

“Viaduto de Santo. Ovídio”: proceso constructivo

Santo Ovidio Viaduct, erection process

Nuno Lopes^a, Orlando Videira^b, Carlos J Bajo^c, Vitor Marchao^d, Miguel Freire

Rocha^e

^a Ingeniero Senior. GRID International. nuno.lopes@grid.pt

^b Ingeniero Senior. GRID International. Orlando.videira@grid.pt

^c Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ferroviál Construcción. Jefe de Área de Puentes. carlos.bajo@ferrovial.com

^d Ingeniero Senior. VSL Sistemas Portugal. Vitor.marchao@vsl.com

^e Ingeniero Senior. Ferroviál Construcción. mfrocha@ferrovial.com

RESUMEN

El nuevo viaducto de Santo Ovidio, situado en la extensión de la Linha Amarela del metro de Oporto, es una celosía metálica de 421.6m dividida en 6 vanos con una luz máxima de 80.60m. El trazado se circunscribe en un radio en planta de 201m y una pendiente ascendente del 2%. El procedimiento constructivo inicial se modificó debido a la falta de espacio para el acopio de los tramos de tablero, optando por el empuje del tablero desde el estribo. La novedad del sistema radica en la adaptación de la estructura para permitir empujar una estructura con 80m de luz máxima en situación de servicio y una curvatura con 200m de radio en planta.

ABSTRACT

The new Santo Ovidio viaduct, located in the extension of the Linha Amarela of Porto metro, is a 421.6m metal lattice divided into 6 spans with a maximum span of 80.60m. The layout is circumscribed in a radius of 201m and an ascending slope of 2%. The initial construction procedure was modified due to the lack of space for storing the deck sections, opting for pushing the deck from the abutment. Auxiliary towers were used to reduce the launching span to 40m between definitive pillars. The towers were braced with active tendons to resist horizontal friction forces. The deck movement was carried out using jacks, pulling it from the assembly yard located behind one of the abutments.

PALABRAS CLAVE: proceso constructivo, empuje, celosía metálica, torres provisionales, parque de empuje.

KEYWORDS: erection process, incremental launching, steel truss, temporary props, launching yard.

1. Introducción

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta una empresa constructora ante la ejecución de un puente es la de establecer la viabilidad del proceso constructivo detallado en el proyecto de construcción. Uno de los aspectos más relevantes es que en raras ocasiones, las condiciones estimadas para realizar el montaje se mantienen en el tiempo

durante el tiempo que pasa entre el proceso de redacción de proyecto, hasta la adjudicación definitiva para comenzar los trabajos. En el caso del Viaducto de Santo Ovidio, el proceso constructivo detallado en proyecto suponía la construcción de los diferentes tramos del puente mediante la erección de elementos por medio de grúas instaladas en las inmediaciones del puente con las afecciones en términos de

calidad y seguridad, causado en Quinta do Cisne y sus alrededores, por la construcción del Viaducto de Santo Ovídio.

2. Descripción del puente

El nuevo puente de Santo Ovídio está situado en la extensión de la Linha Amarela del metro de Oporto. Se trata de una celosía metálica de 421.6m dividido en 6 vanos y con una luz máxima de 80.60m. El trazado se circunscribe mayoritariamente en un radio en planta de 201m y una pendiente ascendente del 2%.

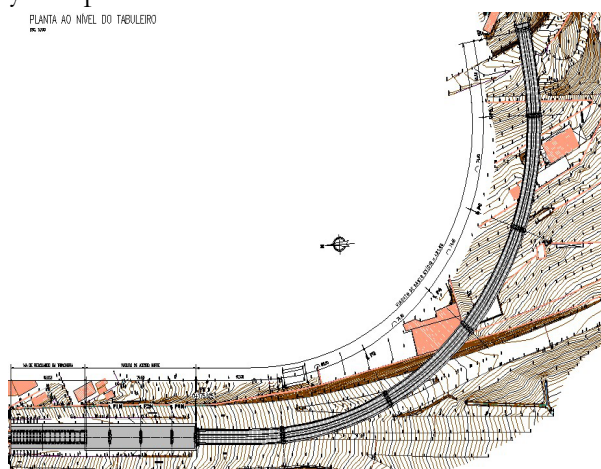


Figura 1 Planta general de la estructura.

