

Proyecto del Puente Las Truchas (Nayarit, México)

Las Truchas Viaduct Project (Nayarit, Mexico)

Pablo Grandío Noche^a, Sergio Couto Wörner^b, Xan Quintana Urzainki^c, Jorge Cascales Fernández^d y Ricardo Rico Rubio^e

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniero de Proyectos. pgrandio@k2ingenieria.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director General. scouto@k2ingenieria.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2.9 Estudio de Ingeniería S.L. Delegado. xquintana@k29.mx

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director Técnico. jcascales@k2ingenieria.es

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director de Ingeniería. rrico@k2ingenieria.es

RESUMEN

Se describen las características más relevantes asociadas al proyecto del Puente Las Truchas, perteneciente a la nueva Autopista de cuota Jala – Puerto Vallarta. Tramo: Compostela – Las Varas en el Estado de Nayarit (México). Se relata el procedimiento seguido en las diferentes etapas de diseño desde la concepción inicial hasta la solución definitiva del proyecto constructivo, con indicación de los principales condicionantes existentes y las medidas adoptadas para poder satisfacerlos.

ABSTRACT

The most relevant characteristics of the project for Las Truchas Bridge, part of the new Jala - Puerto Vallarta toll motorway. Section: Compostela - Las Varas in the State of Nayarit (Mexico) are described in the present article. The steps related to the different design stages, from the initial conception to the final solution of the project are detailed. The most determining factors and the decisions made to fulfil the corresponding requirements are also addressed.

PALABRAS CLAVE: Cajón pretensado, voladizos sucesivos, pretensado exterior.

KEYWORDS: Prestressed box girder, balanced cantilever, external prestressing.

1. Introducción

El puente las Truchas se localiza en el tramo Jala – Las Varas, perteneciente a la carretera Guadalajara – Puerto Vallarta, situada en el estado de Nayarit, México. La estructura se enmarca dentro de una vía de comunicación de alta capacidad que permite el acceso a las zonas turísticas de Puerto Vallarta y Riviera Nayarit desde grandes centros de población situados en los estados vecinos, como Guadalajara, Aguascalientes o Zacatecas.

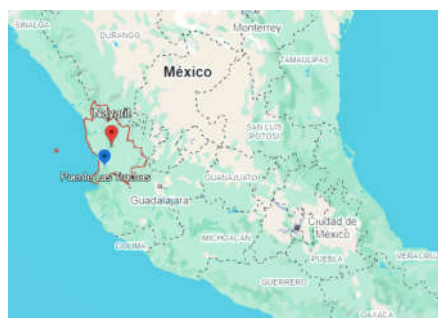


Figura 1. Localización del proyecto

2. Análisis preliminares

El alcance de los trabajos llevados a cabo por K2 Ingeniería se inicia con la prestación de servicios de Asistencia Técnica a la Secretaría de Infraestructuras, Comunicaciones y Transportes (SICT), dependiente del Gobierno de México.

En esta primera etapa, desarrollada a finales del año 2015, se realizó el estudio de la alternativa estructural a proponer para la licitación del proyecto, partiendo de una solución preliminar realizada por la empresa Mexpresa.

Esta solución preliminar planteaba la materialización de un tablero empujado de 280.0 m de longitud formado por 5 vanos, con luces de 44.0 m + 3 x 64.0 m + 44.0 m.

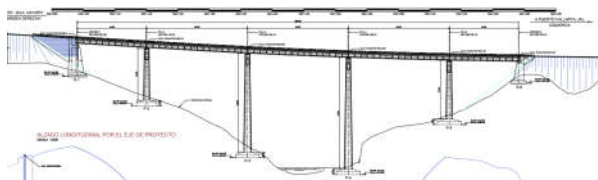


Figura 2. Alzado de la tipología con tablero empujado, proyecto de Mexpresa.

La sección transversal, con un ancho total de 21.80 m, se materializa por medio de un cajón de hormigón pretensado con puntales inclinados para apoyo de los voladizos laterales y un canto constante de 3.35 m.

