

Desmontaje del Puente MD-88 en Novi Sad (Serbia)*

*Dismantling of MD-88 bridge in Novi Sad (Serbia)***

Sara Valor González^{*,a}, Ricardo Rico Rubio^b, Juan Pérez Torres^c, César Casanova García^d, Xacobe Otero Dans^e y Sergio Couto Worner^f

^a Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniera de proyectos. svalor@k2ingenieria.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director de Ingeniería. rrico@k2ingenieria.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Azvi S.A. Director técnico. jpereztorres@azvi.es

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Azvi S.A. Coordinador asistencias técnicas y proyectos. ccasanova@grupoazvi.com

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniero de proyectos. xotero@k2ingenieria.es

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director general. scouto@k2ingenieria.es

RESUMEN

El puente provisional MD-88 era una estructura de 434m de longitud y 5.3m de ancho para tráfico rodado y ferroviario que salvaba el río Danubio a su paso por la ciudad de Novi Sad (Serbia). Constaba de 6 vanos, siendo la luz del principal de 102m y su peso de 360t. Durante el desmontaje, el transporte de los vanos se realizó mediante navegación sobre pontona. En ella se ubicó un sistema modular hidráulico para grandes cargas y grandes desplazamientos verticales. En la zona de descarga se habilitó una estructura metálica compuesta por dos alineaciones de pórticos continuos sobre la que, una vez descargado el vano, se deslizaba mediante un sistema de patines y gatos horizontales y verticales hasta llegar a tierra.

ABSTRACT

Provisional MD-88 bridge was a 434 meters long and 5.3 meters wide structure for road and railway traffic over the Danube river in Novi Sad (Serbia). It had six span, with a maximum span length of 102m and a maximum span weight of 360t. During disassembly, the transport of the spans was carried out by navigation on a barge. On the barge a hydraulic modular system for heavy loads and large vertical displacements was installed. In the unloading zone, a metal structure composed of two alignments was built. Once the span was unloaded over the structure, it was slid by a system of skids and horizontal and vertical jacks until it reached the bank.

PALABRAS CLAVE: desmontaje, gatos, heavylifting, skidshoes, pontona.

KEYWORDS: dismantling, jacks, heavylifting, skidshoes, barge

1. Introducción

En 1999 fue bombardeado el puente sobre el Danubio que unía la ciudad de Novi Sad con el municipio de Petrovaradin en Serbia. De forma provisional en el año 2000 se construyó el puente denominado MD-88 ubicado 75m aguas arriba del destruido. A través de tráfico alternativo, el

puente daba servicio al tráfico rodado y ferroviario, y constaba de voladizos laterales para el paso peatonal.

Tras la apertura del nuevo puente Zezelj en 2018, era necesario desmontar el puente

provisional MD-88 para aumentar el gálibo vertical y horizontal de canal navegable.



Figura 1. Puente MD-88 (1)



Figura 2. Puente MD-88 (2)

La empresa Azvi, fue la adjudicataria del contrato de desmontaje del puente y demolición de las pilas. Para el diseño de la maniobra de desmontaje Azvi contó con la colaboración de la empresa especializada en movimientos de grandes cargas ALE y K2 Ingeniería para el diseño estructural de la maniobra y control de la misma.



Figura 3. Nuevo puente Zezelj tras MD-88

2. Descripción de la estructura.

El MD-88 consistía un puente metálico de 6 vanos isostáticos (72m+72m+72m+102m+72m+36m), y una longitud total de 433.5m. El vano de 102m estaba formado por una viga de tablero inferior y celosía en “K” de 12m de canto con el cordón superior arriostrado, el resto de vanos, por celosías tipo Warren con montantes de 6m de canto con cordón superior exento.

El puente permitía el tráfico ferroviario y rodado de forma alternativa, con un ancho de 5,3m entre planos de celosías. Para el tráfico peatonal se contaba con una acera de 1.0m de ancho anclada en voladizo de la estructura principal.

Cuatro de las cinco pilas se encuentran sobre el Danubio y existía un estribo en cada orilla (Novi Sad y Petrovaradin).

