

PUENTE SAN SEBASTIAN

JALISCO. MÉXICO

2009

El puente de San Sebastián está situado sobre una barranca del río San Sebastián en el estado de Jalisco, México.

El lugar donde está situado este puente tiene una fuerte inclinación de las laderas donde se debían situar las cimentaciones el arco. Desde un principio se adoptó la solución de arco inferior. Estas condiciones, nos llevaron a hacer un arco de 138 metros de luz y con un rebajamiento de 1/7,5.

El tablero y el arco son solidarios en los 67 metros centrales; a partir de ellos el arco y el tablero se separan. Los tableros a los dos lados del arco son simétricos, y tienen una longitud hasta los estribos de 64 metros, divididos en dos luces mediante montantes inclinados que parten del arco.

Un problema importante en el proyecto de este puente es el efecto que producen las acciones sísmicas. Esto ha obligado a utilizar unos transmisores de choque para empotrar horizontalmente el tablero en los estribos en caso de sismo, para evitar que se produzcan torsiones inadmisibles en el arco, debidas a las fuerzas horizontales generadas en los montantes.

El puente se construyó mediante una cimbra formada por un arco metálico.

CARLOS FERNANDEZ CASADO, S.L

OFICINA DE PROYECTOS

PUENTE SAN SEBASTIAN

Leonardo FERNÁNDEZ TROYANO

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

Lucía FERNÁNDEZ MUÑOZ

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



Fig. 1 Puente de San Sebastián

Planteamiento general del puente

El puente de San Sebastián está situado en una barranca del río del mismo nombre, en el estado de Jalisco, México, y el proyecto se ha hecho en colaboración con la empresa mexicana Mexpresa (Mexicana de Preesfuerzo) con la que hemos realizado todos nuestros trabajos en ese país.



Fig. 2 Vista lateral

Los dos problemas fundamentales de este proyecto fueron debidos a la fuerte pendiente de las

laderas de la barranca y el alto grado sísmico de la región.

La morfología de la barranca sólo admitía una solución lógica de puente que es un arco que salte de borde a borde de la barranca. Las dimensiones de barranca dan lugar a un arco de 135 m. de luz. La inaccesibilidad de las laderas, cuasi verticales en las zonas altas, sólo permitía el acceso a las cimentaciones del arco desde los bordes superiores, lo cual obligó a hacer un arco lo más rebajado posible para que el acceso a ellas desde el borde superior fuera lo más corto posible.

De hecho, dada la verticalidad de las laderas, la excavación de las cimentaciones había que iniciarlas desde los bordes superiores de la barranca. Desgraciadamente la excavación de las cimentaciones no ha sido todo lo estricta que debía haber sido, y esto ha degradado el aspecto del entorno de las cimentaciones.

La intensidad sísmica de la región ha condicionado también el proyecto, obligando a colocar en los extremos del tablero transmisores de choque, para evitar problemas transversales en el puente. Si bien el planteamiento general para resistir los efectos sísmicos, tiende a la utilización de amortiguadores de choque que permita grandes movimientos de la estructura para reducir al máximo los esfuerzos producidos por el sismo, nos hemos encontrado en algunos casos y éste es uno de ellos, en que hemos necesitado aparatos que nos permitan movimientos para deformaciones lentas (temperatura, retracción, fluencia) y sin embargo que coaccionen los movimientos para deformaciones rápidas (sismo), como luego veremos.

Descripción del proyecto

Como hemos dicho, se ha tratado de hacer un arco lo más rebajado posible ($1/15$ de la luz) para conseguir que la altura desde tablero a los cimientos sea lo menor posible.

Para ello es conveniente, que además de hacer el arco rebajado, el canto del arco y el del tablero coincidan en clave, lo que da lugar a que ambos elementos sean solidarios en el tramo central del arco, en este caso en una longitud del 50% de la luz del arco.

Esta coincidencia arco-tablero y su bifurcación, nos ha llevado a dar al tablero un canto comparable al del arco, aunque más pequeño: 2.50 m. tiene el arco ($1/55$ de la luz) y 1.40m.+0.20m. de aceras, tiene el tablero.

