NUEVO VIADUCTO SOBRE EL RÍO JÚCAR EN CULLERA: LANZAMIENTO MEDIANTE SPMTs

New viaduct over Júcar river, Cullera (Valencia, Spain). Launching construction using SPMTs

Luis Sopeña Corvinos [a], Juan Jesús Álvarez Andrés [b], Conchita Lucas Serrano [c], Ricardo Rico Rubio [d], Sara Valor González [e], Carlos Misas Muñoz [f]

[a] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero Estructural. gGravity Engineering. lsopenac@ggravityeng.com.

[b] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Puentes y Estructuras de obra civil. gGravity Engineering. jjalvareza@ggravityeng.com.

[c] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Departamento. gGravity Engineering. clucass@ggravityeng.com.

[d] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de Ingeniería. k2 Estudio de Ingeniería S.L. rrico@k2ingenieria.es.

[e] Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniera de Proyectos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. svalor@k2ingenieria.es.

[f] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de producción. Dragados S.A. cmisasm@dragados.com.

RESUMEN

El viaducto sobre el Júcar es un puente mixto de 216 m de longitud y 29 m de ancho de plataforma cuyo vano principal es un arco de tablero inferior de 90 m de luz, que en otra comunicación se describe con detalle. Descartada la opción de montaje con grúas por la dificultad que tal maniobra entrañaba, el proceso de ejecución elegido fue un lanzamiento poco convencional mediante el uso de carretones autopropulsados o SPMTs (Self Propelled Modular Transport). Debido a las condiciones particulares del lanzamiento, este método resultó ventajoso respecto a los empujes convencionales (ahorro en acero de refuerzo, diagonales provisionales, disminución voladizo de construcción).

ABSTRACT

The viaduct over Júcar river is a composite deck bridge 216 m long and 29 m wide with a main span of 90 m formed by a bowstring which is described in detail in other paper. Due to different difficulties, construction using cranes was discarded, being the launching using SPMTs the construction process elected. Although not conventional, it came up to have many advantages that made it competitive against conventional launching systems (significant additional structural steel savings, provisional diagonals reduction, maximum free cantilever reduction during construction.

PALABRAS CLAVE: heavy lifting, SPMT, lanzamiento, empuje, arco, péndolas.
KEYWORDS: heavy lifting, SPMT, launching, arch, bowstring, hangers.

1. Introducción

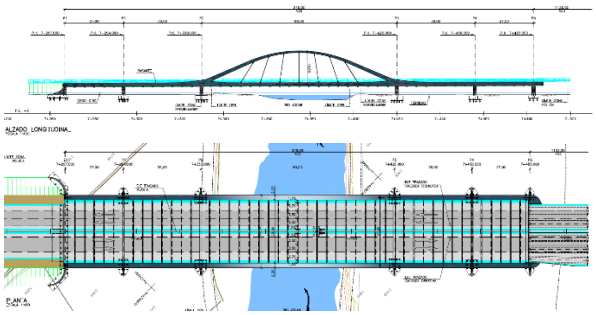
Se trata de una estructura que cruza el río Júcar dentro del proyecto del Ministerio de Fomento (DGC) Tramo II, Variante de Cullera y Favara, perteneciente a la carretera N-332 de Almería a Valencia por Cartagena y Gata, P.K. 242+000 al P.K. 252+000 de la Variante de Sueca. Son 9.62 km de tronco de 2 carriles por sentido y velocidad de proyecto 100 km/h.

La estructura de cruce del Júcar tiene 216 m de longitud y un presupuesto de ejecución material de 6 286 771.75 euros (el 5.24% del PEM total del proyecto).

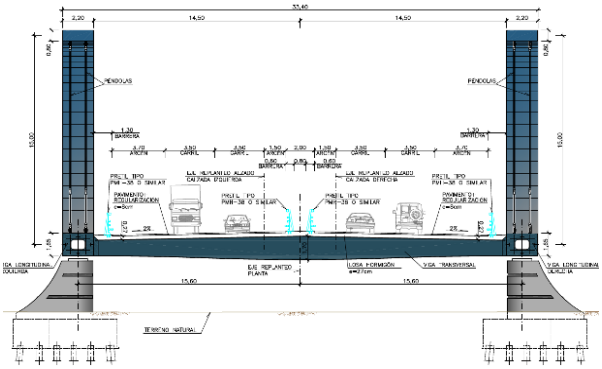
2. Descripción de la estructura

El Viaducto sobre el Río Júcar, tiene una longitud total de 216.0 m, dividida en cinco vanos con luces de 27.0 + 36.0 + 90.0 + 36.0+ 27.0 m. El ancho de tablero correspondiente a un posible futuro ensanchamiento de la calzada, posibilitando la incorporación de un carril adicional por sentido, obligando a mantener un ancho libre entre arcos de 29.00 m (33.40 contando con los arcos). Ver figura 1.