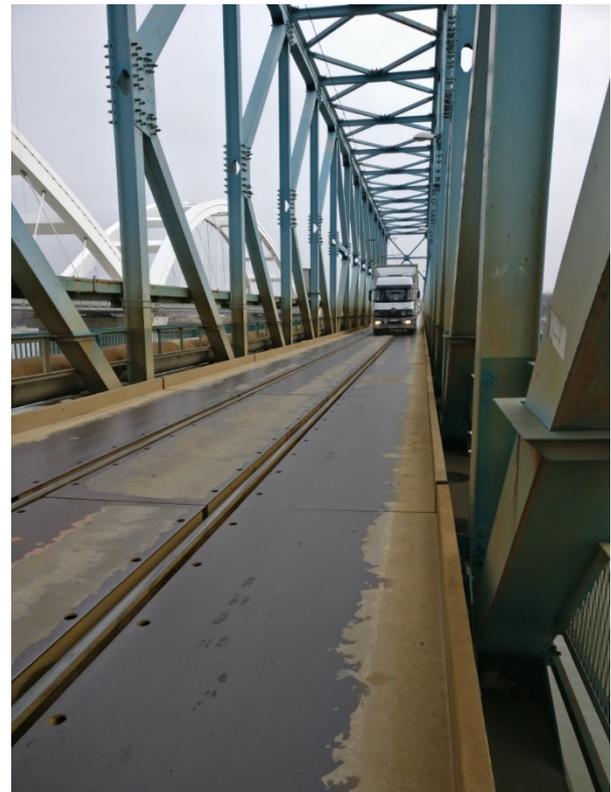


Figura 4. Puente MD-88 (3)

Ambos lados del puente estaban provistos de conductos para los cables de alimentación y claves del sistema del enclavamiento de señalización, según lo exigido por las autoridades

ferroviarias serbias. También se localizaba una tubería de 600m de diámetro en el lado aguas abajo.

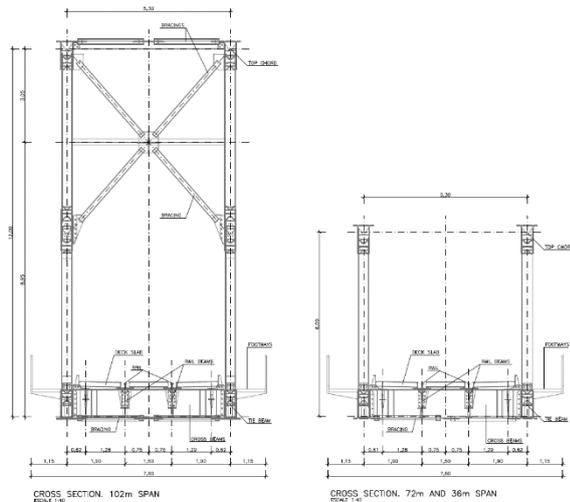


Figura 5. Secciones transversales

La estructura metálica se fabricó en acero C0563 y C0563 ($f_y \geq 355 \text{ N/mm}^2$) y las pasarelas peatonales en acero C5061 ($f_y \geq 235 \text{ N/mm}^2$). Los apoyos eran de tipo Pot, guiados en estribo 1, fijo en estribo 2, y con un apoyo fijo y otro guiado en cada pila.

El peso de los elementos estructurales del vano de los vanos de 72m era 220t y el del vano de 102m de 360t.

3. Condicionantes y métodos de desmontaje descartados.

El primer método propuesto para el desmontaje fue estudiado por ingenieros locales. Consistía en unir los vanos isostáticos 1-2-3, de manera que formasen una estructura continua hiperestática, y realizar el tiro desde el estribo 1. Como apoyos intermedios se utilizaban las pilas y como apoyo final una pontona. Del mismo modo se procedía para los vanos 4-5-6, realizando el tiro desde el estribo 2.

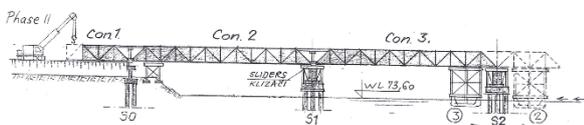


Figura 5. Esquema método de desmontaje mediante tiro desde estribo

La estructura se iba desmontando conforme se iba adentrando en tierra.

