

Ampliación del puente de Rande. Control y verificación de medios auxiliares para la construcción.

Extension of the Rande Bridge. Control and verification of temporary works.

Manuel Angel Díaz García^{a,*}, Miguel Rupérez Astarloa^b, Juan Peña Lasso^a, Ana Fernandez Prieto^c, Oscar Ramón Ramos Gutiérrez^d, Álvaro Serrano Corral^e.

^aIngeniero Industrial. WSP Spain- APIAXXI. Departamento de puentes.

^bIngeniero de Caminos Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo TYPSA). Ingeniero.

^cIngeniero de Caminos Canales y Puertos. AUDASA. Directora de obra.

^dDr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Universidad de Cantabria.

^eIngeniero de Caminos Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo TYPSA). Director Técnico.

RESUMEN

La ampliación del Puente de Rande representa un hito en la ingeniería de puentes al ser la primera obra de ampliación de un puente atirantado que se ejecuta en el mundo. El diseño y ejecución de las maniobras de construcción y de los distintos medios auxiliares ha supuesto un reto en sí mismo, teniendo en cuenta la novedad de la solución adoptada para la ampliación y los necesarios requisitos de seguridad. Tanto las maniobras como los medios auxiliares han sido sometidos a una revisión independiente de contraste, lo que ha supuesto una garantía en la ejecución de las maniobras y en la de seguridad de la obra, en un puente que mantuvo el tráfico durante toda la duración de los trabajos.

ABSTRACT

The capacity extension of the Rande Bridge represents a milestone in bridge engineering as it is the first cable-stayed bridge capacity extension project in the world. The design and execution of the construction manoeuvres and the necessary temporary works has been a challenge itself, taking into account the novelty of the solution adopted for the extension and the necessary safety requirements. Both the manoeuvres and the temporary works have been subjected to an independent contrast review, which has provided a guarantee in the execution of the manoeuvres and in the safety of the work, on a bridge that maintained traffic throughout the duration of the work.

PALABRAS CLAVE: Medios auxiliares, revisor independiente, instrumentación, prueba de carga.

KEYWORDS: Temporary works, independent checker, load tests, monitoring.

1. Introducción

La ampliación del puente de Rande ha consistido en la ejecución de dos tableros paralelos al existente dispuestos por la parte exterior de las pilas principales. Estos tableros se apoyan en el existente por medio de celosías de conexión y rótulas y se sustentan mediante un sistema de atirantamiento análogo al sistema actual, anclado

a un cabecero metálico en la coloración de las pilas principales.

El tablero ha sido ejecutado a partir de dovelas de 20 m de longitud que una vez colocadas en posición se soldaban a las precedentes.

Desde el punto de vista técnico, una de las mayores dificultades durante la ejecución de la ampliación ha sido el izado y colocación de los

distintos elementos estructurales, como son el cabecero de ampliación o las dovelas.

Desde el punto de vista de los medios auxiliares empleados, las maniobras más importantes realizadas para la ejecución de la ampliación del puente de Rande han sido las siguientes:

- Izado de cabeceros de ampliación.
- Izado de dovela de pilas principales.
- Izado de dovelas tipo.
- Izado de dovelas laterales.

Uno de los requisitos fundamentales a la hora de ejecutar la ampliación ha sido el mantener la capacidad viaria del tráfico rodado sobre el puente, priorizando la seguridad tanto para el personal de la obra como para el tráfico en el puente existente. Teniendo en cuenta la singularidad de la solución adoptada para la ampliación del puente, el proceso constructivo ha contado también con una componente igual de novedosa, quedando definido en más de 200 procedimientos de construcción que han sido sometidos a una revisión independiente. Esto ha supuesto una garantía en la ejecución de las maniobras, cumpliendo así los requisitos de seguridad necesarios.

En los apartados siguientes se describen las principales maniobras de ampliación del puente de Rande, focalizando la atención en el diseño y comprobación de los medios auxiliares empleados.

2. Izado de cabeceros de ampliación

Para recibir el anclaje de los tirantes nuevos y transmitir sus cargas a los fustes de las pilas principales, debía construirse un cabecero metálico apoyado sobre la superficie horizontal de la coronación de los fustes de las pilas principales. Para acceder a esa altura y preparar la zona para apoyar el cabecero, se montó en primer lugar una grúa torre y una estructura de andamios y ascensor desde la base de las pilas. En la parte superior de las pilas se construyeron varias plataformas de trabajo, unas en la

coronación de los fustes y otra sobre la riostra superior (figura 1).

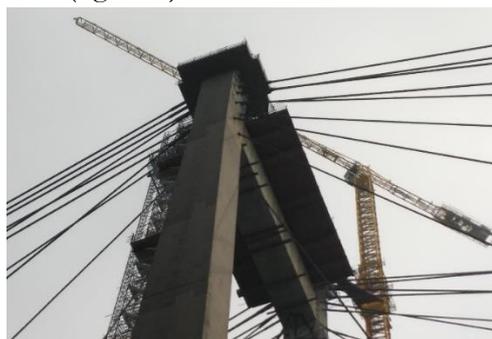


Figura 1. Vista de las plataformas de trabajo en la parte superior de las pilas principales.

