

DUPLICACIÓN DEL VIADUCTO DE LA CUESTA DE SILVA, EN LA ISLA DE GRAN CANARIA

José María de VILLAR LUENGO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería S. L.
Consejero Delegado
jmvillar@torroja.es

Ángel CARRIAZO LARA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería S. L.
Ingeniero de Proyectos
acarriazo@torroja.es

Alejandro HERNÁNDEZ GAYO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Torroja Ingeniería S. L.
Ingeniero de Proyectos
ahernandez@torroja.es

RESUMEN

Dentro de la duplicación de la carretera GC-2 en Las Palmas de Gran Canaria, en el tramo Santa María de Guía-Pagador, se incluye la ejecución de un nuevo viaducto para salvar el Barranco de Silva que se sitúa adosado al actualmente existente. El nuevo viaducto, ejecutado mediante voladizos sucesivos con carros de avance, tendrá una anchura de tablero de 15,50 m por los 12,0 m del actual. Por la cercanía entre ambas estructuras, las pilas centrales, cuya altura ronda los 105 m, se han ubicado frente a las existentes para la integración visual del alzado del conjunto. Pilas laterales y estribos se contrapean con las actuales para adaptarse a las laderas, muy esviadas respecto a la traza. Las luces resultantes son 50,15+108,80+114,50+108,80+50,15m. La gran flexibilidad de las pilas, por su imponente altura, unida a la fuerte curvatura en planta del tablero, con radio de sólo 390 m, exigió un riguroso control de deformaciones durante la ejecución.

PALABRAS CLAVE: Voladizos sucesivos, altura pilas, curvatura tablero, control geométrico, carros avance.

1. Descripción del viaducto

Dentro de la duplicación de la carretera GC-2 en Las Palmas de Gran Canaria, en el tramo Santa María de Guía-Pagador, llevada a cabo por una UTE liderada por OHL, se incluye la ejecución de un nuevo viaducto para salvar el Barranco de Silva, que se sitúa adosado al actualmente existente a una distancia de 19 m entre ejes de pila y 5,25 m entre bordes contiguos de tablero. El nuevo viaducto se ha ejecutado mediante el método de voladizos sucesivos con carros de avance, al igual que lo fue el existente en el año 1976, con proyecto de Jose A. Torroja Oficina Técnica [1], que en su día ostentó el récord de Europa de altura de pilas y fue el primer viaducto de voladizos sucesivos con tan fuerte curvatura de tablero (400m).

El nuevo viaducto tiene una anchura tablero de 15,50 m por los 12,0 m del anterior, y acogerá 3 carriles de 3,50 m cada uno, arcén exterior de 2,50 m e interior de 1,00 m y 0,75 m reservados para las defensas en cada borde. La sección tipo del tablero se define como un único cajón de hormigón pretensado de 8,0 m de anchura inferior y almas verticales de 50 cm de espesor, al que

se adosan sendos voladizos de 3,50 m a cada lado. El canto es variable entre un mínimo de 2,70 m en centros de vano y 6,00 m sobre las pilas centrales y 5,00 m sobre las laterales, lo que supone unos valores extremos de esbeltez de 1/42,5 y 1/21,7.

Debido a que la nueva estructura se ha situado junto a la previa, las pilas centrales se han ubicado frente a las existentes de forma que se logre la integración visual de ambas en el alzado del conjunto (*Figura 1*).



Este hecho condiciona la luz del vano central, que resulta de 114,50 m medidos en desarrollo del tablero. Por idéntica razón también queda fijada la altura de las pilas centrales, P2 y P3, cimentadas en el fondo del barranco junto a las actuales y que resultan de una altura en el entorno de los 105 m entre cara superior de cimentación e inferior de tablero, que si bien no supone ya un récord de altura como lo fueron sus hermanas, sí se sitúan entre las más altas de España.