Este procedimiento fue descartado debido principalmente a la variabilidad del nivel de agua que tiene el Danubio y que se observó durante el lanzamiento del puente Zvezelj. Las variaciones del nivel de agua eran muy rápidas y según en la fase del lanzamiento en que se produjesen podrían por ejemplo hacer perder el contacto de estructura con pontona dejando un excesivo voladizo, o hacer perder el contacto de la estructura con las pilas aumentando la luz.

Otra objeción importante fue la dificultad de mantener transversalmente la pontona en la misma línea que las pilas, actuando constantemente en contra de la corriente, pues su desviación introduciría grandes esfuerzos transversales en la estructura.

Por los mencionados y otros motivos se descartó esta operación, y el desmontaje se realizó como se describe en el siguiente apartado.

4. Descripción de la maniobra

4.1. Diseño y trabajos preliminares

La maniobra fue diseñada por las empresas k2 ingeniería, ALE, y Azvi. El vano 6, de 36m, al ser accesible desde tierra se desmontó mediante grúa. Para los vanos 1 a 5, se planteó el transporte por el río desde su posición inicial hasta la de desmontaje mediante navegación sobre pontona manteniendo un esquema estructural estático.

Los trabajos preliminares incluyeron:

- la comprobación estructural de los vanos del puente en cada una de las fases de la operación.
- el diseño y la ejecución de las piezas de interfaz entre los gatos y la estructura.

- el diseño y ejecución de los pórticos para el deslizamiento a tierra de los vanos (jetty).
- diseño y montaje de los elementos estructurales de pontona: vigas sobre Megajacks y vigas de reparto de carga bajo torres.
- el montaje de la pontona y la comprobación de la capacidad de la misma.
- el diseño y ejecución de los puntos de amarre de la pontona en las diferentes fases.
- el dragado del río en las zonas de descarga y las orillas cercanas a los vanos 1 y 5.
- el estudio de cotas para establecer los límites de operación de la maniobra en función del nivel del río.
- estudio de la potencia necesaria en los remolcadores para la navegación de la pontona.
- desmontaje de los elementos no estructurales del puente como los voladizos peatonales, tuberías, railes, etc.

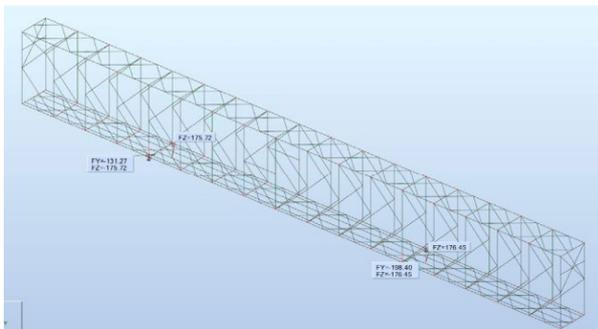


Figura 6. Modelo de vano 4 durante deslizamiento

4.2. Toma de carga

La pontona empleada era modular y balastable. Estaba formada por 42 módulos con una dimensión total de 34x37x2.5m. Sobre ella se ubicaban cuatro torres con un sistema de gatos para grandes cargas y grandes desplazamientos verticales denominados MegaJacks 800 pertenecientes a la empresa ALE, con una capacidad de 800tn/torre.

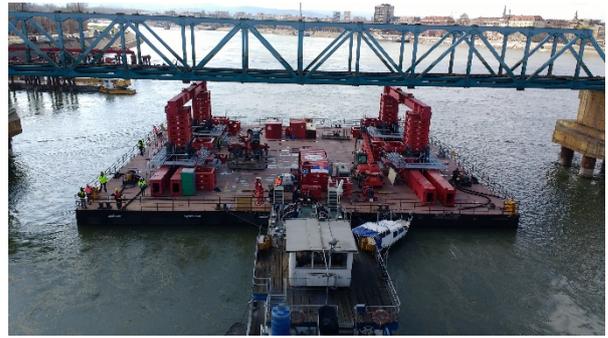


Figura 8. Pontona y Megajacks

Para la toma de carga se situaba la pontona balastada bajo el vano a cargar, esta operación se realizaba mediante cables de amarre a los pilotes de las pilas del propio puente o puntos de amarre ejecutados en los estribos. Los puntos de amarre fueron diseñados para 20tn.



