

CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO SOBRE EL RÍO ULLA

José Andrés DEL VALLE PÉREZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería SL
Jefe de Proyectos
javalle@torroja.es

Javier GAMINO PALOMO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería SL
Cálculo de Estructuras
jgamino@torroja.es

César AJA CHAO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
TECSA
Jefe de Producción
cajac@tecsa.es

Ángel CARRIAZO LARA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería SL
Especialista en Estructuras
acarriazo@torroja.es

Luis PESET GONZÁLEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Dragados SA, Dirección Técnica
Jefe de Departamento
lpesetg@dragados.com

RESUMEN

El viaducto, de 630m, se compone de un vano principal sobre el río Ulla, resuelto sobre un arco peraltado de 168m de luz y 105m de flecha, y sendos tramos de acceso laterales. Las pilas, con sección en forma de hipódromo, se ejecutaron con encofrado autotrepante. El tablero se construyó por fases mediante cimbra autolanzable, El arco se ejecutó por dovelas, en voladizo, mediante carros de avance, con ayuda de doce tirantes provisionales, cuatro desde la pila contigua y ocho desde el tablero, que transmitía el tiro a los estribos, más uno de retenida. Los estribos se cosieron al tablero mediante pretensado. Cada tirante estaba formado por dos tendones simétricos. El anclaje activo, resuelto con casquillos roscados, se situaba en el tablero o en la pila y el pasivo era el situado en el arco, con barras activas roscadas en hilera, ancladas en las almas. La ejecución de pilastras y tablero del vano principal fue simultánea con la de los semiarcos.

PALABRAS CLAVE: ferrocarril, alta velocidad, arco, peraltado, tirantes, carros, dovelas, cimbra, autolanzable, pretensado

1. Introducción

El viaducto, de 630m de longitud, presenta un vano central sobre el río Ulla, resuelto mediante un gran arco peraltado de 168 m de luz y aproximadamente 105 m de flecha, levemente apuntado en la clave, que sustenta el tramo principal del tablero, y dos tramos de acceso desde las márgenes. El tramo de acceso de la margen izquierda es de 251m, distribuido en cinco vanos 43,0+4x52,0m. El de la margen derecha es de 198,50m con 4 vanos 3x52,00+42,50m. El vano principal, de 179,00 m, se divide en seis tramos, con 5 pilastras intermedias: 36,50+4x26,50+36,50m.

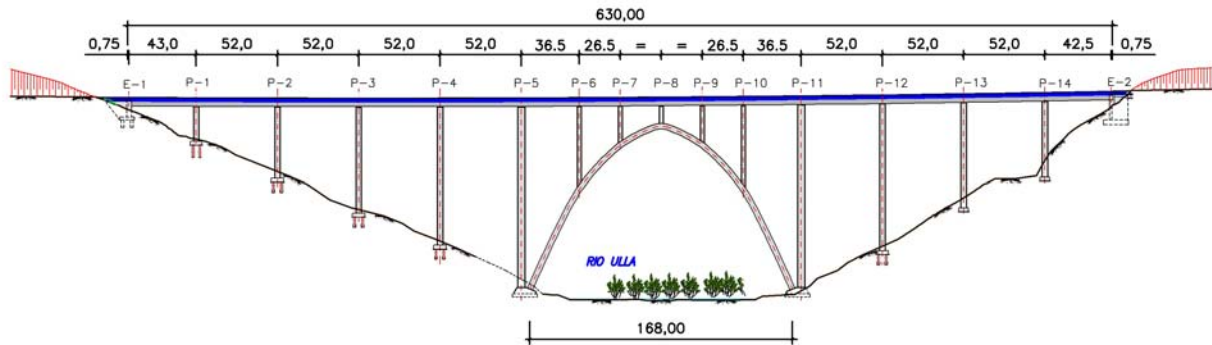


Figura 1. Alzado general del viaducto.

La directriz del arco es una poligonal de tramos de 2,50m, La curvatura es variable, monótona creciente, con quiebros más pronunciados bajo las pilastras. La sección del arco es constante 3,50x7,70m.

El tablero es una viga continua convencional, de hormigón postesado. Canto constante de 3,89 m en eje. Sección en cajón unicelular con almas inclinadas y voladizos de 14m de anchura total. Almas de 0,50m de espesor. Forjado inferior acartelado de 0,25 m y forjado superior, en bombeo y también acartelado, de 0,35m.