Figura 1. Encaje de luces con respecto al viaducto existente

En cambio las pilas laterales, P1 y P4, y los estribos se contrapean con las actuales para adaptarse a las laderas, que son muy esviadas con respecto a la traza, especialmente en el estribo 2. (*Figura 2*)

Así, la distribución de luces resultante para los 5 vanos de que consta el viaducto es 50,15+108,80+114,50+108,80+50,15, para completar una longitud total de 435,8 m si añadimos los 70 cm de entrega del tablero desde la línea de apoyos en cada estribo. La longitud de los vanos extremos resulta algo descompensada con respecto a los contiguos debido a que, para



evitar el empleo de cimbras, es la última dovela ejecutada con los carros de avance la que apoya directamente sobre los estribos. A consecuencia de ello por efecto de la sobrecarga en su posición más desfavorable se podría provocar el levantamiento del tablero sobre los estribos. Para evitarlo, se ha dispuesto un relleno de hormigón en masa del interior del cajón en los 5,60 m extremos del tablero, respetando el paso de hombre necesario para que el tablero pueda ser transitado durante las labores de inspección y mantenimiento posteriores.

Figura 2. Vista de estribo 2 y pila 4

El trazado del tablero presenta una fuerte curvatura en planta, de tan sólo 390 m de radio medido en eje de tablero, con peralte variable entre 2,7% y 8,0 % y una fuerte pendiente longitudinal, también variable, que alcanza valores en el entorno del 6,0%.

Para el control de la fisuración por cortante en almas se dispuso un pretensado vertical en las almas del cajón, con separación variable según la distancia a las pilas, materializado mediante barras de acero activo que se tesaron desde la cara superior del tablero con el mismo gato empleado para las barras del carro de avance, de modo que se iban tesando entre fases de movimiento del carro en las dovelas ejecutadas que iban quedando libres del carro en su avance, con lo que esta operación permitió mantener el rendimiento de ejecución. (Figura 3)



Figura 3. Tesado del pretensado vertical por almas

La cimentación de las pilas es profunda en todos los casos, si bien materializada de modo distinto. Así, en cada pila central se dispuso un encepado cimentado a la cota del encepado existente contiguo, cuyas dimensiones en planta son 17,70 x 15,0 m y un canto variable desde 1,50 hasta 2,50 m, donde se adaptó una plataforma para la cimentación de las grúas torre necesarias durante la ejecución del tablero. Mientras que la pila P3 se cimentó mediante 16 pilotes de 1,80 m de diámetro, en el caso de la pila P2 se dispusieron 138 micropilotes de 220 mm de diámetro. En el caso de las pilas extremas, P1 y P4, también se emplearon idénticos micropilotes para su cimentación, pero en este caso con encepados escalonados siguiendo la fuerte pendiente de las laderas a fin de reducir al mínimo las excavaciones necesarias.

Los fustes de pila presentan una sección cajón rectangular hueca, con espesores de pared de 35 cm y unas dimensiones en cabeza de 8,0 m en dirección transversal, coincidente con la anchura inferior del cajón del tablero, y longitudinalmente de 3,0 m, en P1 y P4 y de 3,80 m, en P2 y P3, coincidentes con la anchura del diafragma interior del tablero en cada caso. Desde la sección de cabeza, los fustes presentan un ataluzamiento transversal en cada cara del 3% y del 1,50% en dirección longitudinal.

Todos los fustes se empotran en sección de su cabeza en el tablero, evitándose de esta manera el empleo de bloqueos provisionales durante la ejecución del tablero en voladizo, aun a costa de aumentar los esfuerzos producidos por deformaciones impuestas en las pilas P1 y P4 una vez el tablero esté cerrado, que en todo caso se mantienen en valores contenidos a causa de la apreciable altura de los fustes, de 41 m en P1 y 33 m para P4.

