

PUENTE ALBATROS

Leonardo FERNÁNDEZ TROYANO

Dr. Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado, S.L.
Ingeniero
cfcs1@cfcs1.com

Lucía FERNÁNDEZ MUÑOZ

Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado, S.L.
Ingeniero
luciafm@cfcs1.com

Guillermo AYUSO CALLE

Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado, S.L.
Ingeniero
gayuso@cfcs1.com

RESUMEN



Figura 1. Vistas generales del puente

El puente Albatros cruza sobre el canal Noroeste del río Balsas en el puerto de Lázaro Cárdenas, en la costa del Pacífico de México. Es un canal navegable con tráfico intenso de barcos de diferentes dimensiones. El viaducto tiene la rasante a una altura del orden de 20m sobre el nivel del agua, lo que permite el paso de la mayoría de los barcos que circulan por el canal. Para los barcos de mayor altura hay un tramo central basculante metálico que deja un canal libre de navegación con el puente abierto de 50m, y una luz entre ejes de giro de 61,70m.

Los viaductos de acceso son de hormigón pretensado resueltos con cajones aligerados prolongados lateralmente mediante losas nervadas. Estos viaductos tienen luces de 32m, hasta llegar al río donde se inicia el puente con dos pilas en V a cada lado y luces de 50m. En los extremos de los tramos de hormigón se apoyan las compensaciones de los tramos basculantes.

PALABRAS CLAVE: Puente basculante, viaducto de hormigón pretensado.

1. Planteamiento general del proyecto

El puente Albatros pasa sobre el canal Noroeste del río Balsas en el puerto de Lázaro Cárdenas uno de los principales puertos mexicanos del Pacífico. Este canal es navegable con un tráfico intenso de barcos de diferentes tamaños.



Figura 2. El puente basculante abierto y cerrado

El paso sobre un canal navegable plantea dos alternativas extremas: o bien un viaducto a gran altura que tenga gálibo suficiente para el paso de todos los barcos, o bien un puente bajo que se pueda abrir para que pasen los barcos.

La primera solución será necesaria cuando ambos tráficos, el automóvil de la carretera de paso, y el de los barcos sean intensos, porque un puente móvil da paso alternativamente a uno y otro tráfico. Pero subir el tráfico a la altura que requiere en ocasiones el gálibo de los barcos, que puede llegar a los 50 metros, requiere un viaducto de gran longitud debida a las rampas de subida hasta la altura del gálibo. Por ello, en general, siempre que las intensidades de los tráficos lo permitan, se hace un puente móvil, que no requiere rampas de acceso. Son varios los tipos de puentes móviles que se pueden utilizar: basculantes, giratorios, de desplazamiento vertical, etc.



Figura 3. El puente móvil basculante en construcción

En el caso del puente Albatros sobre el canal Noroeste del río Balsas, el tráfico de barcos es intenso, pero en su mayoría son barcos de altura reducida. Excepcionalmente pasan barcos de gran altura. El tráfico previsto en la carretera es de intensidad media, y por ello no permite una apertura del puente frecuente, pero sí puede admitir aperturas excepcionales.

Por ello se ha llegado a una solución intermedia mediante un viaducto que pasa sobre el canal con un gálibo libre de 16,50 metros, lo que permite que pase bajo él la inmensa mayoría de los barcos que circulan por el canal. Para los barcos de mayor altura se ha hecho un tramo

basculante en el centro del canal que abierto deja un canal de navegación de altura indefinida y de 50 metros de ancho. Este gálibo requiere un vano central entre articulaciones de 61,70 m.

Las condiciones anteriores han dado lugar a un viaducto de las siguientes características:



Figura 4. Viaducto de acceso de margen derecha

Dos viaductos de acceso de hormigón pretensado con longitudes de 140 m el de margen derecha y de 105 el de margen izquierda y con un ancho de 16 metros. En el viaducto de margen derecha parten del tronco principal dos ramales, uno a cada lado, que lo conectan con la carretera que pasa bajo él. Estos ramales tienen un ancho de 10,50 m.