Figura 9. Punto de amarre en estribo



Figura 10. Colocación de pontona en posición

Una vez situada en la posición correcta, se debalastaban los tanques de la pontona mediante bombas. La pontona se elevaba hasta hacer contacto con el puente. Se comprobaban los contactos y se colocaban galgas si era necesario para asegurar que los cuatro puntos de apoyo del puente formaban un mismo plano, para evitar introducir esfuerzos en el puente. Este paso fue especialmente importante en el vano 4, que al ser una sección con los cordones superiores

arriostrados, su comportamiento a torsión era mucho más rígido que en el resto de vanos. Y, por lo tanto, tenía mucha menos capacidad de adaptarse a cuatro apoyos no coplanarios.



Figura 11. Pieza interfaz entre pontona-estructura

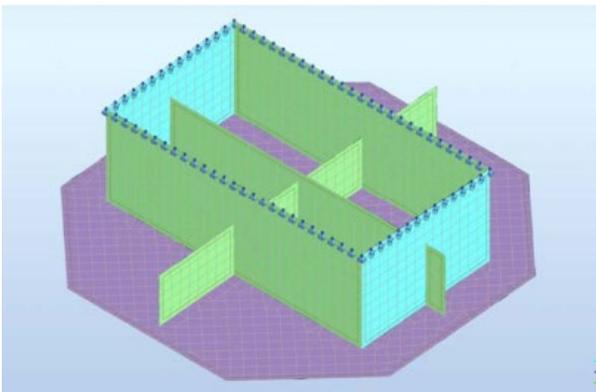


Figura 12. Modelo pieza interfaz entre pontona-estructura

Tras asegurar el adecuado contacto se continuaba con el deballastado para realizar la transmisión de carga a los gatos de manera progresiva. Una vez que toda la carga se encontraba en los gatos y se producía el despegue del puente de sus apoyos originales se procedía a elevar la estructura usando los megajacks. Este sistema permite elevar la carga en escalones de 550mm con la introducción de cajones (llamados cassettes) de esta dimensión en las torres de apoyo de una forma rápida.

Con esta elevación se pretendía conseguir un espacio libre de seguridad suficiente con las pilas.



Figura 13. Elevación de cassette en Megajack



Figura 14. Carga transferida a Megajacks

4.3. Navegación

Una vez que la estructura se encontraba a la cota de transporte, se liberaban los puntos de amarre, y con la ayuda de un remolcador principal y dos remolcadores de apoyo se trasladaba hasta su posición de descarga.

El remolcador principal actuaba como motor para dirigir la pontona a contracorriente hasta el muelle y los dos remolcadores de apoyo actuaban como la dirección de la pontona, para dirigirla y girarla a su posición definitiva.

Esta fase fue la que supuso mayor reto dentro de la operación de desmontaje, pues las fuertes corriente del Danubio hacían difícil maniobrar la pontona.

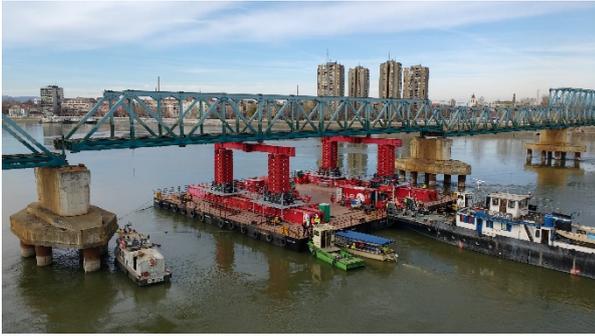


Figura 15. Transporte vano 2



Figura 16. Transporte vano 4



Figura 17. Transporte vano 1



Figura 18. Transporte vano 5

4.4. Muelle de descarga

Para el traslado de los vanos desde la pontona hasta tierra se pensó en utilizar el antiguo jetty o muelle que se usó para la propia construcción de puente. El jetty estaba compuesto por dos

alineaciones compuesta cada una por 5 grupos de pilotes sobre las que se disponía una viga doble HEB1000. Se debía dar continuidad a las vigas existentes y realizar nuevos apoyos en tierra.



