

II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN

Realizaciones, Puentes



PUENTE BASCULANTE EN EL PUERTO DE VALENCIA PARA LA CONEXIÓN DE LOS MUELLES TRANSVERSALES DE LEVANTE Y PONIENTE.

Julio Martínez Calzón

Dr. Ingeniero de Caminos

Carlos Pozo Moya

Ingeniero de Caminos

Juan Jesús Álvarez Andrés

Ingeniero de Caminos

MC-2. Estudio de Ingeniería. S.L.

mc2@mc2.es

1. INTRODUCCIÓN

El objeto de la obra de la que forma parte el puente es la conexión de los tráficos rodado y ferroviario entre los muelles transversales de levante y poniente para eliminarlo de las zonas portuarias que rodean a la dársena interior y así poder incorporarlas a la ciudad. Por lo tanto, el puente basculante en el Puerto de Valencia constituye una realización singular en el conjunto de una obra que aporta un importante impulso de elevadas connotaciones urbanísticas para la zona del entorno del puerto.

Esta obra está en consonancia con las futuras líneas de actuación que la zona cercana al puerto ha de experimentar, a través de los planes especiales urbanísticos, para adecuar sus características a las nuevas tendencias de acercamiento entre el Puerto y la ciudad de Valencia, en un intento de gran envergadura que impulsan desde hace años todas las instituciones locales en orden a incrementar los atractivos genéricos de la ciudad y el puerto en los ámbitos turísticos y sociales.

La obra, propiedad de la Autoridad Portuaria de Valencia, se adjudicó en concurso de proyecto y obra a la U.T.E. Dragados – CYES y los autores del proyecto son D. Guillermo Ontañón Carrera (INTECSA) y D. Julio Martínez Calzón (MC-2). El plazo de construcción fue de 22 meses con fecha de terminación el 30 de septiembre de 2001.



Trazado de la obra a través de los muelles liberando la dársena interior

2. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL DISEÑO DEL PUENTE

Para la adecuada concepción del diseño global del puente se tuvieron en cuenta una serie de condicionantes y requisitos determinados por características de funcionalidad del puerto, tanto de los tráficos (rodado y de ferrocarril) a los que el puente debía dar

continuidad, como del tráfico marítimo que en fase abierta circularía a su través. Además, debido al importante papel que la obra tiene en su relación con la ciudad al servir de borde o frontera visual y formal entre la zona portuaria, de carácter industrial, y la zona del puerto de viajeros y de recreo en la dársena interior conectada a la parte urbana de la ciudad, se han tenido en importante consideración los aspectos paisajísticos, estéticos y de acabado indicados, a su vez, en el pliego del concurso tendentes a lograr una obra completa y de la más alta calidad global: técnica, económica y bella.

Un aspecto que en gran medida condicionó la tipología de tablero inferior adoptada fue el gálibo vertical tan reducido que determinaba la rasante del puente, cuya cota en clave es de 3,232 m. Con esta solución se ha conseguido una diferencia entre rasante y cota inferior de tablero de 0,775 m en una gran parte de la anchura del paso. El mayor impacto visual de la superestructura a que da lugar el tablero inferior, al destacarse visualmente en mayor grado los tirantes superiores respecto a otras soluciones, se canaliza de manera positiva hacia una presencia de gran atractivo visual y de imagen o emblema.

La distancia entre rótulas de giro se fijó en 98,0 m, que salva el actual ancho de bocana de 74,0 m mas el espacio necesario en el interior de los muelles para alojar las defensas anti-impacto frente a buques, aisladas de la cimentación del tablero para evitar interacciones entre ambas en el caso de un impacto. Además, la distancia entre rótulas vino condicionada por la prescripción de una distancia mínima de 3,0 m entre el tablero del puente en posición abierta y el buque de mayor tamaño.

