

PUENTE SOBRE EL RÍO WISLA EN VARSOVIA. EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN DE TABLEROS DE GRANDES DIMENSIONES

Wisla river bridge in Varsovia. An example of huge dimension bridge deck construction

Aquilino SECIO RAIMUNDO^{*, a}, José Antonio BECERRA MOSQUERA^b

^a MSc Civil Engineering. STRUKTURAS AS. Sales Manager

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. STRUKTURAS AS. Agent, market France

RESUMEN

El Proyecto MG04, corresponde a la construcción de un nuevo puente sobre el río Vístula, en Varsovia. Este proyecto se engloba dentro de la construcción de la vía rápida S2 Bypass sur de Varsovia. En este paper se exponen las principales características del proyecto y las estrategias que se han seguido a la hora de valorar la mejor solución para su construcción

ABSTRACT

The MG04 project, correspond to the construction of a new bridge over the Vístula Bridge, in Varsovia. This project is included into the highway S2 Bypass south of Varsovia. In this paper are been exposed the main issues of this project and the main strategies followed to aim the best solution to the construction.

PALABRAS CLAVE: Voladizos sucesivos, autocimbra, carro de alas, río Wisla, Varsovia

KEYWORDS: Catilever, Mobile Scaffolding System, Wing Form Traveller, Wisla river, Varsovia



Figura 1. Viaducto sobre el río Vístula. Vista en planta de las diferentes zonas

1. Descripción del proyecto

El Proyecto MG04, nuevo Puente sobre el Río Vístula en Varsovia (Polonia), se engloba dentro de la construcción de la Vía Rápida S2 Bypass Sur de Varsovia en el tramo correspondiente que discurre desde el Intercambio ‘Pulawska’ al Intercambio ‘Lubelska’ con una longitud total de aproximadamente 6,5 km.

Se prevé que la totalidad de la vía S2, que discurre a través de Polonia de Oeste a Este desde la frontera con Alemania para finalizar su recorrido justo por debajo de la Capital, quede finalizada dentro del tercer trimestre del año 2020, añadiendo así un nuevo tramo de circunvalación de la Capital (Bypass Express de Varsovia) que mejorará el tránsito y funcionamiento del transporte dentro y alrededor de Varsovia así como mejorará la comunicación entre los diferentes distritos de la Capital y quedará finalmente englobado dentro de un conjunto de Autopistas interconectadas con una longitud total de aproximadamente 85 km.

El nuevo cruce elevado sobre el Río Vístula presenta una longitud total de 1506,5 m (incluyendo 536,5m dentro de la corriente del Río) y se compone de dos Estructuras gemelas paralelas (una para cada sentido de circulación) distribuida en tres tramos diferenciados entre sí, tal y como se muestra en la Figura 1.

2. Descripción del proceso constructivo

La estructura se ha dividido en tres partes diferenciadas denominadas cada una de ellas MG04-01, MG04-02 y MG04-03; contando cada

uno de estos tramos con un proceso constructivo diferente al otro.

2.1 Tramo MG04-01

Se trata del tramo de aproximación al Puente Principal localizado, dentro de la llanura de inundación del Río, en la orilla de Wilanowska y que comprende un tablero continuo de aproximadamente 342,0 m de longitud total distribuidos en 8 vanos de luces comprendidas entre 32 y 46 m.

La previsión inicial para la construcción de este tramo era la ejecución en dos fases; correspondiendo la primera fase a la construcción de un cajón con autocimbra y la segunda fase al hormigonado de alas con jabalcones apoyándose en un carro de alas.

Una vez arrancado el proyecto, y atendiendo a motivos de plazo, se decide cambiar el proceso constructivo para la primera fase, pasando de ser un cajón ejecutado con autocimbra a un cajón empujado, manteniéndose la segunda fase como estaba prevista.



Figura 2. Viga-cajón en fase de empuje

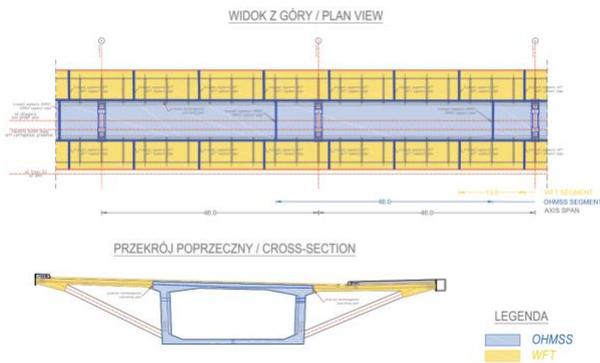


Figura 3. Representación de las fases de construcción

2.2. Tramo MG04-02

Comprende el tramo principal y paso directo sobre el Río Vístula. Se trata de un tablero continuo de aproximadamente 536,5 m de longitud total.

