

VIADUCTO DE O EIXO (CORREDOR NORTE-NOROESTE DE ALTA VELOCIDAD)

Juan M. CALVO RODRÍGUEZ

Ingeniero de Caminos

PONDIO Ingenieros
Director

jcalvo@pondio.com

Estela RIVERA PUERTAS

Ingeniero de Caminos

PONDIO Ingenieros
Responsable Proyectos

erivera@pondio.com

Resumen

En el presente artículo se presentan las características más importantes y criterios seguidos en el proyecto de un viaducto de alta velocidad de 1224.4 m de longitud, con tablero de 14.0 m de ancho, pilas de 82.0 m de altura y arco apuntado de 88.0 m de luz.

El tablero es tipo cajón de canto variable con un canto de 4.50 m sobre pilas que varía de forma parabólica hasta 3.00 m en el centro del vano. Los semiarcos que conforman el arco se construyen en posición vertical para proceder, una vez terminados, al abatimiento de los mismos.

Palabras Clave:

Viaducto de 1224 m. Cimbra autolanzable. Punto fijo constituido por semiarco apuntado. Abatimiento de los semiarcos.

1. Introducción

El viaducto de O Eixo se enmarca en la obra "Corredor Norte-Noroeste de Alta Velocidad. Eje: Ourense-Santiago. Tramo: Lalín-Santiago. Subtramo: Boqueixón-Santiago". El proyecto fue desarrollado para el ADIF siendo el contratista principal OHL y la subcontrata de la estructura Puentes y Calzadas.

La construcción de un viaducto en este entorno debía cumplir varios condicionantes, de los que destacan los siguientes:

- atravesar un valle de gran anchura por donde discurren diversas carreteras y una línea de ferrocarril,
- la rasante de la línea de alta velocidad está situada en el centro del valle a 82 m de altura del terreno natural,
- materializar el punto fijo en una ubicación, de tal forma que se cumpliera con la limitación de movimientos del ADIF para aparatos de dilatación de vía de no más de 1.200 mm.



Fig. 1 Viaducto de O Eixo

Con estos condicionantes se proyectó un viaducto de 1224.4 m de longitud, formado por un total de 25 vanos, siendo los 23 centrales de 50.0 m y los dos vanos extremos de 42.5 y 31.9 m, respectivamente.

La pila 12 constituye el punto fijo del tablero y está formada por un arco apuntado que arranca desde la base de las pilas 11 y 13 y converge en el apoyo del tablero. Con este punto fijo situado en el centro del tablero se cumplía con la limitación del ADIF antes establecida.

2. Descripción de la estructura

2.1 Características generales

Como ya se ha comentado en el punto 1 Introducción, el viaducto de O Eixo tiene una longitud de 1224.4 m entre ejes de apoyo en estribos, con un total de 25 vanos repartidos en 42.5 + 23 de 50.0 + 1 de 31.9 metros, y 24 pilas de altura máxima 82.0 metros.

La sección transversal está formada por:

- 10.1 metros centrales para alojar el balasto de la plataforma,
- dos muretes guardabalasto de 0.20 m,
- espacios laterales para alojar impostas, canaletas, paseos, etc.

El ancho total del tablero es de 14.0 m.

2.2 Tablero

Dadas todas las condiciones expuestas y tras estudiar las distintas posibilidades, se adoptó como mejor solución estructural la formada por un tablero de canto variable tipo cajón de hormigón pretensado.

El tablero tiene un canto sobre pilas de 4.50 m, variando de forma parabólica hasta 3.00 m en los treinta metros centrales de los vanos de 50.0 m. La relación luz/canto es de $50.0 / 4.00 = 11.1$ sobre pilas y de $50.0 / 3.00 = 16.7$ en centro de vano.

Los voladizos del cajón son de 3.75 m y el ancho de la parte superior del núcleo del cajón es de 6.50 m.

El ancho del fondo del núcleo es variable de 5.50 m sobre pilas a 5.862 en la sección de centro de vano, debido a la variación de canto y a que las almas mantienen inclinación constante, siendo su espesor constante de 0.55 m.

La losa superior del cajón tiene, en su zona central, un espesor mínimo de 0.34 m, con unas cartelas en la zona de conexión con las almas, a donde llega con un espesor de 0.45 m. En cuanto a los voladizos, son de espesor variable, de 0.425 m en el punto de unión con las almas y de 0.20 m en el extremo. La losa superior tiene un bombeo a dos aguas del 2 % para facilitar el drenaje de la plataforma.

