

II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

Realizaciones: Puentes



Nova Ponte sobre o río Miño en Ourense

Florencio del Pozo

José M. Arrieta

Juan M. Calvo Rodríguez

Lucía López de Asiaín

Pondio Ingenieros

1. INTRODUCCIÓN

La personalidad de Ourense la define la presencia del río Miño, que con sus 120 metros de anchura de cauce, marca y define la configuración de la ciudad. Su historia está ligada a los puentes, siendo el Puente Romano el primero de ellos sobre el que se asentó la ciudad y que le confirió sus señas de identidad.

El Concello y la Xunta de Galicia firmaron un acuerdo para la construcción de un nuevo puente que representara el Ourense del siglo XXI, convocando un concurso de ámbito europeo para la realización del proyecto.

El fallo del concurso se decantó por la idea de mayor impacto visual de todas las presentadas. Aún cuando este impacto visual puede ser objeto de opiniones encontradas, el puente, desde el punto de vista estructural, presenta algunos atractivos que le confieren interés.

El equipo ganador del concurso fue “Alvaro Varela y otros”. Una vez fallado el concurso a favor de esta idea, el arquitecto ganador del mismo confió el desarrollo del proyecto de construcción a PONDIO Ingenieros (Varela-Syed/Pondio Ingenieros UTE).

Las empresas encargadas de la construcción fueron: UTE Pontemiño (ACS-OCA), como contratista principal, y Estructuras y Montaje de Armaduras, como subcontratista de estructuras.

Las empresas constructoras plantearon algunas modificaciones constructivas inducidas fundamentalmente por la presencia del río Miño, que obligaron a un nuevo recálculo de la estructura. Esta etapa fue desarrollada conjuntamente por Alvaro Varela, Pondio Ingenieros y Proes.

El proyecto de construcción fue presentado y aprobado a finales de 1997, empezando las obras de construcción a finales de 1999 y terminando en Junio de 2001.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

2.1. Descripción general

La estructura cruza el río con una curva en planta de 320 metros de radio constante en toda su longitud. La pendiente longitudinal es de un 2.5 % descendiendo desde la margen derecha hacia la margen izquierda. El cauce normal del río en la zona de cruce es de unos

110 metros de anchura y se encuentra situado en la desembocadura del río Barbaña. La anchura del cauce y la presencia del Barbaña obligaron a encajar una estructura de cuatro vanos, los tres primeros sobre el río Miño y el cuarto sobre el Barbaña. Las luces de los vanos son de 60-110-60-45 metros.

La plataforma del puente se ha proyectado de 23 metros de anchura, desglosados en:

- 2 aceras peatonales de 2.50 metros,
- 2 calzadas de 7.50 metros y
- mediana central de 3.00 metros.

2.2. Subestructura del puente

La cimentación ha sido directa sobre granito en el estribo 1 y pilas 1 y 3 y con pilotes de 1.80 metros de diámetro en la pila 2. El estribo 2 se cimentó con pilotes de 1.50 metros de diámetro.

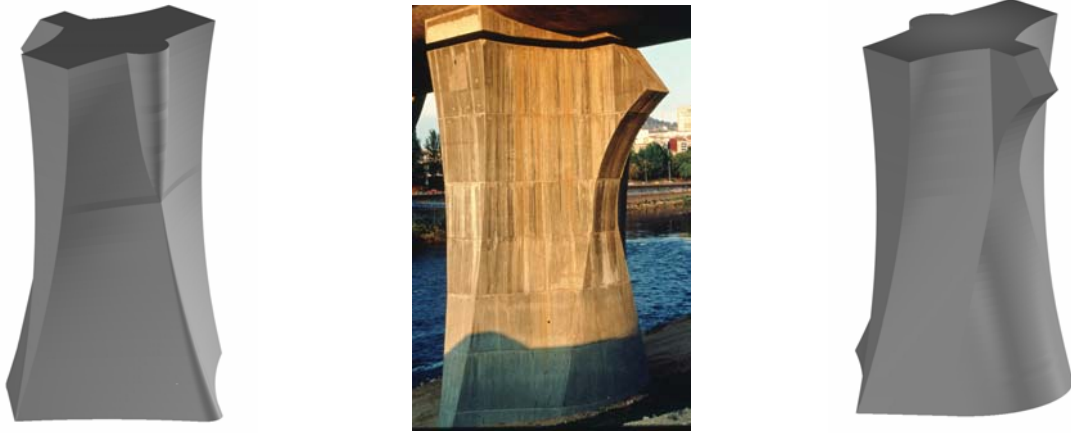
Los estribos se han proyectado cerrados de hormigón armado, y son el primer elemento en el que se ha cuidado la geometría, combinándola con su función estructural.