3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

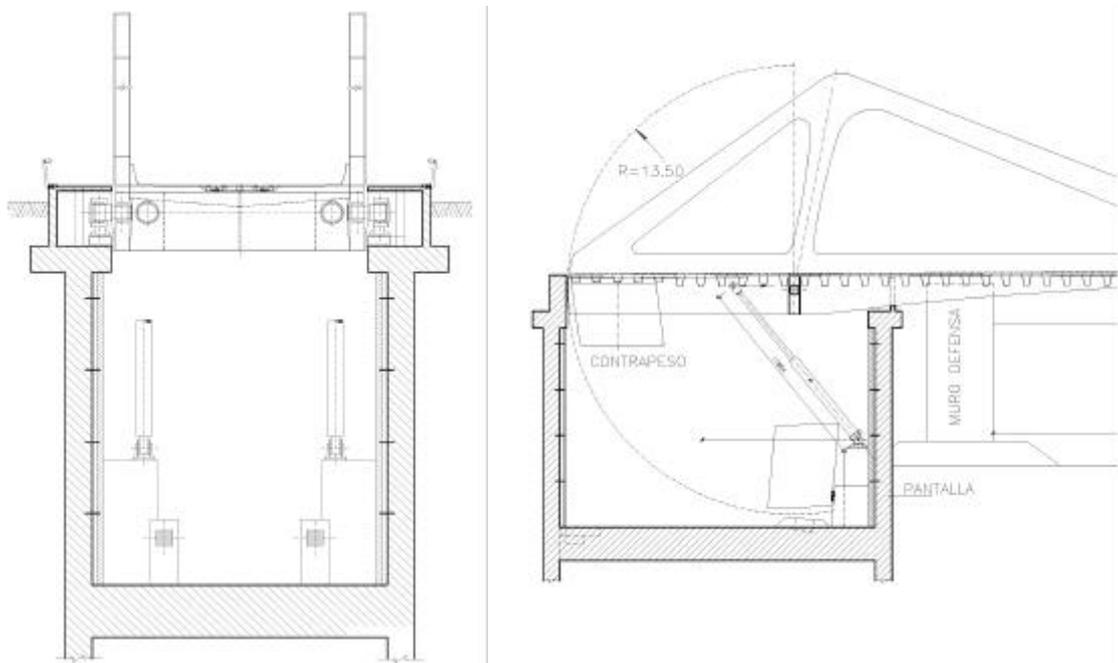
En la estructura del puente se diferencian dos zonas fundamentales:

- El recinto para alojamiento de la zona dorsal del tablero en posición abierta que se utiliza, a su vez, de cimentación del tablero.
- El tablero móvil con su contrapeso en el extremo corto dorsal para equilibrar el peso del lado largo frontal y fijar la resultante de la carga muerta en el eje de giro, de manera que el par mecánico necesario para la rotación del tablero sea lo menor posible y solo condicionado por fuerzas de rozamiento y viento.

El recinto para alojamiento de la zona dorsal está constituido por pantallas perimetrales de hormigón armado de 1,0 m de espesor y de unos 34,0 m de longitud. La solera del recinto está situada a la cota -12,2 m y tiene un espesor de 2,0 m. En coronación de la pantalla se

dispone una viga riostra postensada de 1,0 m de espesor que sirve de apoyo a las rótulas del tablero y de fijación a los enclavamientos traseros del tablero.

La solución del tablero propiamente dicho es de tipo de tablero inferior constituido por dos vigas portantes principales en cajón de 0,6 m de anchura separadas 8,0 m entre bordes interiores y una morfología intermedia entre ménsula y pieza atirantada. En su disposición se diferencia una zona de dintel inferior con su canto suavemente variable para mejorar la presencia estética de su borde inferior, con otras tres zonas que se elevan en altura constituidas por dos tirantes, uno frontal que llega a una zona intermedia del dintel y otro dorsal que llega al extremo dorsal del dintel, y un montante o mástil del que parten los dos tirantes anteriores. La distancia entre rótulas de giro es de 98,0 m y la longitud de los extremos dorsales, desde el eje de giro, es de 13,5 m.