Las pilas son de canto constante y de anchura variable excepto en las pilastras sobre el arco. Las de los tramos de acceso son de 3,5 m de canto. Las grandes pilas P5 y P11, que enmarcan el arco, son de 4,5 m de canto. Las pilastras tienen 2,50 m. Las coronaciones de todas ellas son macizas. Su sección tiene forma de hipódromo, con los alzados frontales configurados en tres planos, levemente retranqueado el central, y contornos laterales circulares para disminuir el coeficiente de arrastre del viento. Las paredes son de espesor constante de 0,35 m.

Los estribos son cerrados con aletas laterales, diafragmas interiores y con una losa superior. El estribo sur –E1- dispone además de una losa trasera que lo cierra completamente. Sobre ella se disponen anclajes al terreno.

2. Proceso de construcción

2.1. Estribos

Los estribos se han ejecutado con encofrados convencionales. El estribo sur se cimenta sobre 6 pilotes de 1,80m de diámetro. El estribo norte se apoya directamente en el dique de cuarzo. Ambos servirán de retenida al tablero durante la ejecución del arco. En el estribo 1 para ello han debido disponerse 24 anclajes al terreno de 1176kN de carga nominal sobre la losa trasera, ejecutada contra el talud excavado del terreno. Entre la losa trasera y la coronación del estribo, se han dispuesto 48 barras activas $\phi 40$ en cuatro hileras ancladas en la losa superior del estribo, en la que se cruzan con los tendones de cosido al tablero.

El estribo E2 constituye el punto fijo del viaducto en servicio. Su gran masa le basta para soportar los esfuerzos horizontales debidos a las sobrecargas ferroviarias, a las interacciones vía-tablero y al rozamiento de aparatos de apoyo. También el atirantamiento en construcción. Los tendones de cosido al tablero en este estribo son permanentes, autoprotegidos, retesables y admiten reposición. Este estribo se apoya directamente sobre el dique de cuarzo.



Figura 2. Estribo norte aletas y diafragma



Figura 3. Estribo norte frente

2.2. Pilas

Tras la construcción de sus respectivos elementos de cimentación, en todos los casos consistentes en encepados sobre pilotes de 1,80m de diámetro excepto en P5, P13 y P14, los alzados de las pilas se han ejecutado con encofrado trepante convencional.

Realizaciones: puentes y pasarelas



Figura 4. Ejecución fustes de pilas.

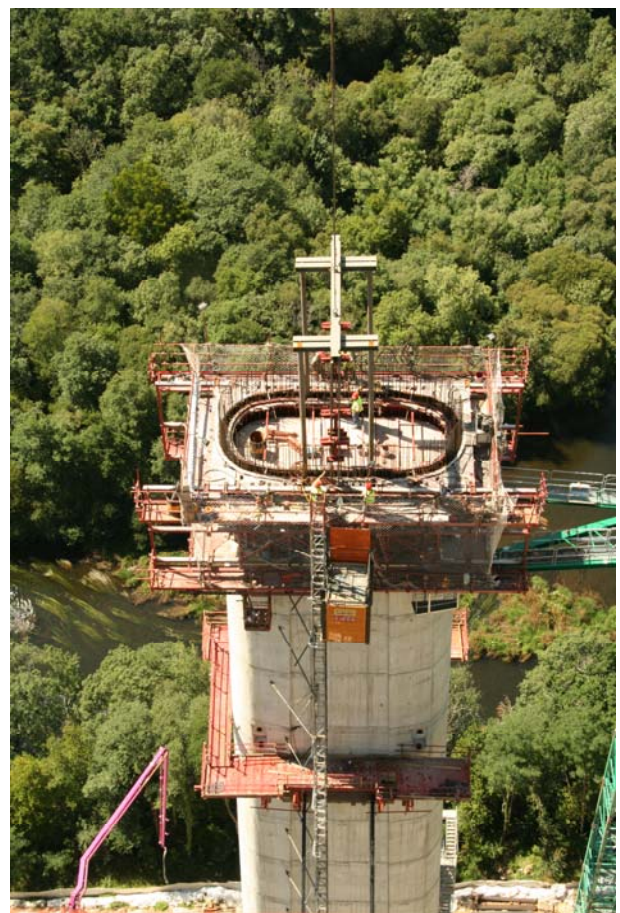


Figura 5. Tropa de encofrados.

