importance of this objective was intensified by the need to avoid the interference with the America's Cup navigation canal that any other solution would have entailed.

Normally, the mechanism on swing bridges consists in a very deep vertical axis of rotation with two axial hinges and a turntable. Such an arrangement ensures that the axis of rotation can absorb bending moments and consequently that the weight of the structure can be centred there. In the present case, a very deep axis of rotation would have meant building foundations deeper than the structure of the existing navigation canal.

This led to the decision to use the turntable as a simple bearing member. The reaction appearing as a result called for the use of system of rollers at the rear of the member. The resultant generated by the self weight was thus divided between the bearing turntable and the reaction in the back span, which together would also absorb the transverse forces present during opening and closing operations, due primarily to wind action.

La obra civil, además, incluye sendos cuartos de maquinaria en cada recinto y una torre de control, en una de las márgenes, para las maniobras del puente.

4. MOVILIDAD DEL NUEVO PUENTE ROTATORIO

4.1. Planteamiento General de los Mecanismos

Como ya se ha destacado anteriormente, uno de los planteamientos principales del puente rotatorio era realizar una obra civil de escasa profundidad, aspecto reforzado por la interferencia con el canal de navegación de la Copa América.

El mecanismo de giro habitual en los puentes rotatorios es de un eje de giro vertical de gran canto con dos rótulas axiales y una esférica. Esta disposición asegura que el eje de giro puede absorber momentos flectores y, por lo tanto, el peso de la estructura puede estar centrado en él. En este caso, un eje de giro de gran canto hubiera obligado a cimentar por debajo de la cota de la estructura existente de dicho canal de navegación.

De esta forma se decidió la utilización de una rótula esférica que actuara como apoyo simple, favoreciendo la aparición de una reacción trasera y, en consecuencia, la necesidad de materializar una rodadura. Así la resultante de peso propio se dividía entre la rótula de giro y la reacción dorsal, que a su vez absorberían los esfuerzos transversales durante los movimientos de apertura y cierre debidos, fundamentalmente, al viento.

El plazo de la obra también fue determinante en el diseño y fabricación de los mecanismos del puente, equipos altamente tecnificados con plazos de entrega muy ajustados. Los equipos fueron diseñados y fabricados en España.

Los mecanismos, que se diseñaron bajo los condicionantes expuestos, debían ser capaces de dar solución a los distintos comportamientos estructurales del tablero. Se analizaron, por lo tanto, las distintas características que debían cumplir tanto para el movimiento de cada hoja como para el servicio de la estructura cerrada. (Fig. 10 y 11).

Estructura en movimiento:

- Dos tableros isostáticos con apoyo central en la rótula de giro y una línea de apoyo dorsal.
- Acciones fundamentales sobre la estructura: Cargas permanentes y el viento.

Estructura en servicio:

- Puente hiperestático con 4 líneas de apoyos: los dos apoyos dorsales y las dos rótulas de giro.
- Empotramiento elástico en clave materializado mediante los enclavamientos frontales de cada hoja.

The construction time allotted was another determinant in the design and manufacture of the bridge machinery, all of which consisted in high technology equipment with long lead times. This equipment was designed and manufactured in Spain.

The mechanisms, which were designed to the limitations described, had to be able to provide a solution for deck structural behaviour in a number of scenarios. As a result, an analysis was conducted of the requirements imposed both by leaf movement and the service loads when the bridge was closed (Figures 10 and 11).

Structure in motion:

- *Two statically determinate decks resting centrally on a turntable, with a rear line of support.*
- *Main actions to which the structure is subject: permanent loads and wind.*

Structure in service:

- *Statically indeterminate bridge with four lines of support: the two rear supports and the two turntables.*
- *Elastic restraint at mid-span provided by the front interlockings on each leaf.*
- *Bridge exposed to the actions described in the Spanish "Code on actions to be considered in road bridge structural design" (IAP-98)[3].*

Figura 10. Movimiento de la hoja. Tableros isostáticos.
Figure 10. Leaf movement. Statically determinate leaves.

Figura 11. Puente cerrado. Hiperestatismo en servicio.
Figure 11. Bridge closed. Static indeterminacy (bridge in service).

Figuras 12 y 13. Carretones de apoyo dorsal.
Figures 12 and 13. Bearing traction wheels at rear of bridge.

- Puente sometido a las acciones de la "Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera" (IAP-98) [3].

Las fases de movimiento fueron resueltas mediante el diseño de una serie de carretones eléctricos que materializando el apoyo (rodadura) trasero fueran capaces a su vez de producir la tracción necesaria para mover la estructura. La elevada distancia del apoyo dorsal a la rótula de giro (19,70 m) hizo que la fuerza necesaria para mover la estructura fuera reducida. Se fabricaron 8 carretones por hoja de 1.200 kN de capacidad unitaria máxima. (Fig. 12 y 13).

Por otra parte, los carretones debían ser capaces de compensar las acciones transversales producidas por el viento durante el movimiento, dado que el apoyo delantero del tablero era una única rótula esférica centrada en el eje del tablero. El efecto del viento transversal sobre el tablero se traducía en una ley triangular de presiones que sobrecargaría a cada carretón en función de su distancia al eje del tablero, produciendo así cargas inadmisibles en los carretones extremos.

Para asegurar el equilibrio del tablero y un buen reparto de cargas se definió un sistema hidráulico de compensación de cargas en los carretones con dos objetivos:

- Laminar el efecto de la distribución triangular de las cargas de viento.

- Materializar el apoyo de los ocho carretones en dos únicos puntos. De esta forma el apoyo del tablero en movimiento se materializaba con tres apoyos: rótula central y dos "patas" hidráulicas en los carretones.

Los ocho carretones se conectaron hidráulicamente en dos grupos de equipresión de cuatro carretones cada uno a cada lado del eje del tablero. De esta forma se conseguía el doble objetivo, dado que cada grupo materializaba un apoyo en el centro geométrico de cada cuatro cilindros y, en cada grupo, todos los cilindros trabajaban con la misma carga.

The solution devised for bridge movement consisted in the design of a series of electrical traction wheels which constituted the rear support (roller assembly) and at the same time were able to generate sufficient drawing force to move the structure. Given the long distance between the rear support and the turntable (19,70 m), the force required is relatively small. Eight 1 200-kN traction wheels were installed on each leaf (Figures 12 and 13).

Moreover, the traction wheels had to be able to offset the transverse action exerted by the wind when the bridge is in motion, insofar as the front support of the deck is a single turntable centred on its mid longitudinal axis. Transverse wind action on the deck was found to translate into a triangular law of pressures that overloaded the traction wheels, to a greater or lesser extent depending on their distance from the deck centreline, generating unacceptable loads on the outermost wheels.

A hydraulic system was designed to offset traction wheel loads and thereby ensure deck balance and an even load distribution, to meet a dual purpose:

- *To flatten the effect of the triangular distribution of wind loads.*

- *To concentrate the support provided by the eight traction wheels at two sole points. This would mean that when in motion the bridge would rest on three supports: the central bearing turntable and the two hydraulic traction wheel "legs".*

The eight wheels were hydraulically connected to form two equal pressure groups consisting of four wheels each, with one group on each side of the deck. This arrangement met the aforementioned dual purpose, for each group constituted a support at the geometric centre of each set of four cylinders, and all the cylinders in each group worked under the same load.

When the bridge is in the closed position, the service loads are to be absorbed by the turntable and back span supports of the

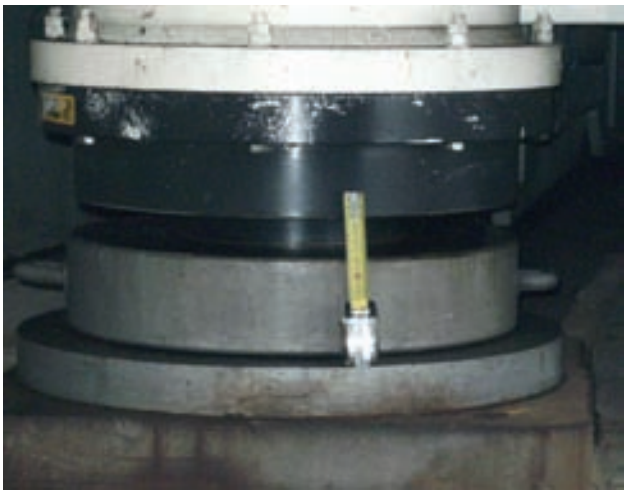


Figura 14. Pata de apoyo dorsal del puente.
Figure 14. Rear support leg.

En la posición de servicio las sobrecargas de uso debían ser absorbidas por los apoyos del puente, rótula central y apoyos dorsales. Los apoyos dorsales de movimiento definidos anteriormente sustentaban la carga en un doble sistema hidráulico diseñado para las cargas permanentes y el viento de maniobra. Los valores de las cargas de diseño del sistema, por lo tanto, eran muy inferiores a los del puente en servicio, por lo que se decidió no dimensionar estos mecanismos para esta fase. Por otra parte, sustentar en servicio el puente mediante un sistema hidráulico susceptible de averías o de pérdidas de aceite hubiera reducido la vida útil de los elementos.

Para el apoyo dorsal en fase de servicio se diseñaron unas patas de apoyo que realizaran la transmisión de cargas por contacto (Fig. 14). Se decidió disponer una pata a cada lado del tablero de 18 m de ancho, con lo que se mejoraba enormemente la estabilidad del tablero. El disponer únicamente dos patas respondió a la voluntad de eliminar hiperestatismos en el sistema de apoyo, el disponer más apoyos por tablero hubiera obligado a dotarlo de un sistema de regulación de cargas (normalmente hidráulico), que era lo que se quería eliminar.

Durante el movimiento los cilindros de los carretones elevan 15 mm el tablero, de forma que los asientos esféricos de las patas diseñadas para su apoyo fueran elevados respecto al carril. Una vez terminado el movimiento se recogía la carrera de los cilindros de forma que el puente bajaba a la cota de apoyo de servicio a la que se habían colocado las patas.

La estructura metálica donde se alojan los enclavamientos frontales del puente en ambas hojas fue modificada para que pudieran utilizarse en el nuevo. Para ello se tuvo en cuenta que debían permitir el movimiento de los dos tableros a la misma cota. Se realizó un estudio geométrico conjunto en planta y alzado de las operaciones de cierre de los tableros para comprobar que la geo-

bridge. The dual hydraulic system in the rear mobile supports defined above was supposed to support both the permanent loads and any wind loads present during bridge mobility. Since the design load values when the structure is in motion were much smaller than the loads to be withstood by the bridge when in service, these mechanisms were not dimensioned for this phase. Moreover, the use of a hydraulic system subject to failure or oil leaks to support the bridge would have shortened the service life of the components.

Consequently, uprights were designed to transfer loads in the back span by physical contact when the bridge is closed (Figure 14).One such leg was positioned on each side of the 18-m wide deck, thereby enhancing its stability considerably. The use of only two legs was intended to eliminate static indeterminacy from the support system: using more supports per deck would have necessitated a (normally hydraulic) load regulation system, which is precisely what the design sought to obviate.

During bridge movement, the cylinders in the traction wheels lift the deck 15 mm so that the spherical bases on the legs clear the roller track. With the bridge in place, the cylinders are drawn in to lower the leg to again rest on the deck.

The steel structure that houses the front interlockings on the two leaves of the bridge was re-worked to be used in the new configuration. The interlockings were redesigned to allow the two decks to move on the same plane. A joint geometric study was conducted of the transverse and elevation sections during deck closing operations to ensure that the geometry envisaged for the interlockings would suffice. The study showed that the leaves would have to be accorded greater allowance than initially designed to be able to close or open the bridge in the worst case scenario. This greater allowance was attained by tilting one of the leaves on its turntable to lower the mid-span end of the deck, so that when the two leaves move into their final horizontal position, one is at a lower elevation than the other.

This downward tilt at the end of the leaf is driven by two 4 500-kN synchronized cylinders housed in the support legs. The synchronized cylinders ensure that the tilting movements involved in raising the rear side of the leaf are fully controlled. Due to the structure's long cantilever, raising the

Figura 15. Basculamiento en clave de la hoja 1.
Figure 15. Mid-span tilt on leaf 1.

Figura 16. Hoja 2 "barriendo" en el giro por encima de la hoja 1 basculada.
Figure 16. Leaf 2 clearing tilted leaf 1.

Figura 17. Rótula esférica real y modelo a escala reducida.
Figure 17. Real and scale model turntable.

metría dispuesta en los enclavamientos era suficiente. De los datos extraídos de este estudio se concluyó que había que dotar de mayor holgura de la proyectada a las hojas para poder realizar el movimiento en las condiciones más desfavorables. Para aumentar la holgura proyectada se decidió dotar a una de las hojas de un movimiento de basculamiento en alzado respecto a su rótula, para provocar un descenso en la clave, de forma que cuando la segunda hoja termina su movimiento la primera basculada está en posición a una cota más baja.