Estribo 1

Las pilas 1 y 2, situadas en el vano central, son uno de los elementos más rotundos del puente. Su geometría “antropomórfica” las convierte en sendas esculturas en las dos márgenes del río. Para su construcción se emplearon encofrados de madera machiemburada a partir de un modelo de CAD en tres dimensiones reales. La tercera pila tiene un tratamiento distinto, menos impactante, y fue proyectada con fustes cuadrados de 3 x 3

metros, con una ligera inclinación hacia el río, coincidente con el juego de paramentos inclinados de los estribos.



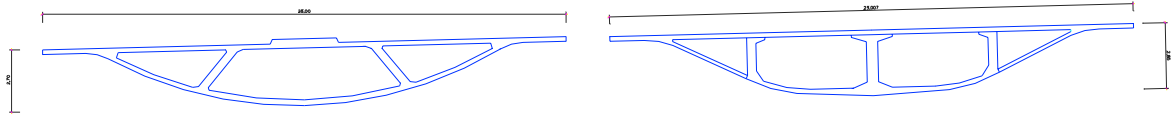
Perspectivas de las pilas 1 y 2

2.3. Tablero y pilonos

El tablero resulta el elemento estructural de mayor interés. En él se utiliza la técnica del pretensado exterior extradorsal, tanto superior, como inferior. El empleo de esta tipología tiene un gran desarrollo en países como Japón y Suiza, pero no así en España. Es la primera vez que se combina el pretensado exterior tanto superior como inferior en una estructura en este país.

El pretensado exterior utiliza ángulos más tendidos de cables que la técnica del atirantado, lo que permite utilizar pilonos muy bajos (en este caso de 16 metros). El conjunto del puente planteado con estos pilonos bajos le hace encajar mejor en la ciudad, perturbando menos la presencia del resto de los puentes.

La sección transversal inicialmente utilizada era muy ligera y estaba formada por un cajón tricelular (considerando la contribución resistente a torsión de las células de los voladizos). Esta ligereza obligaba a construir el puente a sección completa antes de proceder al atirantamiento del tablero. Con objeto de minimizar el tiempo en el que el tablero se encontraba cimbrado sobre el río, se propuso una sección bicelular (sin considerar las células de los voladizos) más rígida y pesada, lo que aconsejó modificar ligeramente los ángulos de los cables superiores.



Sección de proyecto

Sección construida

El tablero se ha resuelto con un único plano de cables en el eje del puente, lo que obliga, dada su anchura, a utilizar una sección de tablero con una gran rigidez a torsión. La sección transversal adoptada, consiste en un cajón con un núcleo central bicelular de 11 metros de ancho, con tres almas, siendo la central la que recibe los anclajes de los cables. Los voladizos, de 6 metros, representan 2 nuevas células hormigonadas a posteriori.

El fondo del tablero no tiene aristas, en él todas las superficies son curvas, lo que contribuye a realzar su aspecto.



Vista del fondo del tablero

El canto total adoptado es de 2.70 metros, obteniéndose una relación canto/luz de $1/40.7$, en el vano central y de $1/16.7$ en el cuarto vano que es enteramente de hormigón armado (sin tirantes).

Toda la estructura del tablero es de hormigón armado, sin considerar por supuesto el efecto de los tirantes. Esto ha permitido plantear un procedimiento constructivo muy flexible, para poder salvar el cauce del río Miño, como se explicará en apartados sucesivos.

Los pilonos tienen una altura total de 20 metros, encontrándose el último anclaje de los cables a 16 metros. Son macizos de hormigón armado con un canto variable de 4.50 metros

en arranques a 2.00 metros en coronación, y un ancho variable de 2.50 a 2.20 metros. La sección transversal del pilono está formada por un rectángulo rematado con una semicircunferencia en la cara frontal y un trapecio en la dorsal.

