

PUENTE SOBRE EL RÍO NERVIÓN EN ETXEBARRI PARA EL METRO DE BILBAO

PLANTEAMIENTO GENERAL

El puente de Etxebarri sobre el río Nervión para el metro de Bilbao, es una obra singular, porque el metro pasa en dos niveles superpuestos sobre el río.

Los dos niveles resultan necesarios para crear un desvío a las cocheras del metro desde la línea principal. Este desvío requiere un desdoblamiento previo de las vías para poder elevar las exteriores y superponerlas a las vías principales, y pasar sobre el río. Una vez pasado éste, las vías superiores se desvían a cocheras. Es lo que los ferroviarios llaman un salto de carnero.

El viaducto completo requiere, además del puente sobre el río con dos niveles, unos accesos con formas complejas, porque deben seguir el trazado de las vías; en una orilla se elevan independientemente, lateralmente a las vías centrales y llegan al puente. En la otra orilla se desvían conjuntamente a cocheras.

La complejidad del trazado de los accesos, en contraste con la simplicidad del trazado sobre el río con los dos niveles superpuestos, nos ha llevado a diferenciar claramente el puente de sus accesos:

El puente sobre el río se resuelve con una viga triangulada oblicua, simplemente apoyada, de 86,16 metros de luz, cuyos cordones superior e inferior están formados por losas sobre las que circulan los dos niveles del metro.

La viga triangulada está formada por tres cuchillos, dos exteriores y uno entre las dos vías. Se han utilizado tres cuchillos en vez de los dos exteriores solamente, para reducir la flexión en ellos, lo que permite reducir las dimensiones de las diagonales de la triangulación. En este puente, el problema de la flexión se agrava, porque es oblicuo, con un esviaje de 48°.

El canto de la viga triangulada está definido por el gálibo del metro que circula por el interior. Este canto total es de 6,61 metros entre bordes de impostas superior e inferior.

Definidas las vigas trianguladas, caben dos posibilidades de material: hormigón o acero. Se estudiaron ambas posibilidades, y nos decidimos por el hormigón, a pesar de que una viga triangulada es siempre más adecuada al acero, por diferentes razones:

En general, si no se tiene en cuenta el proceso de construcción, en una estructura como la de este puente, la solución de hormigón es más económica que la metálica. Ahora bien, la construcción y montaje de una estructura metálica es, en la mayoría de los casos, más barata que la de hormigón y ello puede invertir el problema económico, o bien facilitar la construcción hasta el punto de hacer aconsejable la solución metálica, aunque sea algo más cara. En este caso sería una solución mixta, con vigas trianguladas metálicas y losas de hormigón.

En nuestro caso se trata de una viga triangulada de grandes dimensiones, y por ello muy pesada, tanto si se hace de acero como si se hace de hormigón, aunque será mayor el peso en este segundo caso. Pero el menor peso de la estructura metálica no permite un sistema de construcción distinto del de la solución de hormigón, porque la viga en ambos casos hay que montarla o hacerla por piezas. Los procedimientos más adecuados para construir este puente por piezas sin invadir el cauce son los siguientes: a) hacer la viga por voladizos sucesivos, desde ambas orillas; b) empujar las medias vigas desde las orillas. Estos sistemas de construcción habría que aplicarlos, tanto en la solución metálica como en la de hormigón.

Del estudio previo dedujimos que la solución metálica no planteaba ventajas claras. Por ello adoptamos la solución de hormigón, que plantea ventajas adicionales como es la facilidad de las uniones de las vigas trianguladas, que en la estructura mixta resultaban complicados. Otra ventaja es su homogeneidad con los viaductos de acceso que, al ser estructuras de luces pequeñas, lógicamente son de hormigón.