Por medio de dos cilindros sincronizados de 4.500 kN de capacidad máxima unitaria alojados en las patas de apoyo de una de las hojas se conseguía producir el basculamiento de la punta de la hoja. Los cilindros sincronizados producían un levantamiento de la parte trasera de la hoja de forma que el puente no tenía movimientos incontrolados, basculando así respecto a la rótula esférica de apoyo. Debido al gran voladizo de la estructura, levantando 50 mm la parte trasera del contrapeso se conseguía un descenso de la punta de la hoja de casi 180 mm, que daban al enclavamiento la holgura necesaria. (Fig. 15 y 16)

counterweighted rear side by 50 mm sufficed to lower the mid-span edge of the leaf by nearly 180 mm, providing sufficient clearance for the interlockings (Figures 15 and 16).

The interlocking sequence for the decks consists in the following phases:

- *Leaf 1 is swung into position.*
- *Leaf 1 is tilted downward 180 mm on the outer edge.*
- *Leaf 2 is swung into final position, aligning the two leaves transversely.*
- *Leaf 1 is titled upward and raised to the closing position.*
- *The mid-span ends are locked.*

4.2. Machinery

4.2.1. Bearing turntable

- *Maximum design load: 45 000 kN*
- *Maximum design rotation: 1º*
- *External diameter: 1 250 mm*
- *Contact surfaces: Orkot-stainless steel*
- *Maximum coefficient of friction: 0,15*
- *Service life: 50 years*

Two models, one static and the other dynamic, were used to engineer and make the turntables. The findings on deformation were used to build a ? scale model and run static trials to verify the calculations before proceeding to make the full scale turntable (Figure 17).

The test findings for the scale model were then applied in the manufacture of the actual turntables (Figure 18), which were in turn tested statically under a load of 30 000 kN prior to final assembly.

4.2.2. Roller tracks

Flame-cut steel strips with the necessary radius of curvature to support the wheels were used as roller tracks (Figure 19). The advantages to this solution were:

- *Flangeless wheels could be used for bridge rotation thanks to the existence of a fixed pivot point.*
- *There was no need to curve the track, a very sensitive operation in the manufacture and assembly of port crane-type tracks, for instance.*
- *The track joints could be mitred for smoother wheel travel.*

La secuencia de enclavamiento de los tableros quedó definida por las siguientes fases:

- Giro completo de la hoja 1.
- Basculamiento de la hoja 1: descenso de la punta de la hoja 180 mm.
- Fin del movimiento de giro de la hoja 2 y, por lo tanto, posicionamiento del puente en planta
- Basculamiento de la hoja 1: ascenso de la punta hasta la posición de cierre en alzado.
- Enclavamiento frontal.

4.2. Características de los Mecanismos

4.2.1. Rótulas esféricas de apoyo y giro

- Carga máxima de diseño: 45.000 kN
- Giro máximo de diseño: 1º
- Diámetro exterior: 1250 mm
- Superficies en contacto para el giro: Orkot-Inoxidable
- Coeficiente de rozamiento máximo: 0.15
- Vida útil: 50 años.

Para la fabricación de las rótulas de giro se realizaron dos modelos de cálculo, uno estático y otro dinámico. Con los datos extraídos del cálculo de las deformaciones se procedió a la fabricación de un prototipo a escala 1/4 para comprobar la bondad de los modelos de cálculo. Este modelo a escala reducida fue sometido a un ensayo estático previo a la fabricación de las rótulas a escala real. (Fig 17)

Con los resultados obtenidos del modelo a escala reducida se procedió a la fabricación de las rótulas reales (Fig 18), que a su vez fueron sometidas a un ensayo estático previo al ensamblaje definitivo de la rótula. La carga de ensayo a la que fueron sometidas fue de 30.000 kN.

4.2.2. Carriles de rodadura

Como carril de rodadura se utilizó una platabanda oxicortada con el radio de giro necesario para el apoyo de la rueda (Fig. 19). Esta decisión respondió a las siguientes premisas:

- Eliminar las pestañas de las ruedas, innecesarias para el movimiento de giro del puente debido a la existencia de un punto de giro fijo.
- Se eliminaba la operación del curvado del carril, punto delicado de la fabricación y montaje, en caso de que se hubiese utilizado un carril tipo de grúa portuaria.

4.2.3. Traction wheels with built-in hydraulic system

The main traction wheel system specifications are:

- *Eight 1 200-kN traction wheels per leaf. Sixteen units in all. Maximum load per wheel: 600 kN*
- *Flangeless 630 mm Ø wheels, 170 mm wide*
- *Hydraulic cylinder with a 60-mm stroke and a design load of 1 200 kN. Sixteen units in all.*
- *Cylinders fitted with adjustable bottoms of stroke for different working positions, and a mechanical stop.*
- *Groups of four cylinders working under equal pressure.*
- *Two 2,4-kW motors per track wheel. Thirty two units in all.*
- *Frequency shifter in each motor. Thirty two units in all.*
- *One built-in encoder (positioning system) in each traction wheel motor. Sixteen units in all. This positioning system and the system on the turntable are redundant.*

Figura 18. Rótula esférica en estructura.
Figure 18. Turntable after assembly.

Figura 19. Carril de rodadura.
Figure 19. Roller tracks.

- Las uniones de carril pudieron realizarse a inglete, favoreciendo el paso de la rueda de un tramo de carril al siguiente.

4.2.3. Carretones de desplazamiento con sistema hidráulico integrado

Las características fundamentales del sistema de carretones son las siguientes:

- 8 carretones de 1.200 kN de capacidad máxima por hoja. 16 unidades en total. 600 kN de carga máxima por rueda.
- Ruedas de Ø630 mm sin pestañas y 170 mm de ancho.
- Cilindro hidráulico de 60 mm de carrera y 1200 kN de carga de diseño. 16 unidades en total.
- Cilindros equipados con finales de carrera para las distintas posiciones de trabajo y tope mecánico.
- Trabajo en equipresión en grupos de 4 cilindros.
- 2 motores por carretón de 2.4 Kw. 32 unidades en total.
- Variador de frecuencia en cada motor. 32 unidades en total.
- 1 Encoder por carretón (sistema de posicionamiento) integrado en el motor. 16 unidades en total. El sistema de posicionamiento es redundante con el de la rótula.

4.2.4. Patas de apoyo del puente para basculamiento

Se equipó las patas de una de las hojas con cilindros hidráulicos capaces de producir el basculamiento de la hoja completa, con las siguientes características:

- Dos cilindros sincronizados de 4500 kN de capacidad unitaria máxima.
- Sincronización de 1 mm de ajuste de carreras ente ellas.
- Carrera máxima de 150 mm.
- Giro estimado de 0,49º para producir un descenso de 180 mm en la punta.
- Los cilindros se diseñaron de forma que cuando no trabajaban eran capaces de transmitir 7.650 kN de reacción máxima en servicio.

4.2.5. Enclavamientos frontales y dorsales

Los equipos reutilizados del puente basculante fueron los mecanismos de enclavamiento frontal y dorsal (Fig 20). Dichos mecanismos consisten en un cilindro hidráulico de doble efecto trabajando a baja presión que acciona

4.2.4. Support legs for tilting bridge deck

The legs on one of the leaves were fitted with hydraulic cylinders able to tilt the entire leaf, with the following specifications:

- *Two synchronized 4 500-kN cylinders.*
- *Stroke synchronization to a precision of 1 mm.*
- *Maximum stroke: 150 mm.*
- *Estimated rotation of 0,49º to tilt the mid-span edge by 180 mm.*
- *The cylinders were designed so that when not working they could transfer reactions of up to 7 650 kN when the bridge is in service.*

4.2.5. Front and rear interlockings

The mechanisms for the front and rear interlockings (Figure 20) on the bascule bridge were used on the new swing bridge. These mechanisms consist in a low pressure, double acting hydraulic cylinder that drives a solid steel bar into the interlocking on the other deck at the front and into masonry wall penetrations at the rear.

With the rear interlockings in place, the mass of the counterweight could be optimized, for under this arrangement it need not offset the resultant of all the service loads, but rather only those not absorbed by the rear interlockings.

The front interlockings, in turn, ensure that elastic restraint is maintained at the mid-span bond between the two decks. Both front and rear interlockings were also recovered from the bascule bridge.

4.2.6. Operating control

All bridge manoeuvres are governed from a computer in the control tower. Bridge operation may be automatic, semi-auto-

Figura 20. Enclavamiento dorsal.
Figure 20. Rear interlocking

una barra maciza de acero que entra en el otro tablero en el caso de los cerrojos frontales, o en unos nichos en la obra civil en el caso de los cerrojos dorsales.

La reutilización de los cerrojos dorsales permitió la optimización del peso del contrapeso dado que éste no necesita compensar la resultante de todas las sobrecargas de uso, sino sólo las que no son capaces de absorber los cerrojos dorsales.

En el caso de los cerrojos frontales, su reutilización permitió que la unión de los tableros en clave del puente continuara materializándose con un empotramiento elástico.

4.2.6. Control de la maniobra

La maniobra completa está comandada por ordenador desde la torre de control. El accionamiento del puente puede ser automático, semiautomático (necesita ciertas confirmaciones del operador para seguir avanzando) o manual. Todo el proceso para la maniobra de movimiento de las hojas está vigilado por un sistema de alarmas, con indicación de fallos o averías.

Estas son algunas características del equipo:

- Anemómetro conectado al sistema. No deja comenzar las operaciones con un viento (medio o de ráfaga) por encima de los valores de referencia introducidos.
- Control electrónico de la maniobra: secuencia de operaciones definida en el programa.
- Rampas de aceleración y deceleración controladas electrónicamente.
- Control remoto del equipo por línea telefónica.
- Control manual de cada margen por separado.
- Encendido y apagado de semáforos terrestres y marítimos.
- Control de la valla móvil de cierre de entrada al puente.

5. PROCESO CONSTRUCTIVO

Como se ha expuesto anteriormente, uno de los aspectos principales que ha influido determinantemente tanto en el diseño como en el proceso constructivo fue el reducido plazo de ejecución de la obra (8 meses), que condicionó la elección de los medios a utilizar en la ejecución de la misma para conseguir dicho objetivo.

El reducido plazo de ejecución requirió una planificación detallada de todas las actividades a realizar desde el comienzo de las obras. Y, en algunos casos, el estudio de una solución alternativa en el caso de que la solución planteada inicialmente no fuera posible, debido a que al

matic (requiring operator consent at certain points to continue) or manual. The entire leaf swinging manoeuvre is monitored by an alarm system that signals failures or breakdowns.

Some of the specifications are listed below:

- *System fitted with an anemometer. Operation is blocked when wind speed (average or gusts) is higher than user-defined values.*
- *Electronic control of operations: software-defined sequence.*
- *Electronically controlled ramping.*
- *Remote control by telephone.*
- *Separate manual control of each leaf.*
- *On and off controls for land and sea traffic lights.*
- *Control over the mobile gate to enter the port.*

5. BUILDING PROCESS

As noted above, one of the main determinants for both the design and construction of the new bridge was the short time available to complete the works (eight months), which conditioned the choice of resources to be used to build it on schedule.

The short construction period called for detailed planning, from the outset, of all the activities to be undertaken. In some cases, an alternate approach had to be to foreseen in the event that the initial solution proved to be unfeasible, because in works involving adaptation of existing structures, not all the information is necessarily at hand in advance.

Furthermore, construction had to be conducted with only very sporadic interruption of the maritime traffic in the navigation canal. All activities, moreover, were conditioned by the works underway to build the Formula 1 Grand Prix circuit, which limited the space available for use in the vicinity of the new pits and even around the site of the bascule bridge. The works were also subject to partial deadlines by which the said area had to be fully evacuated.

Due to the short construction period, work in the new pit had to be performed at the same time as at the original site of the bascule bridge and both leaves had to be adapted simultaneously, all of which often entailed duplicating equipment.

The main construction stages, including both the civil works for the new pits and the structural adaptation of the bridge and its machinery, are described below.

5.1. Civil works for new pits

The site of the bascule bridge had to be evacuated in four months from the time the works began. Consequently, the civil works required to support the new swing bridge, i.e., all

Figura 21. Hinca de tablestacas alrededor de cada recinto.
Figure 21. Driving sheet piles around each pit.

Figura 22. Ejecución de pantallas dorsales.
Figure 22. Construction of rear diaphragm walls.

ser una obra de readaptación de algo ya existente se desconocían todos los datos.

La construcción se debía realizar sin interrumpir el tráfico marítimo por el canal de navegación salvo en ocasiones muy puntuales. Todas las actividades, además, estaban condicionadas por el resto de las obras para el circuito del GP de Fórmula 1, con la limitación de espacios a utilizar en las proximidades de los nuevos recintos e incluso en el propio área dónde se ubicaba el puente basculante, y con plazos parciales para dejar libre dicha zona.

Debido al reducido plazo de obra, fue necesario simultanear los trabajos de ejecución de los nuevos recintos con aquellos a realizar en el emplazamiento original del puente basculante, y además realizar dichos trabajos simultáneamente para las dos hojas del puente, lo que supuso en muchos casos duplicar equipos.

A continuación se describen las principales fases del proceso constructivo, tanto de la obra civil para los nuevos recintos, como la adaptación estructural del puente y sus mecanismos.

the work prior to re-positioning the bascule bridge deck in its new location, had to be completed within that four-month deadline.

The civil work to build the new pits began with the removal and re-positioning of the existing services and facilities on both sides of the navigation canal. This was followed by perimetric sheet piling to a depth of approximately -10 around each pit to control water inflows and subsequently drain both pits during construction (Figure 21).