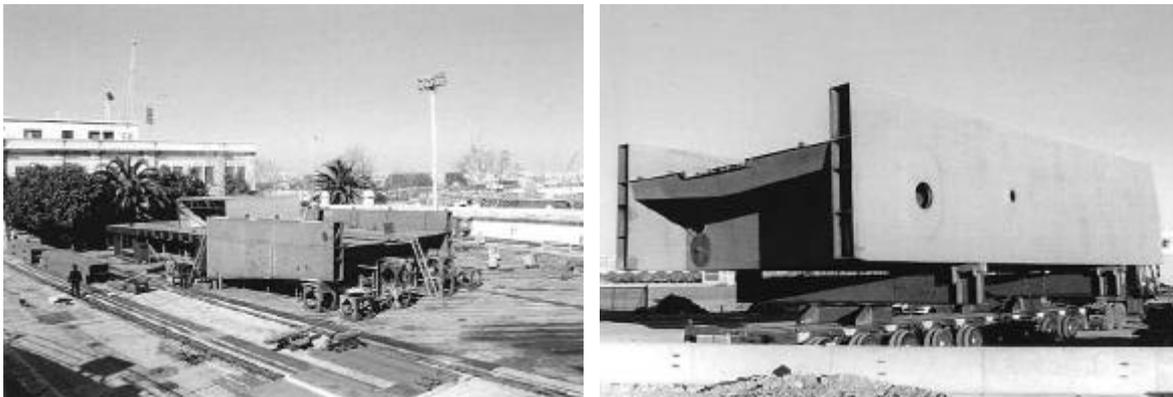


Sección transversal por el eje de giro y sección longitudinal

La plataforma del tablero es de chapa metálica ortótropa de 77,5 cm de canto máximo, constituida exclusivamente por nervios transversales, todos ellos iguales, de canto variable y homogéneamente espaciados. Esta homogeneidad y sencillez visual que tal disposición de travesaños produce juega un papel fundamental en la imagen abierta del tablero, resolviendo adecuadamente el efecto de las sombras de los propios nervios sobre el tablero, que en posición abierta y en ciertas horas centrales del día se aprecian de manera notable y que con otra disposición formalmente más “complicada” en el diseño de la chapa ortótropa

aportaría mayor confusión visual conjuntamente con el efecto de sombras. Además, constituye una solución estructuralmente eficiente para la configuración de cargas existente en la plataforma, como se comprobó en el proyecto de la estructura.

El espacio entre vigas principales comprende dos carriles para tráfico rodado de 4,0 m de anchura cada uno, incluidas las defensas y, solapado dentro del espacio de estos, una vía de ancho RENFE centrada en la plataforma, de manera que no se pueden dar simultáneamente los dos tipos de tráfico. El peso total de ambas hojas del tablero es de 1941 toneladas, incluida toda la carga muerta.



Montaje en blanco de estructura metálica en taller y transporte de un módulo a obra

A ambos lados de las vigas principales se coloca una plataforma de malla metálica sobre travesaños en ménsula para el paso de peatones. Esta disposición se adopta para reducir al máximo la anchura transversal de la plataforma que recibe las cargas de tráfico que dimensionan el tamaño y separación de los nervios transversales.

El contrapeso necesario para equilibrar el peso del resto del tablero móvil y centrar la resultante en el eje de giro tiene un peso de 541 toneladas (media de ambos contrapesos) y está constituido por una estructura principal a base de dos vigas armadas transversales unidas a las dos vigas cajón principales y perfiles metálicos que se sujetan en dichas vigas armadas. Este entramado principal sirve de sustentación a una masa heterogénea que compone el verdadero lastre pesante del contrapeso formada por un agregado de lingotes metálicos rellenos por un mortero fluido y revestido exteriormente por chapas metálicas que ayudan a equilibrar, a modo de tirantes, las bielas de la masa compacta de lingotes y mortero.

Un aspecto importante tenido en cuenta ha sido el de las tolerancias necesarias para absorber las variaciones térmicas en la zona de clave, en especial por el efecto de curvatura

contraria que se produce en ambas hojas debido al soleamiento en posición abierta, de manera que cuando el puente se cierra una hoja queda con un movimiento hacia arriba de la clave y la otra con movimiento hacia abajo.

El volumen interior de las vigas principales y los nervios transversales se ha previsto herméticamente cerrado para minimizar los costes iniciales de protección, al ser zonas inaccesibles, y de mantenimiento en un área marítima como es ésta.



