

III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro



Realizaciones



EL PUENTE DE ETXEBARRI

Leonardo **FERNÁNDEZ TROYANO**¹, Lucía **FERNÁNDEZ MUÑOZ**²

¹ Dr. Ingeniero de Caminos. Carlos Fernández Casado S.L.

² Ingeniero de Caminos. Carlos Fernández Casado S.L.

RESUMEN

El puente de Etxebarri pasa sobre el río Nervión en Bilbao. Es un puente singular porque tiene dos niveles superpuestos de circulación dobles del Metro de Bilbao. El puente es esviado y ello da lugar a un vano único de 86,16 metros de luz. La estructura se ha resuelto mediante dos losas superpuestas unidas por tres cuchillos triangulados, con una triangulación Warren.

La construcción se realiza en voladizo desde los estribos, con un apoyo provisional situado en cada una de las orillas del río y anclando el extremo trasero de los cuchillos en los estribos mediante anclajes activos al terreno.

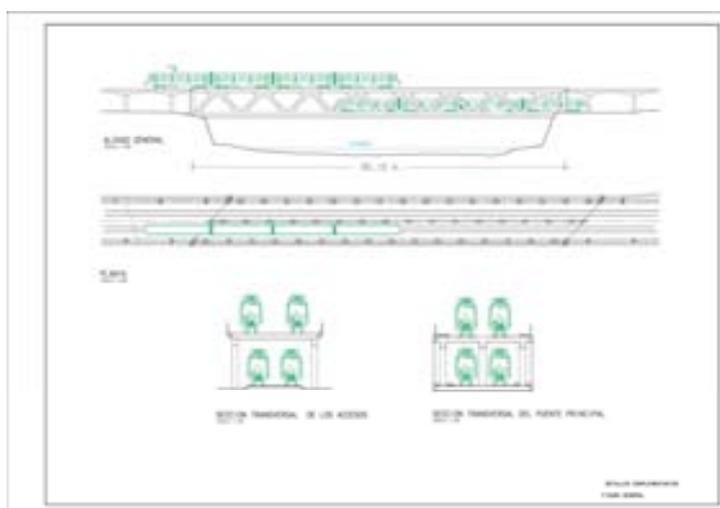
El viaducto completo tiene además unos accesos para elevar las vías al nivel superior. Estos accesos se resuelven con unas vigas de canto variable de hormigón armado.

PALABRAS CLAVE

Viga triangulada, Metropolitano, Prefabricación, Dovelas conjugadas, Oblicuidad.

PLANTEAMIENTO GENERAL

El puente de Etxebarri sobre el río Nervión para el metro de Bilbao, es una obra muy 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 para pasar sobre el río, y una vez pasado éste desviarlas a cocheras.

El viaducto completo requiere, además del puente sobre el río con los dos niveles, unos accesos con formas complejas, porque deben seguir el trazado de las vías; en una orilla se elevan lateralmente y llegan al puente por un lado, y en la otra orilla se desvían 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, 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 conseguir que la flexión transversal en la triangulación sea mínima, lo que nos permite reducir las dimensiones de las diagonales de dicha triangulación. En este puente, el problema de la flexión transversal de la triangulación se agrava, porque es oblicuo, con un esviaje de 48°.

El canto de la viga triangulada viene 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.

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 muy limpia, 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.



Las diagonales de tracción tienen armadura activa y las de compresión armadura pasiva. La losa inferior tiene también armadura activa longitudinal para resistir la tracción de la viga triangulada.

Material adoptado para la viga triangulada

Una vez definida la viga, caben dos materiales diferentes para construirla: el hormigón y el acero.

Se estudiaron ambas posibilidades, y nos decidimos por el hormigón 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. La solución más adecuada para construir el puente por piezas, sin invadir el cauce, es hacer la viga por voladizos sucesivos, tanto la solución metálica como la de hormigón.

Al no plantear claras ventajas de construcción la solución metálica, adoptamos la solución de hormigón, que plantea ventajas adicionales como es la homogeneidad de los nudos de enlace de los cuchillos con las losas, que en una estructura mixta resultan muy complicados. Otra ventaja es su homogeneidad con los viaductos de acceso que al ser estructuras de luces pequeñas, lógicamente son de hormigón.



Proceso de construcción del puente



Como ya hemos visto, la construcción del puente se hace por voladizos sucesivos de dovelas prefabricadas, avanzando desde ambas orillas hasta cerrar en el centro.

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 construyen en un parque a pie de obra, utilizando dos pares de encofrados conjugados, de forma que una dovela se hormigona sobre su precedente para asegurar un buen contacto entre ellas.

Las dos primeras dovelas se unen mediante barras superiores antes de su colocación. Una vez unidas se montan en su sitio con la grúa, apoyándose en el estribo y en el apoyo provisional.



Una vez montadas estas dovelas, se hormigona el montante vertical de final del puente, donde se monta la pieza de anclaje de las barras de pretensado provisionales superiores necesarias por ser la estructura durante la construcción una ménsula apoyada en los apoyos provisionales y ancladas en los apoyos definitivos. Una vez colocada una dovela la siguiente se fija ella, dando una resina epoxi sobre las juntas, y tesando las barras de pretensado de proceso.



La construcción por voladizos sucesivos se hace únicamente de los cuchillos triangulados, dejando sin construir en este proceso las losas entre cuchillos, que se construyen después de terminar las vigas trianguladas.



La construcción en voladizo requiere armaduras activas en el cordón superior que se anclarán en las dovelas de avance. Esta armadura se deberá suprimir en la estructura definitiva, sustituyéndola por la armadura activa del cordón inferior.

Una vez cerrada la clave, se tesan parte de los cables del cordón inferior de los cuchillos construidos, se sueltan las barras provisionales situadas en los cordones superiores de los cuchillos, y se desmontan los apoyos y anclajes provisionales.

Sobre las vigas trianguladas, apoyadas en los apoyos definitivos, se hormigona el resto de las losas y se completa el pretensado de la losa 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, de 0,70 metros de ancho, 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 a su vez, pasando a cuatro vías en paralelo. Las dos exteriores se elevan hasta que tienen el gálibo necesario sobre las inferiores para volver a cerrarse y superponerse sobre ellas, que es el punto donde empieza el puente sobre el río.



El viaducto de acceso se inicia 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. Esta 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.



Esta estructura se divide en tres tramos mediante articulaciones. Dos tramos están formados por los viaductos de acceso independientes, y el tercer tramo 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, porque las vías se sitúan sobre la losa y no sobre las vigas.

El enlace de la estructura, situada a un lado de las vías inferiores, con la estructura, que tiene una viga a cada lado de estas vías inferiores, se hace uniendo las dos vigas de la primera estructura con una de las vigas de la segunda estructura, y añadiendo una nueva viga al otro lado de las vías inferiores. En el enlace la losa pasa de 0,30 metros a 0,60 metros.

El acceso del lado cocheras está formado por un solo tramo, sin juntas intermedias.

Construcción de los accesos

Los accesos se construyen sobre cimbra, de dos en dos vanos, mediante juntas de construcción.