The next stage consisted in demolition of the pier slab and removal, by crane, of the "Bara" blocks that crowned the canal structure, itself consisting in 80 m of double concrete diaphragm walls topped with a slab at a depth of -1,62. That depth, -1,62, was the maximum allowed for the pits, for interference with the canal structure would have lengthened construction time substantially.

Subsequently, the 0,6-m thick rear foundations that would constitute the perimetric support for the roller traction wheels were built at a depth of -15. The tops of these diaphragm walls were chipped for crowning with a concrete tie beam (Figure 22). The 0,8-m thick diaphragm wall modules, in turn, built at a depth of -38, constitute the foundations for the turntable. They are topped by a 2-m deep lintel beam, which was previously fitted with a 1,5-m deep low-strength submerged concrete cap.

The appearance of a jetty from an earlier dock intensified the complexity of all piling and diaphragm wall construction, which in the case of the diaphragms often translated into the need to mortar the excavation pits prior to re-excavation.

The construction of the new seaward side of the pier consisted in a cast in place concrete guard rail, using travelling formwork five metres long and draining to depth -1,62. The new guard rail was built to rest on the diaphragm walls existing in the navigation canal (Figure 23).

At the same time as the foregoing, demolition and excavation works were conducted in the areas of the docks to be occupied by the pits. This was followed by the construction of concrete slabs at two different elevations (Figure 24).

Water had to be constantly pumped out of the pits throughout concrete guard rail and pit slab construction.

Lastly, the perimetric walls were built in the pits and machine rooms, the transition slabs were cast and the space behind the walls was backfilled. The perimetric piling was removed after the civil works were completed.

Finishing the civil works within the four-month deadline necessitated duplicating equipment and working nearly simultaneously on both pits (Figure 25).

5.2. Structural adaptation of bridge and mechanisms

Approximately 95 % of the steel structure in the existing bascule bridge was reused to build the new swing bridge. This

5.1. Obra civil para los nuevos recintos

La zona dónde se situaba el puente basculante debía dejarse libre en cuatro meses desde el comienzo de la obra, plazo, por tanto, disponible para la realización de la obra civil necesaria para el apoyo del nuevo puente rotatorio antes del traslado de las hojas del puente basculante a su nueva ubicación.

Dicha obra civil para los nuevos recintos comenzó con la retirada y reposición de los servicios afectados e instalaciones previas existentes en ambas márgenes del canal de navegación, para, a continuación, realizar un tablestacado perimetral aproximadamente hasta la cota -10 rodeando completamente cada uno de los recintos, de forma que permitiera controlar la entrada de agua para el posterior agotamiento de los mismos durante su ejecución. (Fig. 21)

Se continuó con la demolición de la losa de superestructura del muelle y retirada mediante grúa de los bloques Bara que coronaban la estructura del canal (constituida por una doble línea de muros-pantalla de hormigón con una losa superior de cierre a la cota -1,62), en una longitud de 80 m. Dicha cota -1,62 limitaba la profundidad de los recintos para no interferir con la estructura del canal de navegación, lo que hubiese influido enormemente en el plazo.

Posteriormente se ejecutaron las pantallas de cimentación dorsales hasta la cota -15 y de 0,6 m de espesor que constituyen el apoyo perimetral de los carretones de rodadura. Dichas pantallas se remataron mediante su descabezado y ejecución de una viga riostra de coronación de hormigón armado (Fig. 22). Y los módulos pantalla hasta la cota -38 y de 0,8 m de espesor que constituyen la cimentación de la rótula de giro, coronados por una viga cargadero de 2 m de canto a la que previamente se ejecutó un tapón hidráulico de hormigón pobre de 1,5 m de canto.

Todos los trabajos de hinca de tablestacas y ejecución de pantallas se complicaron por la aparición de la escollera de un antiguo muelle, que en el caso de las pantallas obligaba en muchas ocasiones a amorterar los bataches para su reexcavación.

La ejecución del nuevo cantil del muelle se realizó mediante un pretil de hormigón in situ, utilizando un carro de encofrado de 5 m longitud, y agotamiento hasta la cota -1.62 apoyando el nuevo pretil sobre el muelle de pantallas existente en el canal de navegación (Fig 23).

Simultáneamente a las actividades anteriores se fue realizando la demolición y excavación de las zonas de los muelles a ocupar por los recintos, para continuar con la ejecución de los dos niveles de losa de solera (Fig 24).

Todos los trabajos de ejecución del nuevo pretil de hormigón y las losas del recinto exigieron bombeo continuo para agotamiento del agua que entraba a los recintos.

Figura 23. Ejecución del nuevo pretil del muelle
Figure 23. Construction of the new guard rail for the pier.

Figura 24. Ejecución de losas de solera.
Figure 24. SSlab construction.

Figura 25. Vista general de los recintos durante su ejecución.
Figure 25. Overview of the pits during construction

involved splitting the bascule bridge longitudinally down the middle and moving it to its current site, where a new steel central section was inserted between the two existing halves to widen the deck from eight to eighteen metres. The structure

Por ultimo se ejecutaron los alzados del muro perimetral del recinto, cuartos de maquinaria, losa de transición y relleno del trasdós de los muros. Una vez completada la obra civil de los recintos se retiró el tablestacado perimetral.

La obra civil de ambos recintos se completó durante los primeros cuatro meses de obra, y requirió la duplicación de equipos que trabajaban casi simultáneamente en ambos recintos (Fig. 25).

5.2. Adaptacion estructural del puente y mecanismos

La estructura metálica del antiguo puente basculante se reaprovechaba aproximadamente en un 95% para conformar las nuevas hojas del puente rotatorio. Para ello fue necesario su corte longitudinal, traslado al nuevo emplazamiento, inserción de un nuevo tramo central de estructura metálica para adaptar la anchura de plataforma de 8 a 18 m, y la adaptación de la misma al nuevo movimiento rotatorio. Así mismo, se han reutilizado del puente basculante los sistemas de enclavamiento dorsal y de clave, que fueron revisados y probados.

La primera operación que se realizó en el emplazamiento del puente basculante fue la de completar la ejecución del relleno de la bocana en la zona ocupada por la sombra del puente. Para ello, se colocaron ambas hojas en posición vertical, dejando libre la zona en la que se efectuó, por métodos convencionales, dicho relleno, además se dió continuidad a los tubos existentes que realizan la conexión hidráulica para asegurar el flujo de aguas entre la dársena interior y el exterior del puerto.

Posteriormente se compactó dicho relleno, con el objetivo de crear una superficie con suficiente capacidad portante para el apeo sobre el mismo de las hojas del puente, tanto en sentido longitudinal una vez quedó eliminado el contrapeso que equilibraba las hojas manteniendo el centro de gravedad en el eje de rótulas, como en sentido transversal una vez realizado el corte longitudinal que divide en dos mitades cada una de las hojas. (Fig 26).

Durante el desarrollo de estas actividades, con las dos hojas en posición vertical, se extrajeron los enclavamientos y topes dorsales. Esta operación se realizó en ese momento dado que con las hojas en posición horizontal los enclavamientos quedan en la sombra de la viga riostra del recinto de pantallas y su extracción sería más compleja.

Una vez realizadas las operaciones anteriores se procedió a descender las hojas a su posición horizontal, momento en el que se realizó el corte y descenso de los contrapesos, simultaneándolo con trabajos de desmontaje de elementos de las hojas del puente como son la retirada de carriles, fresado de pavimento en las zonas de corte, eliminación de defensas, aceras, sistemas hidráulicos y eléctricos, etc.

Figura 26. Ejecución de apeos sobre el relleno de la bocana.
Figure 26. Fill at harbour neck to provide provisional shoring for the deck sections.

also had to be adapted to the new swing arrangement. The bascule bridge back- and mid-span interlockings were inspected and tested for reuse in the swing bridge.

The first operation conducted at the site of the bascule bridge was to complete the fill at the neck into the inner harbour in the area occupied by the bridge footprint (when closed). This involved placing both leaves in their vertical position to vacate the area where conventional fill operations were to be conducted. At the same time, the existing pipes that provided for suitable water flows between the inner and outer harbours were extended.

The artificial terrain was subsequently consolidated to create a surface with sufficient bearing capacity to support the shored bridge leaves, both length-wise after the balancing counterweight was removed, maintaining the centre of gravity on the hinge, and width-wise, after the bridge was split into two longitudinal halves (Figure 26).

At the same time as the foregoing, with the two leaves in a vertical position, the rear interlockings and arresters were removed. This operation was performed in that phase because removal would have been more complex with the leaves in a horizontal position, when the interlockings are less accessible, for they lie underneath the tie beam in the pit.

When the foregoing operations were finished, the leaves were lowered into their horizontal position and split, while the counterweights were severed from the leaves and lowered into the pit. All of the above was performed at the same time as the tracks were removed, the pavement in the newly cut edge was milled, and the guard rails, walkways, hydraulic and electrical systems and so on were dismantled.

When the counterweight was removed, the centre of gravity of each leaf shifted from the hinge to a position several metres closer to mid-span, so the bridge rested on its hinges and the front end shoring, which was fitted with 1 500-kN jacks. The jacks were needed to monitor the reaction on the shoring at any given time and control the position of the centre of gravity in the leaves as the counterweight was emptied.

Al eliminar el contrapeso, el centro de gravedad de cada una de las hojas del puente pasaba de estar en el eje de rótulas a una posición adelantada varios metros hacia la clave, por lo que el puente quedaba apoyado en las rótulas y en los apeos delanteros provistos de gatos de 1.500 kN. Dichos gatos permitían en todo momento conocer la reacción en dichos apeos y controlar la posición del centro de gravedad de las hojas del puente mientras se vaciaba el contrapeso.

Además, para centrar la posición del centro de gravedad y tener mayor estabilidad de las hojas se dispusieron sobre el tablero una serie de contrapesos provisionales de hormigón.

Para retirar el contrapeso se cortó la chapa superior de piso y posteriormente con la ayuda de una retroexcavadora se realizó el vaciado de la mezcla de mortero y placas de acero que formaban dicho contrapeso de 4.300 kg/m^3 de densidad. Finalmente se realizaba el corte de la estructura metálica que lo sustentaba y unía a los cuchillos principales, desvinculándolo de la hoja del puente a la que pertenece, y se descendía mediante grúa al fondo del recinto-foso. (Fig. 27 y 28).

Una vez cortado el contrapeso, con el fin de asegurar la liberación completa de cada unas de las hojas respecto a la obra civil del foso y evitar incidencias durante la posterior maniobra de traslado con la grúa flotante, se realizó un pequeño gateo vertical. Para ello se utilizaron los gatos de 5.000 kN y 1.500 kN dispuestos en los apeos y se desvincularon las rótulas de la cimentación aflojando los tornillos que la unían a su plinto de apoyo sobre el recinto-foso. El peso de la estructura de cada una de las hojas sin contrapeso era de aproximadamente 500 t.

Posteriormente se procedió a extraer mediante grúas y a través del hueco que dejó dicho contrapeso, los cilindros hidráulicos principales que basculaban las hojas, y posteriormente se rellenó el interior de los recintos-foso.

In addition, a series of provisional concrete counterweights were set on the deck to establish the centre of gravity and enhance leaf stability.

To remove the counterweight, which had a density of 4 300 kg/m^3, the top steel plate was cut away to empty the mortar and steel plate mix out of the weight with the aid of a backhoe excavator. Finally, it was severed from the leaf by cutting through the steel structure supporting the weight and joining the two main girders. It was then lowered with a crane to the bottom of the pit (Figures 27 and 28).

Once the counterweight had been severed, each leaf was jacked up slightly to ensure that it was completely freed from the civil works in the pit to prevent possible incidents during re-siting. Floating cranes and the 5 000- and 1 500-kN jacks fitted on the shoring were used for this operation, which was not performed until the hinges were released from the foundation by loosening the bolts that anchored them to the plinth at the top of the pit. Without the counterweight, each leaf weighed approximately 500 t.

In a subsequent operation, cranes hoisted the main hydraulic cylinders used in leaf lifting manoeuvres out of the pit through the hole formerly occupied by the counterweight, after which the pits were covered up.

While still resting on the hinges and provisional shoring, the structures were flame cut to adapt the bascule bridge to the geometry of the new swing bridge (Figures 29 and 30).

The last member to be split in half was the hinge unit, which joined the two main girders.. At that point the transverse support for each half leaf consisted in footing that rested on the covered pit (Figure 31).

A section at the mid-span edge of each leaf measuring approximately 12 m (including the interlocking) was cut away from the rest and carried to a nearby esplanade to make the necessary changes to adapt the main girders at and around the interlocking, bevel the deck to adapt the structure to the new swing movement, mount and weld the new central section

Figuras 27 y 28. Vaciado con retroexcavadora y descenso del contrapeso.
Figures 27 and 28. Emptying counterweight with back hoe excavator and lowering counterweight into the pit.

Figura 29 y 30. Cortes en estructura metálica del puente basculante.
Figures 29 and 30. Splitting the steel structure on the bascule bridge.

A continuación, con la estructura apoyada en las rótulas y los apeos provisionales dispuestos, se realizan los cortes, mediante oxicorte, necesarios para la adaptación de la estructura del puente basculante a la nueva geometría del puente rotatorio (Fig. 29 y 30).