Recinto de pantallas con émbolos y maniobra de empuje del tablero

4. ELEMENTOS DE FIJACIÓN Y MOVILIDAD

Para conseguir la movilidad necesaria el tablero gira en torno a su eje horizontal, materializado por dos rótulas de gran capacidad compuestas por cojinetes deslizantes esféricos con superficie de bronce e inserción autoengrasante con lubricantes sólidos, de manera que el mantenimiento de las rótulas es prácticamente innecesario. Los ejes de dichas rótulas atraviesan las dos almas de las vigas portantes principales y crean un par de fuerzas verticales sobre las almas (exterior e interior) de dichas vigas para compensar la flexión originada por la excentricidad de la carga vertical sobre la rótula, exterior a las vigas. A través de una viga armada transversal que une las dos vigas principales en esta zona del eje se da continuidad a la flexión anterior.

La fuerza necesaria para el movimiento es aplicada por dos grandes émbolos hidráulicos por hoja, que se anclan en la zona dorsal de las vigas portantes, por un lado, y en la parte

inferior frontal del recinto, por otra, de forma que en ninguna posición del tablero los émbolos quedan vistos al exterior. Además, de esta forma la posición más frecuente es la de émbolo recogido, lo que mejora su mantenimiento. El accionamiento del puente puede ser automático, semiautomático o manual desde el puesto de mando en el muelle transversal de poniente.

Los enclavamientos dorsales que fijan el tablero en las posiciones abierta y cerrada están constituidos por grandes cerrojos de acero templado y revenido de alta resistencia, los cuales son accionados mediante cilindros hidráulicos. La fijación se realiza sobre la viga riostra del recinto, para posición cerrada, y sobre la solera del recinto, para posición abierta. Existen dos tipos de enclavamientos en el extremo de clave para solidarizar una hoja con otra. Por un lado se encuentran los cerrojos situados en las vigas principales cuya misión es doble: solidarizar ambas hojas frente al movimiento vertical resistiendo el cortante que se produzca en clave para igualar movimientos entre ellas, y permitir un cierto empotramiento al giro. La misión más importante de este empotramiento es la de limitar el giro diferencial entre hojas en la clave para una buena funcionalidad del ferrocarril, más que bajar los esfuerzos de la flexión negativa en apoyos por desarrollo de flexión positiva en centro de vano. Por otro lado están los enclavamientos de carril diseñados como pasadores entre los extremos de carril de cada hoja para garantizar una transición suave de una hoja a otra en la rodadura ferroviaria y salvar el hueco de junta que existe entre ambas hojas.



Montaje en posición desplazada y enclavamiento en clave

En la concepción general del puente se ha tenido una sensibilización especial en las condiciones de seguridad. En particular se han tenido en cuenta, para cada disposición posible, los siguientes elementos y diseños:

- Barrera móvil enterrada bajo la rasante en zona de muelle frente a paso de trenes con el puente en posición abierta.
- Motores diesel de emergencia para suministro provisional de corriente en caso de interrupción en el suministro de energía.
- Hipótesis de fallo de los émbolos por sobrepresión.
- Hipótesis de fallo de alguno de los enclavamientos (uno por hipótesis).
- Velocidad máxima de viento en operación.
- Sistemas de señalización para regulación de tráfico terrestre y marítimo.
- Muelle de bloques como defensa contra impacto de buques aislado del recinto de pantallas que sirve de cimentación al tablero



Tablero en posición cerrada y tablero en movimiento

5. PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo venía condicionado fuertemente por las estrictas condiciones de tiempos límite en que era posible interrumpir el tráfico marítimo a través de la bocana entre muelles. La solución adoptada fue la de construcción apeada de cada hoja completa en seco (incluso contrapesos y gran parte de carga muerta) en una posición desplazada hacia el interior del muelle y ligeramente elevada respecto de su posición final. Una vez completada se realiza un desplazamiento y descenso hasta llegar a la situación definitiva sobre el recinto de pantallas.

En el montaje durante la fase apeada se incorporaban tramos del tablero que venían ejecutados desde taller con la consideración de la contraflecha. En taller se realizaron los montajes en blanco necesarios para garantizar el buen ensamblaje de las piezas (sobretudo

las de clave) y se tuvo en cuenta la repercusión en la longitud total que las temperaturas de montaje determinan.