2.3. Tablero

El tablero se ha ejecutado por fases, mediante cimbra autolanzable. Se han empleado dos cimbras diferentes, para los vanos de los tramos de acceso y para los tramos sobre el arco. Es

interesante indicar que para mejorar las condiciones frente a fatiga, no se han utilizado acopladores para los tendones en las juntas, sino que se ha previsto su cruzamiento en tramos de borde de fase, en los que se han dispuesto costillas de 3 m longitud.



Figura 6. Costillas de frente de fase.

Las cimbras se cuelgan en cada fase del extremo del voladizo ejecutado y se apoyan en una estructura lateral adosada a la pila siguiente, anillo, para la cual se ha preparado la coronación.



Figura 7. Cimbra autolanzable en tramo de acceso.

El hormigonado de cada vano se ha realizado en dos fases como es habitual. En la primera la losa inferior y los hastiales y en la segunda la losa superior incluidos los voladizos. El forjado entre almas se ejecuta sobre prelasas nervadas de encofrado perdido apuntaladas sobre el forjado inferior.



Figura 8. Ejecución primera fase del tablero.



Figura 9. Ejecución segunda fase del tablero.

Una vez completadas las dos primeras fases de tablero desde cada estribo y antes de comenzar la puesta en obra del hormigón de la tercera fase, se ha procedido al enfilado y tesado de los

tendones de cosido del tablero al estribo correspondiente y al desmontaje de los perfiles dispuestos como bloqueo provisional. Entre el tablero y cada uno de los estribos se han dispuesto 8 tendones, formados por 22 cordones del mismo tipo que los empleados en el pretensado del tablero. El tesado se ha realizado desde sus extremos activos, situados en el paramento trasero del estribo E1 y en la galería dispuesta al efecto en el estribo E2, manteniendo la simetría respecto al eje del tablero. Cada tendón se tesó a la carga necesaria para alcanzar en su anclaje pasivo la carga prevista en proyecto, de 2864 KN.



Figura 10. Tendones de cosido del tablero al estribo norte punto fijo de servicio.

Entre el tablero y el estribo se disponen topes frontales, compuestos por aparatos de apoyo tipo POT instrumentados.

Es fundamental para la conservación de las estructuras prever acceso a los elementos principales. Se han previsto entradas de acceso al tablero para inspección en ambos extremos y pasos desde el tablero a cada una de las pilas para la inspección de los apoyos.

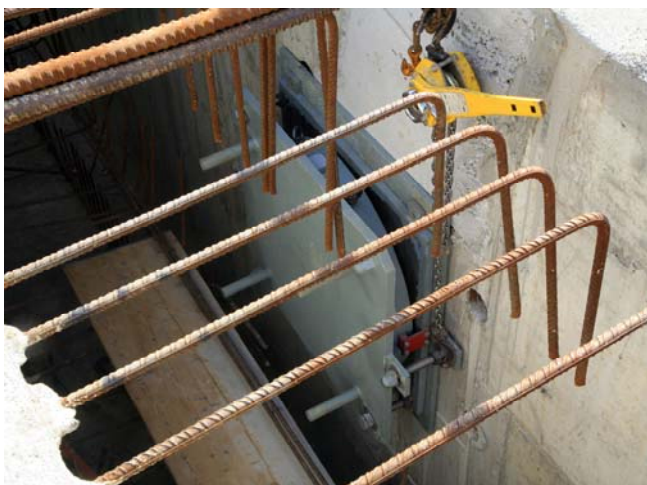


Figura 11. Apoyo POT frontal entre estribo y tablero y detalle de visita de apoyos sobre pilas.

2.4. Arco

Cada semiarco se compone de un pequeño tramo inicial cimbrado y 26 dovelas construidas "in situ" con carro de avance de 5m de longitud. Entre los semiarcos se construye la dovela de cierre. Su vértice superior está situado a unos 11 m de la cara inferior del tablero.

La ejecución de cada semiarco se realiza en voladizo, con la ayuda de doce tirantes provisionales. Los cuatro inferiores atirantan el arco desde la pila contigua, P5 ó P11. Los ocho restantes lo hacen desde el tablero. El tiro del tablero se transmite a los estribos. Es necesario además un tirante de retenida, que compensa los esfuerzos inducidos sobre cada pila contigua, atirantándola desde media altura hasta el encepado de la pila siguiente.