El último elemento en ser cortado fue el mamparo de giro, que unía transversalmente cada uno de los cuchillos principales. En ese momento el apoyo transversal de cada semihoja se realizó mediante una zapata apoyada sobre el relleno del foso. (Fig. 31)

Después de cortar los aproximadamente 12 m de estructura en zona de puntas de cada hoja (con el enclavamiento de clave incluido), se trasladaron a una explanada próxima para realizar allí las modificaciones necesarias para adaptar los cuchillos principales en la zona de enclavamiento, ejecutar los cortes a inglete del tablero para adaptar la estructura al nuevo movimiento rotatorio, montaje y soldadura de los nuevos tramos centrales, para finalmente realizar un montaje en blanco con objeto de comprobar la coincidencia y junta de los tramos de clave, y realizar pruebas con los cerrojos de enclavamiento.

Una vez completado el corte longitudinal, y tener cada una de las dos hojas dividida en dos mitades, se procedió mediante una grúa flotante de 1200 t de capacidad, al izado, transporte y posicionamiento de cada una de ellas en su emplazamiento definitivo dentro de los nuevos recintos ya completados para recibirlas. La maniobra con la grúa flotante duró tres días. El peso aproximado de las semihojas transportadas era de 170 t. Se estudió la posición del centro de gravedad para que el izado y transporte posterior se hiciera con las semihojas en posición horizontal. (Fig. 32 y 33).

El nuevo mamparo de giro se colocó en los recintos previamente al traslado de las semihojas, de forma que estas se unieron provisionalmente a dicho elemento, mediante uniones atornilladas, quedando arriostradas transversalmente mientras se completaba la soldadura definitiva.

and finally proceed to a trial assembly to verify whether the positions of all the elements on the two mid-span sections matched. The interlocking bars were also tested.

When the two halves were completely sundered longitudinally, a 1 200-t floating crane was used to hoist, carry and position each in its permanent location in the new pits prepared to receive them. The floating crane operation lasted three days. The approximate weight of the half leaves was 170 t. The position of the centre of gravity was determined to be able to hoist and carry the half-leaves in a horizontal position (Figures 32 and 33).

The new pivot girder was set into the pits prior to repositioning and provisionally bolting the half-leaves to the member, which served as transverse shoring until the permanent welding operations were completed.

Each half-leaf was laid on a series of shoring towers in its permanent horizontal location, but at an elevation approximately one metre above the actual position to be able to assemble and weld the new steel sections while at the same time mounting machinery, turntable, rear roller rails and interlocking bars and drive systems in the new pits.

Once the four half-leaves were in place in the new pits and each pair separated by a 10-m void to house the new central

Figura 31. Corte en mamparo de giro.
Figure 31.Splitting the hinge unit.

Figuras 32 y 33. Traslado con grúa flotante de las semihoja.
Figures 32 and 33. Re-positioning of the half-laves with a floating crane.

Cada una de las semihojas se situaron en planta en su ubicación definitiva, sobre una serie de torres de apeo, pero desplazadas verticalmente aproximadamente 1 metro por encima de dicha posición, lo que permitió simultanear trabajos de armado y soldadura de los nuevos tramos metálicos con el montaje de mecanismos, rótulas, vías de rodadura dorsal, cerrojos de enclavamiento trasero y sistemas de accionamiento en los nuevos recintos.

Finalizado el transporte de las cuatro semihojas y situadas en su posición en los nuevos recintos, separadas entre sí 10 m para alojar entre ellas el nuevo tramo central, se procedió al montaje y soldadura de cada uno de los elementos que completan la estructura (Fig. 34). El peso total de la nueva estructura metálica a añadir es de 850 t.

Como paso previo a la soldadura, se realizó la preparación de los bordes de la estructura metálica antigua a los que, posteriormente, se van a soldar los bordes de la nueva.

Para poder disponer de cierta holgura en el corte longitudinal del puente basculante y en el montaje del nuevo tramo central de 10 m (cuyas vigas longitudinales extremas tienen sección doble T) se cortaron las viguetas transversales de una de las semihojas en la longitud necesaria para absorber dicha holgura, a las cuales posteriormente se dio continuidad por medio de unos carretes externos con la misma sección. (Fig. 35)

El montaje en obra de la estructura metálica se realizó de forma convencional, sobre apeos sobre los que se colocaron, con la ayuda de grúas automóviles, las distintas unidades que forman la nueva estructura metálica. Posteriormente, se realizó la soldadura de continuidad entre los distintos tramos.

Los tramos de clave, una vez completados en la explanada, realizado el montaje en blanco y las pruebas en los cerrojos de enclavamiento, se transportaron mediante pontona a cada una de las márgenes del canal de

Figura 34. Semihojas en posición antes de incorporar los nuevos tramos centrales de 10 m. de achura.
Figure 34. Half-leaves in position before inserting the new 10-m central sections.

Figura 35. Unión entre tramos nuevos y existentes.
Figure 35. Bond between new and existing sections.

section, all the elements comprising the structure were assembled and welded (Figure 34). In all, the new steel structure weighed 850 t.

The edges of the existing steel structure were prepared for welding to the edges of the new section before proceeding to weld.

Figura 36. Traslado de los tramos de clave después del montaje en blanco.
Figure 36. Moving the mid-span sections after provisional assembly

Figura 37. Colocación de la rótula
Figure 37. Positioning the turntable gear.

navegación y se montaron sobre las torres de apeo con la ayuda de grúas automóviles. (Fig. 36)

Las labores de montaje y soldadura en obra de la estructura metálica se simultanearon con los trabajos de instalación de los mecanismos, equipos hidráulicos y eléctricos que permiten el movimiento rotatorio del puente.

La rótula se colocó sobre su plinto de apoyo en la obra civil del recinto, previamente nivelada con un mortero autonivelante sobre el que se dispuso una placa anclada con pernos Nelson. La superficie inferior del mamparo de giro se mecanizó en obra en una superficie de

To provide for some allowance in the longitudinal shearing of the bascule bridge and the assembly of the new 10-m central section (whose longitudinal edges have I-section girders), the transverse joists on one of the half-leaves were cut back and subsequently lengthened by means of extensions having the same section (Figure 35).

Conventional worksite procedures were used to build the new steel structure, whose various parts were set on shoring with the aid of self-moving cranes and then welded together.

After the mid-span sections had been adapted, the positions of the various elements on the two decks matched and the interlocking bars tested, they were carried by a pontoon to the respective side of the canal, where they were set on shoring towers with the aid of automotive cranes (Figure 36).

Worksite assembly and welding were performed at the same time as the machinery and hydraulic and electrical equipment needed for the swinging motion of the bridge were installed.

The turntable was set onto a steel plate anchored with Nelson bolts to the masonry plinth built in the pit, which had been previously smoothed with a self-levelling screed. The bottom of the pivot girder was machined on site over an area measuring 2x2 m^2 to ensure that it bonded perfectly to the turntable and was completely parallel to the steel plate on the base. At the end of the jacking operation, each bascule bridge leaf rested on the turntable (Figure 37).

The roller tracks were installed prior to the traction wheels, taking special care to keep the tracks level and in the right horizontal position. The back-span traction wheels were installed once the leaves were in their permanent positions (after jacking and positioning on the turntable) and after stake-out operations had been conducted and any necessary geometric adjustments made in the supports that anchor the wheels to the counterweight. The same procedure was used to assemble the fixed and mobile legs and adjust the pieces that anchor them to the counterweight (Figures 38 and 39).

The mid-span modifications were performed without removing the front interlockings from their position between the

Figura 38. Colocación de carretones
Figure 38. Traction wheel installation.

2x2 m, de forma que se consiguiera un perfecto apoyo en toda la superficie de la rótula, y el paralelismo con la placa de apoyo inferior. Cada una de las hojas del puente basculante quedó apoyada sobre la rótula al final de la maniobra de gateo. (Fig. 37)

Los carriles de rodadura se montaron previamente a la colocación de los carretones cuidando mucho la nivelación de los mismos y su posicionamiento en planta. Los carretones dorsales se colocaron una vez estuvieron las hojas en su posición final (después de realizado el gateo y apoyo en rótula), apoyándolos provisionalmente en su posición mientras se tomaron medidas para realizar los ajustes geométricos necesarios en las piezas soporte que los vinculan y unen con el contrapeso. De la misma manera se montaron las patas fijas y móviles, y se realizaron los ajustes correspondientes en las piezas que las unen al contrapeso. (Fig. 38 y 39)

Durante la ejecución de los trabajos de modificación de la estructura metálica en la zona de clave, los enclavamientos frontales quedaron alojados en su posición dentro de las vigas principales de cada hoja. Durante el montaje en blanco de dicha clave se realizaron las comprobaciones de funcionamiento y encaje de los cerrojos en cada una de las hojas.

Los enclavamientos dorsales fueron retirados en las fases iniciales de la obra y su colocación en la zona de ampliación dorsal se realizó durante los trabajos de montaje y soldadura de la estructura metálica.

Además, previo al gateo de la estructura, se montaron las instalaciones eléctricas e hidráulica que tenían acceso limitado con la estructura en su posición definitiva, y una vez alcanzada esta se colocaron el resto de elementos en función de sus plazos de suministro y finalización de cuartos de maquinaria y torre de control.

Una vez terminados los trabajos de armado y soldadura en obra de la estructura metálica, cada una de las hojas se encontraba apoyada en apeos provisionales en la vertical de su posición definitiva, pero aproximadamente 1 m por encima de la misma, por lo que fue necesario descenderlas hasta su cota final.

Para realizar dicho movimiento vertical se utilizaron cuatro gatos de trepa de 3.000 kN de capacidad, dos a dos a cada lado de la rótula y bajo el mamparo de giro, y otros dos gatos de trepa de 5.000 kN de capacidad bajo las vigas longitudinales doble T del tablero, a unos 28,5 m por delante de la rótula. Dichos gatos se dispusieron sobre la solera de los fosos con sus correspondientes rampones de reparto y sobre picaderos de madera de alta resistencia, de forma que se fueron realizando gateos de 100 en 100 mm.

Durante todo el proceso de gateo se realizó un estricto control topográfico de la geometría, posición y alineación de cada una de las hojas, y se fueron las correcciones necesarias antes de dejarlo en su posición definitiva.

Figura 39. Colocación de patas de apoyo.
Figure 39. Support leg assembly.

main girders on each leaf. During the trial assembly, the interlocking bars on the two leaves were tested for due operation and appropriate fit.

The rear interlockings, removed in the early stages of the works, were re-positioned in the extended back-span area at the same time as the steel structure was being assembled and welded.

Moreover, before jacking was undertaken, assembly was completed on the electrical and hydraulic facilities to which access would be limited once the structure was in its permanent position. The rest of the elements were installed as they were supplied, after the civil works were completed on the machine rooms and control tower.

As the leaves were assembled and welded while in place transversally but resting on provisional shoring that raised them approximately one metre above their permanent position, they eventually had to be lowered to their final elevation.

This lowering operation was performed with four 3 000-kN climbing jacks, two on each side of the turntables underneath the swinging members, and two 5 000-kN climbing jacks placed under the I-section longitudinal girders in the deck at around 28,5 m forward of the turntable. The jacks stood on high strength wooden blocks, which in turn rested on load distribution platforms set on the floor of the pit, to lower the leaves 100 mm at a time.

Throughout this process, leaf geometry, position and alignment were subjected to strict topographic control and all necessary corrections were made before the leaves were lowered to their permanent position.

In addition to the jacking equipment, a system was devised to correct for any possible transverse or longitudinal deviations in leaf position during lowering. In the last 50-100-mm run before the leaves were set into position, the steel structure was staked out one last time to ensure that it was correctly positioned with respect to the turntable (Figures 40 and 41).

Once the leaves were in their permanent position, resting on the turntables and traction wheels, plain concrete was

Figuras 40 y 41. Gateo y apoyo en rótula.
Figures 40 and 41. Jacking and resting leaf on turntable.

Además del equipo de gateo, se dispuso un sistema para corregir posibles desviaciones en planta de las hojas durante el descenso, tanto en sentido transversal como longitudinal. De forma que a falta de unos 50-100 mm para el apoyo final sobre la rótula se realizó un último replanteo de la estructura metálica para asegurar su correcta posición respecto de la rótula (Fig. 40 y 41).

Una vez las hojas estuvieron en su posición definitiva, apoyadas en las rótulas y en los carretones, se procedió al relleno con hormigón en masa del contrapeso, mediante bombeo a través de unas bocas dispuestas a tal fin en la chapa de piso del tablero.

Dicho hormigonado se realizó en varias fases; la primera, de 0,2 m de espesor, se ejecutó previamente al desapeo y gateo de forma que colaborase con la chapa de fondo del contrapeso a resistir sin apear el resto del peso de hormigón fresco. El resto del hormigonado se realizó en varias tongadas de una altura aproximada de 0,75 m, hasta completar una altura de 4 m.

Como el centro de gravedad de cada hoja antes de rellenar el contrapeso se encontraba por delante de la rótula, el equipo de gateo se mantuvo durante el hormigonado del contrapeso para garantizar la estabilidad de las hojas en sentido transversal y longitudinal. Además, con los gatos de los carretones se tenía un control de la reacción que se obtenía en los mismos durante el relleno del contrapeso (Fig. 42).

La obra se completó con la ejecución de la torre de control, cuartos de maquinaria, valla fija perimetral, valla móvil, equipamiento eléctrico e hidráulico.