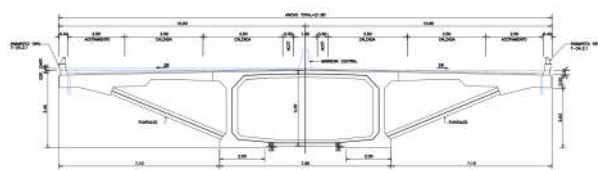


Figura 3. Sección transversal de la tipología con tablero empujado, proyecto de Mexpresa.

El tablero se apoya sobre los caballetes y las pilas mediante aparatos tipo POT deslizantes en todas direcciones. Ante acciones horizontales de dirección longitudinal, el tablero estaría fijado al caballete 1 mediante tendones de pretensado. En dirección transversal, se disponen topes en los caballetes.

Las pilas presentarían alturas entre los 33.0 m de la pila 2 a los 70.5 m de la pila 4.

En la fase de evaluación de la viabilidad de las posibles alternativas, se desarrolló una nueva propuesta de estructura, a efectos de poder analizar ventajas e inconvenientes de diferentes soluciones.

Se trató de plantear una tipología que permitiera un menor número de pilas, incrementando la luz del vano principal para poder limitar la afección al arroyo que discurre por debajo de la estructura.

Además, entendiéndose que la acción del sismo podría ser condicionante del diseño de la subestructura, se buscó poder concebir el puente como una estructura integral, realizando una unión empotrada entre las pilas y el tablero.

Con estas premisas y manteniendo la misma longitud total de estructura, se plantea la solución de tablero ejecutado por avance en voladizo.

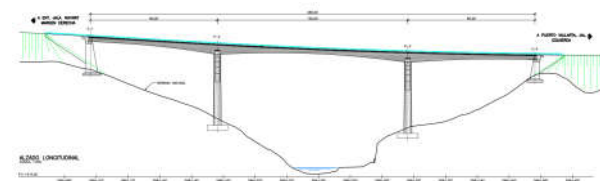


Figura 4. Alzado de la tipología con tablero ejecutado por avance en voladizo.

La anchura del tablero, de 21.80 m, hace que resulte viable para la configuración de la sección transversal su planteamiento como sección completa ejecutada en una sola fase, como la solución de realizar el avance en voladizo para núcleo central de la sección ejecutado en una primera fase, completando los voladizos laterales tras la finalización del avance en voladizo.

Ambas alternativas fueron valoradas en esta fase de análisis preliminar.

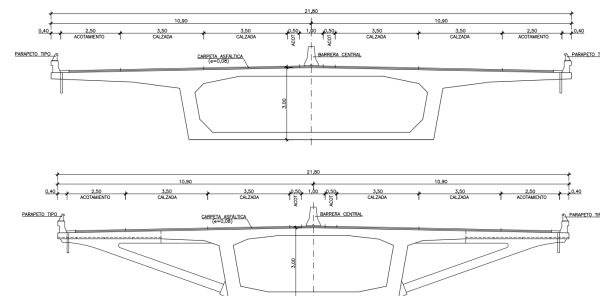


Figura 5. Secciones transversales ejecutadas en una única fase (superior) y en dos fases (inferior)

3. Proyecto licitado

Tras la fase de valoración de las alternativas disponibles, finalmente la propiedad optó por la solución de tablero in situ por avance en voladizo, con ejecución de la sección transversal en una sola fase y con unión rígida entre el tablero y las pilas.

La solución estructural para el proyecto licitado fue desarrollada a lo largo de la primera mitad del año 2016 y presentaba un encaje final de 290 m de longitud, dividido en tres vanos con luces de 80.0 m + 130.0 m + 80.0 m.

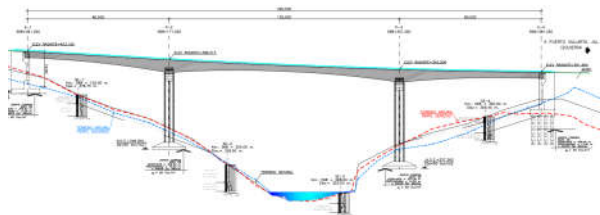


Figura 6. Alzado del Puente Las Truchas en el proyecto licitado.