Este canto del tablero nos ha llevado a plantear en él luces del orden de 30 m. ($1/20$ de la luz). El tablero desde la zona común arco-tablero a estribos tiene a ambos lados una longitud del orden de 60 m., estos tramos se han dividido en dos luces del orden de 30 m., mediante montantes inclinados solidarios con el tablero que parten del arco y el tablero. El puente tiene una longitud total de 193 m. entre estribos.

Tanto el tablero como el arco son cajones monocelulares del mismo ancho, 6 m. El cajón del tablero se prolonga lateralmente mediante voladizos de 2.25m. para conseguir un ancho de calzada de 10.50 m.



Fig. 3 Vista desde el fondo de la barranca

Problemas de proyecto

El puente está formado por un arco biempotrado, solidario del tablero en su parte central. El tablero se prolonga a ambos lados mediante vigas continuas que se apoyan en su extremo en los estribos. Se trata por tanto de una estructura simple que no plantea problemas especiales, salvo los debidos al efecto del sismo.



Fig. 4 Puente San Sebastián

Los efectos del sismo podemos dividirlos en longitudinales y transversales. Longitudinalmente en este caso no se plantea ningún problema, porque la estructura resiste perfectamente sus efectos sin ningún aumento apreciable de sus esfuerzos. El problema que se plantea en esta estructura es transversal.

En principio, el tablero se planteó apoyado en los estribos con desplazamiento longitudinal libre y coacción transversal, lo que quiere decir que el tablero tenía libertad de giro según el eje vertical, es decir, libertad de giro en su plano.

En estas condiciones, la deformación longitudinal del tablero inducía un desplazamiento en cabeza de los diafragmas inclinados que generaban unos momentos grandes en ellos, pero sobre todo, y esto era irresoluble, introducía unos momentos torsores en el arco que era incapaz de resistirlos. La única posibilidad de resolver la estructura en estas condiciones, consistía en aumentar significativamente sus dimensiones en ancho y canto.

La única solución posible que encontramos sin cambiar las dimensiones del puente, consistía en reducir las deformaciones transversales del tablero, y para ello era necesario coaccionar el giro en su plano en sus extremos, lo que significa coaccionar los desplazamientos longitudinales.

Esta coacción es imposible, porque no se pueden coaccionar los desplazamientos en los extremos de un puente de 193 m. de largo para temperatura retracción y fluencia. Por ello ha sido necesario colocar transmisores de choque, que permitan los movimientos lentos (temperatura, retracción y fluencia) y bloquean los rápidos (sismo,

frenado) de forma que en caso de sismo, el tablero esté empotrado según un eje vertical en sus extremos.

Los demás temas de proyecto no plantean problemas singulares, El tablero está pretensado en toda su longitud, y las cimentaciones están apoyadas en una roca competente, que necesitó algunos cosidos mediante anclajes pretensados, debido fundamentalmente a la geometría de las laderas de la barranca.