Las últimas actividades correspondieron a remates y acabados, capa final de pintura de acabado a la estructura metálica completa, pavimentación del puente, aceras, señalizaciones, nuevas defensas a ambos lados de la calzada, prueba de carga, pruebas de los equipos mecánicos, hidráulicos, y eléctricos, y ajustes finales.

Dentro de los ajustes finales hay que destacar los llevados a cabo para el control de las maniobras de apertura y cie-

pumped into the counterweights through one of the openings made in the deck floor for that purpose.

Concrete was cast by phases: the first lift, 0,2 m deep, was poured prior to de-shoring and jacking so that it would work together with the bottom plate steel in the counterweight to withstand the rest of the fresh concrete weight with no need for shoring. The rest of the concrete was cast by lifts approximately 0,75 m high, to a total height of 4 m.

Prior to filling the counterweight the centre of gravity in each leaf was forward of the turntable. Consequently, the jacking equipment was not removed until the concrete was cast into the counterweight to guarantee the transverse and longitudinal stability of the leaves. Moreover, the jacks under the traction wheels ensured that wheel reaction could be controlled as the counterweights were filled (Figure 42).

The works were completed with the construction of the control tower, machine rooms, fixed perimetric fencing, mobile fencing and the electrical and hydraulic equipment.

Figura 42. Hormigonado de contrapeso.
Figure 42. Casting concrete in the counterweight.

Figura 43 y 44. Vistas generales del Puente Rotatorio.
Figures 43 and 44. Overviews of the swing bridge.

rre del puente y el accionamiento de todos los equipos. Además se realizó un ajuste final de las cotas en clave, puesto que en el momento de realizar el proyecto y definir las contraflechas de los cuchillos principales en la zona de clave, se desconocía el pavimento a utilizar y la situación y tipo de la barrera para las carreras de Formula 1.

El primer movimiento y cierre de las hojas del puente rotatorio se realizó a finales del mes de Mayo resultando un éxito. La primera carrera del GP de Fórmula 1 en el Circuito Urbano de Valencia se celebró el 24 de Agosto de 2008.

6. CONCLUSIONES

A modo de conclusión se detallan a continuación los aspectos fundamentales logrados en el diseño y construcción del nuevo puente:

- Reutilización prácticamente completa de la estructura metálica principal del puente basculante original. Dicho objetivo se ha llevado a cabo considerando la transformación de las sobrecargas de uso y equilibrando el incremento de las cargas permanentes en la nueva solución de movimiento rotatorio.

- Reutilización de los sistemas de enclavamiento central y dorsal.

- Optimización de la ampliación y refuerzo del tablero ortótropo teniendo en cuenta el nuevo uso del puente.

- La solución adoptada fue llevada a cabo para lograr la celebración del Gran Premio de Fórmula 1 en agosto de 2008. El plazo de ejecución de la obra propiamente dicha se reducía, de este modo, a sólo ocho meses (octubre 2007 a mayo de 2008). Este objetivo fue posible gracias a la reutilización del puente existente, a la disponibilidad de los materiales para la ampliación y refuerzos del tablero, y a los potentes equipos adicionales auxiliares utilizados.

Lastly, all the necessary finishes were completed, including a final coat of paint on the entire steel structure, paving for the bridge and walkway, signing, erection of guard rails on both sides of the walkway, load testing and mechanical, hydraulic and electrical equipment trials.

Final adjustments were also made, primarily for bridge opening and closing manoeuvres and equipment operation. The mid-span elevation was likewise adjusted, for the design was drafted and the mid-span area camber on the main girders was defined before either the type of pavement or the type of wall for the Formula 1 races had been determined.

The swing bridge was successfully closed during the first trial conducted in late May. The first Formula 1 GP race on Valencia's street circuit was held on 24 August 2008.

6. CONCLUSIONS

By way of conclusion, the essential features of the design and construction of the new bridge are listed below:

- *Nearly all the main components of the steel structure in the original bascule bridge could be reused. This objective was met despite the differences in service loads and the need to offset the greater permanent loads in the new swing bridge.*

- *The original central and rear interlockings were reused.*

- *Widening and reinforcement of the orthotropic deck were optimized, in keeping with the new use for the bridge.*

- *The solution adopted was implemented to be able to host the Formula 1 Grand Prix on 1 August 2008, reducing total construction time to only eight months (October 2007 to May 2008). This objective was possible thanks to the reuse of the existing bridge, the availability of the materials needed to broaden and reinforce the deck and the powerful additional ancillary equipment used.*

- Estructura innovadora ya que es la primera vez que en España se utiliza un puente rotatorio sobrecontrapesado, con bogies como elemento motriz aprovechando la reacción dorsal.
- Solamente un conjunto multidisciplinar de profesionales es capaz de llevar a cabo una obra tan compleja como esta en un plazo tan reducido.

AGRADECIMIENTOS

La presente obra ha sido posible gracias a la estrecha colaboración y trabajo de todas las partes implicadas, Dirección de Obra, Proyectistas, Dirección Técnica de Dragados y FPS, y empresas Constructoras.

Destacar especialmente el trabajo de todo el equipo de obra, Faustino Cereceda, Alberto Nieto, Ceferino Ferrer, Francisco Aguilar y tantos otros que han dado lo mejor de su experiencia y esfuerzo para conseguir, en un tiempo reducido, esta compleja realización.

REFERENCIAS

[1] Martínez Calzón J., Pozo Moya, C., Álvarez Andrés J.J., Hué Ibargüen P., Ortega Arias A., Tarquis Alfonso F: "Puente levadizo en el Puerto de Valencia". *Hormigón y Acero*. nº 221-222. Tercer y cuarto trimestre de 2001. p. 3-24.

[2] Martínez Calzón J.: "Puente basculante en el Puerto de Valencia. Situación presente y posibilidades de ampliación". En: *CEA2004 Congreso de la estructura de Acero,* 2004. La Coruña, España.

[3] Ministerio de Fomento. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. IAP-98. Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes. Dirección General de Carreteras. 1998.

[4] Martínez Calzón J., Pozo Moya, C., Álvarez Andrés J.J.: "Puente basculante en el Puerto de Valencia para la conexión de los muelles transversales de levante y poniente". En: *II Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Vol. 4.* Noviembre 2002. Madrid, España. p. 2283-2292.

[5] Hué Ibargüen M.P., Ortega Arias A., Tarquis Alfonso F.: "Construcción del Puente Móvil en el Puerto de Valencia". En: *II Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Vol. 4.* Noviembre 2002. Madrid, España. p. 2293-2303.

[6] Martínez Calzón J., Ladrón de Guevara Méndez, G.: "Swing Bridge for the Formula 1 Race Course on Valencia Harbour". En: *EUROSTEEL 2008. 3-5 Septiembre 2008.* Graz, Austria.

The structure is innovative because this is the first counterweighted swing bridge in Spain to use bogies as a mobile element, taking advantage of the reaction in the back span.

Only a multi-disciplinary team of professionals can guarantee the successful completion of such a complex undertaking on such a tight schedule.

ACKNOWLEDGEMENTS

The works described in this article were possible thanks to the close collaboration and efforts of all concerned: site supervision, design engineers, Dragados and FPS engineering offices, and builders.

The entire works team merits acknowledgement: Faustino Cereceda, Alberto Nieto, Ceferino Ferrer and Francisco Aguilar, along with many others whose experience and dedication were instrumental to carrying this complex project through in record time.

REFERENCES

[1] Martínez Calzón J., Pozo Moya, C., Álvarez Andrés J.J., Hué Ibargüen P., Ortega Arias A., Tarquis Alfonso F. "Puente levadizo en el Puerto de Valencia". Hormigón y Acero, Third and fourth quarter 2001, No. 221-222, p. 3-24.

[2] Martínez Calzón J. "Puente basculante en el Puerto de Valencia. Situación presente y posibilidades de ampliación". In: CEA2004 Congreso de la estructura de Acero, 2004. La Coruña, Spain.

[3] Ministerio de Fomento. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. IAP-98. Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes. Dirección General de Carreteras, 1998.

[4] Martínez Calzón J., Pozo Moya, C., Álvarez Andrés J.J. "Puente basculante en el Puerto de Valencia para la conexión de los muelles transversales de levante y poniente". In: II Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Vol. 4. November 2002. Madrid, Spain. p. 2283-2292.

[5] Hué Ibargüen M.P., Ortega Arias A., Tarquis Alfonso F. "Construcción del Puente Móvil en el Puerto de Valencia". In: II Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE. Vol. 4. November 2002. Madrid, Spain. p. 2293-2303.

[6] Martínez Calzón J., Ladrón de Guevara Méndez, G. "Swing Bridge for the Formula 1 Race Course on Valencia Harbour". In: EUROSTEEL 2008, 3-5 September 2008. Graz, Austria.

[7] Hué Ibargüen M.P., González Patiño, N.: "Reubicación y adaptación a nuevos usos del Puente Basculante existente en el Puerto de Valencia". *Puertos*. Nº 149. Enero-Febrero 2009. p.45-54.

[7] Hué Ibargüen M.P., González Patiño, N. "Reubicación y adaptación a nuevos usos del Puente Basculante existente en el Puerto de Valencia". Puertos, January-February 2009, No. 149, p.45-54.

RELACIÓN DE PARTICIPANTES / *LIST OF PARTICIPANTS*

Nombre de la Obra: *Name*:	Reubicación del Puente Móvil del Puerto de Valencia *Relocation of the Valencia Harbour drawbridge*
Promotor: *Developer*:	Autoridad Portuaria de Valencia *Valencia Port Authority*
Autores del Proyecto y Asistencia Técnica a la Dirección: *Authors of the design and providers of technical assistance for site management*	Julio Martínez Calzón y Ginés Ladrón de Guevara (MC-2 Estudio de Ingeniería, S.L.)
Dirección de las Obras: *Site management:*	Ignacio Pascual Navarro y Miguel Bernat Sellés.
Empresa Constructora: *General contractor:*	UTE DRAGADOS-CYES-FPS *DRAGADOS-CYES-FPS joint venture*
Gerente de la UTE: *Joint venture manager:*	Faustino Cereceda Pérez

CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE ROTATORIO DEL PUERTO DE VALENCIA

Mª Pilar HUE IBARGÜEN
Ingeniera de Caminos
DRAGADOS, S.A.
Dirección Técnica

Carlos POLIMÓN OLABARRIETA
Ingeniero de Caminos
FPS
Dirección Técnica

Felipe TARQUIS ALFONSO
Dr. Ingeniero de Caminos
DRAGADOS. S.A
Jefe del Servicio de Estructuras, O.C.

Resumen

Descripción de las fases del proceso constructivo para la reubicación y adaptación a nuevos usos del Puente Basculante existente en el Puerto de Valencia. La ejecución de la obra tiene dos condicionantes principales: la máxima reutilización de los elementos que forman el antiguo Puente Basculante y el reducido plazo de ejecución (8 meses) de la obra.

Palabras Clave: Puente rotatorio, puente basculante, recintos, estructura metálica, mecanismos.

1. Introducción

El objeto de la obra consiste en la reubicación y adaptación a nuevos usos del Puente Basculante del Puerto de Valencia, como consecuencia de los cambios urbanísticos del Puerto y de la apertura de una nueva bocana de acceso a la dársena interior del puerto con motivo de las obras realizadas para la celebración de la 32 Copa América, junto con la ejecución de un nuevo circuito urbano para la celebración de Grandes Premios de Formula 1.

Los nuevos usos (la nueva bocana requiere nueva vía para tráfico de mercancías y salida de emergencia del puerto, junto con la celebración de GP de Formula 1) requieren la ampliación de la plataforma de 8 m de ancho para ferrocarril y tráfico rodado, a una plataforma de 18 m de anchura exclusivamente para tráfico rodado. Y la transformación del tipo de movimiento del puente en basculante a rotatorio.

La ejecución de la obra tiene dos condicionantes principales: la máxima reutilización de los elementos que forman el antiguo Puente Basculante (estructura metálica y mecanismos) y el reducido plazo de ejecución (8 meses) de la obra.

Dentro de los trabajos de ejecución se distinguen dos campos claramente diferenciados, por un lado la ejecución de toda la obra civil correspondiente a los nuevos recintos, que albergan cada una de las dos hojas del puente en su nuevo emplazamiento, y por otro la adaptación de la estructura metálica y mecanismos del actual puente basculante, a su nueva geometría y movimiento rotatorio.

Debido al reducido plazo de ejecución, es necesario simultanear los trabajos de ejecución de los nuevos recintos con aquellos a realizar en el emplazamiento original del puente basculante, y además realizar dichos trabajos simultáneamente para las dos hojas del puente, lo que supone en muchos casos duplicar equipos.

A continuación se describen las fases principales del proceso constructivo.

2. Proceso Constructivo

2.1 Obra civil para los nuevos recintos

La obra civil para los nuevos recintos comienza con la retirada y reposición de los servicios afectados e instalaciones previas existentes en ambas márgenes del canal de navegación, para, a continuación, realizar un tablestacado aproximadamente hasta la cota -10 alrededor de cada uno de los recintos, que permitiera controlar la entrada de agua y posterior agotamiento de los mismos durante su ejecución.

Fig. 1. Hinca de tablestacas alrrededor de cada recinto.