Los principales condicionantes de este tramo son los gálibos necesarios para la navegación y los elevados caudales y corrientes de alta velocidad que presenta el río Vístula. Estos dos condicionantes aconsejan minimizar los apoyos a realizar sobre el cauce del río, disponiendo 3 únicos apoyos dentro del curso principal del Río. Esta disposición hace posible que los dos extremos se encuentren próximos a la orilla, lo que resulta en una distribución final para el tablero de 4 vanos de luces 92,00 + 176,00 + 176,00 + 92,00 m.

El tramo principal del Puente se ejecutará mediante la técnica de voladizos sucesivos muy adecuada tanto a las luces adaptadas para la Estructura como a la necesidad de independizar por completo la Construcción del Tablero del terreno soporte; en este caso el cauce del río.



Figura 4. Hormigonado de dovela en voladizo

2.3. Tramo MG04-03

Se trata del segundo tramo de aproximación al Puente Principal; localizado dentro de la llanura de inundación del Río, en la orilla de Wawerska. Comprende un tablero continuo de aproximadamente 628,0 m de longitud total distribuidos en 14 vanos de luces comprendidas, también, entre 32 y 46 m.



Figura 5. Hormigonado de vano con autocimbra

Como ya se ha comentado anteriormente, cumplir el exigente plazo de construcción impuesto, hizo necesaria la utilización de diferentes métodos constructivos para cada uno de los tramos que conforman la estructura de 1,5 km de longitud:

De este modo, este acceso al Puente Principal se ha ejecutado igualmente que el acceso contrario en dos fases. Para la primera fase se ha utilizado una autocimbra.

Posteriormente, en segunda fase, se ha utilizado un Carro de Alas Móvil para completar el hormigonado de la Sección Transversal

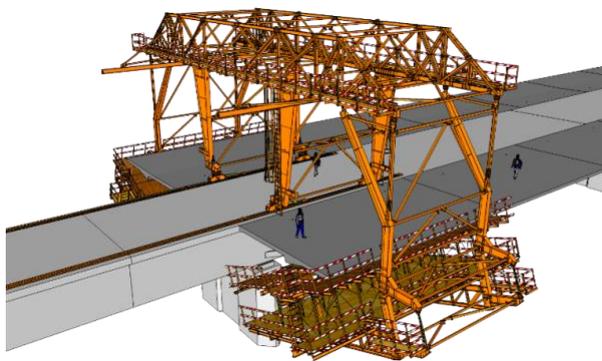


Figura 6. Carro de alas de segunda fase

3. Descripción de los equipos empleados para la construcción

Los equipos especiales empleados en la construcción de la estructura han sido los siguientes: Una autocimbra, un carro de avance en voladizos y carro de alas de segunda fase.

La elección de cada sistema está determinado por las dimensiones del tablero, en este caso ancho de plataforma y luces entre pilares.

El primer factor, y determinante es la luz de la estructura. En este caso, las luces varían desde los 32 y 46 m de los viaductos de aproximación hasta los 92 y 176 m del puente principal. Como vemos, tenemos dos rangos de luces diferenciados entre los viaductos de aproximación y el viaducto principal.

Para los viaductos de aproximación, una de las alternativas óptimas es la utilización de una viga-cajón postesada, que bien podría construirse de las siguientes formas:

- Dovelas prefabricadas
- Empuje
- Autocimbras

La opción de construir la viga cajón con dovelas prefabricadas encaja perfectamente con

el rango de luces del que hablamos, y podría ser una solución que justificase la inversión, dado que existe una longitud total de viga-cajón de casi dos mil metros. Finalmente se ha declinado esta solución debido a la dificultad para el montaje del parque de dovelas y al añadido que supone el transporte de dovelas de una orilla a otra del río.

En cuanto a la utilización de un equipo como una autocimbra y a la realización de un empuje son ambas opciones adecuadas para este tipo de puentes, y si bien inicialmente el debate de utilizar una u otra metodología falló en favor de la autocimbra, finalmente, los condicionantes de plazo, han hecho que se utilicen ambas metodologías; realizando el acceso desde uno de los márgenes con autocimbra y el acceso desde el otro margen por empuje o lanzamiento.