La sección transversal mantenía el ancho de 21.80 m indicado previamente y presentaba un canto con variación parabólica, con un valor mínimo de 3.250 en los extremos de los vanos laterales y centro del vano principal y un valor máximo sobre pilas de 6.750 m.

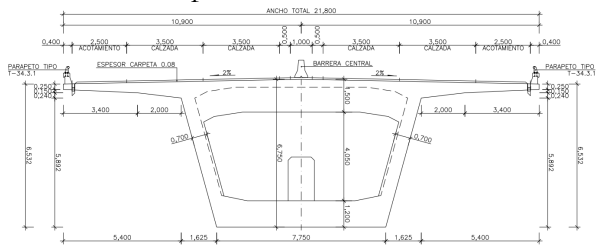


Figura 7. Sección transversal sobre pilas del Puente Las Truchas en el proyecto licitado.

El avance en voladizo se segmentaba en 17 dovelas, cuyas longitudes, entre 2.95 m y 3.85 m, se plantearon para mantener su peso por debajo de las 180 t. El proceso constructivo reflejado en el proyecto contemplaba la realización del cierre del vano principal en primer lugar, realizando a continuación los cierres de los vanos laterales, cuya longitud debía ser completada mediante el hormigonado sobre cimbra apeada.

El esquema resistente del tablero ante las acciones horizontales se basa en la conexión

rígida entre el tablero y las pilas y la disposición de apoyos de neopreno en los caballetes, deslizantes en dirección longitudinal y guiados en dirección transversal.

En relación con el sismo, la aplicación de la Normativa de Redacción de Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares de la SICT (N-PRY-CAR-6-01-005/01) caracteriza la descripción de la acción en base a los siguientes parámetros:

- Ubicación de la estructura en la zona sísmica D.
- Estructura tipo A (factor de importancia de 1.50)
- Terreno tipo I.

Adoptando un valor del factor de comportamiento sísmico $Q=2.0$, resulta una acción de sismo con una aceleración máxima del espectro de diseño de $0.38 \cdot g$.

Se asume un comportamiento de la estructura con ductilidad limitada, realizando su análisis mediante un cálculo modal espectral de la estructura completa. Adoptando un criterio conservador a efectos de evaluación de las solicitaciones sobre la subestructura, no se ha considerado en el análisis la pérdida de rigidez de las pilas por efecto de la fisuración.

4. Proyecto constructivo

4.1 Descripción general

Tras la adjudicación del proyecto a mediados de 2016 a la unión de empresas formada por la Constructora Gia y Azvi (a través de su filial en México, Construcciones Urales), se inició un proceso de adaptación del proyecto licitado a las condiciones y necesidades específicas observadas en obra. Las principales modificaciones planteadas fueron las siguientes:

Con las condiciones del terreno existente en campo, resultó necesario ajustar la información topográfica considerada en fase de proyecto.



Figura 8. Zona de implantación de la estructura en el inicio de las obras.

Por esta causa y debido a que el encaje de los estribos podría no ser viable con las alturas resultantes, se convino añadir un vano más en cada extremo de la estructura. Esta medida incrementaría la longitud de la estructura desde los 290 m del proyecto licitado a 433.33 m, con una distribución de luces de 66.97 m + 84.70 m + 130.0 m + 84.70 m + 66.97 m.



Figura 9. Alzado del Puente Las Truchas en el proyecto constructivo.

4.2 Subestructura

Tras las modificaciones planteadas, el tablero quedaría soportado por dos caballetes y cuatro pilas.

Las pilas 3 y 4, correspondientes al vano principal, se mantienen como elementos conectados de manera monolítica con el tablero. Por su parte, el apoyo sobre los caballetes y pilas 2 y 5 se realiza mediante apoyos POT libres en la línea de apoyos derecha y guiados longitudinalmente para la línea de apoyos del lado izquierdo.