Finalmente, los controles topográficos han sido de la máxima importancia a la hora de garantizar el correcto posicionamiento final de todos los elementos. El ajuste era múltiple; por un lado, respecto de las posiciones de los ejes de giro de cada hoja (lo que incluye también la posición del recinto), y por otro, el ajuste milimétrico entre ambas hojas en la zona de clave.



Imagen nocturna con iluminación ornamental

II CONGRESO DE ACHE DE PUENTE Y ESTRUCTURAS

Realizaciones, Puentes



**Construcción del Puente Móvil en el Puerto de Valencia
Pilar Hue Ibargüen
Angel Ortega Arias
Felipe Tarquis Alfonso**

1. INTRODUCCIÓN

El Puente Móvil une los muelles transversales de Levante y Poniente de la dársena interior del Puerto de Valencia y permite desviar el tráfico ferroviario y rodado, necesario para la comunicación y explotación de las instalaciones portuarias, e incorporar para la ciudad los sectores portuarios situados en torno a dicha dársena interior, objetivo de gran influencia social y que permitirá mejorar sustancialmente el entorno marítimo de la ciudad de Valencia.



2. DESCRIPCIÓN GENERAL

El puente móvil es de tipo basculante y consta de dos hojas, con una luz entre apoyos (rótulas de giro) de 98 m, que supone un record mundial para este tipo de estructuras con tráfico ferroviario. La longitud total del puente es de 125 m, es decir, 62.5 m de longitud total para cada una de las hojas, de los que 49 m corresponden al tramo sobre el agua y 13.50 m al tramo dorsal de compensación bajo el cual se sitúa el contrapeso que permite

equilibrar completamente el sistema bajo las condiciones de carga permanente, tanto en la posición cerrada como en cualquiera de las abiertas, al situarse el centro de gravedad de toda la masa del puente más dicho contrapeso en el eje de giro de la estructura.



La anchura total es de 11.7 m, comprendiendo dos aceras exteriores de 1.25 m, dos vigas principales de 0.60 m y 8 m de plataforma central. La vía de ferrocarril se sitúa en el centro de esta plataforma, en cuyos laterales se disponen unas defensas metálicas con perfil Nueva Jersey, para protección de las vigas principales y alojamiento de instalaciones eléctricas e hidráulicas.

La rasante del tablero presenta un acuerdo parabólico, con vértice en la clave y pendiente longitudinal máxima inferior al 1%. La cota de la clave en posición cerrada es de +3.23 m por lo que no permite en dicha posición el paso de embarcaciones bajo el puente. La anchura libre para el paso de embarcaciones en posición abierta es de 74 m medida entre los muelles transversales.

La estructura de cada hoja del puente es metálica y consta de dos vigas principales de sección cajón rectangular de ancho constante de 0,6 m. Cada una de ellas consiste en una pieza inferior continua, de canto variable entre 3,6 m en el tramo trasero de compensación y 1,6 m en la clave, con un tirante frontal, otro dorsal y un montante inclinado, todos con cantos ligeramente variables. Entre los elementos inferiores de dichas vigas se sitúa un tablero ortótropo con nervios transversales con sección en artesa, homogéneamente espaciados y con 77,9 cm de canto máximo.



El peso total de la estructura metálica de cada hoja, siendo algo superior la correspondiente al lado de Poniente, es de unas 440 t, que se incrementa hasta unas 490 t al incluir los pavimentos, carriles, aceras, barandillas y mecanismos de enclavamiento tanto dorsales como de clave.

Los contrapesos, situados en la zona trasera de los tramos de compensación, se materializan por sendos paralelepípedos de dimensiones 8 m x 5 m x 3,4 m y 3,5 m respectivamente, con una densidad media de $4,2 \text{ t/m}^3$, realizados con hormigón armado, chatarra seleccionada y lechada de cemento. El peso de los mismos es de 530 t para el de Levante y 550 t para el de Poniente.