Se presenta una tipología arco de tablero inferior tipo bow-string de 90 m de luz para materializar el paso de la traza sobre el Río Júcar, con un tablero que longitudinalmente está formado por dos cajones metálicos de 2.20 m de ancho y canto constante de 1.65 m excepto en la zona de arranque de los arcos en la que el canto asciende a 2.85 m. La distancia entre el eje de los arcos en clave y el eje del tablero es de 15.00 m, lo que equivale a una relación flecha / luz de 1 / 6. La sección de los arcos corresponde a un cajón metálico de 2.20 m de anchura, idéntico que las vigas longitudinales.



La elevada luz transversal es salvada mediante vigas transversales metálicas con sección doble T y canto variable, alcanzando su máximo en centro de luz con un canto de 1.70 m y su mínimo en el encuentro con las vigas longitudinales con un canto de 1.14 m. La superficie de rodadura se materializa sobre una losa de hormigón de 0.27 m de espesor conectada a las vigas transversales, configurando, de esta manera, un comportamiento mixto acero-hormigón. La separación entre vigas transversales es de 4.50 m. En los ejes de apoyo de pilas y estribo se disponen vigas transversales sección cajón a modo de viga transversal. Estas vigas tienen la misma variación de canto que las vigas transversales tipo, a excepción de las riostras de P2 y P3, que aumentan su canto hasta un total de 2.20 m en centro de vano. Ver figura 2.



El tablero mantiene continuidad entre el arco y los vanos de compensación de manera que la sección transversal de estos últimos es idéntica que el tablero del vano principal.

Se ha planteado un arco con directriz parabólica de segundo grado en su tramo central y directriz recta, a modo de puntales, en los extremos. Las péndolas, 7 parejas por cada lado, se abanican aproximándose entre ellas en la parte superior. La separación entre puntos de anclaje en el tablero es de 9.00 m, mientras que en el arco es de 7.00 m (1.10 m en transversal). Ver figura 3.

Figura 3. Vista de dos péndolas acopiadas.

Las principales cuantías del tablero son: 194 kg/m^2 de acero estructural (S355), 0.18

m^3/m^2 de hormigón (HA-30), 29.5 kg/m^2 de acero pasivo (B-500-S), y 28 péndolas tipo barra (acero al carbono fy>460 MPa, acabado galvanizado) de 90 mm de diámetro (longitud entre 10.6 y 13.3 m, en total 338 ml).

Para materializar el apoyo de esta estructura se ha concebido una forma de pila con sección tipo gota de agua, afilada en un extremo y redondeada en el opuesto (forma de tajamar, sección muy favorable frente al comportamiento hidráulico en posibles avenidas). El canto de las pilas varía en planta desde 0.20 m hasta 1.80 m. La altura máxima de pilas es de 4.45 m. Ver figura 4.

La cimentación se materializa mediante pilotes hincados prefabricados de 0.40x0.40m y 25.0 m de longitud. Se disponen 12 pilotes en P1 y P4, 17 pilotes en P2 y P3 y 6 pilotes en P5.

Estribos cerrados con aletas en prolongación (curvas), evitando de esta forma el derrame de tierras frontal y encauzando las aguas hacia los vanos abiertos de la estructura en caso de avenida. La cimentación se materializa mediante pilotes hincados prefabricados de 0.40x0.40m y 25.0m de longitud. Se dispone un total de 48 pilotes.

Debido a la acción sísmica, moderada, aceleración de cálculo de 0.13 g, se disponen apoyos de neopreno zunchado, anclado y desmontable en todos los aparatos de apoyo, debido a la capacidad de estos elementos para disipar parte de la energía mediante deformación. Ver figura 5.