Las almas del cajón son de espesor 0.55 constante en toda su longitud.

La losa inferior tiene un espesor variable de 0.60 m en apoyos a 0.30 m en centro de vano. La sección de centro de vano posee unas cartelas en la zona de conexión con las almas que incrementan su espesor en 0.30 m. Estas cartelas se extinguen hacia la sección de pilas.

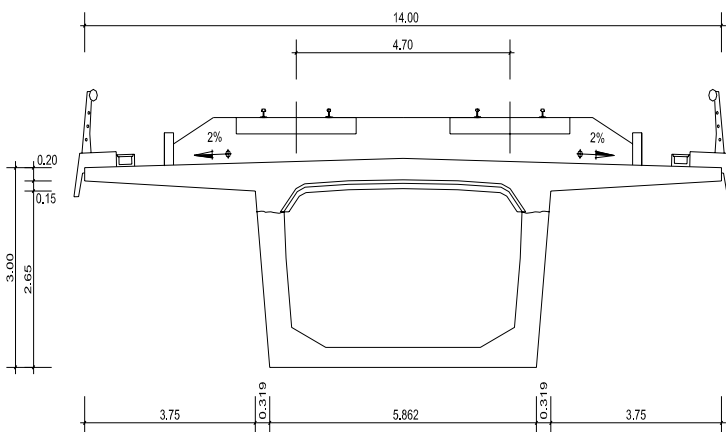


Fig. 2 Sección por centro de vano

2.3 Pilas

Las pilas 1 a 11 y 13 a 24 del viaducto tienen forma de octógono hueco, con paredes de 0.35 m de espesor y unas dimensiones máximas de 5.50 m en sentido transversal del tablero y variable en sentido longitudinal con una pendiente de 1/50 (con un mínimo en cabeza de 2.30 m).

La pila 12 es especial por constituir el punto fijo del tablero. Está formada por un arco apuntado que arranca desde la base de las pilas 11 y 13 y converge en el apoyo del tablero. La sección del arco es de hormigón armado de sección rectangular hueca de 5.50 x 4.00 metros y tiene un espesor de 35 cm constante de paredes. El arco se maciza en el arranque y en la coronación para una adecuada transmisión de esfuerzos en dichos puntos.

Todas las pilas se cimentan con cimentación profunda mediante pilotes de 1800 mm de diámetro.

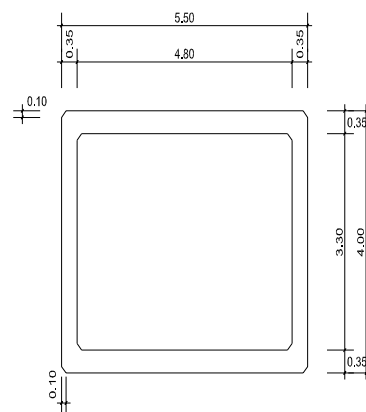
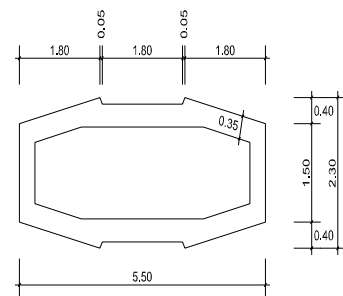


Fig. 3 Vista general de pila 11 a estribo 1 y secciones tipo de pila y arco

2.4 Estribos

Los estribos del viaducto son de tipo cerrado hormigón armado. El estribo 1 tiene cimentación directa, mientras que el estribo 2 está cimentado profundamente mediante pilotes. El estribo 1 tiene la particularidad de ser el punto fijo del tablero durante parte del proceso constructivo del tablero.

2.5 Aparatos de apoyo

El apoyo del tablero sobre pilas y estribos se materializa mediante apoyos de neopreno confinado tipo "POT" con teflón. El teflón presenta un coeficiente de rozamiento bajo que permite independizar los movimientos de la superestructura,

que son importantes debido a la longitud del viaducto, de los de las pilas. En cada pila, a excepción de la 12, y en los estribos se colocará una pareja de apoyos, en caso de uno fijo (pila 5 a 18) o libre (resto), y otro guiado para transmitir las cargas transversales del tablero a las pilas y estribos.

2.6 Juntas de dilatación

El viaducto tiene juntas de dilatación únicamente en los estribos 1 y 2. Ambas se diseñaron para permitir la carrera de dilatación térmica y de contracción reológica del tablero.

3. Proceso constructivo

Dado que la altura de la estructura sobre el terreno natural es importante, se realizó mediante una cimbra autolanzable.