Un puente sobre el canal Noroeste del río Balsas, dividido en tres tramos: Los dos tramos laterales son de hormigón pretensado con dos pilas en V cada uno. La estructura de estos tramos es continua con los viaductos de acceso y el tablero tiene la misma sección transversal. Un tramo central basculante metálico con una longitud de 93 m y ancho igualmente de 16 m.

2. Esquema general de la estructura

El conjunto del viaducto se ha dividido en tres tramos independientes, conectados por los pasadores que unen el tramo móvil con los viaductos de hormigón.

Estas conexiones entre los tramos fijos y móviles permiten desplazamientos pequeños entre las estructuras adyacentes y por ello se ha buscado una solución en la que estos desplazamientos sean mínimos en situaciones normales de explotación y en situaciones provocadas por los sismos.

Esto ha llevado a fijar los viaductos de hormigón en pilas en V del puente, y haciendo todos los demás apoyos deslizantes. Las dos losas del puente basculante están fijadas en las rótulas de apoyo y giro, y permiten desplazamientos en la clave, y en los apoyos de los contrapesos en el puente de hormigón.

Pero las pilas en V, si bien funcionan bien para las cargas y deformaciones de explotación, son incapaces de resistir los esfuerzos debidos al sismo.

Por esta razón, se han dispuesto en los estribos bloqueadores de choque, que en caso de sismo transmiten las cargas del tablero a los estribos.



Figura 5. Bloqueadores de choque de los estribos

Esto ha obligado a hacer unos estribos grandes que permitan estas cargas del sismo, lo contrario de lo que se hace actualmente, que es colocar amortiguadores en los estribos para reducir esta carga. Pero en este caso, debido a la existencia del puente móvil central, hemos adoptado la solución de fijar la estructura para sismo para evitar desplazamientos inadmisibles para el puente móvil.

Los efectos del sismo de los dos tramos del puente móvil se resisten en las pilas que soportan las rótulas sirven de alojamiento de la maquinaria y los gatos telescópicos.

Otro efecto del sismo se ha reflejado en la sección transversal de los viaductos de hormigón, que ha requerido un pretensado en los bordes de los voladizos laterales, debido a la flexión transversal en el plano del tablero. Por ello, se ha aumentado su espesor en los extremos para alojar el pretensado y para cabeza de compensación porque la flexión puede tener los dos signos.

3. Viaductos de acceso

Aunque, como hemos dicho, los viaductos de acceso y los tramos de hormigón del puente sobre el canal del río Balsas son continuos, formando estructuralmente un solo tramo, los hemos separado porque son estructuras diferentes en su planteamiento.

Los viaductos de acceso son vigas continuas de hormigón pretensado apoyadas en pilas verticales mediante apoyos de neopreno-teflón. Se ha resuelto con una sección en cajón único, aligerado interiormente mediante alveolos cilíndricos.

El cajón tiene un ancho de 6 m, lo que da lugar a unos voladizos laterales de 5 m, excesivamente grandes para resolverlos con una losa de espesor constante o variable. Por esta razón se ha utilizado en los voladizos una losa con nervios de canto variable, 0,80 m máximo, y situados cada 3 m. La losa tiene un canto constante de 0,25 m.



Figura 6. Ramal curvo del viaducto de acceso

En los ramales de margen derecha tienen un ancho de 10,50 m, y plantas en curva con radios del orden de 90 m. En ellos se ha hecho con la misma sección transversal del tronco principal, con un cajón de 4 m de ancho y voladizos de 3,25 m, y los mismos nervios. El canto del tronco principal y de los ramales es el mismo, de 1,40 m.

La luz tipo con que se han dimensionado estos viaductos es de 32 m. El de margen derecha tiene las siguientes luces: 24+3x32+30 y el de margen izquierda 24+2x32+30. Las luces finales de 30 son las que unen los viaductos de acceso con las pilas en V. Los ramales tienen luces de 24+2x32.

La construcción se hizo sobre cimbra por tramos sucesivos de $\frac{1}{4}$ de la luz de un vano hasta $\frac{1}{4}$ del vano siguiente, salvo los entronques de los ramales con el tronco, que se hizo de una sola vez.

4. Puente sobre el río Balsas

Como hemos dicho, el puente sobre el río Balsas se divide en dos partes: unos tramos laterales de hormigón y un tramo central móvil unidos por los pasadores que fijan los contrapesos de las hojas basculantes a los voladizos extremos de los tramos de hormigón.