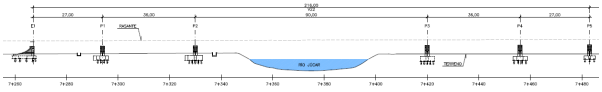
Figura 5. Aparato de apoyo de neopreno circular en carga.

3. Procedimiento constructivo general

2.1 Subestructura

Como no puede ser de otra manera, la construcción comenzó con la ejecución de las cimentaciones de pilas y estribos, que en todos los casos constaban de pilotes prefabricados hincados de hormigón, con sus correspondientes encepados.

Seguidamente se llevó a cabo la ejecución del alzado de pilas y estribos, en todos los casos con encofrados de baja altura para hormigonado in situ. Ver figura 6.

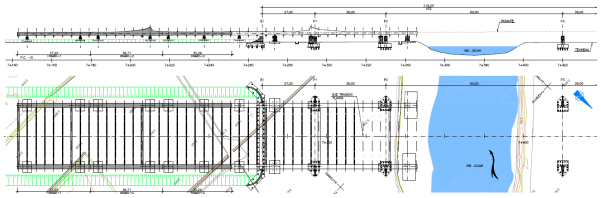


2.2 Tablero

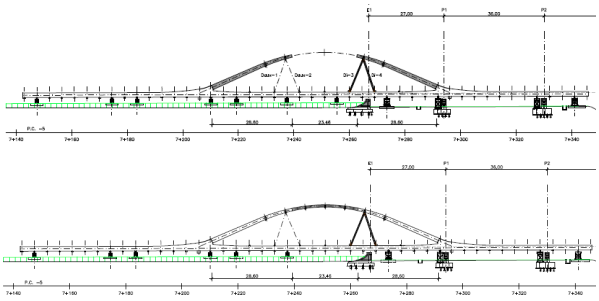
El proceso constructivo del tablero es el siguiente: montaje de estructura metálica en la margen izquierda, para luego desplazarlo a posición definitiva mediante la ayuda de varios conjuntos de SPMTs, a ambos lados del río, permitiendo salvar el cruce del río con una luz de lanzamiento máxima de 67.5 m.

El montaje de la estructura metálica se llevó a cabo con la ayuda de 11 parejas de torres provisionales, dividiendo las vigas longitudinales en 6 tramos. Una vez las dos vigas longitudinales

de cada tramo están montadas sobre las torres de apoyo provisional, puede comenzar el montaje de las vigas transversales (entre 7 y 9 por cada tramo). Todas las uniones son materializadas mediante soldadura. Ver figuras 7, 8, 9 y 10.



Una vez las vigas longitudinales y transversales están montadas y soldadas entre sí, se comienza con el montaje del arco, el cual se divide a su vez en tres tramos. Para el montaje del arco se utilizan unas diagonales provisionales, 2 parejas, una de las cuales se mantiene para la maniobra de lanzamiento mientras que la otra es retirada. Ver figuras 11 y 12.



4. Procedimiento constructivo vano principal.

4.1 Selección del procedimiento

El proceso de ejecución elegido, teniendo en cuenta la dificultad de una maniobra empleando grúas salvando los más de 70 m de distancia entre las márgenes del río, fue la de montar la estructura en un margen del río y llevarla a su posición definitiva mediante empuje o lanzamiento.

Los métodos o procedimientos de lanzamiento que se valoraron fueron los habituales o estandar en este tipo de situaciones. Por un lado, empuje sobre puntos de apoyo fijos en parque de lanzamiento, y por otro, empuje sobre puntos de apoyo móvil (o skidshoes) en parque de lanzamiento, en ambos casos mediante el uso de gatos hidráulicos y con apoyos provisionales de deslizamiento también sobre las pilas definitivas (aunque debido a la altura de las mismas también se valoró la opción de utilizar torres provisionales adosadas a las pilas definitivas y compartiendo cimentación con las mismas). En la valoración de estos procedimientos se incluyó la parte de obra civil adicional necesaria para el empuje, los elementos auxiliares propios del lanzamiento, el plazo, y por supuesto los refuerzos adicionales necesarios en la estructura metálica, los cuales eran significativos, tanto a nivel de espesor de chapas como de elementos auxiliares como las diagonales provisionales para el arco.