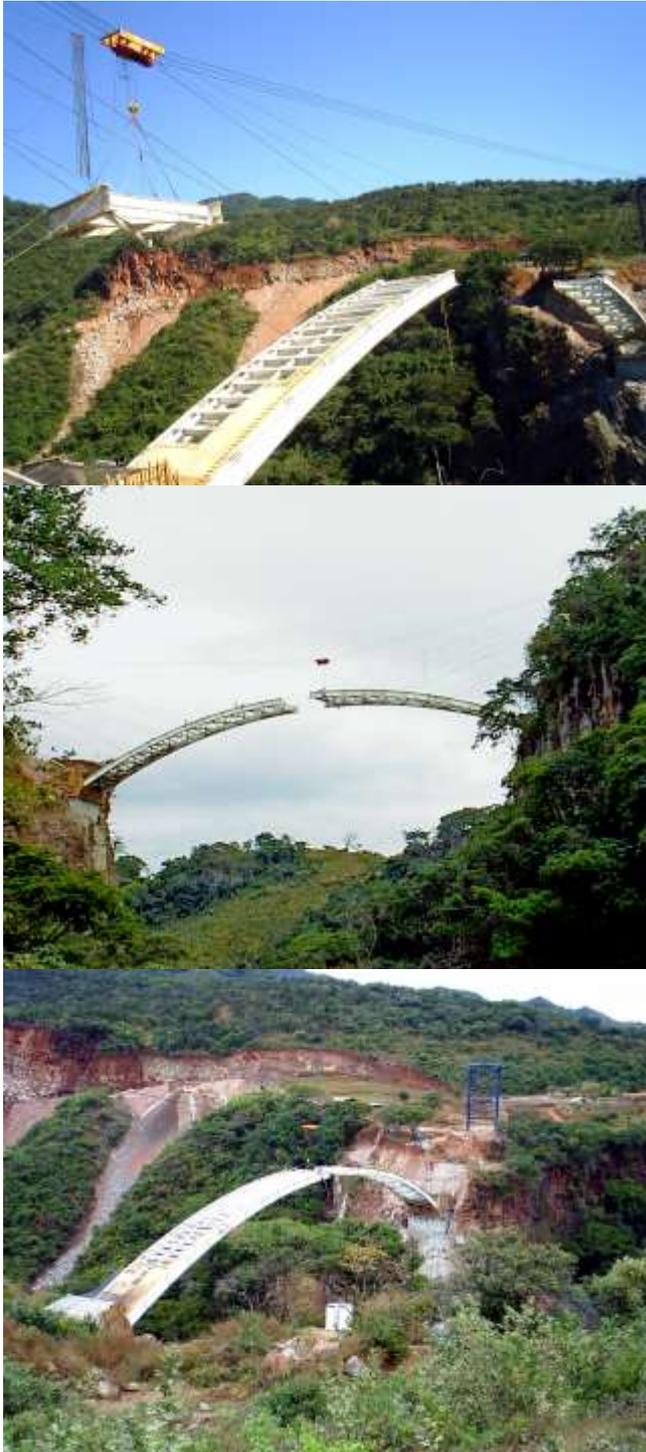


Fig. 5 Montaje del arco de la cimbra mediante voladizos atirantados

Construcción del arco

La construcción de un arco de una luz de 138 m. siempre plantea dificultades, y más en este caso con una barranca de estas características. El proyecto se planteó con una condición inicial determinante: se debía construir en el menor plazo posible. Con esta condición estudiamos dos posibilidades:

1 - Construir el arco mediante voladizos atirantados hasta cerrar en clave.

2 - Construir los semiarcos en posición cuasi-vertical, y girarlos mediante tirantes que se van soltando hasta cerrar en clave.

Estudiamos las dos posibilidades vimos que era más rápida la solución de girarlo, y con este procedimiento se estudió el proyecto, utilizando el mismo sistema que se había utilizado en los arcos de Bolueta sobre el río Nervion para el metro de Bilbao, aunque en este nuevo caso se trataba de un arco con más del doble de luz que la de los arcos de Bilbao.

En la licitación de obra se presentaron distintos procedimientos de giro de los semiarcos, muchos de ellos inviables. Se adjudicó a la oferta más barata que planteaba el

procedimiento más inviable de todos. A partir de esta situación quedamos fuera de la