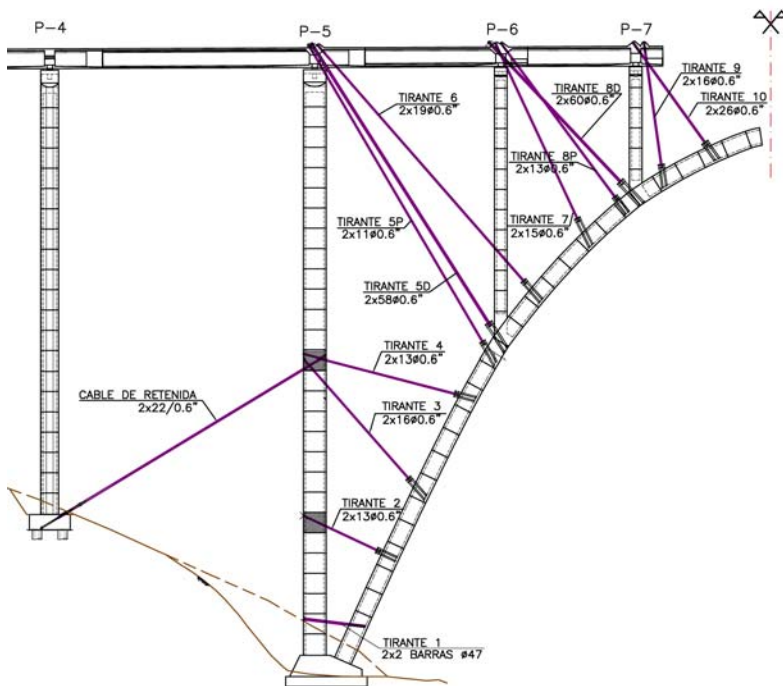


Figura 12. Esquema general de tirantes.

Los tirantes se montan según va avanzando la construcción del arco. Su ejecución es simultánea con la de las pilastras y el tablero, de forma que, cuando se alcanza la posición de una pilastra, se ejecuta ésta y el tramo de tablero correspondiente.



Figura 13. Alzado en construcción



Figura 14. Carro de dovelas

Cada tirante está compuesto por dos tendones idénticos, formado cada uno de ellos por un número variable de cordones autoprottegidos, de acero superestabilizado de Y-1860-S7 de 150 mm² de sección y 279 kN de carga de rotura mínima garantizada. La mayor parte de los tirantes están constituidos por tendones formados por entre 11 y 19 cordones. Las retenidas de las pilas están compuestas por tendones de 22 cordones. Los tirantes principales que sustentan la base de las pilastras están formados por 58 y 60 cordones respectivamente. Los tendones más próximos a la clave, están formados por 26 cordones por tendón. La protección, salvo para los tirantes de vida prevista inferior a 45 días, quedó encomendada a vainas individuales de polietileno extrusionadas y rellenas de grasa o cera.



Figura 15. Tirantes

El anclaje activo de cada tirante es el situado en el tablero o en la pila y el anclaje pasivo es el situado en el arco. Este último se ha resuelto en general con cuatro barras roscadas de acero activo, tipo VSL Y-1050, en hilera, que anclan en la base de cada una de las almas del arco mediante placas con tuercas. Las barras van envainadas, para evitar que anclen por adherencia

de forma incontrolada, y se roscan una vez ejecutada la dovela. Las vainas se rellenan de grasa hidrosoluble de protección. Entre las barras y los tendones se disponen estructuras metálicas de transferencia arriostradas. Los tendones que componen los tirantes principales de cada semiarco, anclan mediante ocho barras activas en lugar de cuatro, dispuestas en hileras dobles. Estas barras, no anclan además en las almas del arco, sino en las traviesas macizas previstas bajo las pilastras.



Figura 16. Preparación de tirantes



Figura 17. Tesado en anclajes activos



Figura 18. Anclajes pasivos tirantes principales y secundarios

Los cables de retenida tienen su extremo activo en la cimentación de las pilas P4 y P12 y su extremo pasivo en las pilas principales. Los anclajes en las zapatas de cada uno de los tendones que componen estos tirantes, se realizan mediante ocho barras, dispuestas en una doble hilera transversal. Entre el anclaje y los tendones se disponen estructuras de transferencia de acero, con dos barras M-110 por anclaje, en las cuales se realizan los cambios de tensión del tirante.