Demolición de la losa de superestructura del muelle y retirada mediante grúa de los bloques Bara hasta la cota -1.62, que forman el cantil del canal de navegación coronando los muelles (realizados con muros-pantalla), en una longitud de 80 m. Simultáneamente se va realizando la demolición y excavación de las zonas de los muelles a ocupar por el área de los recintos.

Ejecución de muretes guía, para posteriormente realizar las pantallas de cimentación dorsales hasta la cota -15 y de 0,6 m de espesor que constituyen el apoyo perimetral de los carretones de rodadura. Dichas pantallas se rematan mediante su descabezado y ejecución de una viga riostra de coronación de hormigón armado de 2,15 m de ancho y 1,35 m de canto.

Fig. 2. Izquierda: Demolición superestructura muelle. Derecha: Ejecución de Pantallas.

La cimentación de la rótula de giro está formada por módulos pantalla hasta la cota -38 y de 0,8 m de espesor, coronadas por una viga cargadero de 2 m de canto, y dimensiones 5 x 5,2 m en planta. Previamente a dicha viga cargadero se ejecuta un tapón hidráulico de hormigón pobre de 1,5 m de canto.

Todos los trabajos de hinca de tablestacas y ejecución de pantallas se complicaron por la aparición de la escollera de un antiguo muelle, que en el caso de las pantallas obligaba en muchas ocasiones a amorterar los bataches para su reexcavación.

Ejecución del nuevo cantil del muelle mediante un pretil de hormigón in situ, realizado en módulos de 5 m mediante un carro de encofrado, y agotamiento hasta la cota -1.62 que corresponde al apoyo del pretil sobre el muelle de pantallas existente.

Fig. 3. Ejecución del nuevo cantil.

Ejecución de la losa de solera del recinto en dos niveles; losa superior a la cota +0,5 m de 0,30 m de espesor en la zona en la que el alzado del puente lo permite, y en la zona dorsal (rótula y contrapeso) se ejecuta una losa de hormigón armado de 0,35 m de espesor y cota superior -1.27.

Fig. 4. Ejecución de soleras y alzados de muros.

Todos los trabajos de ejecución del nuevo pretil de hormigón y las losas del recinto exigieron bombeo continuo para agotamiento del agua que entraba a los recintos.

Posteriormente se ejecutaron los alzados del muro perimetral del recinto, cuartos de maquinaria, losa de transición y relleno del trasdós de los muros. Una vez completada la obra civil de los recintos se retiró el tablestacado perimetral.

La obra civil de ambos recintos se completó durante los primeros cuatro meses de obra, y requirió la duplicación de equipos que trabajaban casi simultáneamente en ambos recintos.

2.2 Adaptacion estructural del puente y mecanismos

La estructura metálica del antiguo puente basculante se reaprovecha en aproximadamente un 95% para conformar las nuevas hojas del puente rotatorio. Por lo que es necesario su movilización a su nuevo emplazamiento, inserción de un nuevo tramo de estructura metálica para adaptar la anchura de plataforma de 8 a 18 m, y la adaptación de la misma al nuevo movimiento rotatorio.

Las fases principales de estas operaciones son las siguientes:

2.2.1 Relleno de la bocana en el emplazamiento del puente basculante

La primera operación a realizar es la de completar la ejecución del relleno de la bocana en la zona ocupada por la sombra del Puente Basculante. Para ello, se colocan ambas hojas en posición vertical, dejando libre la zona en la que se efectúa dicho relleno.

Mediante métodos convencionales se procede al relleno con materiales similares a los ya utilizados en el relleno al que complementan. Además se da continuidad a los tubos que realizan la conexión hidráulica para asegurar el flujo de aguas entre la dársena interior y el puerto exterior.

Posteriormente, se realiza la compactación del relleno, con el objetivo de crear una superficie con suficiente capacidad portante para el apeo sobre el mismo de las hojas del puente en las dos mitades en que estas quedarán divididas. A continuación se ejecutan los dados de hormigón que sirven para dicho apeo.

Fig. 5. Ejecución de apeos sobre el relleno

Se dispone una línea principal de apeos aproximadamente a 31 m de la rótula, bajo los dos tirantes frontales de los cuchillos principales del puente. Sobre dichos apeos se disponen gatos hidráulicos de 150 t .

Aproximadamente a 5,5 m por delante de la rótula y coincidiendo con la pantalla frontal del recinto-foso, se dispone una segunda línea de apeos con gatos de 300 t. Además se dispone una serie de apeos intermedios situados a 1,8 m del eje longitudinal de cada una de las hojas para garantizar la estabilidad transversal cuando se realiza el corte longitudinal que divide en dos cada tablero.

Durante el desarrollo de estas actividades, con las dos hojas en posición vertical, se extraen los enclavamientos y topes dorsales. Esta operación se realiza en este momento dado que con las hojas en posición horizontal los enclavamientos quedan en la sombra de la viga riostra del recinto de pantallas y su extracción sería más compleja.

Finalmente se procede a descender las hojas a su posición horizontal.

2.2.2 Eliminación de los contrapesos del puente basculante

Una vez la hoja está nuevamente en posición horizontal, y mientras se realiza la maniobra de corte y descenso de los contrapesos, se simultanean trabajos de desmontaje de elementos en dichas hojas, como son la retirada de carriles, fresado de pavimento en las zonas de corte, eliminación de defensas, aceras, sistemas hidráulicos y eléctricos, etc.

Una vez retirado el contrapeso, el centro de gravedad de cada una de las hojas del puente pasa de estar en el eje de rótulas a una posición adelantada varios metros hacia la clave, por lo que el puente queda apoyado en las rótulas y en los apeos con gatos de 150 t delanteros. Dichos gatos permitían en todo momento conocer la reacción en dichos apeos y controlar la posición del centro de gravedad de las hojas del puente mientras se vacía el contrapeso.

Además, para centrar la posición del centro de gravedad y tener mayor estabilidad de las hojas se dispusieron una serie de contrapesos provisionales de hormigón sobre el tablero.

La eliminación del contrapeso comienza con el corte de la chapa de piso superior y posterior vaciado con retroexcavadora de la mezcla de mortero y placas de acero que formaban dicho contrapeso de 4,3 t/m^3 de densidad. Finalmente se realiza el corte de la estructura metálica que lo sustenta y une a los cuchillos principales, desvinculándolo de la hoja del puente a la que pertenece, y descenso mediante grúa al fondo del recinto-foso.

Fig. 6. Vaciado y descenso al foso del contrapeso

Una vez cortado el contrapeso, con el fin de asegurar la liberación completa de cada unas de las hojas respecto a la obra civil del foso y evitar incidencias durante la posterior maniobra de traslado con la grúa flotante, se realiza un pequeño gateo vertical.

Para ello se utilizan los gatos de 500t y 150 t dispuestos en los apeos, y se desvinculan las rótulas de la cimentación aflojando los tornillos que la unen a su plinto de apoyo sobre el recinto-foso. El peso de la estructura de cada una de las hojas sin contrapeso es de aproximadamente 500 t

Una vez se ha retirado el contrapeso, se procede a extraer mediante grúas y a través del hueco que ha dejado dicho contrapeso, los cilindros hidráulicos principales, para posteriormente realizar el relleno de cada recinto-foso.

2.2.3 Realización de cortes en la estructura metálica de las hojas del puente basculante

A continuación, con la estructura apoyada en las rótulas y los apeos provisionales dispuestos, se realizan los cortes, mediante oxicorte, necesarios para la adaptación de la estructura del puente basculante a la nueva geometría del puente rotatorio.

Para ello se realizan los siguientes cortes:

- Eliminación del cajeado correspondiente a las vías de ferrocarril.
- Corte longitudinal del tablero para dividir cada hoja en dos mitades.
- Corte transversal aproximadamente a 12 m del enclavamiento de clave.
- Corte transversal para eliminación del tramo sobrante en las vigas principales cuya longitud hay que reducir.

Fig. 7. Cortes en estructura metálica del puente basculante

El último elemento cortado fue el mamparo de giro que unía transversalmente cada una de las viga-cuchillo principales. Antes de realizar dicho corte se ejecutó una zapata sobre el relleno del foso para apoyo transversal de cada semihoja.

Los aproximadamente 12 m de estructura en zona de puntas (con el enclavamiento de clave) de cada hoja se trasladan a una explanada próxima para realizar allí las modificaciones necesarias para adaptar las viga-cuchillo principales en la zona de enclavamiento, ejecutar los cortes a inglete del tablero para adaptar la estructura al nuevo movimiento rotatorio, montaje y soldadura de los nuevos tramos, para finalmente realizar un montaje en blanco con objeto de comprobar la coincidencia y junta de los tramos de clave y realizar pruebas con los cerrojos de enclavamiento.

2.2.4 Tralado de las mitades de las hojas del puente basculante a su nueva ubicación

Una vez completado el corte longitudinal, y tener cada una de las dos hojas dividida en dos mitades, se procederá mediante una grúa flotante de 1200 t de capacidad, al izado, transporte y posicionamiento de cada una de ellas en su emplazamiento definitivo dentro de los nuevos recintos.

El peso aproximado de las semihojas transportadas es de 170 t. Se estudió la posición del centro de gravedad para que el izado y transporte posterior se hiciera en posición horizontal.

Cada una de las semihojas se colocan en planta en su ubicación definitiva, sobre una serie de torres de apeo, pero desplazada verticalmente aproximadamente 1 metro por encima de dicha posición, lo que permite simultanear trabajos de armado y soldadura de los nuevos tramos metálicos con el montaje de mecanismos, rótulas, vías de rodadura dorsal, cerrojos de enclavamiento trasero y sistemas de accionamiento en los nuevos recintos.

Previamente al traslado de las hojas, se ha dispuesto apeado el nuevo mamparo de giro, sobre el que se apoyan y unen provisionalmente cada una de las semihojas, de forma que las arriostra.

Fig. 8. Traslado con grúa flotante de una semihoja.

2.2.5 Montaje de la nueva estructura metálica para el puente rotatorio

Una vez situadas en su nueva ubicación las dos mitades transportadas se procede a montar los nuevos módulos de estructura metálica.

Las 850 t de nueva estructura metálica a añadir se prefabricaron previamente en taller. Los 10 metros de tablero nuevo a incorporar en la zona central (formado por la chapa de piso, sus nervios transversales y tramos de vigas longitudinales en doble T en sus extremos) se transportan a obra divididos en dos mitades y en longitudes de aproximadamente 22 m. Dichas mitades se sueldan entre sí en una explanada próxima. La estructura metálica del contrapeso se transporta a obra dividida en tres tramos. El mamparo de rótula de giro en una sola pieza.

Además, y como paso previo a la soldadura, se realiza la preparación de los bordes de la estructura metálica antigua a los que, posteriormente, se van a soldar los bordes de la nueva.

El montaje en obra de la estructura metálica se realiza de forma convencional, sobre apeos perfectamente nivelados a las cotas adecuadas, sobre los que se colocan, con la ayuda de grúas automóviles, las distintas unidades que forman la nueva estructura metálica. Posteriormente, se realiza la soldadura de continuidad entre los distintos tramos.

Los tramos de clave, una vez completados en la explanada y realizado el montaje en blanco y pruebas en los cerrojos de enclavamiento, se transportan mediante pontona a cada una de las márgenes del canal de navegación y se montan sobre las torres de apeo con la ayuda de grúas automóviles.

Fig. 9. Traslado de las puntas despues de montaje en blanco.

2.2.6 Instalación de mecanismos

Las labores de montaje y soldadura en obra de la estructura metálica se simultanean con trabajos de instalación de mecanismos, equipos hidráulicos y eléctricos que permiten el movimiento rotatorio del puente.

Los mecanismos que hay que colocar en los nuevos fosos son los siguientes:

- Rótula de giro
- Carril de rodadura y Carretones dorsales
- Patas de apoyo fijas y móviles (para basculamiento en alzado de una de las hojas)
- Enclavamientos frontales y dorsales
- Centrales hidráulicas de mando y control
- Instalación eléctrica e hidráulica

La rótula se coloca sobre su plinto de apoyo en la obra civil del recinto, previamente nivelada con un mortero autonivelante sobre el que se dispone una placa anclada con pernos Nelson.

La superficie inferior del mamparo de giro se mecaniza en una superficie de 2x2 m, de forma que se garantiza el perfecto apoyo de toda la superficie de la rótula, y el paralelismo con la placa de apoyo inferior.

Cada una de las hojas del puente basculante se apoya sobre la rótula al final de la maniobra de gateo.

Las vías de rodadura se ejecutan previamente a la colocación de los carretones cuidando mucho la nivelación de las mismas y su posicionamiento en planta.

Los carretones dorsales se colocan una vez están las hojas en su posición final (después de realizado el gateo y apoyo en rótula), apoyándolos provisionalmente en su posición mientras se toman medidas para realizar los ajustes geométricos necesarios en las piezas soporte que los vinculan y unen con el contrapeso.

De la misma manera se montan las patas fijas y móviles, y se realizan los ajustes correspondientes en las piezas que las unen al contrapeso.

Fig. 10. Izquierda: Colocación de rotula. Derecha: Colocación de carretones dorsales.