Los accesos se resuelven con estructuras ligeras, de luces pequeñas, fácilmente adaptables a la variación geométrica que impone la complejidad del trazado. Su estructura básica está formada por una viga de canto variable de 10,50 metros de luz, distancia que coincide aproximadamente con la que hay entre los nudos de las vigas trianguladas. Estas vigas se unen con una losa de 0,30 metros o 0,60 metros de espesor. La utilización de uno u otro espesor de losa depende de la posición de las vías respecto de las vigas.

Las estructuras de los accesos se inician cuando las dos vías exteriores se elevan para situarse sobre las vías principales. En la primera parte, el viaducto se desdobra en dos estructuras independientes, cada una de ellas formada por una viga con

una losa superior; estas dos estructuras independientes se unen mediante una losa cuando hay gálibo entre las vías superiores e inferiores.

PUENTE SOBRE EL RÍO NERVIÓN

Descripción del puente

Como hemos visto, la viga triangulada tiene una luz de 86,16 metros y está formada por tres cuchillos verticales, unidos en los cordones superiores e inferiores por una losa. Se ha utilizado una triangulación Warren, con una separación entre nudos de 10,77 metros, lo que da una triangulación abierta, clásica de los puentes triangulados desde sus orígenes.

Las losas tienen un espesor de 0,60, que sirven de cabeza superior e inferior de las vigas y sirven también de plataforma para las vías del metro. Las diagonales de la triangulación tienen una sección rectangular de 0,70x0,80 metros.

La armadura de las vigas está formada por una armadura activa en la losa inferior y en las diagonales de tracción, y armadura pasiva en el resto.

El problema de este puente que se ha estudiado con mayor atención es el de los nudos de la estructura triangulada, porque en ellos está situada la junta entre dovelas, lo que obliga a que esté toda la junta a compresión. Asegurar que no se producen tracciones, ha sido necesario introducir en ellos unas barras de cosido de los nudos porque con el pretensado de la losa inferior no se podía conseguir que toda la junta estuviera en compresión.

Los dientes de las juntas se han dimensionado de forma que todo el cortante del nudo se transmita a través de ellos, sin considerar rozamiento entre las dos caras.

Proceso de construcción del puente

La construcción del puente se hizo por voladizos sucesivos mediante dovelas prefabricadas, avanzando desde ambas orillas hasta cerrar en el centro.

Al tratarse de una viga apoyada, fue necesario crear unos apoyos provisionales bajo el segundo nudo inferior de la triangulación que está situado a 10,77 metros del apoyo definitivo. Tenemos por tanto dos estructuras provisionales durante construcción con vanos de 10,77 metros y voladizos de 32 metros. Esta descompensación obliga a

anclar provisionalmente el apoyo definitivo mediante anclajes al terreno, y a introducir un pretensado provisional externo mediante barras en la losa superior, para resistir los momentos negativos de la ménsula, hasta cerrar la viga triangulada en clave.

También fue necesario pretensar provisionalmente la primera diagonal, que durante proceso va a estar en tracción, y en el puente definitivo a compresión.

Las dovelas prefabricadas tienen forma de Z, todas de la misma forma pero colocadas en posiciones inversas. Las dovelas pesan del orden de 40 t, y se fabricaron en un parque a pie de obra, utilizando dos pares de encofrados, de forma que cada dovela se hormigona contra su precedente para asegurar un buen acoplamiento entre ellas. Es el sistema clásico de prefabricación de dovelas prefabricadas por el método llamado de las dovelas conjugadas en línea corta, es decir, utilizando uno o dos encofrados para fabricar todas las dovelas.

Las dos primeras dovelas se unieron mediante barras inferiores y superiores antes de su colocación. Una vez unidas se montaron en su sitio con una grúa, dejándolas apoyadas en el estribo y en las pilas provisionales.

Una vez montadas estas dovelas, se hormigonó el montante vertical de final del puente, donde se montó la pieza de anclaje de las barras de pretensado provisionales superiores. Una vez colocada una dovela, la siguiente se fija a ella en voladizo, extendiendo resina epoxi en la junta, y tesando las barras de pretensado de proceso. Todas las dovelas se montaron con grúa desde las orillas.