Figura 7. MG04-01 tras el lanzamiento

Una vez finalizados los trabajos de ejecución de la viga-cajón, bien sea empujada o ejecutada in situ con autocimbra, se procede en segunda fase a la ejecución de las alas con jabalcones. La necesidad de realizar estos trabajos en segunda fase está motivado fundamentalmente por el importante ancho del tablero (25 metros), y por la necesidad de asegurar el plazo, dado que hormigonar en una fase completo tanto tablero como alas, haría que el ciclo de avance de la autocimbra se ralentizase y en el caso del tramo empujado, haría que el pretensado de lanzamiento fuese muy superior al pretensado de servicio, con lo que esta solución es la óptima en términos de plazo y materiales.



Figura 8. Montaje del carro de alas

En cuanto al viaducto principal, atendiendo a los limitantes geométricos que supone el cruce de un cauce de estas dimensiones, se podrían plantear fundamentalmente dos alternativas:

- Atirantado
- Hormigonado de dovelas por voladizos sucesivos

La opción de un atirantado fue una de las opciones barajadas en este caso por ofrecer la posibilidad de eliminar las cimentaciones en el cauce del río. Sin embargo, suponía un sobrecoste al tratarse de una solución de mayor luz (generalmente un incremento en la luz tiene asociado un incremento en el coste por metro lineal de estructura) y tenía un mayor impacto visual y paisajístico.

La solución de hormigonado de dovelas por voladizos sucesivos para un rango de luces de 176 m encaja perfectamente con su rango habitual de uso, situándose este desde los 80-100 m (donde deja de ser viable la autocimbra) y hasta los 301 m (record actual, Noruega).



Figura 9. Carro de hormigonado de dovelas en voladizo (Form Traveler)

3.1. Autocimbra

La ejecución de los tramos de acceso al viaducto principal, se valoró inicialmente la construcción de todos los vanos con autocimbra, en concreto la tipología “superior”.

La elección de este equipo se fundamenta en dos condicionantes: El primero de ellos, la escasa altura del viaducto sobre el suelo en la zona de los accesos al puente principal (llanura de inundación). El segundo condicionante, considerado fundamental en primera instancia, ha sido la posibilidad de poder avanzar con la máquina de un margen al otro del cauce una vez ejecutado el tramo central, lo que suponía una importante mejora económica para la obra, al poder utilizar un mismo equipo para todos los viaductos de acceso o aproximación al puente principal.

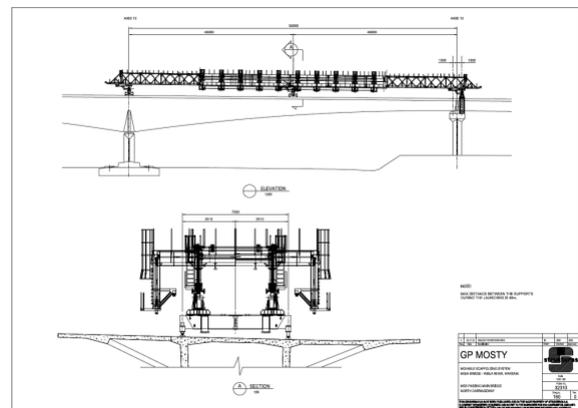


Figura 10. Paso de autocimbra entre márgenes sobre el puente principal

Finalmente, no se ha llegado a realizar este movimiento, dado que los exigentes condicionantes de plazo han motivado que uno de los márgenes finalmente haya sido ejecutado como viaducto empujado.

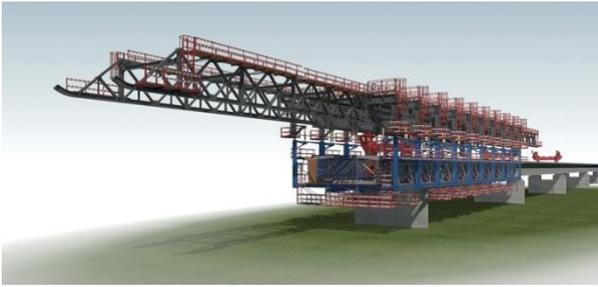


Figura 11. Modelado de autocimbra en posición de hormigonado

Entre las principales mejoras técnicas que se han incluido en la autocimbra, distan las siguientes:

La colocación de una viga de cuelgue en el quinto de luz trasero. Con esta viga de cuelgue se consigue que no exista discontinuidad real entre el hormigonado de un tablero y el siguiente, asimilándose la curvatura del tablero sobre las pilas lo más posible a la de una viga continua construida en condiciones ideales y luego depositada sobre las pilas.