Ambos estribos son cerrados, con aletas en vuelta y con cimentación directa y escalonada para adaptarse a pendiente de la ladera y reducir las excavaciones. Mientras que el estribo 1 se define con un simple muro de frente de la misma anchura que el tablero y de tan sólo 1,78 m de altura desde cimentación hasta el plano de apoyos, el caso del estribo 2 requiere especial mención por su inusual definición geométrica. La anchura del muro de frente es de 8 m, coincidiendo con los paramentos exteriores de las almas verticales del cajón del tablero. La ladera en el entorno del estribo 2 tiene una fuerte pendiente y la traza discurre paralela a ella, lo que origina unas aletas de importante longitud y altura. Las aletas en su primer tramo de unos 15 m de longitud tras el muro de frente en ambos lados, se definen con muros en el mismo plano que los laterales del muro de frente y el cajón del tablero y sobre ellos se dispone una losa superior con voladizos como continuación del tablero (*Figura 4*). El interior del cajón formado se rellena con picón compactado proveniente de las excavaciones de la obra, reduciendo de este modo la flexión en el elemento, que se hormigonó contra la coronación del relleno ahorrando cimbra y encofrado. Se aprovechó este material debido a que se minimizaba el peso del relleno sobre la cimentación por su reducido peso específico.



Figura 4. Vista frontal del estribo 2 en ejecución.

Tras este tramo, la aleta exterior continúa, adelantada ya a la posición del borde del tablero, como muro en ménsula desde una cimentación que se define escalonada en la que el vuelo trasero de la zapata está elevado con respecto al vuelo delantero. Este retranqueo entre primer y segundo tramos de aleta se justifica en que de esta manera se consigue reducir la altura del muro hasta dejarla en un máximo de 12,7 m, por debajo de los 15 m máximos fijados por condicionantes visuales.



Figura 5. Detalle de la pasarela peatonal en muro de frente del estribo 2

En dicho estribo 2 durante el transcurso de las obras hubo de añadirse una losa en voladizo a lo largo de las aletas y muro de frente para alojar una pasarela peatonal que permita la comunicación entre las paradas de autobús dispuestas en las calzadas de ambas direcciones. La solución dada consistió en dejar unos orificios durante el hormigonado de los muros a través de los cuales se enfilaron unas barras que solapan con las barras de armado de la losa voladizo y de un tacón

trasero embebido en las tierras del trasdós que permite el anclaje de las barras a la vez que equilibra el momento flector transmitido sobre el muro por el peso propio de la pasarela en voladizo. De esta forma se mitigó el aumento del momento volcador que suponía la disposición de la losa en voladizo, surgida una vez ejecutadas las cimentaciones del estribo 2 y que alcanzaba valores relativamente importantes especialmente en el tramo de aleta en voladizo de menor altura. Durante la ejecución de los muros también se dejó preparada una ranura como llave de cortante, que se puede apreciar en la Figura 4.

El acceso al interior de los tableros se realiza por ambos estribos para facilitar las labores de inspección y futuro mantenimiento del viaducto. En el estribo 1 se habilita un hueco de 70 cm entre tablero y muro de frente, que dispone de un voladizo en coronación para la formación de la junta. En el estribo 2, por el contrario, se dispone una galería en el trasdós del murete que dispone de una puerta de acceso lateral por la aleta izquierda, situada en mediana, como se puede observar en la Figura 5.

Una vez completado el nuevo viaducto y ejecutadas sus defensas laterales se realizó su prueba de carga, tanto estática como dinámica (*Figura 6*), obteniéndose un comportamiento de la estructura en ambos casos absolutamente concordante con respecto a las previsiones teóricas.



Como actuación complementaria antes de la inauguración del tramo y aprovechando como desvío provisional el nuevo viaducto, se contempla la sustitución de las defensas y de los aparatos de apoyo del viaducto actual, que se encuentran muy degradados. Las nuevas defensas serán idénticas a las dispuestas en el nuevo viaducto, que resultan más pesadas que las actuales, para lo cual ha debido comprobarse la validez del armado de los voladizos del viaducto original.

Figura 6. Vista durante la realización de la prueba de carga estática.