3. Estudio de soluciones alternativas de montaje

La construcción del viaducto sobre la Quinta do Cisne se traduce en un efecto significativo en esta zona de suelo exclusivamente agrícola. La solución que se muestra en la figura es la afección temporal durante la obra para el acopio de material, instalaciones para las grúas para efectuar únicamente el proceso especificado en proyecto en esta zona sensible.

Si el proceso de montaje fuera el de empuje incremental desde el estribo 2, la afección a la traza del puente sería mínima, según se puede apreciar en la imagen inferior. La mejora en este sentido tendrá un impacto positivo en varios aspectos, tales como el medio ambiente,

la calidad, la seguridad, la ocupación del suelo, el patrimonio circundante y el componente social.



Figura 2 Terreno afectado por proceso constructivo de Proyecto.

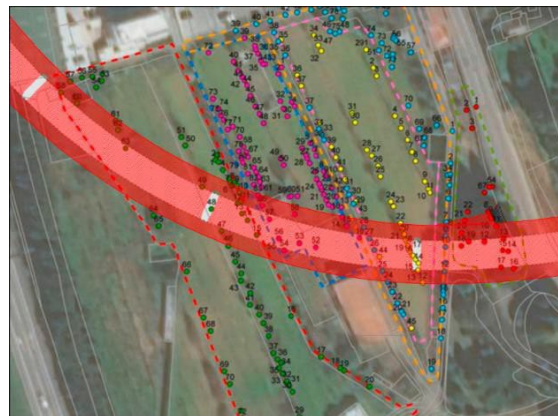


Figura 3 Terreno afectado por proceso constructivo mediante empuje.

Una vez que se estableció la opción de empuje incremental, se barajaron varias alternativas a este proceso, dado que el nuevo proceso constructivo requería ciertas modificaciones al proyecto del puente para ser susceptible de poder ser empujado. En cualquiera de los casos, las formas del puente en cuanto a longitud y vanos debía mantenerse inalterable, por ser un proyecto dirigido y aprobado por Metro do Porto.

En primer lugar, se plantearon dos alternativas:

- Empuje de los tableros manteniendo las luces de proyecto durante el empuje, con 80m de vano principal, para lo cual se plantearon dos alternativas para minimizar los esfuerzos adicionales en el tablero definitivo y, por tanto, futuros refuerzos.

- Utilización de nariz de lanzamiento adicional.
- Utilización de torre de atirantamiento provisional sobre el tablero.
- Utilización de torres provisionales intermedias entre pilas definitivas para minimizar la luz en voladizo durante el lanzamiento.

Todas las alternativas planteadas fueron evaluadas económicamente para detectar el óptimo desde el punto de vista de coste, dando como resultado que la utilización de torres provisionales, junto con sus cimentaciones asociadas era la opción para desarrollar.



Figura 4: Vista general del Viaducto

4. Adaptaciones necesarias para implementar el proceso de empuje como proceso constructivo

4.1. Adaptaciones de la estructura metálica.

La construcción del puente de Santo Ovídio mediante el proceso de empuje o lanzamiento incremental requiere una serie de adaptaciones al proyecto para permitir su implementación.

4.1.1. Adaptaciones geométricas

El proceso de empuje se realiza mediante el deslizamiento del tablero en celosía sobre apoyos -definitivos específicos, situados en las pilas definitivas y torres provisionales, siguiendo la geometría en curva que define el trazado en planta. El proceso de lanzamiento requiere la constitución de una superficie lisa y nivelada sobre la superestructura. Esta superficie será naturalmente la cara inferior del cordón inferior del tablero, por lo que será necesario nivelar esta cara, que en el proyecto se presenta con un peralte transversal, asociado a la curva del trazado. En la parte inicial del tablero, en su conexión con los tramos de

acceso, cerca del estribo inicial, la geometría en planta se define con una clotoide. El tramo en clotoide se separa en decenas de centímetros



Figura 5 Sistema de amarre de los tendones de estabilización de torres provisionales.

del trazado teórico curvo y por este motivo, este tramo no es empujado, sino que se montan en la zona de clotoide mediante grúas.

En la parte inicial, en el estribo 2, zona donde se implementa el parque de montaje y empuje, el trazado en planta es también en clotoide, pero en este caso, el desvío transversal respecto al círculo en planta de empuje no presenta grandes desviaciones y se plantea la estructura en curva de radio constante, dejando el trazado en clotoide a la alineación de vías. En esta localización, se tuvo que ampliar la anchura del estribo para poder realizar los movimientos del tablero necesarios en las fases de empuje, fuera del trazado definitivo en planta más la disposición final del último tramo del tablero, adaptándose a la clotoide del trazado.

