

VIADUCTO YARUMO BLANCO.

**CORDILLERA CENTRAL.
COLOMBIA.
2021.**



El Viaducto de La Herradura se ubica en la vía que cruza la Cordillera Central de Colombia para comunicar Calarcá y Cajamarca. Se trata de una estructura cuyas obras se iniciaron hace más de diez años y que por diversas desafortunadas circunstancias debieron paralizarse -al igual que el resto de las actuaciones de la carretera de las que formaba parte- quedando el viaducto sólo parcialmente construido.

Esta situación ha supuesto desde ese momento un enorme problema para las comunicaciones de esta zona del país provocando por ello una gran polémica, así como una fuerte presión social para que se resolviera.

El INVIAS del M° de Obras Públicas, organismo responsable de la red de carreteras del país, atendiendo a esta necesidad relanzó las obras en cuanto tuvo la oportunidad. Tras una primera fase en la que las obras fueron asumidas por otro contratista, el concurso del proyecto final de conclusión de los trabajos -denominado de *“Culminación de los túneles cortos, la vía a cielo abierto y lo puentes en el sector comprendido entre el km 7+895 y el Intercambiador Américas- Segunda Calzada Quindío-Proyecto Cruce de la Cordillera Central”*- fue adjudicada a la propuesta realizada por el Consorcio Vías América formado por los grupos OHL y Alca.

Este consorcio encargó a su vez a CFC Sucursal Colombia los servicios de Asistencia Técnica para los trabajos de la estructura más singular de la actuación, el referido Viaducto de la Herradura.



El nombre del viaducto viene de su particular geometría al estar toda la obra en un tramo fuertemente curvo en planta. La longitud total de la estructura es de 640 m, dividido en dos tramos independientes por una junta en aproximadamente la mitad de la longitud en el eje denominado 6 resultando en dos estructuras de 300 m (ejes 1 a 6) y 340 m (ejes 6 a 12). El primer tramo tiene una distribución de cinco vanos de luces 37.5m-3x75 m-37.5 m. El segundo presenta 6 con luces 34m-3x68 m-34 m).

El tablero es una sección cajón de hormigón pretensado longitudinalmente construido por avance en voladizo. Presenta una anchura de 11.30 m de ancho, y canto variable entre de 2.00 en clave y 4.20 m sobre pilas con almas verticales.

La obra se encontraba parcialmente ejecutada. Superestructura y subestructura de forma completa entre los ejes 6 y 12, y sólo la subestructura así como algunos tramos del tablero entre los ejes 1 y 6. Las cimentaciones estaban realizadas sobre “caissons” (pozos) de profundidades variables, muchos de ellos ejecutados a media ladera en zonas de pronunciados taludes. Los pilares eran de hormigón armado con sección rectangular de dimensiones variables con la altura.



Analizada la documentación del proyecto original, las investigaciones disponibles que habían servido para redactar el proyecto de repotenciación original base de la licitación así como los resultados de una nueva campaña de reconocimiento, se detectó que el proyecto de repotenciación presentaba diversos aspectos que debían reconsiderarse para garantizar la seguridad de la estructura a la luz de la normativa actual y del desarrollo del diseño sísmico de estructuras. En coordinación con los servicios técnicos de OHL se realizó una propuesta de ajuste para resolver diversos problemas:

- La configuración sísmica inicial inadecuada al recurrir a soluciones de vinculaciones monolíticas entre tablero y pilas en todos los pilares -excepto en el que se situaba la junta de dilatación entre los dos tramos- siendo la altura de estas -y por tanto su rigidez- muy desigual a lo largo de la obra, y particularmente reducidas en las pilas próximas a los estribos
- Las comprobaciones estructurales mostraron que grandes reacciones en los pilares más cortos que lógicamente se producían fruto de la gran diferencia de rigideces relativas con las pilas altas, provocaban una demanda sísmica que superaba largamente la capacidad de las mismas. Igualmente, muchas de las cimentaciones se mostraban vulnerables al no tener capacidad frente las reacciones que debían resistir, tanto verticales como horizontales.
- En paralelo a este problema de concepción la obra ejecutada presentaba igualmente deficiencias en las calidades del hormigón en numerosas zonas y de la ejecución en general, con una gran dispersión y falta de homogeneidad.
- A esto se sumaba el cambio de normativa y del desarrollo de la metodología de cálculo sísmico que de forma general ha acontecido en la ingeniería estructural desde la fecha del primero proyecto de esta obra.