Los caballetes, de 14.0 m de altura en el caso del caballete 1 y de 9.20 m de altura para el caballete 6, son estribos cerrados con cimentación directa. A pesar de que en la situación de puente

terminado son puntos que permiten el libre desplazamiento del tablero en dirección longitudinal, para la etapa de construcción se dispuso en cada uno de ellos una conexión longitudinal provisional con el tablero por medio de perfiles metálicos embebidos.



Figura 10. Vista general construcción caballete 1



Figura 11. Perfiles embebidos para conexión provisional tablero-caballete

Las pilas que soportan el tramo de tablero de avance en voladizo (pilas 3 y 4) tienen alturas del orden de los 50.0 m, mientras que la altura de las pilas de los vanos laterales (pilas 2 y 5) se encuentran en el entorno de los 22.0 m. Para todas ellas se dispone una sección transversal rectangular hueca. En el caso de las pilas 2 y 5, las dimensiones exteriores son de 4.0 m x 7.0 m con un espesor de tabiques de 0.50 m, mientras que para las pilas 3 y 4, rígidamente unidas al tablero de avance en voladizo, sus dimensiones exteriores son de 5.5 m x 7.0 m, disponiendo un espesor de 0.60 m para los tabiques de la sección. Todas las pilas cuentan con cimentación superficial.



Figura 12. Cimentación de pila P4



Figura 13. Alzados de pilas P3 y P4 en ejecución.

4.3 Tablero

Con objeto de poder adaptar el procedimiento constructivo a los medios disponibles en obra, se propuso modificar la tipología de la sección transversal, planteando su ejecución en dos etapas; una primera correspondiente al núcleo de la sección, que se ejecutaría por avance en voladizo y una segunda que se completaría tras el cierre del tablero, compuesta por los voladizos laterales del tablero, soportados por jabalcones apoyados sobre el núcleo de la sección.

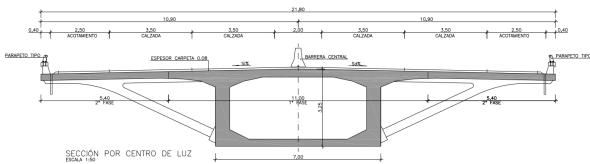


Figura 14. Sección transversal del Puente Las Truchas en el proyecto constructivo.

Por causa de los ajustes descritos, resultó necesario disponer longitudes constantes para las dovelas del tablero, de valor 3.94 m. De este modo se posibilita que los jabalcones de apoyo de los voladizos laterales puedan mantener el mismo interje a lo largo de la estructura y la

misma posición relativa desde los frentes de las dovelas.



Figura 15. Vista general del avance en voladizo del tablero

Los voladizos laterales del tablero se materializan mediante el montaje de prelasas sobre los jabalcones. Éstas servirán como encofrado colaborante de cara al hormigonado de la losa superior. Tras esta operación, la sección transversal queda completada una vez se realice el tesado de los tendones de pretensado transversal dispuestos en todo el ancho de la losa superior, que se distribuyen de manera uniforme en toda la longitud del puente con una separación de 1.32 m.



Figura 16. Jabalcones (izquierda) y voladizos laterales de tablero (derecha).

A nivel longitudinal, el pretensado longitudinal del tablero se plantea en diferentes familias, con las características principales siguientes:

- Tendones de avance en voladizo, materializado con unidades de 15 cordones $\phi 0.60''$.
- Familia de tendones parabólicos en vanos 1 y 5, con unidades de 27 cordones $\phi 0.60''$.
- Familia de tendones de continuidad, para el cosido de los vanos de las dovelas de cierre (vanos 2, 3 y 4).

- Familia de tendones de pretensado exterior en toda la longitud del tablero, empleando unidades de 27 cordones $\phi 0.60''$.

4.4 Proceso constructivo

Debido a la complejidad de las circunstancias que rodearon a la materialización del puente, la descripción pormenorizada de todos los detalles es objeto de un artículo específico sobre su construcción. Por ello, en el presente artículo únicamente se hará referencia a las fases principales definidas en el proyecto.

