

# Construcción Puente Las Truchas (Nayarit, México)

## *Las Truchas Viaduct Construction (Nayarit, Mexico)*

Sergio COUTO WÖRNER<sup>a</sup>, Pablo GRANDÍO NOCHE<sup>b</sup>, Xan QUINTANA URZAINKI<sup>c</sup>, Jorge CASCALES FERNÁNDEZ<sup>d</sup>, Ricardo RICO RUBIO<sup>e</sup> y Mauricio MICHACA TAPIA<sup>f</sup>

<sup>a</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director General. scouto@k2ingenieria.es

<sup>b</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniero de Proyectos. pgrandio@k2ingenieria.es

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

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

<sup>e</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director de Ingeniería. rrico@k2ingenieria.es

<sup>f</sup>Ingeniero Civil. k2.9 Estudio de Ingeniería S.L. Residente de Obra. mmichaca@k29.mx

### RESUMEN

Se detalla la construcción 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 considera importante realizar una ponencia independiente de la construcción del viaducto debido a todos los obstáculos aparecidos durante el proceso, siendo una tarea ardua, larga y mucho más complicada que un puente de características similares. Además de las dificultades debida al enclave de la estructura, varias constructoras llevaron a cabo la construcción, y varios accidentes ocurrieron durante los 8 años que transcurrieron desde el inicio de obra a la inauguración.

### ABSTRACT

The construction of the Las Truchas Bridge, part of the new Jala - Puerto Vallarta toll motorway. Section: Compostela - Las Varas in the State of Nayarit (Mexico) is described. It is considered important to make a separate paper on the construction of the viaduct due to all the obstacles encountered during the process, being an arduous, long and much more complicated task than a bridge of similar characteristics. In addition to the difficulties due to the enclave of the structure, different construction companies carried out the construction, and several accidents occurred during the 8 years that elapsed from the beginning of the work to the inauguration.

**PALABRAS CLAVE:** inspección, patologías, refuerzo, corrosión, ensayos, mantenimiento.

**KEYWORDS:** survey, pathologies, reinforcement, corrosion, testing, maintenance.

## 1. Inicio de la construcción

La presente ponencia complementa a una previa que detalla el proyecto del viaducto. No se incidirá en la descripción del mismo ni en los condicionantes de diseño, cálculo o elección de la tipología, por tanto.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes adjudicó la construcción del viaducto y del tramo a la Unión temporal de Empresas formada por Construcciones Urales (Azvi) y Gia +A, en verano del año 2016. Los primeros meses se

dedicaron a modificar el proyecto licitado y a los trabajos previos de obra (excavaciones, caminos de obra, organización de tajos...), comenzándose la construcción de las cimentaciones en septiembre de 2017.



**Figura 1. Inicio construcción.**

La dificultad inicial de la obra residía fundamentalmente en dos aspectos:

- Creación de caminos de obra: el tramo del viaducto se encontraba en medio de varios tramos en construcción, por lo que el trayecto desde Compostela (pueblo más cercano) a la obra rondaba la hora en coche. Una vez se alcanzaba el estribo inicial, llegar al otro también era complicado debido a la orografía, por lo que cualquier maniobra a realizar no era sencilla.
- Ligado al punto anterior, el volumen de las cimentaciones de cada pila era de 1600 m<sup>3</sup>, lo que no hacía nada fácil el mantener el suministro continuo de un volumen de esta magnitud, tanto desde el punto de vista logístico como por el estudio de la dosificación. Finalmente, el hormigonado de cada zapata de pila se realizó de noche con una duración cercana a las 16 horas. Se taparon las cimentaciones con mantas una vez concluido el colado para evitar problemas de fisuración, pero no hubo mayores problemas.



**Figura 2. Colado zapata P2.**

El resto de los fustes de pilas se concluyeron sin complicaciones, proceso que finalizó en primavera de 2018 aproximadamente. Al mismo tiempo se comenzó a montar la cimbra para hormigonar los vanos iniciales



**Figura 3. Pilas.**

La siguiente dificultad en la obra vino al ferrallar las dovelas 0 de los tramos de voladizos. La densidad de armado hizo que la colocación de la armadura se realizase en un período de tiempo superior al habitual con presencia continua de personal de k2 Ingeniería en obra.