La particularidad de estos pilonos es su inclinación de 60° hacia el vano central. Esta inclinación es más ineficiente desde el punto de vista estructural que el haberla inclinado hacia el vano de compensación, pero resultó un requisito indispensable de diseño.

La transmisión de las cargas verticales del pilono a la pila se produce a través de una gran riostra de hormigón pretensado transversalmente, ya que los aparatos de apoyo no se encuentran sobre la vertical del pilono para empotrar el tablero a torsión.

2.4. Sistema de tirantes

Como ya se ha indicado, el puente utiliza un sistema de pretensado exterior extradorsal superior e inferior.

El atirantado superior está formado por 7 parejas de cables, dispuestos sensiblemente en forma de arpa a lo largo de unos 10 metros de la altura del pilono.

Se han dispuesto por parejas para efectuar el cruce de los cables frontales y de retenida en el pilono, sin inducir torsiones en el mismo. De este modo, cada pareja de cables frontales se encuentra separada 1.20 metros entre sí y los de retenida 0.50 metros.



Vista frontal del pilono

En el tablero cada uno de los cables se ancla a un lado del alma central.

Para poder transmitir las cargas de las almas laterales a los cables, en cada anclaje se han dispuesto unos puntales metálicos que “cuelgan” las cargas desde el alma hacia los tirantes.



Traviesas de anclajes

Los cables son monotorón autoprotegido en vainas individuales de polietileno, alojadas todas en una vaina común de polietileno de alta densidad (PEHD). El número de torones varía de 15 a 32 en los cables frontales y de 32 a 45 en los cables de retenida. El color elegido para las vainas es gris perla.

Los anclajes son reemplazables, con tuerca de regulación y elementos antivandálicos de acero galvanizado. El tesado se realizó individualmente para cada torón desde el interior del tablero.

Las 7 parejas de cables arrancan a unos 16.0 metros del eje apoyos del pilono y se mantienen equiespaciados cada 3.5 metros para los cables frontales y cada 5.00 metros en los cables de retenida.

En el vano central queda entonces una longitud de 36 metros sin cables superiores. En esta zona central se dispone entonces un pretensado extradorsal inferior de directriz curva, con un puntal desviador cada 2.70 metros. El número de puntales resulta muy alto, estando condicionado por cuestiones estéticas.

La flecha del arco de circunferencia que describe este pretensado desde el fondo del tablero es de 3.30 metros.

El pretensado inferior está formado por 6 cables de 24 T15, con anclaje de pretensado sobre vaina de polietileno de alta densidad (PEHD) inyectada con mortero de cemento.



Pretensado extradorsal inferior

2.5. Superestructura

Todos los elementos de la superestructura del puente han sido proyectados y construidos con sumo cuidado para garantizar la calidad estética final de la obra.

En este sentido, existen elementos de la superestructura meramente funcionales (aparatos de apoyo, juntas, sumideros, etc.) y otros con un marcado carácter arquitectónico (barreras, barandillas, iluminación, etc.).

Dentro de los elementos funcionales, los aparatos de apoyo son tipo POT (neopreno-teflón). Con los apoyos se ha fijado el tablero a la pila 2, estando el resto formado por parejas de POT libres y guiados.

Los sumideros han sido proyectados para recoger las aguas de la calzada y verterlas a un colector situado en el estribo 2 a través de un sistema de tubos situados en el interior del tablero. Esta medida evita el vertido de las aguas superficiales al cauce del río e impide que el fondo del tablero se manche.

Las barreras y barandillas son metálicas en acero galvanizado y pintado y en su diseño se ha considerado la iluminación de las aceras con fluorescentes integrados en el tubo

superior de la barandilla y con focos de iluminación rasante situados en la barrera para la calzada.

Las aceras son de hormigón con un tratamiento de pintura epoxi posterior a su fratasado.