Los tramos dorsales de compensación en fase abierta, contrapesos y maquinaria de elevación se alojan en dos fosos con dimensiones exteriores en planta de 20,85 x 12,85 y 13 m de profundidad. Dichos fosos están constituidos por pantallas de hormigón armado de 34 m de profundidad y un metro de espesor, coronadas a la cota +0,8 por una viga riostra, en forma de marco de 1 m de altura, que las acodala y da continuidad. Sobre esta viga apoyan las rótulas de giro, y se encuentran los alojamientos para los mecanismos de enclavamiento y topes laterales, constituyendo la cimentación del puente. La solera de los fosos está formada por una losa de 2 m de espesor, situada a la cota -12.20. Estos recintos

se rematan en su parte superior con aceras y barandillas fijas correspondientes a los tramos de compensación del puente.



Los mecanismos de que dispone cada hoja del puente son: dos rótulas principales de giro, dos cilindros hidráulicos principales de accionamiento, dos cerrojos de enclavamiento trasero y dos cerrojos de enclavamiento en clave con sus correspondientes rodillos de guiado y cilindros de accionamiento.

Para cada una de las hojas del puente el accionamiento de los cilindros principales y cerrojos de enclavamiento se realiza mediante un grupo motobomba cuádruple. En caso de fallo del suministro eléctrico se dispone de un grupo electrógeno en el lado de Poniente, y en caso de avería de los dos sistemas anteriores, el puente puede ser accionado por un conjunto diesel-bomba.

El sistema de accionamiento está proyectado para un tiempo de apertura del puente de 2 minutos y de cierre de 3 minutos para el servicio normal.

La obra se completa con los edificios donde se sitúan los equipos hidráulicos, eléctricos, grupos electrógenos, subestación y torre de control.

3 PROCESO CONSTRUCTIVO

La obra comienza con la restitución de un tramo de ambos muelles transversales, Levante y Poniente, para ejecutar un tipo de muelle más monolítico que el existente y proteger de un eventual impacto de un barco los recintos de mecanismos situados en el trasdós de dicho muelle. Para ello hay que demoler los muros existentes con medios flotantes y terrestres. Una vez dragada la zanja de las nuevas alineaciones hasta la cota -10 m se vierte la escollera enrasada para formar la banqueta de cimentación sobre la que se construye el nuevo muro de hormigón apoyado a la cota -7 . Dicho muro consiste en dos líneas de bloques prefabricados (exterior e interior), rellenando el espacio entre dichas alineaciones con hormigón sumergido. Los bloques prefabricados, con dimensiones exteriores de 2 m de largo, 2 m de ancho y 2.5 m de alto, tienen forma en planta en doble T para mejorar su trabazón con el resto del hormigón del muro, se fabrican sobre una solera de hormigón en la explanada adyacente, donde se posicionan los encofrados y se hormigonan por vertido directo. La colocación de los bloques se efectúa mediante grúa desde tierra, formando tres hiladas hasta conseguir una altura total de 7.5 m sobre la banqueta de cimentación. Sobre el muro se ejecuta una superestructura de coronación de hormigón armado.



La comunicación de los servicios entre ambos lados del puente se realiza mediante cinco tubos de polietileno, revestidos de hormigón y enterrados.

Una vez terminados los muelles se ejecutaron las pantallas que constituyen los muros laterales de los fosos. Debido a la escasa consistencia del terreno dichas pantallas se realizaron en dos fases, una primera a base de pre-pantallas de bentonita-cemento hasta 16

m de profundidad, para, posteriormente retirarla en una segunda fase ejecutando la correspondiente pantalla de hormigón armado hasta la cota -32. Las armaduras, de 34 m de longitud, fueron colocadas de una sola vez.

Una vez ejecutadas las pantallas con su correspondiente viga riostra, se excavó el interior de los fosos hasta la cota -15 m manteniendo el agua en su interior hasta construir una presolera de hormigón sumergido de 0,8 m de espesor medio. Después de achicar el agua se ejecutó, sobre la losa de hormigón sumergido, una solera de hormigón armado de 2 m de canto resistente a la subpresión y que arriostra las pantallas en fase definitiva.

Para aliviar las subpresiones en la presolera de hormigón sumergido durante la fase de vaciado se ejecutaron drenes de alivio.



Para minimizar el plazo de la obra, se construyeron simultáneamente los fosos y las dos hojas basculantes del puente, por lo que éstas se montaron fuera del emplazamiento del foso y alineada con el mismo, a 60 m de su posición definitiva, llevándolas posteriormente a su posición mediante el lanzamiento de cada una de las hojas completas incluso contrapesos, pavimentación, aceras, barandillas e instalaciones mecánicas, eléctricas e hidráulicas.