Figura 7. Tramos de hormigón del puente y acceso de margen izquierda

En general, en los puentes basculantes, los tramos laterales de contrapeso y los gatos que mueven el puente se alojan en una pila de gran tamaño. En este puente, más alto que la mayoría de los basculantes, la pila se ha hecho con las dimensiones que requería el alojamiento de la maquinaria y las comunicaciones internas, pero el contrapeso se queda como vano exento que se apoya y se fija al extremo del tramo de hormigón.



Figura 8. Un tablero del puente basculante con el contrapeso y el pasador de fijación

La dimensión de 50 m del canal de navegación exigido al puente móvil, fijó la posición de sus pilas de apoyo, con una luz entre ejes de 61,7 m.

El canal tiene un ancho del orden de 200 m y por ello se ha resuelto con dos pilas adicionales en el agua y dos en las orillas del canal.

Las pilas se han hecho en V por varias razones: en primer lugar para que las luces del orden de 50 m se pudieran resolver con el mismo canto del tablero de los viaductos de acceso. En segundo lugar para hacer más rígido el voladizo de empalme del tramo de hormigón con el puente móvil, porque conviene que las deformaciones en este puntos sean pequeñas. Por ello, a partir de la V se ha dejado un voladizo de 5,85 m, y sin embargo la luz entre el eje de la pila en V y la pila del puente móvil es de 33,50 m.

4.1. Tramos de hormigón

Los tramos de hormigón del puente están formados por tres vanos de 40,50+50+17,85 m en el margen derecha, y simétrico en margen izquierda, salvo en el primer vano que es de 37,5 m. El primer vano es el de empalme con el puente móvil. Considerando las V el tablero se subdivide en cinco vanos de 30+22,5+27,5+22,5+5,85. El voladizo final es el que empalma con el puente móvil.



Figura 9. Pila en V durante la construcción

El tablero, como hemos dicho, es el mismo que el viaducto de acceso, y plantea los mismos problemas.

Ambos tramos se construyeron sobre cimbra. Primero se construyeron las V que se descimbraron mediante tirantes horizontales, y después se construyó el tablero.

4.2. Tramo basculante



Figura 10a. Tablero del puente móvil en construcción



Figura 10b. El tablero del puente móvil levantado

El puente basculante está formado por dos hojas equilibradas, mediante dos voladizos. El del vano central tiene 30,85 m y el lateral 15,65 m. La compensación se hace rellenando parte del vano lateral mediante un hormigón de 2,5 T/m³ de densidad.



Figura 11. Estructura del tablero del puente móvil

El tablero se ha simplificado al máximo; está formado por dos vigas laterales en cajón rectangular, con canto variable de 2,80 sobre apoyos a 1,85 en clave. Estas dos vigas se unen mediante una losa ortótropa formada por vigas transversales en T cada 3,75 m, chapa superior de media pulgada y rigidizadores longitudinales cerrados en U.

El vano principal del puente móvil tiene una luz considerable, 61,70 m. Por ello se ha decidido dar continuidad en clave para las sobrecargas, de forma que para carga permanente funcione como ménsulas compensadas, y para sobrecarga como una viga continua de tres vanos.



Figura 12. Apoyo en doble ménsula de la clave (ver también figura 10a)

En general, la continuidad en clave se hace mediante dobles pasadores que producen empotramiento. En este puente se ha resuelto mediante péndulas cruzadas que se apoyan en el voladizo opuesto, de forma que al pasar una carga sobre ellas los apoyos dobles producen un par que da continuidad a las ménsulas. Estos apoyos son de neopreno. En estas condiciones, el puente cerrado únicamente requiere enclavamientos en su unión con los tramos de hormigón.



Figura 13. Montaje de la estructura metálica

La estructura metálica se montó en tramos de gran tamaño montados con grúas de gran capacidad. Durante el montaje se fijaron mediante tirantes pretensados a la base de la pila, hasta

que se completaron los tableros, se hormigonaron los contrapesos y se colocaron los gatos para accionar el puente.



Figura 14. El puente en la operación de apertura