2.6. Elementos arquitectónicos

Este puente es el resultado de un concurso convocado por la Xunta de Galicia, y ganado por un Arquitecto. Aparte del indudable interés que tiene estructuralmente, el diseño aporta unos elementos arquitectónicos que dan al puente una imagen singular. La discusión de lo adecuado o no de este diseño se sale del alcance de este artículo. Innegablemente la cinta pasarela es el elemento arquitectónico que dota al puente de este impacto visual. Esta cinta tiene una geometría en planta formada por dos arcos de circunferencia opuestos entre sí que intersectan en la parte superior de los pilonos.

En alzado, la geometría está formada por 3 arcos de circunferencia unidos tangencialmente entre sí, dos arcos son cóncavos (situados sobre la rasante del tablero) y el tercero es convexo y su directriz coincide con la formada por el pretensado inferior.

La combinación entre planta y alzado se realiza a través de tres superficies troncocónicas con el vértice del cono situado en la vertical definida por el centro de la circunferencia del puente en planta. Se han utilizado troncos de cono para acoplar la pasarela a la rasante del tablero que se encuentra inclinada por el peralte.



La cinta pasarela se ha proyectado como una sección cajón metálica. El empleo de acero estructural permite construir la pasarela en taller y montarla con grúas una vez que el tablero está terminado.

La pasarela tiene 2.50 metros de ancho en todo su desarrollo y su sección es de cajón monocelular, con fondo triangular. Toda la pasarela está construida con chapas acero S-355. Dado el poco canto (inferior a 1 metro) la rigidación transversal se ha hecho con mamparos situados cada 50 cm. y rigidizadores longitudinales tipo bulbo en la chapa superior y las dos chapas inferiores.

La complicada geometría de la figura espacial resultante ha obligado a realizar un gran esfuerzo de proyecto y replanteo en taller, siendo imprescindible la modelización en tres dimensiones en coordenadas reales de todos los elementos.

El objetivo funcional de la pasarela es acceder a lo alto del pilono y al fondo del tablero sobre el cauce del río. Para ello, toda la pasarela está peldañeada con peldaños de chapa tratada con un pavimento de pintura epoxi.

El diseño de las barandillas es sensiblemente igual al utilizado para las aceras, manteniendo también una iluminación fluorescente en los tubos de la barandilla.

Coincidiendo con los puntales desviadores del pretensado exterior se han colocado unas costillas metálicas de sección circular variable, que enlazan el tablero con la pasarela.

3. SISTEMA CONSTRUCTIVO

Resulta innegable que este puente no ha sido concebido con un esquema estructural compatible con un procedimiento constructivo que permita salvar el cauce del río sin apoyos en el mismo. Cualquier técnica de empuje, avance por voladizos, etc... implica una inversión en medios auxiliares (atirantamientos provisionales, etc.) que encarecería enormemente el puente.

Por esta razón, se eligió un sistema de cimbra convencional con elementos de sujeción de 20 metros de luz, apoyados en 3 torres sobre el cauce del río.

Para garantizar la estabilidad de las torres frente a una crecida, éstas se cimentaron con micropilotes. Los micropilotes eran de barra Gewi de 63 mm. de diámetro con revestimiento de mortero y camisa de chapa en la zona del cauce.

Cada encepado estaba protegido con una isla de escollera cuyo peso la hacía estable para el nivel normal del río, pero no para una crecida con un periodo de retorno superior a 200 años.

El interés de seleccionar el tamaño de la escollera radicaba en no provocar un estrangulamiento en el cauce para una avenida extraordinaria que empeorara las posibles inundaciones de la ciudad de Ourense.

Las obras así planteadas tienen un gran componente de riesgo por la incertidumbre del comportamiento del río. Durante la construcción y con el tablero construido sobre la cimbra, el río Miño sufrió 5 crecidas correspondientes a un periodo de retorno de 200 años. Estas crecidas eran inéditas desde 1976.

Durante la segunda crecida, el tablero estaba totalmente terminado y los pilonos construidos. Cuando se estaba enfilando el primer cable, el río arrastró la cimentación de una de las torres. Afortunadamente, la torre adyacente resistió el empuje de las aguas y de los materiales de arrastre y el puente permaneció estable. Los momentos de angustia vividos contribuyeron a apreciar el riesgo que el agua siempre supone en la Obra Civil.