2. Notas sobre Elementos auxiliares.

Las grúas torre necesarias para la ejecución del tablero actual se dispusieron en el hueco en mediana central entre ambos tableros. Las torres se montaron completas desde el inicio aprovechando la presencia de los fustes del viaducto actual para la instalación de los arriostramientos horizontales, lo que posibilitó el libre movimiento de la pluma sin el obstáculo del viaducto existente. También se aprovechó la cercanía del tablero del viaducto existente para realizar desde él diversas actuaciones de montaje o de hormigonado de ciertos elementos, para lo que fue necesario realizar diversos cálculos de comprobación de la capacidad de la estructura

actual. El viaducto está muy expuesto a la acción del viento debido a su ubicación frente al mar dentro de un barranco muy encajonado, aspecto que resultó determinante en el diseño de los elementos de anclaje de las grúas a la estructura existente.

Los carros empleados dispusieron de unos elementos de retenida provisional que los mantenían fijados al tablero en todo momento durante cada uno de los pasos provisionales de las fases de su avance adicionales a los fijos mientras estaban en posición, aspecto de mucha importancia para evitar deslizamientos accidentales en el caso de ejecución de tableros con una pendiente longitudinal elevada, como era el caso de este viaducto, donde se alcanzaba el 6%.

3. Control geométrico durante la ejecución.

Durante la ejecución de los tramos de tablero en voladizos mediante carros de avance y más allá de los ajustes de contraflechas habituales para la ejecución de cada dovela que son necesarios para este tipo de construcción, las características específicas de este viaducto exigieron la adopción de un excepcional control geométrico que garantizase el éxito en la geometría final del tablero una vez cerrado.

En concreto, la importante altura de pilas, del orden de los 110 m, tiene como consecuencia una gran flexibilidad de las mismas, lo que provoca que las deformaciones en cabeza debido a los desequilibrios durante la construcción de los voladizos fuesen muy importantes.



Figura 6. Vista inferior de la curvatura del tablero

A su vez, el tablero tiene una fuerte curvatura en planta, con radio de 390 m en eje de tablero, lo que origina en la pila un importante momento transversal durante la fase de ejecución de los voladizos a sumar al momento longitudinal, puesto que el centro de gravedad del tablero ejecutado en cada fase se va alejando cada vez más de la pila a medida que aumenta la longitud del arco circular del tablero, alcanzándose en la fase inmediatamente anterior a la ejecución de la dovela de cierre un valor de orden de magnitud similar para el momento flector aplicado sobre la pila en direcciones

longitudinal y transversal. Estos esfuerzos sin embargo no tenían igual efecto en cuanto a deformaciones debido a la mayor rigidez del cajón de los fustes en dirección transversal.

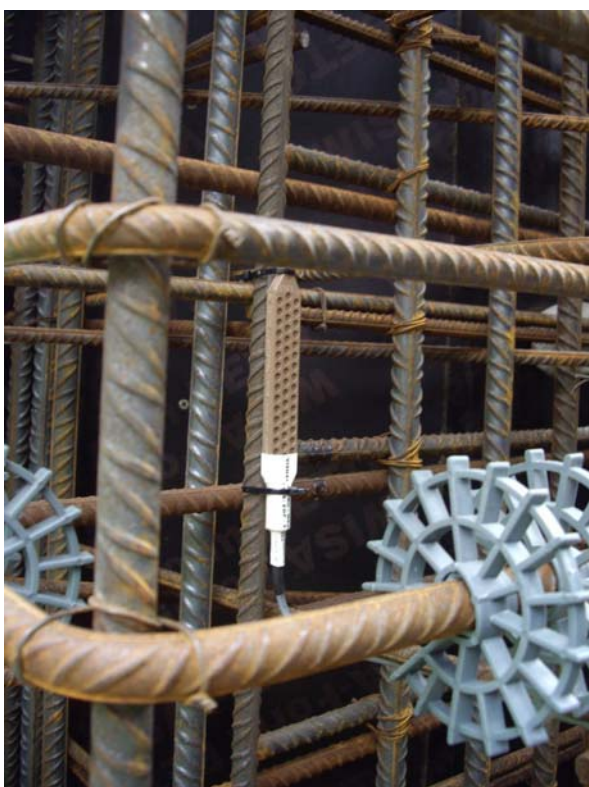
La correcta geometría final del tablero sólo fue posible gracias a la consideración previa de ambos efectos, que permitió la introducción de las correcciones necesarias en forma de contraflechas de ejecución en cada dovela tanto verticales como al giro en el eje del tablero, lo que no resulta habitual. Durante la ejecución del tablero, se fue comparando antes y después de cada fase la concordancia entre el comportamiento teórico previsto y el real mediante la instrumentación del

viaducto con el apoyo de lecturas topográficas de contraste realizadas en las primeras horas del día para evitar las deformaciones producidas por efecto del soleamiento.