Frente a estos métodos de lanzamiento convencionales, surgió la opción de un lanzamieno poco convencional, mediante el uso de SPMTs (Self Propelled Modular Transport). Debido a las condiciones particulares de este empuje, principalmente la pequeña altura de pilas y la posibilidad de ejecutar una plataforma de trabajo continua bastante buena a un bajo coste, este método era aplicable y competitivo frente a los convencionales, y a la postre resultó más ventajoso. Una de los factores que más peso tuvo a la hora de inclinar la balanza a favor del empleo de los SMPT fue el ahorro en material de refuerzo en el tablero, pues al no necesitar de ningún deslizamiento únicamente son necesarios refuerzos puntuales en las secciones de apoyo de los SPMT, en lugar de un refuerzo generalizado en todo el cordón de deslizamiento, lo cual también ayudó a simplificar y aligerar significativamente las diagonales provisionales del arco. Finalmente, gracias a este método también se pudo acortar la longitud de voladizo máxima durante la maniobra, dejándola en 67.5 m, lo que redundó en una menor flecha en punta y aún menor necesidad de refuerzos adicionales en las vigas longitudinales.

4.2 Descripción del procedimiento

Las principales características de la maniobra son las siguientes:

- Peso total a lanzar: 1746 t (1280 t de estructura metálica y 460 t de prelosas).
- Longitud de estructura montada: 203 m.
- Longitud a lanzar: 125 m.
- Máxima reacción en un apoyo: 514 t.
- Máximo número de ejes simultáneamente: 108.
- Máximo voladizo alcanzado durante el empuje: 67.5 m.

Para llevar a cabo la maniobra se utilizaron simultáneamente 108 ejes SPMT, que se acoplaron de distintas formas para conformar conjuntos con la capacidad necesaria en cada fase de la maniobra. Sobre la plataforma que conforman los conjuntos de SPMT fue necesario montar estructuras metálicas auxiliares con objeto de alcanzar la cota necesaria de apoyo y avance, materializar el punto de apoyo en la viga metálica, y dar la capacidad necesaria de giro longitudinal para evitar posible efectos perversos de que podría conllevar la coacción al giro. Ver figuras 13 y 14.

Se utilizaron 11 secciones de apoyo diferentes a lo largo de la maniobra, donde fue necesario introducir algún refuerzo local. Cuatro de ellas coincidían o estaban muy cerca de una sección de apoyo definitiva, mientras que tres se encontraban dentro de la sección del arco (reforzados con las diagonales provisionales).

Figura 15. Vista del montaje en obra de la estructura metálica del tablero y prelosas previa al lanzamiento.

El grupo de ejes más grande que se llegó a conformar era de 40 ejes, para una carga exterior de 514 t una carga total de 628 t, mientras que la configuración más pequeña fue de 12 ejes, para una carga exterior de 45 t y una carga total de 88 t. Ver figura 16.

Figura 16. Vista dos conjuntos de ejes SPMT sobre los que se está colocando la estructura metálica auxiliar.

Los propios conjuntos de carros SPMT sirven para realizar la maniobra de desapeo de las torres temporales, gracias a su capacidad de regulación de altura de hasta 600 mm.

La maniobra constó de hasta 20 fases diferenciadas, dividiendo el avance en 7 fases, entre las cuales se introducían cambios de puntos de apoyo, cambios de configuración de los conjuntos SPMT e incluso introducción de apeos mecánicos temporales para facilitar estas operaciones intermedias. Ver figura 17.

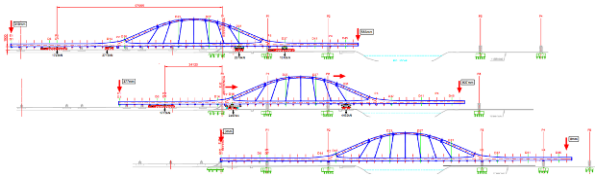


Figura 17. Fase inicial, fase máximo voladizo y fase final de maniobra.

Con todos los carros en la misma margen del río, en tres fases separadas de movimiento (avance y giros necesarios para esquivar las pilas permanentes) se logra un avance neto de 64.3 m, con un voladizo máximo de estructura metálica por detrás del último apoyo de carro de 67.5 m. En este momento es necesario introducir un apeo mecánico que permita librara el número necesario de ejes que deben ser transportados al otro margen del río, de forma que se pueda gatear la estructura recuperando la flecha del voladizo, materializando un apoyo al otro lado del río y pueda proseguirse con la maniobra.