La recepción por parte del INVIAS y de la interventoría de obra, la firma Integral de estas nuevas consideraciones fue en todo momento receptiva y proactiva para de forma coordinada actualizar la solución de manera que la intervención garantizara los niveles de seguridad más adecuados.

De forma resumida esto se ha traducido en los siguientes ajustes:

- La modificación de la configuración longitudinal de la obra, aislando sísmicamente las pilas más cortas. Para ello se han cortado las bases de estas pilas y se han intercalado entre ellas y el encepado grupo de cuatro aisladores pendulares de fricción por pila. Estos dispositivos especiales fueron suministrados por la casa Maurer, que participó activamente también en el diseño y ajuste de la solución.
- El refuerzo de prácticamente todas las cimentaciones que presentaban deficiencias de diversos tipos, llevando a añadir nuevos caissons, recrecidos de encepados para conectarlos, tratamientos del terreno, refuerzo de los caissons con micropilotes interiores...etc.
- Refuerzo de los pilares con recrecidos de sección interiores y exteriores, refuerzos con fibra de carbono, refuerzos de armadura transversal para garantizar un diseño de capacidad frente a la acción sísmica, conexión con pretensado a los nuevos dados de base apoyados sobre los aisladores....etc.
- Rediseño de las vinculaciones del tablero en estribos y con la pila del eje-6 donde se sitúa la junta de dilatación.
- Conclusión de los tramos de tablero en voladizo con algunos reajustes en la distribución del pretensado y de los detalles de armado
- Finalmente, y con la obra prácticamente a punto de inaugurarse, se detectó que gran parte de las vainas de pretensado del tablero del tramo 1 ejecutado con anterioridad a las nuevas obras no estaban inyectados. El tiempo transcurrido sin protección-más de 5 años- así como la constatación de presencia de agua en muchas de las vainas imposibilitaba lógicamente la posibilidad de tener garantías sobre la durabilidad de estos elementos. Esto llevó un por un lado sustituir todos los cordones de los cables de la losa inferior que eran accesibles desde cajetines internos y la restitución de la fuerza de los cables de la losa superiores inaccesibles por medio de n pretensado exterior combinado con refuerzos de fibra de carbono en zonas puntuales.

Los retos de este proyecto han sido muchos e intensos dada la urgencia con la que debían abordarse los trabajos. Por un lado los cálculos estructurales para el diseño de la repotenciación se han recurrido a multitud de modelos de análisis lineal complejos y algunos evolutivos recogiendo la interacción del suelo-estructura, efecto de las laderas, diferencias en la rigidez vertical de los caissons, el comportamiento no lineal del hormigón fisurado y confinado, de comportamiento no lineal de los aisladoresetc. En estos análisis se ha empleado el programa ABAQUS, con el objetivo de poder acotar al máximo el comportamiento de la estructura, haciendo a su vez estudios de sensibilidad para comprobar la robustez de la solución frente a las incertidumbres del estado real de la estructura. Aspecto crucial en este estudio ha sido el desarrollo de acelerogramas a partir de sismos reales y del estudio de amenaza de sitio, para lo cual se contó con la colaboración de los servicios técnicos de OHL.

Por otro lado durante la obra se ha tenido que dar un apoyo continuo e intenso, tanto desde las oficinas de CFC en Madrid como con la presencia de ingenieros residentes, teniendo que adaptar de forma dinámica y ágil los detalles y diseños previstos a las condiciones de ejecución y materiales que se iban encontrando según se realizaban los trabajos. Una actuación particularmente especial fue la del corte de las bases de las pilas y la transmisión posterior de la carga de estas a los aisladores.

Los esfuerzos de todos los participantes en esta actuación han felizmente llevado a poder abrir esta obra, y a desarrollar una solución innovadora y a nuestro conocer, completamente novedosa en el contexto de la ingeniería de puentes con soluciones con aislamiento sísmico.