Figura 19 Estado original muelle

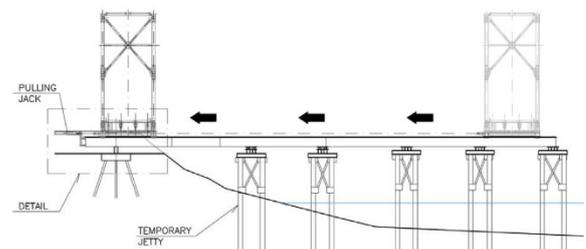


Figura 20. Esquema inicial de traslado de vanos en el muelle

Se realizaron ensayos mediante ultrasonidos para conocer el estado de los pilotes metálicos, y se constató que la pérdida de espesor por la corrosión era importante. Se decidió entonces, ejecutar nuevos grupos de pilotes sobre los que se apoyaría unas nuevas vigas doble HEB800. Los antiguos pilotes se utilizarían únicamente como puntos de amarre de la pontona, y las cargas verticales de los vanos recaerían en los nuevos pilotes.



Figura 21. Corrosión en pilotes



Figura 22. Nuevos grupos pilotes ejecutados



Figura 23. Vista general muelle descarga (1)

En tierra se ejecutaron dos zapatas de apoyo y se dio continuidad a la viga, para que los vanos pudiesen ser deslizados hasta la zona de desmontaje.



Figura 24. Vista general muelle descarga (2)

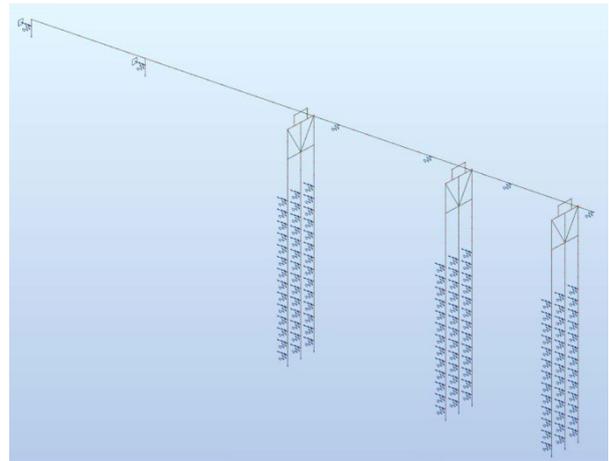


Figura 25. Modelo muelle

4.5. Descarga y deslizamiento

Sobre las vigas del muelle se instalaron los carriles sobre los que se ubicaron los patines o skidshoes pertenecientes a la empresa ALE. Estos patines disponen de un gato vertical de 300tn de capacidad y una carrera de 400mm. La base del skidshoe es de acero inoxidable y desliza sobre elementos de neopreno-teflón colocados sobre los carriles.

Una vez posicionada la pontona en el interior del muelle y amarrada a los pilotes originales del mismo, se procedía al descenso del vano. El acercamiento inicial se realizaba mediante retirada de cajones de las torres de los Megajacks. El contacto del vano con los patines situados en el muelle se realizaba por una combinación de balastado de la pontona y con los propios gatos de los skidshoes. La toma de carga en los patines se realizaba con los gatos de los mismos para tener mayor control sobre la carga que recibía cada uno.



Figura 26. Patines de deslizamiento



Figura 27. Posicionamiento de pontona en el muelle.
Vano 4



Figura 28. Descarga vano 4



Figura 29. Deslizamiento vano 2

Una vez que la carga estaba transferida totalmente a los patines, se bloqueaban los gatos verticales del mismo, y se colocaban los gatos horizontales. Con estos gatos horizontales se procedía al deslizamiento de los vanos sobre los raíles hasta llevarlos a la zona de acopio y desmontaje. Tenían una capacidad de empuje de 42,4t y una capacidad de tiro de 24,3t.

Cuando el vano llegaba a tierra, se podía soltar la pontona de sus amarres para posicionarse para la toma de carga del siguiente vano.