Figura 18. Vista lateral de una fase de la maniobra

A partir de este momento, con carros ya a ambos lados del río, se prosigue con la maniobra, dividiendo el avance en otras 5 fases (giros y movimientos transversales incluidos), con otro apeo mecánico intermedio, dejando finalmente la estructura en posición definitiva sobre las pilas y apoyos permanentes.

4.3 Operaciones singulares

Aunque se trataba de una manibra ya de por sí singular, en la misma hubo que realizar algunas operaciones singulares que requiririeon de una atenciòn especial tanto durante el diseño de la maniobra como durante la ejecución.

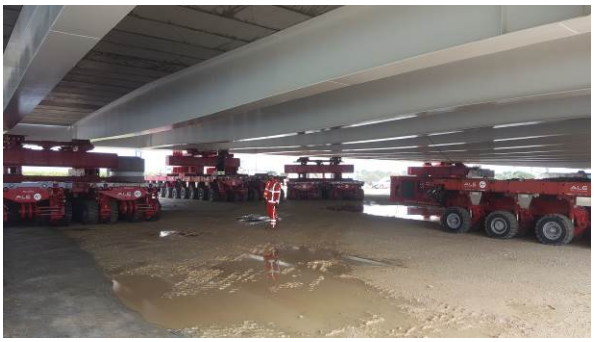


Figura 19. Vista de los carros SPMT bajo el tablero.

Una de las dificultades que presentaba la maniobra era el tener que sortear las pilas definitivas, que se encontraban en el camino de los SPMTs. Esto obligó a introducir varias maniobras intermedias de giros en ambos sentidos para poder seguir con el avance esquivando las pilas.

Figura 20. Vista de una fase de la maniobra con el puente girado y desplazado respecto del trazado.

Para poder salvar el río, y teniendo en cuenta que se parte de la zona de montaje que está parcialmente detrás del estribo de lanzamiento, y con el objetivo de minimizar los refuerzos adicionales necesarios en el tablero, fueron necesarias hasta 10 configuraciones de apoyo distintas durante la maniobra.

Otra de las dificultades que presentaba el proceso es que, debido a la necesidad de cambiar de puntos de apoyo y de configuración de conjuntos de ejes, 3 ocasiones fue necesario realizar apoyos mecánicos intermedios, directamente al suelo, de forma que se pudieran retirar los SPMTs, reconfigurarlos y reubicarlos

en la nueva posición para poder proseguir con el avance.

Figura 21. Vista del montaje en obra de la estructura metálica del tablero.

Figura 22. Vista del montaje en obra de la estructura metálica del tablero.

La maniobra estuvo en todo momento controlada por varios sistemas, algunos redundantes:

- Antenas GPS: 6 (2 en cola, 2 en clave de arco, 2 en punta), controlando tanto en planta como en alzado la situación del puente en tiempo real. Ver figura 21.

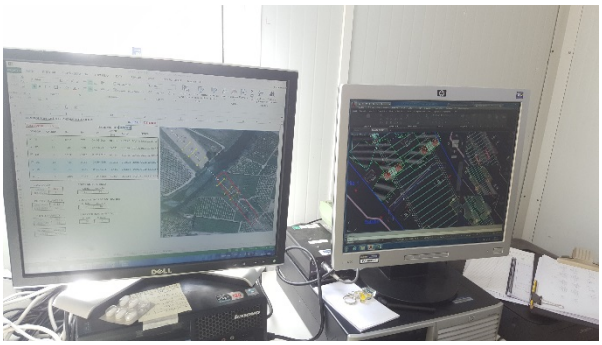


Figura 24. Vista de los monitores de control geométrico de la maniobra (antenas GPS).

- Dianas de topografía en laterales de las vigas cajón: en los momentos de parada, se controlan una serie de dianas para establecer puntos de control geométricos estratégicos. Ver figura 22.

Figura 25. Vista de control topográfico midiendo a dianas dispuestas en las vigas.

- Barómetros de presión en los conjuntos SPMT, permitiendo controlar la distribución de cargas, siendo necesario en algunos casos correcciones de cota para redistribuir la carga. Ver figura 23.

Figura 26. Vista de los barómetros incluidos en los conjuntos SPMT.