**Figura 4. Dovela 0.**

Una vez coladas las dovelas 0, se izaron los carros de voladizos y la construcción prosiguió. Tanto los apoyos, como el pretensado como los carros de voladizos fueron suministrados por VSL.

El avance de los trabajos en este punto era el siguiente:

- Subestructura concluida.
- Cimbra colocada en el vano 1 y tramo listo para hormigonar.
- Cimbra montándose en el vano 5.
- 2 pares de dovelas hormigonadas en Pila 3.
- 5 pares de dovelas hormigonadas en Pila 4.



**Figura 5. Estado construcción.**

## 2. Fallo zona cimbrada

### 2.1. Descripción

Con fecha 7 de octubre del 2018, ocurrió una incidencia de obra severa mientras se realizaba la última parte del colado del claro 1-2, cuando se produjo un descenso de la cimbra que soportaba dicho hormigonado, produciéndose un asiento a la altura de la Torre 2 de la cimbra, que afectó a la geometría del tablero además de producir un fuerte agrietamiento de la zona afectada.

Inmediatamente se detuvo la construcción y se procedió a hacer un dictamen de los alcances de la incidencia de obra. Se redactó un proyecto de reparación que garantizase la estabilidad estructural, así como corrigiera las desviaciones geométricas derivadas de la incidencia.



**Figura 6. Fallo torre.**

### 2.1. Estabilización del vano

Las actuaciones que se realizaron en el vano 1 fueron:

a) Primera etapa de tesado desde el frente de fase:

- Tensado de 4 tendones con una fuerza igual al 15% de la fuerza de tesado de proyecto. Con ello se garantizaría el clavado de cuñas en anclajes y permitiría la colaboración de estos tendones ante una posible situación de derrumbe de la cimbra, para

reducir el riesgo de colapso del tablero.

- Tensado de otros 4 tendones con una fuerza igual al 100% de la fuerza de tensado de proyecto. El objetivo de esta fase era descargar las torres 2 y 3 de la cimbra, que eran los elementos cuyo deterioro supondría un mayor riesgo. No se realizó la inyección de ninguno de los ductos en ningún caso.
- Dichos tesados se realizaron en noviembre de 2018.

b) Demolición de las partes de la losa superior que han quedado a medias y preparación de la junta vertical. El procedimiento debe garantizar la retirada del concreto sin dañar las armaduras existentes.

c) Hormigonado de la losa superior que resta por ejecutar. Esta operación es necesaria para poder realizar el tensado de los restantes cables de presfuerzo.



Figura 7. Losa superior.

d) Segunda etapa del tensado del tablero desde el frente de fase:

- Tensado parcial de 4 tendones con una fuerza igual al 50% de la fuerza de tensado de proyecto. Se fija esta carga para asegurar que ante un colapso de la obra falsa el tablero fuera autoestable incluso con el peso de las celosías colgadas de él. Esto no

quería decir que ante este suceso el puente no sufriera daños irreparables, sino evitar un colapso descontrolado del puente.

- No se realizó la inyección de ninguno de los ductos.
- Dicho tensado se realizó en diciembre de 2018.

e) Operaciones de refuerzo de la cimbra. Se realiza el cuelgue de las celosías de la obra falsa al tablero para reducir la posibilidad de colapso ante una posible desestabilización de las torres.

f) Tercera etapa de tensado de tendones desde el frente de fase:

- Fin del tensado de los tendones con una fuerza igual a la fuerza de tensado de proyecto.
- Una vez se alcance esta fase podría considerarse que el tablero es autoestable.
- Dicho tensado se realizó en febrero de 2019.

g) Inspección del claro:

- Los resultados de esta inspección fueron:

a) Fisuras en la cara superior de la tabla superior a la altura de la torre de cimbra.

b) Grietas en almas a la altura de la torre de cimbra.

c) Fisuras en la cara superior de la tabla inferior.

h) Topografía:

- Se fueron tomando topografías del vano, observándose que el puente subió unos 12 mm en la Torre-2 en el proceso de tensado, manteniéndose estable en las otras torres.