Durante la ejecución de los trabajos de modificación de la estructura metálica en la zona de clave, los enclavamientos frontales han quedado alojados en su posición dentro de las vigas principales de cada hoja. Durante el montaje en blanco de dicha clave se realizan las comprobaciones de funcionamiento y encaje de los cerrojos en cada una de las hojas.

Los enclavamientos dorsales fueron retirados en las fases iniciales de la obra y su colocación en la zona de ampliación dorsal se realiza durante los trabajos de montaje y soldadura de la estructura metálica.

Los elementos que forman los enclavamientos dorsales y frontales se reutilizaron del puente basculante por lo que se realizó la correspondiente comprobación de su estado y mantenimiento necesario.

Previo al gateo de la estructura, se montan las instalaciones eléctricas e hidráulica que podrían tener acceso limitado con la estructura en su posición definitiva, y una vez alcanzada esta se colocan el resto de elementos en función de plazos de suministro y finalización de cuartos de maquinaria y torre de control.

2.2.7 Gateo hasta posición final

Una vez terminados los trabajos de armado y soldadura en obra, cada una de las hojas se encuentra apoyada en apeos provisionales en la vertical de su posición definitiva, pero aproximadamente 1 m por encima de la misma, por lo que es necesario descenderlas hasta su cota final.

Para realizar dicho movimiento vertical se disponen cuatro gatos de trepa de 300 t de capacidad dos a dos a cada lado de la rótula y bajo el mamparo de giro, y otros dos gatos de trepa de 500 t de capacidad bajo las vigas longitudinales doble T del tablero, a unos 28,5 m por delante de la rótula. Dichos gatos se disponen sobre la solera de los fosos con sus correspondientes rampones de reparto y sobre picaderos de madera de alta resistencia, de forma que se van realizando gateos de 10 en 10 cm.

La maniobra de descenso comienza liberando la carga de los apeos provisionales que sustentan la estructura metálica, y traspasando dicha carga a los gatos que se encuentran sobre los picaderos mediante un gateo de unos 15 cm. Una vez transferida la carga, con los gatos se van realizando descensos retirando sucesivamente piezas de madera de los picaderos, hasta concluirlo.

Durante todo el proceso se realiza un estricto control topográfico de la posición y alineación de cada una de las hojas, y se realizan las correcciones oportunas antes de dejarlo en su posición definitiva.

Fig. 11. Gateo y apoyo en rótula.

Además del equipo de gateo, se dispuso un sistema para corregir posibles desviaciones en planta de las hojas durante el descenso, tanto en sentido transversal como longitudinal. De forma que a falta de unos 5-10 cm para el apoyo final sobre la rótula se realizó un último replanteo de la estructura metálica para asegurar su correcta posición respecto de la rótula.

2.2.8 Relleno de contrapesos

Una vez las hojas se encuentran en su posición definitiva, apoyadas en las rótulas y en los carretones, se procede al relleno con hormigón en masa del contrapeso.

El hormigonado se realiza mediante bombeo a través de unas bocas dispuestas a tal fin en la chapa de piso del tablero.

Fig. 12. Hormigonado del contrapeso.

El hormigonado se realiza en varias fases; la primera, de 20 cm de espesor, se realizó previo al desapeo y gateo de forma que colaborase con la chapa de fondo del contrapeso a resistir sin apear el resto del peso de hormigón fresco. El resto del hormigonado se realiza en varias tongadas de una altura aproximada de 75 cm, hasta completar una altura de 4 m.

El equipo de gateo se mantiene durante la maniobra de hormigonado del contrapeso para garantizar la estabilidad de las hojas en sentido transversal y longitudinal. El centro de gravedad de cada hoja sin hormigonar el contrapeso se encuentra por delante de la rótula.

Con los gatos de los carretones se va realizando un control de la reacción que se obtiene en los mismos durante el relleno del contrapeso.

2.3 Remates y Acabados

La obra se completa con la torre de control, cuartos de maquinaria, valla fija perimetral, valla móvil, equipamiento eléctrico e hidráulico.

Las últimas actividades corresponden a remates y acabados, capa final de pintura de acabado a la estructura metálica completa, pavimentación del puente, aceras, señalizaciones, nuevas defensas a ambos lados de la calzada, prueba de carga, pruebas de los equipos mecánicos, hidráulicos, y eléctricos, y ajustes finales.

El primer movimiento y cierre de las hojas del puente rotatorio se realizó a finales del mes de Mayo resultando un éxito.

Fig. 13. Puente Rotatorio cerrado.

MECANISMOS Y SINGULARIDADES DEL PUENTE ROTATORIO DEL PUERTO DE VALENCIA

Carlos POLIMÓN OLABARRIETA
Ingeniero de Caminos
FPS
Dirección de Proyectos Especiales
cjpolimono@drace.com

Mª Pilar HUE IBARGÜEN
Ingeniera de Caminos
DRAGADOS, S.A.
Dirección Técnica
mhuei@dragados.com

Felipe TARQUIS ALFONSO
Dr. Ingeniero de Caminos
DRAGADOS. S.A
Jefe del Servicio de Estructuras, O.C.
ftarquisa@dragados.com

Resumen

El objeto de la ponencia es la descripción de los mecanismos, y las singularidades que condicionaron su diseño, de la obra de Reubicación del Puente Móvil de Puerto de Valencia. La citada reubicación supuso la transformación del funcionamiento del puente de basculante a rotatorio. El puente rotatorio del Puerto de Valencia es uno de los escasos ejemplos (si no único) construidos en su tipología en España.

Palabras clave: Puente rotatorio, rótula esférica, carretones eléctricos, automatismos, reutilización de equipos

1. Singularidades que condicionaron el diseño de los mecanismos

El 1 de octubre de 2007 fue adjudicada la obra "*Reubicación del Puente Móvil del Puerto de Valencia*" a la UTE formada por las empresas FPS (FLOTA PROYECTOS SINGULARES), DRAGADOS y CYES (CONSTRUCCIONES Y ESTUDIOS). El objeto de la obra consistía en el cambio de emplazamiento y de uso del Puente Basculante del Puerto. Dicho puente servía de conexión entre transversales para tráfico ferroviario de mercancías y había quedado sin uso en la reestructuración que sufrió del Puerto para el desarrollo de la Copa América de vela.

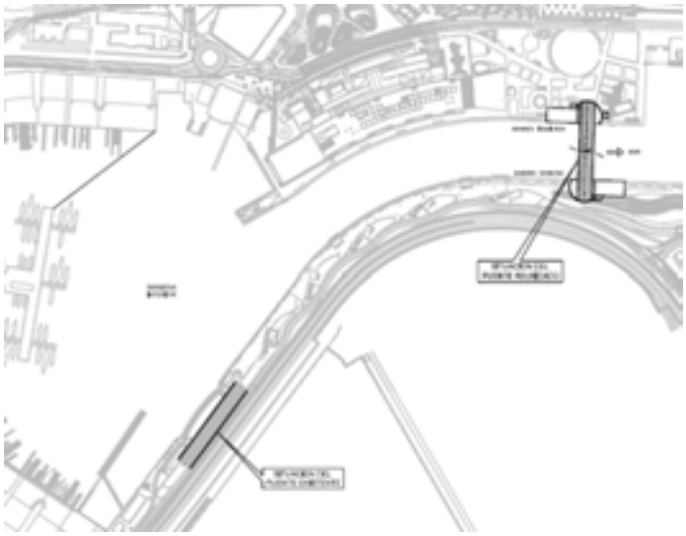


Figura 1. Situaciones original y definitiva del Puente Móvil del Puente del Puerto de Valencia

El Proyecto de Licitación contemplaba las siguientes actuaciones en el puente:

- Cambio de emplazamiento, desde la antigua posición a la nueva bocana.
- Cambio de uso de tráfico ferroviario a carretero.
- Ampliación del ancho interior de 8 a 18 m.

- Transformación de puente basculante (eje de giro horizontal) a rotatorio (eje de giro vertical).
- Reutilización máxima de equipos.
- 8 meses de plazo de ejecución.

En este punto se analizan las singularidades que introdujeron las distintas actuaciones a realizar en el diseño de los mecanismos del nuevo puente rotatorio.

1.1 Singularidades debidas al plazo de la obra y al cambio de emplazamiento

La obra civil del antiguo puente basculante consistía en un recinto apantallado de 13 m de profundidad, que alojaba la parte de tablero que quedaba por detrás de la rótula de giro. Dicho recinto estaba constituido por pantallas de hormigón de 1 m de espesor y 32 m de profundidad que trabajaban en voladizo en la profundidad dada.

El antiguo recinto era una obra de cimentación de gran envergadura que, de haberse repetido, hubiera ocupado una parte muy importante del plazo de la obra. Esta fue la causa principal que motivó el cambio de puente basculante a puente rotatorio. El puente basculante introduce una parte importante del tablero en tierra mientras que el rotatorio en su recorrido "barre" el espacio por encima de la cimentación.

Esta necesidad de obra civil de cimentación de escasa profundidad fue de gran relevancia debido a que para la ejecución de la misma sólo se disponía de tres meses y medio.

Fig. 2 Recinto apantallado del antiguo puente basculante

La estructura existente del canal de la Copa América influyó decisivamente en el mecanismo de giro a emplear. La estructura existente consistía en dos pantallas de hormigón con una losa superior de cierre, cuya cota máxima era la -1.62 m. Cualquier cimentación del puente por debajo de esa cota hubiera obligado a desmantelar la estructura el canal, lo que hubiera supuesto un aumento considerable de plazo.

Esta circunstancia hacía necesaria la utilización de un sistema de giro que no necesitara de grandes cantos. Esto impidió que el eje de giro pudiera absorber momentos flectores y que, por lo tanto, la reacción durante el giro pudiera estar centrada en él. De esta forma se decidió la utilización de una rótula esférica que actuara como apoyo simple, favoreciendo la aparición de una reacción trasera y, en consecuencia, de la necesidad de materializar una rodadura. Así la resultante de peso propio se dividía entre la rótula de giro y la reacción dorsal, que a su vez absorberían los esfuerzos transversales durante los movimientos de apertura y cierre debidos, fundamentalmente, al viento.

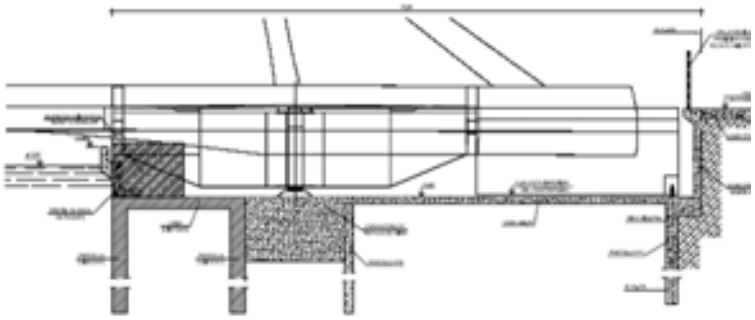


Fig. 3 Recinto apantallado del nuevo puente rotatorio y pantallas existentes del canal.

La única cimentación por debajo de la cota -1.62 m fue la del encepado de la rótula de giro, que se materializó mediante pantallas de hormigón que no llegaban a interferir con las existentes del canal de navegación.

Por último, el condicionante de plazo de la obra fue determinante en el diseño y fabricación de los mecanismos del puente, equipos altamente tecnificados con plazos de entrega muy ajustados para lo habitual en este tipo de trabajos. Los equipos fueron diseñados y fabricados en España.

1.2 Reutilización de equipos

Al inicio de la obra se procedió al análisis de la viabilidad de la reutilización de todos los equipos del antiguo puente basculante: cilindros principales, sistema de enclavamientos dorsales y frontales y centrales hidráulicas.

Los cilindros principales y las centrales hidráulicas que comandaban el sistema no pudieron ser reutilizados. En el caso de los cilindros principales su nueva posición de trabajo, horizontal frente a la antigua de 50º con la horizontal; sumado al incremento en el ancho del tablero de 8 a 18 m, y por lo tanto de cargas permanentes, hizo que no fuera viable su reaprovechamiento. Hay que tener en cuenta que en la posición de trabajo horizontal se introducen fenómenos de segundo orden en el trabajo a compresión del cilindro que limitan su capacidad máxima.

En cuanto a las centrales hidráulicas no se pudieron reutilizar debido a que en el nuevo puente se hizo necesaria la utilización de cilindros sincronizados, aplicación de las que no disponían las centrales.

Los equipos reutilizados del puente basculante, por lo tanto, fueron los mecanismos de enclavamiento frontal y dorsal.

Fig. 4 Enclavamiento frontal del puente basculante antiguo.

En el caso de los cerrojos dorsales la reutilización permitió la optimización del peso del contrapeso (1.700 t) dado que éste ya no necesitaba compensar la resultante de todas las sobrecargas de uso, sino sólo las que no son capaces de absorber los cerrojos dorsales.

En el caso de los cerrojos frontales, su reutilización permitió que la unión en la clave del puente continuara materializándose con un empotramiento. Fue necesario adaptar la estructura metálica de la clave en cuanto a la orientación de la junta del tablero, pasando de ser perpendicular al eje (puente basculante original) a esviada a 15º, permitiendo así el giro en planta del tablero.

2. Planteamiento general de los mecanismos

Los mecanismos que se diseñaron bajo los condicionantes expuestos debían ser capaces de dar solución a los distintos comportamientos estructurales del tablero. Se analizaron, por lo tanto, las distintas características que debían cumplir tanto para el movimiento de cada hoja como para el servicio de la estructura cerrada.