5. Análisis y conclusiones

A mediados del mes de febrero de 2018 se llevó a cabo una maniobra muy singular que se concluyó con éxito, cumpliendo con los objetivos de calidad y seguridad exigidos desde un principio, sin provocar problemas de plazo con el resto del proyecto, y con plena satisfacción del cliente. Ver figura 27.

Figura 27. Vista aérea del puente a falta de algunos acabados.

Las condiciones particulares que reunía este proyecto para llevar a cabo un lanzamiento con medios tan poco habituales, demostraron ser válidos, sin que ello signifique que no se detectaron puntos débiles del sistema o puntos de mejora a tener en cuenta en futuros proyectos o maniobras similares, los cuales se describen brevemente a continuación.

Es cierto que este tipo de vehículos de transporte, SPMT, son muy versátiles, permitiendo realizar movimientos coordinados entre varios conjuntos sin necesitar un terreno perfectamente plano ni con una alta capacidad portante. Pero también es cierto que durante la maniobra hubo que acondicionar la plataforma de rodadura más de lo acordado inicialmente para minimizar riesgos durante el transporte, además de que la maniobra finalmente requirió de una huella de rodadura más grande que la teórica dibujada en planos. Ambas cosas entendibles, pero que es importante tener en cuenta.

También hay que tener en cuenta que un terreno encharcado o embarrado puede dificultar la maniobrabilidad de estos transportes, o incluso detener la maniobra (en el caso de que una de las ruedas sufra un giro relativo respecto al resto, al resbalar, por ejemplo).

Otra dificultad añadida es la gran cantidad de conjuntos independientes y separados distancias importantes que debían trabajar de forma simultánea. Una de las claves de este sistema es la perfecta sincronización entre todos los ejes, que se realiza desde una centralita y un cuadro de mandos único. El propio sistema tiene un programa que detecta cuando la señal de comunicación entre los distintos conjuntos no es lo suficientemente fuerte, y en ese momento detiene la maniobra. Esto significa que los movimientos se realizan siempre con las mayores garantías de seguridad, pero también que en casos como el del Júcar, con varios conjuntos con separaciones

importantes, es frecuente que la señal no sea siempre todo lo buena que debería ser y se produzcan sucesivos parones en la maniobra hasta solucionar la debilidad de señal.

El hecho de no disponer de suficientes ejes como para poder realizar todas las maniobras de cambio de configuración de conjuntos de ejes y no necesitar realizar apeos mecánicos intermedios supuso algunos retrasos durante la maniobra. En casos en que la demanda de ejes no sea tan elevada o haya suficientes, este contratiempo podrá ser evitado.

Donde este sistema no tiene competencia es en la agilidad y la libertad de movimientos, llegando en algunas ocasiones a realizar maniobras de rectificación del trazado del lanzamiento, cosa que con los métodos tradicionales no es posible. También ofrece gran libertad y flexibilidad en cuanto a correcciones de cota en cada uno de los apoyos. Como contrapartida, todos estos grados de libertad no siempre se pueden utilizar con la precisión que requiere el lanzamiento de una estructura de estas características, obligando a sucesivas correcciones tanto en planta como en alzado hasta lograr la posición deseada.

Este sistema te da un control permanente del valor de la carga en cada uno de los apoyos, posibilidad de corrección de cota, y además con los mismos elementos se realiza la maniobra de apeo sobre los apoyos definitivos, lo que también implica un importante ahorro en coste y en plazo. Ver figura 28.

Figura 28. Apeo sobre apoyos definitivos mediante los conjuntos SPMT.

Figura 29. Vista aérea durante la prueba de carga.

Agradecer lo primero al equipo de obra, que realizó un trabajo magnífico, coordinando a la perfección a los distintos equipos que intervinieron en el proyecto y en la maniobra (por medio del Jefe de Grupo Luis Garay, del Jefe de Obra Joaquín Cerdá y el Jefe de Producción Carlos Misas). Especial reconocimiento al equipo de Topografía, tanto al de gGravity (Alfredo Muñoz y Germán Moro) como al de obra (Carmelo Martínez y José Luis Quiles). Por último, no por ello menos importante, agradecimiento al equipo de ALE, que hicieron posible una maniobra de una gran complejidad de ejecución (desde Javier Martínez y Salvador Salamanca, a Francisco Gómez y Javier Moreno).