- El borde izquierdo del tablero en la Torre-2 presenta una desviación respecto al teórico de 310 mm en este momento.
- La cimbra se encuentra dañada, con que existe un riesgo real de derrumbe de la misma.
- Las actuaciones que se lleven a cabo deben realizarse atendiendo en primer lugar a criterios de seguridad.

### 2.3. Desmontaje de cimbra

Las fases que se proponen a partir de ahora son:

- 1) Descimbrado interior:
  - Eliminación de los puntales y cimbres interiores.
- 2) Fijación de las celosías al tablero:
- 3) Sostenimiento de las torres:
  - Se debe garantizar que una vez descimbrado el puente no se va a producir un colapso instantáneo de alguna de las torres, en particular de la Torre-2.
- 4) Desmontaje de la cimbra lateral:
  - La eliminación de la cimbra lateral permitirá ver el estado en el que se encuentran los muros laterales y aligerar algo de peso sobre la obra falsa.
- 5) Descimbrado:
  - Se procede al completo descimbrado de la obra falsa.
- 6) Desmontaje de los celosías:
  - En este momento el puente se encontrará en su esquema estático teórico.
- 7) Inspección Principal y Mapeo de fisuras:
  - Se realiza una inspección detallada de la estructura.
  - Se realiza un levantamiento topográfico exacto de las fisuras existentes.
- 8) Informe de reparación:

- Con todos los datos obtenidos se realizará un Informe de reparación.

### 2.4. Reparación del tablero

Las medidas a tomar fueron:

- 1) Saneo e Inyección de fisuras. Se reparan todas aquellas fisuras superiores a 0.2 mm.



Figura 8. Inyección de fisuras.

- 2) Refuerzo con fibra de carbono: Se sustituyen todas aquellas armaduras que se considere que han plastificado por refuerzo de fibra de carbono. Se realiza un modelo teórico, cotejando los resultados con las fisuras vistas en obra. De este modo se puede suponer con relativa exactitud el estado tensional de las armaduras.



Figura 9. Refuerzo fibra de carbono.

### 3) Prueba de carga de la estructura:



**Figura 10. Prueba de carga.**

La prueba de carga se concluyó en junio de 2019, siendo aprobada técnicamente la continuación de la construcción. La prueba se realizó con peso y no con camiones, pues no estaban contruidos los espaldones de los estribos, por lo que no se podía acceder con tráfico rodado.

A mayores de este proyecto de reparación, la SCT solicitó un dictamen externo para evaluar la idoneidad de las labores de reparación de cara a asegurar siempre la estabilidad estructural del puente.

### 3. Parón de obra

Por motivos que nada tenían que ver con la técnica, la obra se rescinde en julio de 2019, desmontándose las cimbras, los carros de voladizos, las grúas torre y las escaleras de acceso a las pilas.



**Figura 11. Estado de la obra.**

Este hecho tiene una incidencia clara en las deformaciones del puente, pues el cálculo de flechas se había realizado teniendo en cuenta un determinado plan de trabajos.

Se destaca la foto anterior, pues es una vista nada habitual, por fortuna, un tramo de voladizos sin concluir sin los carros de avance montados.

## 4. Reanudación de obra

En septiembre de 2022 se vuelve a adjudicar la obra a Mota-Engil en régimen de concesión, con el objetivo de concluir la construcción del viaducto.

Debido a la convulsa historia de la estructura, la primera labor a realizar es un dictamen inicial, cuyo objetivo era el siguiente:

- Estudio y supervisión del proyecto aprobado (y medio construido).
- Análisis de los refuerzos realizados.
- Inspección del estado actual del puente. Se realizó a principios de 2023 un nuevo mapeado de fisuras y un levantamiento topográfico.
- Reparación de refuerzos e implementación de refuerzos adicionales.
- Estudio de las deformaciones del puente actuales y en servicio.
- Adaptaciones de obra.
- Estudio geotécnico.

Dichas labores fueron realizadas y dirigidas por k2 Ingeniería con la supervisión para la constructora de Armando Rito, empresa portuguesa de reconocido prestigio a la que agradecemos su implicación en la obra.