4.1.2. Refuerzos estructurales

Del análisis detallado de la superestructura, se concluye que es necesario el refuerzo local de los cordones inferiores de la celosía por dos motivos fundamentales. Refuerzo del cordón inferior en los primeros vanos debido a los esfuerzos de flexión negativa por el voladizo del empuje y, en segundo lugar, para reforzar los apoyos frente a los efectos de “patch loading” para el paso de todas las secciones de la celosía sobre los apoyos durante el empuje.

El resto de las secciones estructurales, se mantienen inalteradas, dado que el sistema de

empuje elegido con torres provisionales no condiciona el diseño general del tablero.

4.2. Fases de lanzamiento por empuje

Debido a la curvatura del viaducto, las condiciones orográficas y la disponibilidad de terrenos en la zona de trasdós del estribo 2, la longitud del parque de deslizamientos se limitó a 50 m. Adicionalmente, se adosó una zona de montaje en su lateral, donde se procedía al acopio de nuevos tramos del tablero y se preparaban para su montaje en la plataforma de empuje previo a cada maniobra.

Esta condición, excesivamente corta del parque de empuje, hace que para la realización de los avances iniciales entre Estribo 2 y P6 se planifique la colocación de dos torres de soporte temporales para evitar el vuelco del tablero en sus primeros tramos al no disponer de contrapesos suficientes para evitar este efecto.

Debido al peso de la propia estructura, y para estandarizar las deformaciones causadas durante el proceso de deslizamiento, minimizando la necesidad de cambios en el tablero metálico, fundamentalmente en los primeros vanos, se han dispuesto torres temporales por vano, situadas a mitad de luz de los vanos definitivos.

El empuje se realizará desde el estribo 2, manteniendo la trayectoria circular del tablero, y la cota aproximada definitiva del mismo. El viaducto tiene una variación puntual de la pendiente (sin curva de transición) con una pendiente negativa desde el estribo 2 (apoyo 7) de alrededor del 2,0%, y se desarrollaron 17 fases de empuje, con las siguientes fases:

- Avance Inicial, desde E2 hasta llegar al Pilar P6, permitiendo el ensamblaje de los diferentes elementos para estabilizar la longitud y el peso de la estructura para los avances estándar.
- Avance tipo, desde el Pilar P6 para llegar

a la torre provisional K23 (la numeración indica que la torre está situada entre pilas 2 y 3), completando los avances estándar.

- Avance final, desde la torre K23, con el fin de retirar los vanos adicionales necesarios que se encuentran en fabricación en el parque de empuje.



Figura 6 Detalle de fases iniciales de maniobra de empuje.

Las longitudes aproximadas de los movimientos son las siguientes:

- Fase Inicial: dos avances de 13m, uno de 4m, uno de 18m y dos de 10m.
- Fase Estándar: seis de 37 m y uno de 40 m.
- Fase Final: una de 31m, dos de 6m y otra de 3m.

En procedimientos de construcción similares, el nivel de deslizamiento se realiza siempre a una cota ligeramente superior que la rasante final del tablero, lo que requiere de un ajuste o descenso del tablero a la posición prevista de rasante al final de la maniobra.

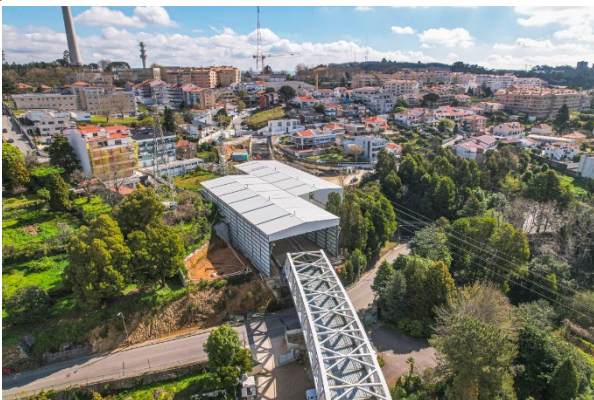


Figura 7 Vista del parque de montaje y empuje.