Estructura en movimiento:

- Dos tableros isostáticos con apoyo central en la rótula de giro y una línea de apoyo dorsal.
- Acciones fundamentales sobre la estructura: Cargas permanentes y el viento.
- Mecanismos capaces de producir el movimiento.

Fig. 5 Movimiento isostático de una de las dos hojas.

Estructura en servicio:

- Puente hiperestático con 4 líneas de apoyos: los dos apoyos dorsales y las dos rótulas de giro.
- Empotramiento en clave materializado mediante los enclavamientos frontales de cada hoja.
- Puente sometido a las acciones de la IAP.

Fig. 6 Puente cerrado. Hiperestatismo en servicio.

Las fases de movimiento fueron resueltas mediante el diseño de una serie de carretones eléctricos que materializando el apoyo (rodadura) trasero fueran capaces a su vez de producir la tracción necesaria para mover la estructura. La

elevada distancia del apoyo dorsal a la rótula de giro (19.70 m) hizo que la fuerza necesaria para mover la estructura fuera reducida. Se fabricaron 8 carretones por hoja de 120 t de capacidad unitaria máxima.

Fig.7 Carretón de apoyo dorsal con cilindro hidráulico.

Por otra parte, los carretones debían ser capaces de compensar las acciones transversales producidas por el viento durante el movimiento, dado que el apoyo delantero del tablero era una única rótula esférica centrada en el eje del tablero. El efecto del viento transversal sobre el tablero se traducía en una ley triangular de presiones que sobrecargaría a cada carretón en función de su distancia al eje del tablero, produciendo así cargas inadmisibles en los carretones extremos.

Para asegurar el equilibrio del tablero y un buen reparto de cargas se definió un sistema hidráulico de compensación de cargas en los carretones con dos objetivos:

- Laminar el efecto de la distribución triangular de las cargas de viento.
- Materializar el apoyo de los ocho carretones en dos únicos puntos. De esta forma el apoyo del tablero en movimiento se materializaba con tres apoyos: rótula central y dos “patas” hidráulicas en los carretones.

Los ocho carretones se conectaron hidráulicamente en dos grupos de equipresión de cuatro carretones cada uno a cada lado del eje del tablero. De esta forma se conseguía el doble objetivo, dado que cada grupo materializaba un apoyo en el centro geométrico de cada cuatro cilindros y, en cada grupo, todos los cilindros trabajaban con la misma carga.

En la posición de servicio las sobrecargas de uso debían ser absorbidas por los apoyos del puente, rótula central y apoyos dorsales. Los apoyos dorsales de movimiento definidos sustentaban la carga en un doble sistema hidráulico diseñado para las cargas permanentes y el viento de maniobra. Los valores de las cargas de diseño del sistema, por lo tanto, eran muy inferiores a los del puente en servicio, por lo que se decidió no dimensionar estos mecanismos para esta fase. Por otra parte, sustentar en servicio el puente mediante un sistema hidráulico susceptible de averías o de pérdidas de aceite hubiera reducido la vida útil de los elementos.

Para el apoyo dorsal en esta fase se diseñaron unas patas de apoyo que realizaran la transmisión de cargas por contacto. Se decidió disponer una pata a cada lado del tablero de 18 m de ancho, con lo que se mejoraba enormemente la estabilidad del tablero. El disponer únicamente dos patas respondió a la voluntad de eliminar hiperestatismos en el sistema de apoyo, el disponer más apoyos por tablero hubiera obligado a dotarlo de un sistema de regulación de cargas (normalmente hidráulico), que era lo que se quería eliminar.

Durante el movimiento los cilindros de los carretones elevaban 15 mm el tablero, de forma que las asientos esféricos de las patas diseñados para su apoyo fueran elevados respecto al carril. Una vez terminado el movimiento se recogía la carrera de los cilindros de forma que el puente bajaba a la cota de apoyo de servicio a la que se habían colocado las patas.

Fig.8 Pata de apoyo de puente en servicio

La estructura metálica donde se alojan los enclavamientos frontales del puente en ambas hojas fueron modificadas para que pudieran utilizarse en el nuevo. Para ello se tuvo en cuenta que debían permitir el movimiento de los dos tableros a la misma cota. Se realizó un estudio geométrico conjunto en planta y alzado de las operaciones de cierre de los tableros para comprobar que la geometría dispuesta en los enclavamientos era suficiente. De los datos extraídos de este estudio se concluyó que había que dotar de mayor holgura de la proyectada a las hojas para poder realizar el movimiento en las condiciones más desfavorables. Para aumentar la holgura proyectada se decidió dotar a una de las hojas de un movimiento de basculamiento respecto a su rótula. Por medio de dos cilindros sincronizados de 450 t de capacidad máxima unitaria alojados en las patas de una de las hojas se conseguía producir el basculamiento de la punta de la hoja. Los cilindros sincronizados producían un levantamiento de la parte trasera de la hoja de forma que el puente no tenía movimientos incontrolados, basculando así respecto a la rótula esférica de apoyo. Debido al gran voladizo de la estructura, levantando 5 cm la parte trasera del contrapeso se conseguía un descenso de la punta de la hoja de casi 18 cm, que daban al enclavamiento la holgura necesaria.

La secuencia de enclavamiento de los tableros quedó definida por las siguientes fases:

- Giro completo de la Hoja 1.
- Basculamiento de la hoja: descenso de la punta de la hoja 18 cm.
- Fin del movimiento de giro de la hoja 2 y, por lo tanto, posicionamiento del puente en planta
- Basculamiento de la Hoja 1: ascenso de la punta hasta la posición de cierre en alzado.
- Enclavamiento frontal.

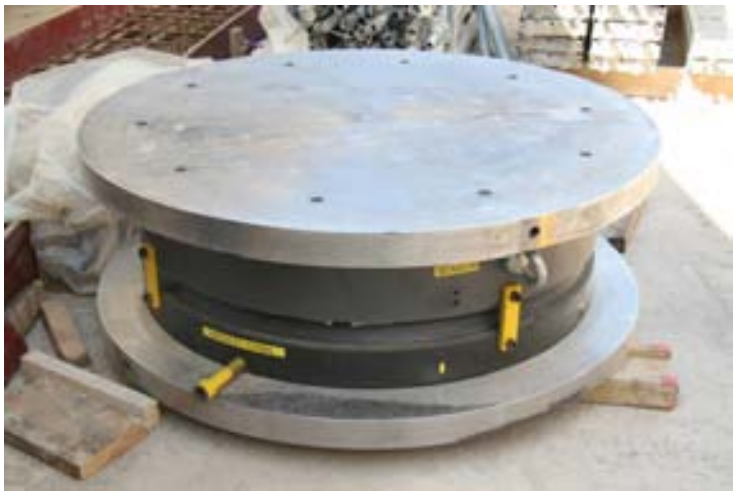
Fig.9 Hoja 2 " barriendo" en el giro por encima de la Hoja 1 basculada

3. Características de los mecanismos

A continuación se dan las características más relevantes de los distintos mecanismos del proyecto. Los mecanismos empleados son los siguientes:

- Rótulas esféricas de apoyo y giro de los tableros.
- Carriles de rodadura.
- Carretones de desplazamiento con sistema hidráulico integrado
- Patas de apoyo del puente para basculamiento.
- Enclavamientos frontales y dorsales.

3.1 Rótulas esféricas de apoyo y giro



- Carga máxima de diseño: 4500 t
- Giro máximo de diseño: 1º
- Diámetro exterior: 1250 mm
- Superficies en contacto para el giro: Orkot-Inoxidable
- Coeficiente de rozamiento máximo: 0.15
- Vida útil: 50 años.

Fig. 10 Rótula esférica ensamblada

Para la fabricación de las rótulas de giro se realizaron dos modelos de cálculo, uno estático y otro dinámico. Con los datos extraídos del cálculo de las deformaciones se procedió a la fabricación de un prototipo a escala ¼ para comprobar la bondad de los modelos de cálculo. Este modelo a escala reducida fue sometido a un ensayo estático previo a la fabricación de las rótulas a escala real,

Con los resultados obtenidos del modelo a escala reducida se procedió a la fabricación de las rótulas reales, que a su vez fueron sometidas a un ensayo estático previo al ensamblaje definitivo de la rótula. La carga de ensayo a la que fueron sometidas fue de 3000 t.

Fig. 11 Rótula esférica real y modelo reducido.

Las chapas que confinaban la rótula fueron fabricadas en acero de alta resistencia por lo que no podían ser soldadas. Para realizar una correcta transmisión de cargas entre la rótula y la cimentación, o el diafragma de giro del tablero, se intercalaron un conjunto de chapas encastradas, todas ellas mecanizadas.

Se mecanizó en obra la superficie de apoyo del diafragma para asegurar que el apoyo de la rótula en el diafragma era completo, sin irregularidades debidas a la fabricación del mismo.

Fig. 12 Mecanización en obra de la superficie de apoyo del tablero y colocación de rótula

3.2 Carriles de rodadura

Inicialmente se contempló el uso de carriles de grúa portuaria tipo A-100 o similar, pero finalmente se decidió por utilizar una platabanda oxicortada con el radio de giro necesario para el apoyo de la rueda. Esta decisión respondió a las siguientes premisas:

- La utilización de platabanda permitía dar mayor ancho al carril y, por lo tanto, se ganaba holguras en los montajes en obra.
- Se permitía que patas de apoyo del puente y ruedas trabajaran al mismo nivel con transiciones sencillas entre las zonas más anchas de apoyo de las patas y el carril normal.
- Esto permitía eliminar las pestañas de las ruedas, innecesarias para el movimiento de giro del puente debido a la existencia de un punto de giro fijo.
- El nuevo carril permitía transmitir cargas más elevadas.
- Se eliminaba la operación del curvado del carril, punto delicado de la fabricación y montaje, especialmente con un perfil tan asimétrico como el A-100.
- Las uniones de carril pudieron realizarse a inglete, favoreciendo el paso de la rueda de un tramo de carril al siguiente.

El replanteo y montaje de los carriles resultantes pudo hacerse con precisión inferior al milímetro.

Fig. 13 Vista general del recinto con los carriles antes de hormigonar.

3.3 Carretones de desplazamiento con sistema hidráulico integrado

Las características fundamentales del sistema de carretones son las siguientes:

- 8 carretones de 120 t de capacidad máxima por hoja. 16 unidades en total. 60 t de carga máxima por rueda.
- Ruedas de Ø630 mm sin pestañas y 170 mm de ancho.
- Cilindro hidráulico de 60 mm de carrera y 120 t de carga de diseño. 16 unidades en total.
- Cilindros equipados con finales de carrera para las distintas posiciones de trabajo y tope mecánico.
- Trabajo en equipresión en grupos de 4 cilindros.
- 2 motores por carretón de 2.4 Kw. 32 unidades en total.
- Variador de frecuencia en cada motor. 32 unidades en total.
- 1 Encoder por carretón (sistema de posicionamiento) integrado en el motor. 16 unidades en total. El sistema de posicionamiento es redundante con el de la rótula.
- Los cilindros de los carretones permiten levantarlos con el puente apoyado en patas 40 mm para labores de mantenimiento o sustitución.

Fig. 14 Carretones en contrapeso del puente.

3.4 Patas de apoyo del puente para basculamiento

Como se ha expuesto, se equipó las patas de una de las hojas con cilindros hidráulicos capaces de producir el basculamiento de la hoja completa, con las siguientes características:

- Dos cilindros sincronizados de 450 t de capacidad unitaria máxima.
- Sincronización de 1 mm de ajuste de carreras ente ellas.
- Carrera máxima de 150 mm.
- Giro estimado de 0,49º para producir un descenso de 18 cm en la punta.
- Los cilindros se diseñaron de forma que cuando no trabajaban eran capaces de transmitir 765 t de reacción máxima en servicio.

3.5 Enclavamientos frontales y dorsales

Los mecanismos existentes del antiguo puente consistían, tanto los dorsales como los frontales, en un cilindro hidráulico de doble efecto trabajando a baja presión que acciona una barra maciza de acero que entra en el otro tablero (cerrojos frontales) o en la obra civil de hormigón (cerrojos dorsales).

Fig. 15 Detalle del enclavamiento frontal de ambos tableros.

Fig. 16 Detalle de la caja de enclavamiento dorsal en la obra civil y del cerrojo delantero.

4. Control de la maniobra

La maniobra completa está comandada por ordenador desde una de las márgenes. Estas son algunas características del equipo:

- Anemómetro conectado al sistema. No deja comenzar las operaciones con un viento (medio o de ráfaga) por encima de los valores de referencia introducidos.
- Control electrónico de la maniobra: secuencia de operaciones definida en el programa. El programa tiene opción manual de forma que puedes ir confirmando todas las maniobras.
- Rampas de aceleración y deceleración contraladas electrónicamente.
- Control remoto del equipo por línea telefónica.
- Control manual de cada margen por separado.
- Encendido y apagado de semáforos terrestres y marítitmos.
- Control de la valla móvil de cierre de entrada al puente.
- Sistema wire less de comunicación entre recintos a ambos lados del canal. Además se instaló un cable de comunicaciones cruzando el canal. El sistema elige el camino de comunicaciones más rápido en cada caso.