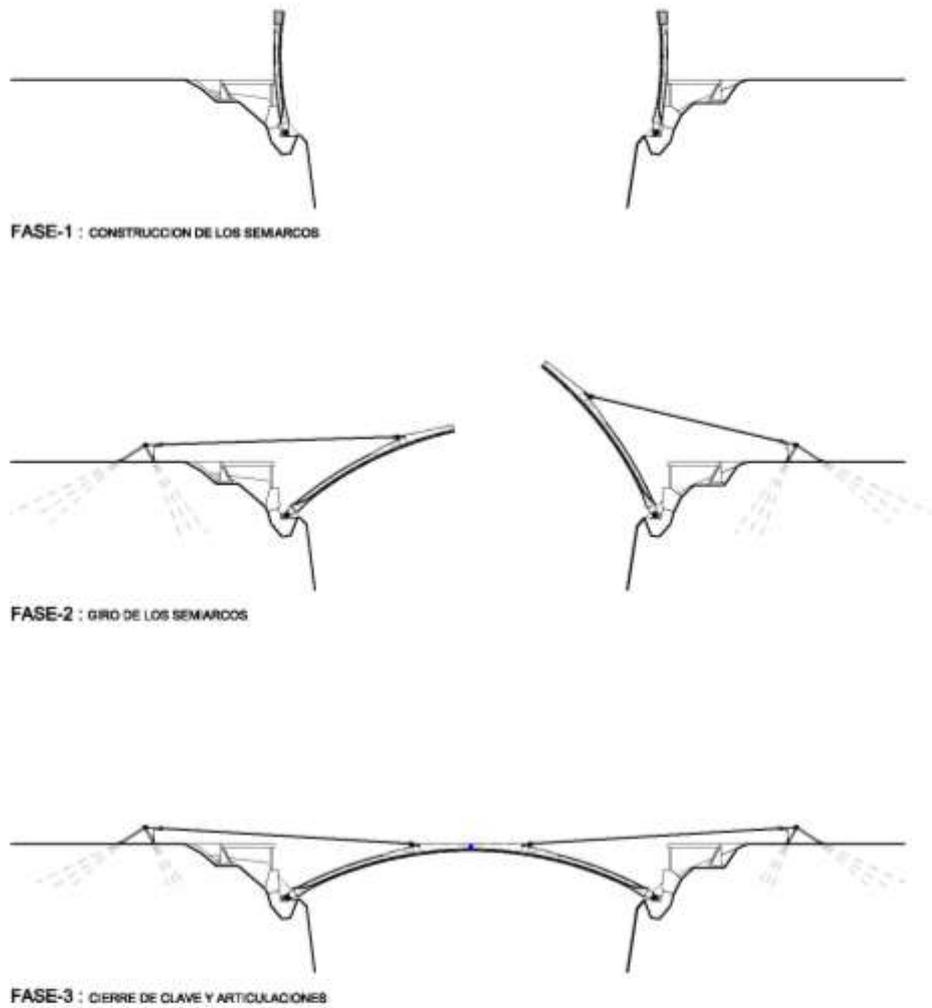
construcción con Mexpresa, nuestros socios mexicanos, y no conocemos los estudios que se hicieron para llegar al procedimiento de construcción que se utilizó finalmente. Lo que si sabemos es que el puente no se había empezado cuando ya tenía que estar terminado según las exigencias que se hicieron al proyecto y a la licitación.

Como hemos dicho, no conocemos los estudios que se hicieron para llegar a la solución de construir el arco mediante una cimbra, que consistía en un arco metálico de la misma luz que el arco de hormigón. Esta solución que se utilizó en la mayoría de los grandes arcos de hormigón hasta los años 60 del siglo XX en que se consideró obsoleta por el coste de la cimbra, y se sustituyó por los procedimientos de voladizos atirantados, o por los puentes de semiarcos girados.

Con una cimbra formada por un arco metálico de la misma luz que el definitivo se construyó el puente de Arnabida en Oporto, uno de los últimos grandes arcos construidos con cimbra.

En definitiva lo que se consigue con este procedimiento es construir inicialmente un arco más ligero al ser metálico, y por ello más fácil de montar, pero el mismo procedimiento, con mayor dificultad se puede aplicar al arco de hormigón.

En este caso la construcción del arco metálico se hizo mediante voladizos atirantados a base de piezas metálicas que se llevaban a su posición mediante un blondin montado previamente.



**PROCESO INICIAL DE CONSTRUCCION
DEL PUENTE SAN SEBASTIAN**

Fig. 6 Proceso de construcción mediante semiarcos girados



Fig. Hormigonado del arco



Fig. 8 Hormigonado del tablero

Sentimos mucho no conocer los estudios de costo que llevaron a esta solución, y por ello no sabemos si en este caso ha pasado lo que tantas veces pasa en nuestro país, que no se trata de buscar un solución más barata, sino de cambiar la solución de proyecto y cobrar el cambio.

En principio se dijo que la solución girada era muy cara, y por ello propusimos construir los semiarcos en voladizos atirantados, pero en ese momento quedamos fuera de la construcción y no sabemos más de las valoraciones realizadas, pero si estas han sido correctas, habría que replantearse el problema de las cimbras en la construcción de los arcos.

Lo que está claro es que a principios del siglo XXI se

ha construido un arco por un sistema que consideramos obsoleto desde hace casi cincuenta años.

Lo que si podemos decir es que el puente construido con la cimbra es exactamente el mismo que proyectamos nosotros para hacerlo girado.



Fig. 9 Puente de San Sebastian