4.3. Tramos montados con grúa

Teniendo en cuenta que la sección entre P1 temporal y P2 se desarrolla en un clotoide, no será factible realizar el lanzamiento por empuje de esta sección, por desviarse del trazado teórico empujable. Ante esta limitación, los tramos 22 y 23 del tablero se procederá al montaje pieza a pieza, mediante grúas y plataformas elevadoras de gran capacidad, y mediante apoyos provisionales materializados por torres de soporte. El montaje de los nuevos tramos se realizó una vez que se desmontó la nariz con los gatos de recuperación de flecha.

En cuanto al tramo comprendido entre P6 y Estribo 2, que también tiene una disposición clotoide, la diferencia entre la disposición circular del tablero y la misma no es considerable, manteniéndose la estructura en el círculo circunscrito de empuje, salvo la necesidad de aumento de ancho del estribo para poder alojar el último tramo en la geometría específica del trazado.

4.4. Ubicación de los elementos en el parque de montaje y empuje

La ubicación habitual de los elementos a utilizar en el parque de montaje y empuje depende de las condiciones disponibles en el lugar, pero, en general, se organiza de la siguiente manera:

4.4.1. Parque de empuje

Previo a la fase de deslizamiento del tablero, se realiza un parque de empuje con patines de deslizamiento para el montaje de la estructura metálica y de todos los elementos del tablero que se puedan realizar en ese momento, y debe ubicarse junto al estribo 2.

El parque está formado por una losa de hormigón armado con dos vigas longitudinales corridas, sobre las se adapta una estructura

metálica con patines deslizantes. También se montan dispositivos como guía lateral, que tienen la función de guiar y bloquear lateralmente la estructura en la fase de empuje.

La estructura metálica se deslizará sobre la placa de deslizamiento fija en el dintel. Adicionalmente se ha dispuesto un sistema de retención de la estructura con barras, ya que el movimiento de la estructura se desarrollará en una pendiente negativa en la dirección del deslizamiento.

Además de la zona de deslizamiento, también se ha dispuesto dos dinteles para instalar unas carrileras sobre la que se mueva un puente grúa para el montaje en la zona de la plataforma de lanzamiento

La idea de concentrar los trabajos en un parque de empuje centralizado, presenta ventajas adicionales a los que este proceso constructivo tiene en términos de impacto ambiental, también existen ventajas considerables en términos de entorno patrimonial y social, seguridad y calidad, ya que permite realizar la mayor parte de los trabajos de premontaje y montaje de la estructura metálica a ras de suelo, en un espacio controlado, en el interior de las naves que se construyen provisionalmente y se retirarán una vez finalizados los trabajos de planeo. De esta forma, se reducen los trabajos en altura, tanto en el montaje de los diferentes elementos como en su soldadura, reduciendo considerablemente los riesgos inherentes a estas actividades.

Previo al empuje, se instaló chapa grecada para conformar el encofrado de la losa de hormigón del viaducto. Con este montaje se minimiza la necesidad de utilizar grúas, sistemas de apuntalamiento, y plataformas de trabajo adicionales a lo largo del viaducto para la ejecución de la losa de hormigón. El hormigonado de la losa de hormigón, para el apoyo de la vía de ferrocarril, se realizó una vez estuvo el puente en la situación final de

lanzamiento. Esto se realizó por dos motivos fundamentales:

- Reducir los pesos durante el empuje y las fuerzas de rozamiento asociadas.
- Evitar que la losa de hormigón, conectada a la estructura metálica mediante pernos, pasase por sucesivas etapas de tracción/compresión, afectando al comportamiento de esta conexión.

Los diferentes elementos del tablero serán transportados al sitio utilizando dovelas de aproximadamente 18.0 m de longitud. Posteriormente, se ensamblarán y acoplarán a la estructura ya terminada, de forma incremental, a medida que la estructura se lance desde el interior del parque de empuje.

Cabe destacar que se realizó la compartimentación de los tramos a suministrar con el fin de estandarizar los diferentes procesos y optimizar los trabajos de premontaje, izado y montaje. Asimismo, teniendo en cuenta el acceso a las obras y las posibles restricciones sobre las mismas.

4.4.2. Sistema de empuje

El sistema de empuje del tablero se realiza mediante la colocación de dos gatos hidráulicos fijos, así como anclajes pasivos fijados lateralmente a un bastidor colocado en la parte posterior de los tramos metálicos montado en cada fase de empuje. También se instalaron guías laterales regulables, que permitirán el ajuste y control de los movimientos transversales de la cubierta durante el deslizamiento. Los gatos utilizados para el empuje se colocan sobre elementos metálicos en la cara frontal del estribo 2 y por medio de cordones específicos para “heavy lifting” se procedió a tirar del bastidor trasero adosado a la estructura metálica.