La instrumentación instalada en la cabeza de cada una de las cuatro pilas consistía en la colocación de dos clinómetros, para medir giros longitudinales y transversales (*Figura 7*) y de 6 bandas extensométricas (*Figura 8*) instaladas en las barras verticales en cabeza del fuste.

Figura 7. Detalle de los clinómetros, longitudinal y transversal, instalados en la cabeza de cada pila.



Estas bandas, cuyo número redundante en previsión de futuras roturas posibilita depurar los datos anómalos, permiten interpolar un plano de deformaciones de la sección de cabeza de pila y así conocer los esfuerzos axil y de flexión en ambas direcciones que son soportados por la sección en cada fase de ejecución, comparándolos con los teóricos, así como comparar la correlación entre la relación de esfuerzos y giros observados y previstos en los modelos de cálculo.

Las lecturas recogidas a intervalos casi continuos durante las 24 h del día se volcaban en un servidor de modo que resultaban accesibles para su consulta a distancia y en cualquier instante prácticamente a tiempo real, lo que hizo posible mantener un estricto control geométrico de la ejecución a distancia.

Figura 8. Detalle de una de las seis bandas extensométricas instaladas en la armadura vertical de la sección de cabeza de fuste de cada una de las pilas.

De dicho modo se pudo observar que el comportamiento de la estructura durante la ejecución de los distintos tramos de tablero en voladizo se ajustó correctamente a las previsiones teóricas efectuadas para el cálculo de las contraflechas de ejecución y cuantificar con antelación la influencia del gradiente térmico en la geometría de los voladizos a lo largo del ciclo diario, que permitió planificar las horas del día en que realizar ciertas operaciones de cierre de vanos y ajustar la estimación de los elementos de contrapeso necesarios.

4. Premios y menciones

La singularidad de la obra ha sido reconocida como ganadora de los “IV Premios Potencia de Maquinaria de OP e Ingeniería Civil 2010, en la categoría de Obras y Proyectos de Puentes”, otorgado por la revista especializada en O. P. del mismo nombre editada por el grupo TPI.

5. Referencias

- [1] TORROJA, J.A., DE VILLAR, J.M., CHUECA R. “Proyecto del Viaducto de la Cuesta de Silva” 1973-1976.

6. Participantes

PROPIEDAD: Dirección Gral. de Infraestructura Viaria. Consejería de Infraestructura, Transportes y Vivienda del Gobierno de Canarias.

DIRECCIÓN DE OBRA: José Luis Martínez Cocero, Fco. Javier Gil Illana, José L. Pérez Betancor

EMPRESA CONSTRUCTORA: UTE Guía Pagador, formada por OHL, Hnos. Tito y Félix Santiago
Ricardo Rodríguez, Pablo Cosme, Rafael Fraile.

AUTORES DEL PROYECTO Y ASISTENCIA TÉCNICA A LA EJECUCIÓN DE LA OBRA:

Torroja Ingeniería S. L.

José María de Villar Luengo, Ángel Carriazo Lara y Alejandro Hernández Gayo

ASISTENCIA TÉCNICA A LA DIRECCIÓN DE OBRA: Estudio 7 – Prointec

INSTRUMENTACIÓN: Metiri. Viçens Marqués

PRETENSADO: MK4

CARROS Y ENCOFRADOS TREPANTES DE PILAS: Doka

7. Características principales

Fecha de Inauguración: 2011

Longitud total: 435,80 m

Anchura: 15,50 m

Luz máxima de vano: 114,50 m

Altura máxima de pila: 104,50 m