Dado que los contrapesos han de quedar 2,10 m más bajos que el borde superior de los fosos, y que deben pasar sobre éstos durante las maniobras de lanzamiento, es necesario realizar el montaje de las hojas elevadas aproximadamente 2,2 m de su posición definitiva, para, luego de desplazarlas 60 m sobre la alineación del foso correspondiente, descenderlas 2,2 m hasta su cota final.

Las hojas del puente se fabricaron en taller dividiéndose la estructura metálica de cada hoja en siete grandes bloques, cinco para el tablero, más tirante trasero-mástil y tirante delantero.

Antes del envío a obra se realizó un montaje en blanco de las hojas para garantizar el perfecto acoplamiento de los bloques entre sí y de los enclavamientos centrales de las dos hojas.

Una vez realizado el montaje en blanco de los bloques éstos se trasladan a obra, y se colocan mediante grúa sobre apeos provisionales perfectamente nivelados a las cotas adecuadas. Una vez finalizadas las operaciones de soldeo en obra de los bloques, se procede al montaje de los mecanismos: rótulas de giro con sus ejes, enclavamientos traseros y ejes de cilindros hidráulicos principales.



Las últimas operaciones antes de proceder al empuje de las hojas son las de fabricación de contrapesos, montaje de aceras y barandilla, defensa Nueva Jersey, colocación de carriles, pavimentación, capa de acabado en pintura, iluminación, instalaciones hidráulicas y eléctricas para mecanismos.

Los trabajos de lanzamiento comienzan por el desapeo de la hoja correspondiente, maniobra en la que se comprueba que el centro de gravedad total está en la posición

adecuada. Para ello se utilizan los gatos hidráulicos de los patines de lanzamiento. Bajo las rótulas de giro se dispone de unos patines principales de 1000 t de capacidad de carga, ayudados por otros dos auxiliares, de 500t, situados bajo una viga provisional ubicada en la parte trasera de la hoja.



Al estar el centro de gravedad de la totalidad de estructura metálica más contrapeso definitivo en el eje de giro, donde apoyan los patines delanteros, se dispone sobre la parte trasera del tablero un contrapeso provisional de 90 t.

Los patines se deslizan sobre almohadillas de neopreno-teflón dispuestas sobre raíles especiales en forma de “U”, colocados sobre vigas de hormigón. La fuerza de empuje la proporcionan dos gatos hidráulicos, de 64 t, que actúan entre los patines principales y los raíles.

Cuando la hoja llega a su posición definitiva sobre el foso se controla topográficamente su situación en planta. Para iniciar la maniobra de descenso, se liberan los patines principales de las cargas que actúan sobre ellos, bajando los gatos de que disponen y transfiriendo aquellas a los patines auxiliares y a dos picaderos dispuestos sobre el borde delantero del foso, el más próximo al mar.



Los picaderos de madera de azobe de un metro de largo y sección de 10x10 cm, dispuestas en tongadas cruzadas. En su parte superior se coloca un gato de 500 t con carcasa cuadrada. Entre éste y el puente se disponen unas vigas en perfil HEM para transmitir la carga. Para resistir el efecto de posibles vientos transversales, se arriostran con cables.

La primera fase de descenso se realiza mediante los gatos de los patines traseros y la retirada sucesiva de las piezas de madera en los picaderos delanteros. Cuando se agota el recorrido de los gatos de los patines traseros, se instalan, entre la viga trasera provisional y la viga riostra del foso, dos nuevos picaderos de madera con gatos de 500 t.

Una vez transferida la carga, el descenso continúa retirando las piezas de madera de los cuatro picaderos hasta conseguir que las rótulas de la hoja descansen sobre la viga riostra.

Finalmente se aseguran las rótulas en su posición mediante barras postesadas, se procede a unir los cilindros de accionamiento de la hoja a los bulones que existen en la misma para tal fin, y a realizar las conexiones hidráulicas y eléctricas necesarias. Con ello la hoja queda dispuesta para ser levantada y dejar libre el paso por la bocana de la dársena.