Adicionalmente y dado que el empuje se realiza en pendiente descendiente con un valor aproximado del 2%, se dispone de un sistema de retenida utilizado para el control del empuje y eventualmente para poder recuperar el tablero, en caso de una incidencia o necesidad de retroceso durante la maniobra de lanzamiento.

Tanto en la zona de parque como en los pilares definitivos y torres provisionales, se colocan topes laterales con la misión de reconducir o recolocar el tablero en la geometría necesaria. En fase de parada, estos topes servirán de apoyo para el tablero frente a acciones atmosféricas, como viento y cambios térmicos.



Figura 9 Detalle de sistema de tiro y bastidor de apoyo de cordones.

La estructura metálica se deslizará sobre patines deslizantes en el parque de montaje, mientras que sobre los pilares podrá deslizarse sobre los dispositivos de soporte POT tipo “Dual-Function”. Estos elementos permiten el deslizamiento en fase de empuje y servirán de apoyos definitivos en fase de servicio, evitando así la tarea de sustituir los aparatos de apoyo temporales por otros definitivos.

Todos los diferentes puntos de apoyo a lo largo de los cuales se desliza el cordón inferior de la celosía se alimentan con almohadillas de neopreno-teflón en la parte superior de los apoyos, de modo que se minimizan los rozamientos durante la fase de

empuje.



Figura 8 Detalle de apoyos tipo Dual Function.

4.4.3. Torres de apoyo Temporal

Como se ha comentado anteriormente, la elección de un sistema de empuje, utilizando torres provisionales fue el sistema elegido, que permitía reducir el incremento de coste asociado al cambio del proceso constructivo. Para minimizar la afección, se tomaron una serie de decisiones que afectaban al diseño y dimensionamiento de estas.

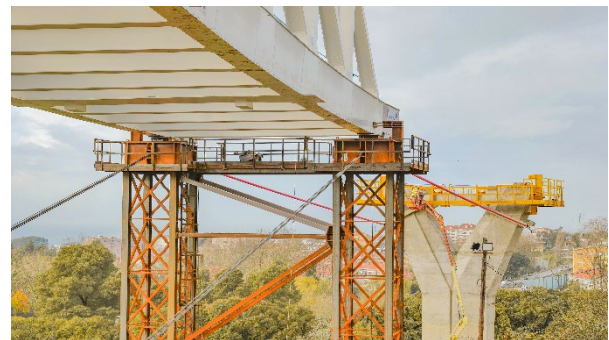


Figura 10Detalle de Torres provisionales con atirantamiento mediante tendones.

Dimensionar las torres únicamente para resistir cargas verticales; de este modo y dado que el tablero se lanzaba únicamente con el peso de la estructura metálica, permitía reducir las cargas verticales durante el lanzamiento. Las fuerzas de rozamiento asociadas al empuje se

recogían mediante un sistema de tirantes pasivos anclados a los arranques de cimentación de las pilas definitivas anterior y posterior, que estaban diseñadas para las acciones de diseño, muy superiores a las cargas provocadas por el empuje. Dado que las pilas estaban dimensionadas para resistir esfuerzos de sismo, viento y cargas de rozamiento asociadas a los apoyos POT definitivos, se decidió establecer un sistema de apoyos que desviase el exceso de cargas horizontales desde las torres provisionales hacia las pilas definitivas.

Los soportes temporales se colocaron aproximadamente en el punto medio entre pilares definitivos, siguiendo la trayectoria curva teórica durante el empuje. Entre el estribo 2 y el apoyo nº6, se colocaron un par de torres provisionales con la finalidad de eliminar el desequilibrio producido por tramos



Figura 11 Detalle de pilas provisionales sobre carretera inferior.

excesivamente cortos en la primera fase del empuje, en donde no se disponía longitud de tablero de tablero en la parte posterior para compensar el vuelco de este. Con la finalidad de reducir la afección al tráfico en la zona final del empuje, en donde se cruzaba una carreta, las torres provisionales se dispusieron en el momento preciso para la realización de la maniobra.

4.4.4. Nariz de lanzamiento

Al inicio del primer tramo de la celosía se dispuso unos elementos metálicos con la finalidad de alojar los gatos de recuperación de flecha en el lanzamiento en voladizo, y permitir el correcto alineamiento del cordón inferior de la celosía para el seguimiento de este empuje.