La utilización de un carro hidráulico para el movimiento del encofrado interior. Todo el encofrado interior se puede plegar y mover automáticamente de una posición de hormigonado a la siguiente de forma totalmente automática



Figura 12. Carro de movimiento de encofrado en posición de prueba

Otra de las virtudes de esta máquina es la posibilidad de movimiento sin necesidad de montajes y desmontajes adicionales. Como

ejemplo, ya hemos visto la posibilidad de pasar varios vanos ya ejecutados, y la otra es la capacidad de ripado transversal, con la que se consigue pasar de un tablero al contiguo en un breve espacio de tiempo.

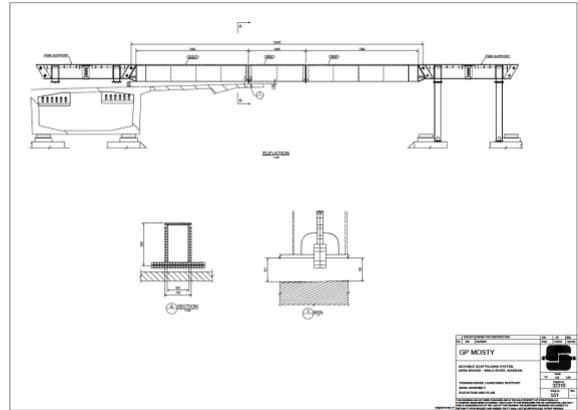


Figura 13. Viga de ripado para paso de la autocimbra al paralelo del viaducto

Este equipo cuenta con un punto de giro con una importante rigidez, lo que implica unos menores movimientos del encofrado en fase de hormigonado. Comparativamente hablando, en contraposición con otros sistemas de menor rigidez alrededor del punto de giro y más cantidad de barras dywidag, la estabilidad al movimiento transversal es mucho mayor, lo que garantiza una mayor robustez en la geometría final del cajón hormigonado.

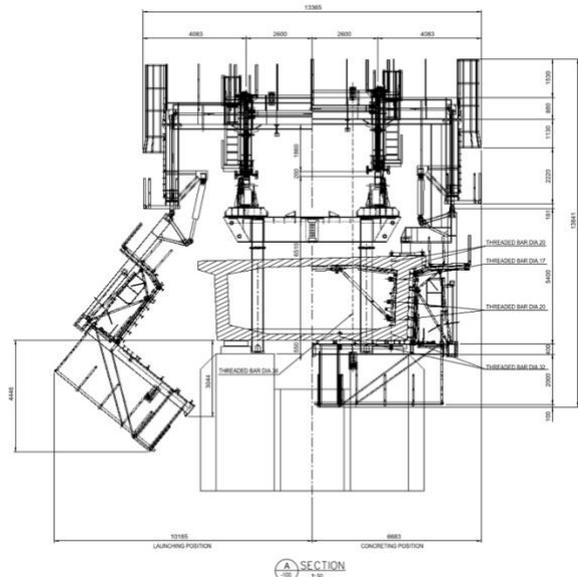


Figura 14. Vista de autocimbra con un lateral cerrado y el otro en posición de lanzamiento

3.2. Carro de voladizos sucesivos

El tramo central del tablero se ha hormigonado utilizando una pareja de carros de voladizos sucesivos de hormigonado in-situ, o Form Traveler.

La mayor de las diferencias existentes con cualquier otra pareja de carros suministrada con anterioridad se focaliza en la inclusión de un sistema integrado para la colocación de los jabalcones. Se trata de un sistema con un polipasto de cuelgue con un cable móvil. De esta forma, actuando sobre la longitud del cable en uno u otro sentido se consiguen mover los tiros y girar el jabalcón hasta su pendiente definitiva.