Se identificaron algunas fisuras mayores de 0.3 mm que se repararon, así como se reparó alguna zona de la fibra de carbono.

Se realizaron numerosos ensayos de adherencia y durabilidad de los refuerzos, así como se

extrajeron testigos para cotejar la resistencia del hormigón.

Se inspeccionaron todas las vainas de pretensado, tanto longitudinales como transversales, verificando que no iba a haber problemas posteriores.

Se cepillaron todas las armaduras y esperas que debido al parón de obra se habían oxidado.

La obra se reanudó a principios de 2023.

#### 4. Finalización de obra

La obra se reanudó sin mayores incidencias (fuera de los habituales en este tipo de obras). El montaje de los carros de voladizos se realizó en el segundo trimestre del año 2023.

Los carros y el pretensado que faltaba fue suministrado, al igual que antes del parón por VSL.

Durante toda la construcción se desplazó personal de k2 Ingeniería de manera continua, lo cual facilitaba mucho las labores de asistencia técnica.

La primera dovela (dovela 3 sobre pila 3) se hormigonó en junio de 2023, casi 5 años después de la anterior.

Debido al parón de construcción, el estudio de flechas del puente debía adecuarse a la situación real de la estructura.

El resto de dovelas se construyeron a un ritmo adecuado, realizándose el cierre del viaducto en febrero de 2024.

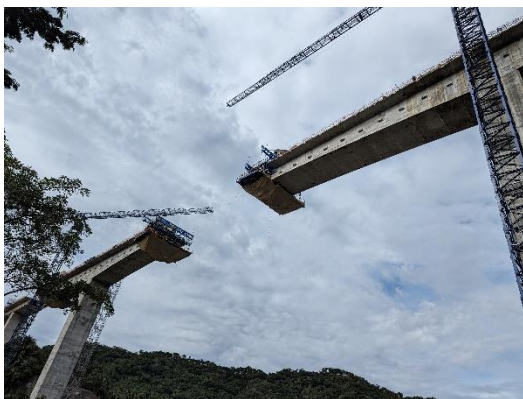


Figura 12. Reanudación construcción.

Debido a la premura para abrir el tramo, se estudió la posibilidad de colocar jabalcones y

prelosas en algunas zonas antes de cerrar la zona de voladizos. Se permitió colocar jabalcones en las zonas cimbradas y prelosas en las zonas cercanas a los apoyos. De este modo el estudio de flechas no se veía afectado.



Figura 13. Cierre.



Figura 14. Montaje jabalcones.

Una vez cerrada la estructura, los trabajos restantes eran los siguientes:

- Desmontaje de carros.
- Montaje de jabalcones.
- Montaje de prelosas.
- Ferrallado y hormigonado de losa.
- Enfilado y tesado de tendones exteriores longitudinales.
- Enfilado y tesado tendones transversales.
- Regularización rasante.
- Trabajos de remate.

El 31 de marzo de 2024 se consiguió abrir el puente. El corto espacio de tiempo entre el cierre de los voladizos y la apertura al tráfico sólo fue posible por la ingente cantidad de medios

técnicos y humanos dispuestos por Mota-Engil, pues un puente de estas características obliga a una logística de obra compleja.



**Figura 15. Puente terminado.**

### ***Agradecimientos***

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

Pese a la complejidad del proyecto y de la obra, se quiere agradecer la oportunidad que se nos ha brindado en todas las etapas del proyecto y construcción del viaducto.

Destacar el trabajo realizado por Gerardo Díaz (Jefe de Obra) y Alfonso González (Jefe de Producción) por parte de Azvi.

Por parte de Mota-Engil, destacar la labor de Moises Caviedes (Jefe de Obra), Eduardo Zamora y Moisés Varela (Oficina Técnica), Joao Almeida (Gerente) y todo el personal de obra.

Destacar también el trabajo de VSL, tanto en los movimientos de carros como en la coordinación de todas las fases de tesado existentes.

Querríamos destacar especialmente la labor de todo el equipo técnico de k2 Ingeniería

y de Mauricio Michaca en obra, trabajando a destajo para que la obra pudiera salir adelante, pese a todas las dificultades aparecidas.