La sección de las dovelas es parcial, porque sus cabezas superior e inferior no incluyen toda la losa. Las vigas se montaron por cuchillos independientes que se empalmaron en clave mediante una primera fase del pretensado inferior, y posteriormente se hormigonó la losa entre cuchillos.

Como hemos dicho, la armadura activa provisional en el cordón superior se hizo con barras exteriores que se anclaban en cada una de las dovelas de avance. Esta armadura se suprimió una vez que se tesó la armadura activa definitiva de primera fase, situada en la losa inferior.

Hormigonada la losa se suprimieron los apoyos provisionales y se tesó la segunda fase del pretensado inferior, quedando terminado el puente.

VIADUCTOS DE ACCESO AL PUENTE

Como hemos visto, los accesos al puente se resuelven con estructuras ligeras de hormigón armado, con luces de 10,50 metros, y vigas de canto variable, con pilas circulares de 0,70 metros de diámetro. La estructura de cada acceso es consecuencia del trazado de las vías para llegar en dos niveles al puente.

Acceso lado Etxebarri

En el lado Etxebarri, las dos vías del metro se desdoblán, pasando a cuatro vías en paralelo. Las dos exteriores se elevan hasta que tienen el gálibo necesario sobre las inferiores para poder cerrarse y superponerse sobre ellas, que es el punto donde empieza el puente sobre el río.

Los viaductos de acceso se inician con dos estribos, uno para cada vía exterior, que consisten en dos muros exteriores con una losa superior, de forma que el interior queda hueco, sin relleno de tierras.

A una cierta altura, del orden de 3 metros, se inicia la estructura, que consiste en una viga cuyo canto varía de 1,30 en apoyos a 0,60 en centro de vano, una luz de 10,50 metros. Esta viga, de sección rectangular, se prolonga lateralmente con una losa de 0,30 metros de espesor hasta un ancho total de 3,54 metros de plataforma superior.

Las dos vigas se enlazan con una losa común cuando las vías laterales llegan a la altura suficiente para permitir el paso bajo ellas de las vías centrales. Sobre la losa de unión, las vías superiores se van acercando, hasta quedar sobre las vías inferiores. En esta zona la losa de unión tiene un espesor de 0,60 metros.

La estructura formada por las dos vigas laterales y la losa entre ellas, se mantiene hasta llegar al puente sobre el río.

Estos viaductos se dividen en tres tramos mediante articulaciones a media madera. Dos tramos están formados por los viaductos de acceso independientes, y el tercer tramo corresponde a la zona de las dos vigas unidas por la losa.

Acceso lado cocheras

En el acceso lado cocheras las dos vías van en paralelo por un lado de las vías principales. Por ello la estructura se ha hecho con dos vigas de canto variable unidas con una losa de 0,30 metros, porque cada vía está situada sobre una viga.

Esta estructura se mantiene hasta que las vías superiores se montan sobre las inferiores; en esta zona, igual que en el acceso opuesto, la estructura está formada por dos vigas laterales, unidas con una losa de 0,60 metros.

Este acceso, más corto que el anterior, está formado por un solo tramo, sin juntas intermedias.

Construcción de los accesos

Los accesos se construyeron sobre cimbra, de dos en dos vanos, mediante juntas de construcción a cuartos de la luz como en todos los procesos de construcción vano a vano, en este caso de dos en dos vanos.

<i>Propiedad:</i>	EUSKAL TRENBIDE SAREA Francisco Borde, José Mari Gutiérrez
<i>Construcción:</i>	OHL – Daniel Alonso, Ricardo Díez
<i>Proyecto:</i>	CARLOS FERNÁNDEZ CASADO S.L. Leonardo Fernández Troyano Lucía Fernández Muñoz
<i>Asistencia Técnica:</i>	FULCRUM – Valentín Gómez