4.6. Descarga en zona de acopio y desmontaje

En la zona de acopio y desmontaje se instalaron una serie de plintos de hormigón sobre los que se descargaban los vanos con la ayuda de los gatos verticales de los skidshoes. El desmontaje de los vanos se realizaba pieza a pieza, acopiando y clasificando las mismas para posibilitar la futura reconstrucción del puente en otras ubicaciones.



Figura 30. Vanos 2 y 5 sobre plintos durante desmontaje



Figura 31. Vanos 2, 4 y 5 durante desmontaje



Figura 32. Clasificación de piezas desmontadas



Figura 33. Desmontaje vano 2

5. Conclusiones

Se ha presentado en este artículo la descripción del proceso de diseño y ejecución de la operación de desmontaje del puente MD-88 en Serbia. El desmontaje del puente fue una maniobra

delicada, en la que había múltiples fases, elementos y operaciones. Uno de los mayores retos fue posicionar la pontona en el lugar exacto para la toma de carga en los vanos donde la corriente de Danubio era especialmente fuerte.

Gracias a la implicación y trabajo coordinado en equipo de técnicos de diferentes empresas se consiguió solventar con éxito la maniobra con un rendimiento final de traslado a tierra de 2 días por vano.

Agradecimientos

Se quiere agradecer a la empresa AZVI la confianza depositada en el equipo técnico para colaborar en el diseño y supervisión de la maniobra.

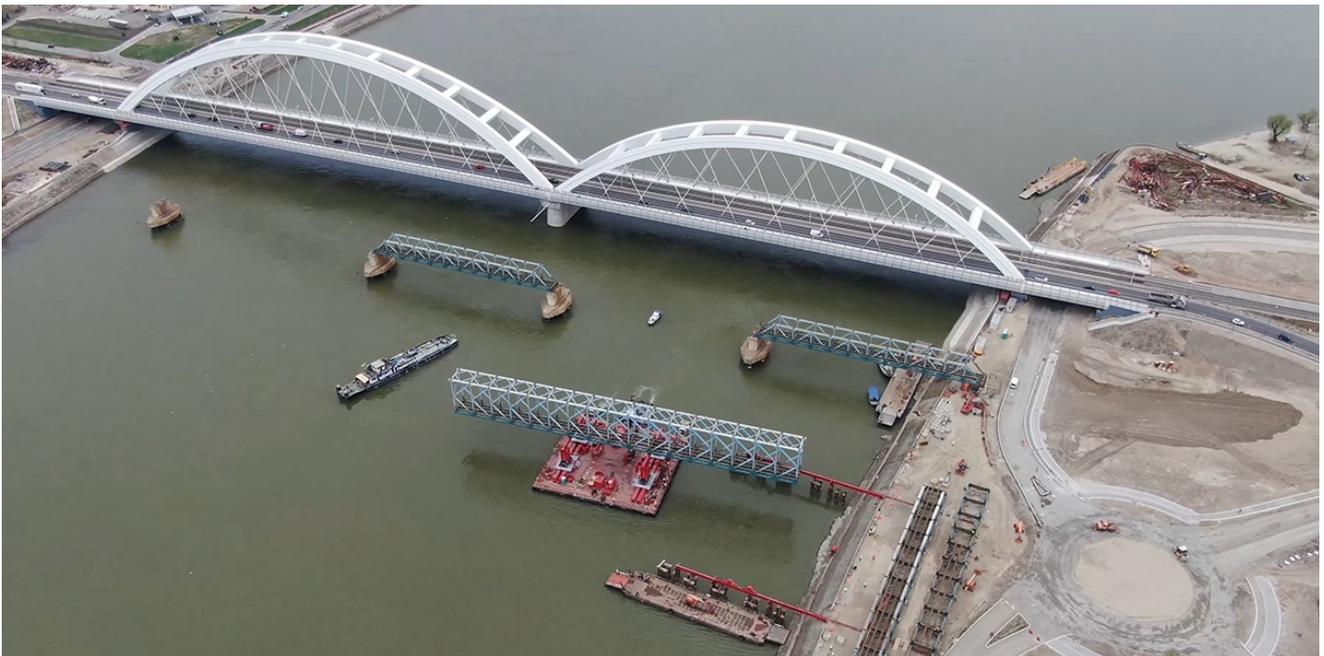


Figura 34. Vista aérea durante traslado vano 4