Figura 19. Anclajes activos de retenida

Es importante hacer notar que todos los tirantes provisionales, así como los tendones de cosido y los anclajes al terreno, se han dimensionado para que trabajen en todo momento por debajo del 50% de su capacidad de carga máxima.



Figura 20. Situaciones en construcción

Los ajustes de tensión se realizan desde los extremos activos. La primera fase de la puesta en carga de los cables, hasta 20KN aproximadamente por cordón, se lleva a cabo mediante gatos unifilares convencionales, con enclavamiento de cuñas, manteniendo igualdad de cargas en cada tendón. El resto del tesado inicial, así como los diversos ajustes de carga posteriores, se llevan a cabo mediante gatos huecos con silla de regulación, de forma que el tiro se realice sobre los cordones, pero la regulación se efectúe sobre tuercas o casquillos roscados dispuestos en los anclajes activos. Las operaciones de destesado final, previas a la retirada de los tendones, se realizan también con este último sistema, al menos hasta que los cordones han perdido la mayor parte de la tensión y ha comenzado a ser visible la catenaria.

Los tesados y destesados de los dos tendones que componen cada tirante, se han realizado siempre simultánea y simétricamente respecto al eje del arco, mediante gatos hidráulicos idénticos conectados a la misma central de presión. Esto garantiza la identidad de las cargas entre ambos elementos.



Figura 21. Anclajes activos de tirantes principales

Una vez completados ambos semiarcos, se procede al cierre en clave y se ejecuta la pilastra central y se completa el tablero. Es interesante indicar por último que en este caso no ha sido preciso preparar una apertura elástica del arco. Ésta fase suele convenir en los arcos rebajados construidos con atirantamiento para producir una compresión en clave y que el arco comience su trabajo como tal. En este viaducto la compresión proviene del desmontaje de tirantes tras el cierre y por las cargas concentradas que se introducen en la clave.

3. Participantes

- NOMBRE DE LA OBRA:
Proyecto Constructivo de Plataforma. Corredor Norte Noroeste de Alta Velocidad. Tramo Lalín-Santiago. Subtramos Silleda (Dornelas)- Vedra y Vedra- Boqueixón.
- PROPIEDAD:
Ministerio de Fomento. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF.
- DIRECCIÓN DE OBRA:
Juan Pablo Villanueva Beltramini (ICCP- Madrid). ADIF

- AUTORES DEL PROYECTO Y ASISTENCIA TÉCNICA A LA EJECUCIÓN DE LA OBRA
 - Torroja Ingeniería SL
 - D. José María de Villar Luengo (ICCP- Madrid)
 - D. José Andrés del Valle Pérez (ICCP- Madrid)
 - D. Ángel Carriazo Lara (ICCP- Madrid)
- EMPRESA CONSTRUCTORA:
 - UTE AVE ULLA (Dragados SA-TECSA SA)
- JEFATURA DE OBRA:
 - D. Pedro J. Chico López. (ICCP- Granada). Gerente
 - D. Rafael Molina Trilla (ICCP- Madrid). Gerente hasta abril/2009
 - D. Carlos Rodríguez Fernández (ICCP- La Coruña). Jefe de Obra
 - D. César Aja Chao (ICCP- Santander). Jefe de Producción
- ASISTENCIA TÉCNICA A LA DIRECCIÓN DE OBRA
 - UTE IDOM –Geocontrol con la colaboración de Arenas y Asociados SL
 - D. José María Olaguíbel Álvarez-Valdés. (ICCP- Madrid). Asesor
 - Dña. Berta Ónega Castellano. (ICCP- Alfonso X). Jefa de la AT
- EMPRESA SUBCONTRATISTA DE ESTRUCTURAS:
 - Puentes y Estructuras (Viaductos sobre los ríos Ulla y Saramo)
- TIRANTES, PRETENSADO Y APOYOS :
 - VSL –CTT -Stronghold
- INSTRUMENTACIÓN:
 - Kinesia Ingeniería (Viaducto sobre el río Ulla)
 - D. Vicente Puchol de Célis (ICCP-Madrid)