Figura 15. Vista de jabalcón colgado del útil de colocación antes del ferrallado y hormigonado

Todo el movimiento del carro es totalmente automático, accionado por cilindros hidráulicos o polipastos; lo que redonda en una mayor fiabilidad del sistema y sencillez de operación. Los principales movimientos son:

- Avance de carro y encofrado exterior
- Avance de encofrado interior
- Avance de viga carril

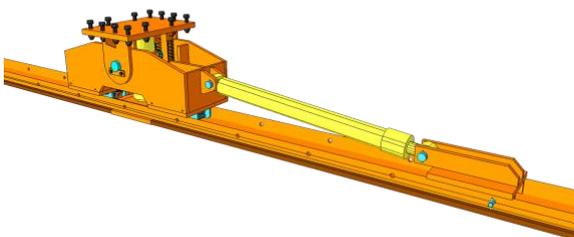


Figura 16. Cilindro de avance de carro

3.3. Carro de hormigonado de alas

La sección del tramo de viaducto considerado como de acceso al viaducto principal (MG04-01y MG04-03) ha sido concebida como una sección “evolutiva”. En una primera fase se hormigona la viga-cajón que representa la principal sustentación del tablero, y en una segunda fase se hormigonan las alas sobre jabalcones con el que se consigue dotar al viaducto de su ancho definitivo.

Este proceso constructivo, con origen en Alemania y centrado fundamentalmente en la ejecución de una viga-cajón empujada, es de gran efectividad. Este proceso constructivo permite la optimización tanto de los ciclos de trabajo como del diseño de los elementos resistentes del puente.

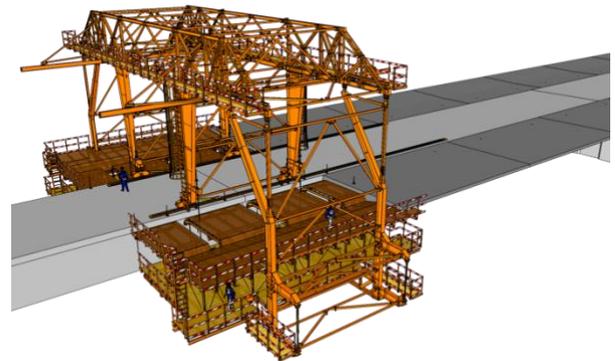


Figura 17. Carro de alas en posición de hormigonado

Nuevamente, para este equipo, uno de los principales retos ha sido la introducción de un ingenioso sistema de colocación de los jabalcones. Al igual que en el carro de voladizos, en este carro de segunda fase, se ha utilizado un polipasto con un sistema de cuelgue con tiro variable, que con la variación en la longitud de ambos tiros del cuelgue consigue girar el jabalcón al alinear el centro de gravedad de este con el punto de tiro.

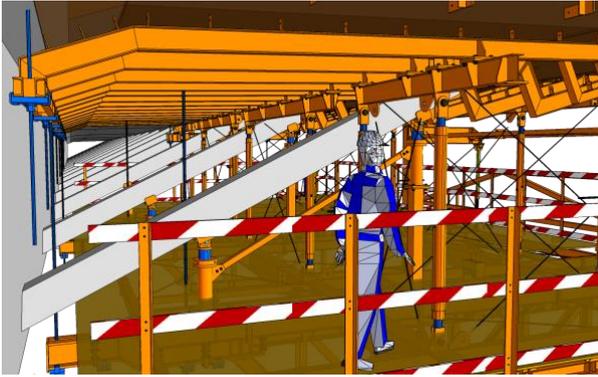


Figura 18. Soporte para jabalcones en plataforma inferior.

[3] J. Manterola et al.: Construction and design features of the Bridge over Danube. Bulgaria. 37th IABSE symposium Madrid 2014

4. Conclusiones

La construcción de este tipo de viaductos nos da la opción de utilizar diversas metodologías constructivas. Como hemos visto en este caso concreto, estas posibilidades permiten avanzar en varios frentes a la vez, así como actuar en el caso de que e requiera una variación en el plazo.

El planteamiento de la sección evolutiva de la sección permite optimizar las secciones en viaductos de calzadas con anchos importantes.

Agradecimientos

Agradecimientos especial a todo el personal de obra. Desde el primer momento el entendimiento ha resultado formidable, lo que unido a una estrecha colaboración ha hecho de este proyecto un trabajo ágil y sencillo; lo que no siempre resulta fácil.

Referencias

- [1] F. Millanes et al.: El proyecto constructivo de los vanos de acceso del Nuevo Puente Pumarejo en Barranquilla, Colombia in: ACHE (Ed.), VII Congr. ACHE, La Coruña, 2017.
- [2] P. Pacheco et al.: Overcoming the challenges of multi-span viaducts construction in: ACHE (Ed.), VII Congr. ACHE, La Coruña, 2017.