El proceso constructivo fue el siguiente:

- En primer lugar se construyeron los estribos y pilas, incluyendo los puntales inclinados que constituyen el arco.
- Se montó la cimbra autolanzable en el E1 del viaducto.
- Se procedió al hormigonado y tesado de la primera fase del viaducto (primer vano y 1/5 de luz del segundo). Se rellenó el trasdós del estribo 1 y se tesaron los anclajes provisionales que hicieron fijo el tablero al E1 durante parte del proceso constructivo.
- Desplazamiento de la cimbra al segundo vano. Hormigonado y tesado de la segunda fase.
- Repetición del proceso anterior hasta la pila 8 (ver figura 4).
- En ese momento de avance del tablero y sin parar el mismo se procedió al descenso de los semiarcos. El descenso de los semiarcos fue la operación más destacable y se desarrollará a continuación (ver figura 5).



Fig. 4 Cimbra autolanzable



Fig. 5 Semiarco en proceso de abatimiento

- Continuación con tablero hasta la pila 12.
- Rotura de los anclajes provisionales del tablero al estribo 1 y anclaje del tablero a la pila 12, punto fijo definitivo del tablero. Con esta acción se consiguió disipar parte de las deformaciones reológicas ya que al materializar en posición definitiva el punto fijo en el centro del tablero, las deformaciones reológicas cambiaron de signo.
- Se repitió el proceso de desplazamiento de la cimbra, hormigonado y tesado hasta completar el viaducto. De esta manera el tablero se realizó en un total de 25 fases con un frente de fase constante de 10 m desde el eje de la pila. El plazo de ejecución de una fase completa con las siguientes labores: encofrado, ferrallado y hormigonado de almas y fondo, colocación de las prelasas mediante la ayuda de unos puntales metálicos, hormigonado de la losa superior, tesado de los cables y avance de la cimbra, era de unos diez días lo que permitió que se obtuvieran buenos tiempos en la ejecución del tablero.
- Relleno del trasdós del estribo 2.
- Ejecución de remates y acabados.

4. Descenso de semiarcos

El elemento que resulta crítico en todo el proceso de descenso es la pila que actúa como puntal. El proceso de descenso se diseñó en base a este condicionante, de manera que se minimizaron las solicitaciones sobre este elemento. Todos los movimientos de las pilas, ángulos de giro de semiarco y fuerzas en gatos se controlaron de manera topográfica a tiempo real y se compararon con los teóricos establecidos en el protocolo de abatimiento de los semiarcos, resultando valores considerablemente similares teniendo en cuenta la incertidumbre sobre la rigidez real de la pila.

El inicio del proceso de descenso se realizó bajo unas condiciones ambientales que permitieron la transferencia de las cargas del semiarco desde los elementos de apoyo provisional al sistema de tirantes y la rótula. Por ello se limitó la velocidad del viento en el lugar a los 20 Km/h en la dirección longitudinal y transversal del puente. De esta forma se garantizó que durante el proceso de transferencia de los apoyos provisionales (barras dywidag, puntal tubular y puntal próximo a rótula) a los tirantes no se superó la capacidad estructural de dichos elementos provisionales.

En primer lugar se construyeron los semiarcos en posición prácticamente vertical con una rótula en la base y un anclaje provisional a las pilas adyacentes formado por barras dywidag (ver figura 6).



Fig. 6 Arco en posición inicial

Previo al comienzo del abatimiento se procedió a desenroscar las barras dywidag que constituían el anclaje provisional hasta dejar un huelgo de 5 cm. De esta forma, el movimiento que se indujo en la pila al tirar del cable de retenida no generó esfuerzos en el semiarco.

La primera fase del proceso de descenso fue la puesta en tensión de los tirantes de retenida que conectan la cabeza de la pila que actúa de puntal con la zapata de retenida de la pila más próxima. En esta fase, los tirantes de descenso que conectan la pila con el semiarco, estaban sueltos y no ofrecían ningún tipo de resistencia y las barras dywidag del anclaje provisional ya se habían liberado en la forma explicada. Se debía controlar tanto la fuerza de retenida que se daba a los tirantes de retenida como el movimiento que se producía en la cabeza de pila. Esto es porque en el proyecto se trabajó con una rigidez estimada de la pila. Con la lectura de esta primera fase se determinó el valor de la rigidez real de la pila.