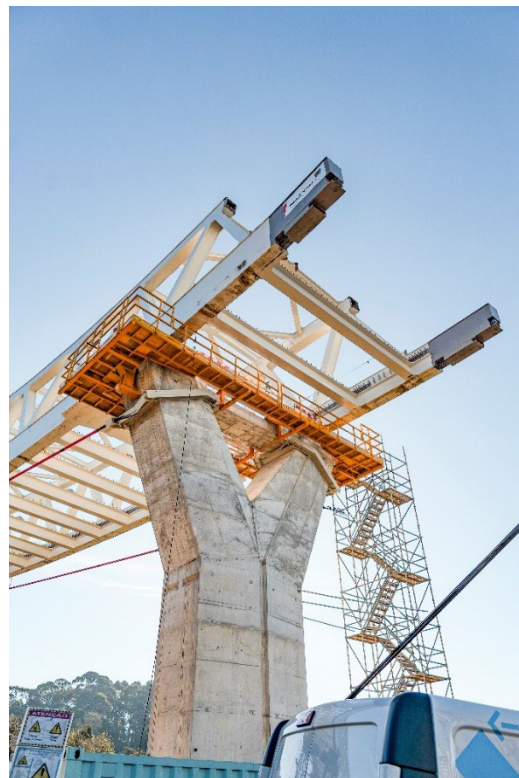


Figura 12 Detalle de nariz de lanzamiento para colocación de gatos de recuperación de flecha.

5. Conclusiones y lecciones aprendidas.

La adaptación del método constructivo utilizando el sistema de empuje incremental, ha permitido obtener varias mejoras, sin afección al tiempo de ejecución del contrato, y con un menor incremento en su presupuesto, además de que Metro do Porto tendrá menores costos por la no expropiación de un edificio afectado por el proceso original.

La solución adaptada tiene muchas ventajas sobre la solución en proyecto, como se ha mencionado en los capítulos anteriores,

de las que destacan los numerosos valores añadidos, a saber:

- Minimizar el impacto en el suelo agrícola en un 76% y preservación de ejemplares arbóreos.
- Minimizar el impacto causado a la población al reducir el número de transportes de carga al vertedero, en un 91% de reducción en la cantidad en volumen, al reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el transporte.
- Al reducir el impacto causado por el ruido y las vibraciones, mediante la confinación de trabajos en espacios protegidos en el parque de empuje.
- Promoviendo la creación de ciclos de producción controlados, con resultados más efectivos en el seguimiento de los parámetros de calidad, al permitir la mecanización de los trabajos de soldadura y pintura.
- La no demolición de las instalaciones del Club de Tenis Corgas y la no necesidad de su posterior reconstrucción.

A pesar de todas las mejoras enumeradas anteriormente, es importante, sin embargo, tener en cuenta que para que la adaptación actual del método de construcción sea posible, ha sido necesario adaptar el Proyecto de Ejecución de la “Obra de Arte” de acuerdo con las especificaciones y necesidades del nuevo proceso constructivo.

Como principal lección aprendida, merece la pena destacar que, durante el proceso de empuje, dada la gran rigidez a torsión de la celosía cerrada en un trazado en curva con 200m de radio, hubo muchas desviaciones en la carga vertical a resistir por los apoyos, tanto en pilas como en torres provisionales. Esto lleva a tener que considerar el tema de cargas en apoyos y diseñar bajo la eventualidad de que algún apoyo se sobrecargue, y otro quede sin apoyo por falta de contacto de la estructura. Posiblemente un estudio de montaje considerando no linealidad geométrica, hubiese previsto esta diferencia de

cargas en apoyos que se ha confirmado durante las fases de empuje del “Viaduto de Santo Ovídio”.

Agradecimientos

- Promotor: Metro do Porto; [Metro do Porto - A Vida em Movimento](#)
- Proyecto original puente y adaptación del proceso constructivo: GRID International; [GRID International Consulting Engineers](#).
- Subcontrista estructura metálica y montaje: Electrofer: [Home | Electrofer](#)
 - Montaje de tablero VSL Sistemas Portugal; [VSL Sistemas Portugal](#)
- Construcción:
 - Ferrovia Construction. [www.ferrovial.com](#)
 - ACA Engenharia&Construção; [ACA Engenharia & Construção](#)

Referencias

- [1] Timelapse de la maniobra: [Viaduto de Santo Ovídio](#)