Como punto de partida, tanto el planteamiento de ejecución de la sección transversal en dos etapas (núcleo + voladizos laterales) como la adición de vanos adicionales en cada uno de los extremos del tablero motivaron el ajuste del procedimiento constructivo inicialmente propuesto.

Se hizo necesario disponer una dovela adicional sobre el voladizo izquierdo del tablero sobre la pila P3 para no cortar el único camino de acceso inferior.

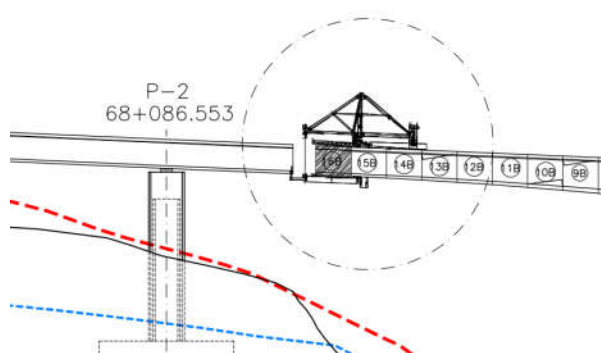


Figura 17. Esquema de dovela adicional (D16) sobre voladizo izquierdo de pila P3

Con los condicionante descritos, se planteó entonces la secuencia conformada por las siguientes fases de ejecución:

- Ejecución de cimentaciones y alzados de pilas y caballetes.
- Montaje de carros sobre pilas P3 y P4 e inicio del avance en voladizo del núcleo del tablero.

- Hormigonado y tesado de núcleo de tablero en vanos 1 y 5 sobre cimbra convencional.
- Ejecución de dovela de cierre en vano 4 empleando el carro derecho sobre pila P4. Tesado de tendones de continuidad y desmontaje de carros sobre pila P4.



Figura 18. Preparación de ferralla para dovela de cierre

- Ejecución de dovela de cierre en vano 3 empleando el carro derecho sobre la pila P3. Tesado de tendones de continuidad.



Figura 19. Vista general del hormigonado de la dovela de cierre del vano 3.

- Avance del carro izquierdo sobre P3 para la ejecución de la dovela adicional del vano 2 (dovela 16).
- Ejecución de la dovela de cierre sobre el vano 2, empleando el carro izquierdo sobre la pila P3. Tesado de tendones de continuidad y desmontaje de carros sobre P3.
- Montaje de jabalcones, prelosas, hormigonado de voladizos laterales de la sección transversal y tesado de tendones de pretensado transversal. Estas operaciones se acompañan con el tesado de los tendones de pretensado exterior.

Etapa de tesado tras el montaje de jabalcones, completando el tesado tras el hormigonado de los voladizos.

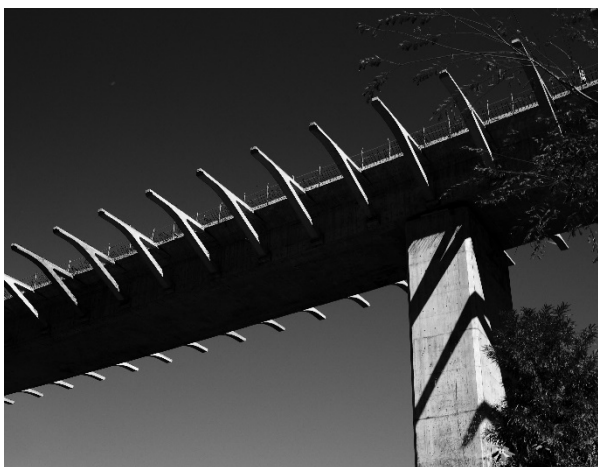


Figura 20. Montaje de jabalcones.

- Tras la finalización de la construcción del tablero, se procede a la puesta en obra del pavimento, parapetos, barrera e instalación de juntas de dilatación.



Figura 21. Vista general del puente terminado.

5. Agradecimientos

Se quiere agradecer tanto a la Secretaría de Infraestructuras Comunicaciones y Transportes (SICT) como al equipo de obra de las empresas Construcciones Urales (Azvi) y Gia, la confianza depositada y el trato a lo largo del desarrollo de los trabajos.