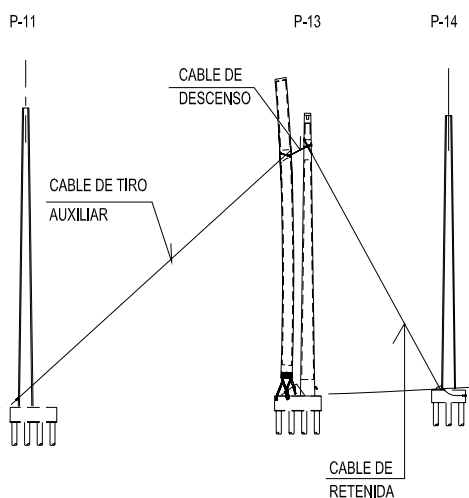


Fig. 7 Elementos del descenso

A partir de este momento se inicia la siguiente fase con la puesta en tensión de los tirantes auxiliares y de descenso. Cuando la tensión en los cables de descenso alcanzó el valor de 200t se procedió a la retirada de las barras dywidag y los puntales tubulares situados como apoyo entre pila y semiarco y se liberó el puntal de apoyo próximo a la rótula.

Al final de esta fase la fuerza del cable auxiliar alcanzó un valor de 200t y comenzó a apreciarse el despegue en la zona del puntal provisional.

A partir de la situación final de esta fase, se actuó alternativamente en los cables auxiliares y los de descenso (ver figura 11). En esta operación la fuerza en el tirante de descenso iba aumentando progresivamente debido a la componente del peso del semiarco y a la transferencia de fuerza del cable auxiliar, lo que provocó asimismo que la fuerza retenida y el desplazamiento de la pila también fueran aumentando. Durante este periodo la fuerza en el cable auxiliar se mantuvo en un valor constante de 200t.

Al final de esta fase se redujo la fuerza del cable auxiliar de 200t a 100t.

A partir de este momento, los cables auxiliares se mantuvieron a una fuerza de 100t, y se continuó actuando alternativamente en los cables auxiliares y los de descenso. Al inicio de esta operación la fuerza en el tirante de descenso disminuyó al reducir la fuerza en el cable auxiliar, lo que provocó una disminución en la fuerza en los cables de retenida y cierta recuperación en el desplazamiento en la cabeza de pila. A partir de esta situación, de nuevo la fuerza en los cables de descenso fue aumentando progresivamente debido a la componente del peso del semiarco y a la transferencia de fuerza del cable auxiliar, lo que provocó asimismo que la fuerza en el tirante de retenida y el desplazamiento de la pila también fueran aumentando.

Al final de esta fase, se procedió a la retirada de los cables auxiliares (ver figura 8).

A partir de la situación anterior, se inició la siguiente fase en la que se retiró el cable auxiliar y se actuó en los cables de descenso que van bajando el semiarco. Así se siguió hasta que se alcanzó el movimiento en cabeza de pila que provocaba la fisuración de la misma, momento en el cual se detuvo la operación y se actuó sobre los cables de retenida que conectaba el semiarco con la zapata de la pila anterior y "corregía" el desplazamiento de la pila.

Una vez corregido el desplazamiento de la pila se continuó con la progresiva actuación sobre los tirantes de descenso que iban bajando el semiarco hasta su posición definitiva (ver figura 10).



Fig. 8 Cables auxiliares ya liberados

Una vez posicionados el primer semiarco se procedió al abatimiento del otro semiarco de forma análoga.



Fig. 9 Proceso de abatimiento del primer semiarco



Fig. 10 Primer semiarco en posición definitiva



Fig. 11 Actuación en cables de descenso y auxiliares en el segundo semiarco



Fig. 12 Proceso de abatimiento del segundo semiarco



Fig. 13 Semiarcos en posición final

Una vez posicionados los semiarcos (ver figura 13) se procedió al hormigonado del arranque de los mismos constituido por una rótula durante el abatimiento así como al hormigonado de la clave. El empotramiento entre tablero y arco se llevó a cabo mediante barras MKY cuyo anclaje pasivo quedaba embebido en la clave y que se tesaban desde la cara superior del tablero.

La principal ventaja de este sistema es la facilidad en la ejecución de los semiarcos, ya que dada su posición vertical se ejecutan como si se tratara de pilas con encofrado trepante. Es destacable el hecho de que la preparación de todos los elementos para el descenso de semiarcos que corrió a cargo de la empresa VSL se desarrolló en un tiempo de unos tres días y el abatimiento de los semiarcos comenzó el 10 de Diciembre de 2008 y se finalizó el 13 de Diciembre.

Una vez finalizado el abatimiento se procedió al destesado de los cables quedando las pilas 11 y 13 en su posición inicial.