La estructura de la plataforma sobre la riostra superior estaba formada por cinco vigas armadas de sección cajón, ver figura 2, apoyadas sobre la riostra y abrazadas a ella mediante barras dywidag y correas colocadas bajo la riostra, ver figura 3. Sobre las cinco vigas armadas se colocó el piso de la plataforma formado por una chapa metálica reforzada con correas en forma de T invertida separadas 80 cm.

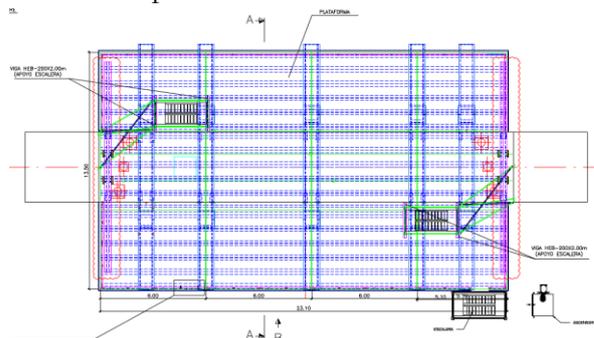


Figura 2. Vista en planta de la plataforma sobre la riostra superior.

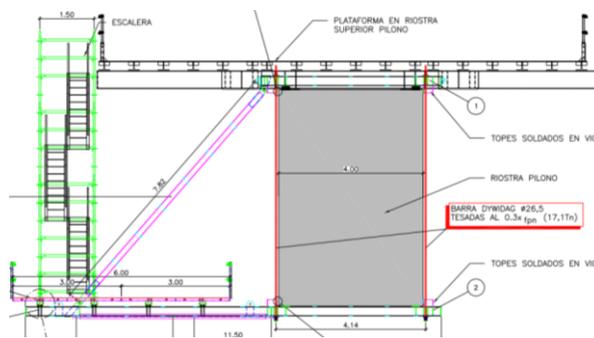


Figura 3. Sección transversal de la plataforma y la riostra superior.

El apoyo sobre la riostra, tanto de las vigas armadas como de las correas inferiores se realizó por medio de placas situadas a 20 cm del borde

de la riostra, comprobando el hormigón para la reacción transmitida.

Las acciones consideradas para el cálculo de las plataformas fueron el peso propio, la sobrecarga de uso y el viento. La sobrecarga de uso considerada para la plataforma fue de 50 kN/m² en el área situada directamente sobre la riostra para soportar el peso del dintel del cabecero (figura 7) y de 8 kN/m² en la zona de voladizos, para soportar entre otras cosas el peso y las acciones provenientes del cerramiento necesario para la soldadura de las distintas piezas del dintel, ver figura 4.

El cálculo de viento se realizó considerando las plataformas como una marquesina a un agua y empleando los coeficientes de presión exterior, tanto en dirección vertical hacia arriba como hacia abajo.

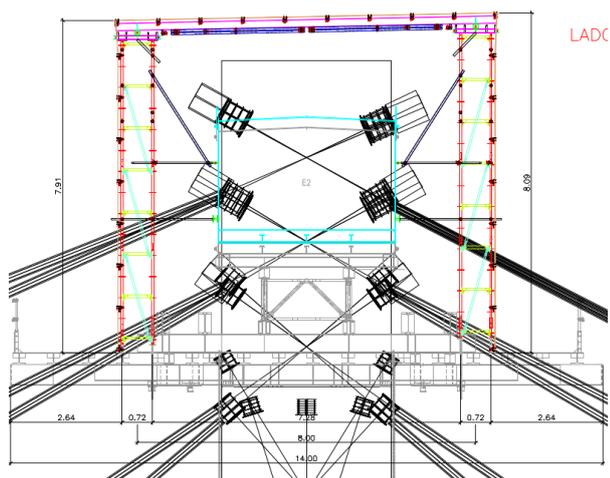


Figura 4. Vista en planta de la plataforma sobre la riostra superior.

Por otra parte, la plataforma en la coronación de los fustes de las pilas principales, no podía apoyarse directamente sobre la superficie horizontal superior, ya que esa zona debía prepararse para recibir en primer lugar las ménsulas de apoyo de un medio auxiliar de elevación y posteriormente el apoyo de los cabeceros. Por estos motivos estas plataformas se anclaron entre sí por medio de barras dywidag a ambos lados de los fustes, soportando así los momentos flectores y se emplearon anclajes embebidos en el hormigón para soportar los esfuerzos cortantes, ver figura 5.

Esta configuración soporta bien las cargas gravitatorias pero no está preparada para recibir cargas verticales ascendentes, como en el caso del viento, por lo que fue necesario colocar un lastre sobre las plataformas que evitara el levantamiento de las mismas en caso de viento.

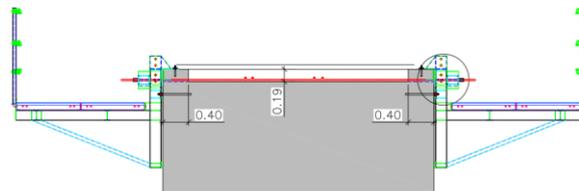


Figura 5. Sección transversal de las plataformas en la coronación de los sobre fustes de pilas principales.



Figura 6. Vista inferior de la plataforma en coronación de los fustes de las pilas principales.

Cada cabecero se fabricó en taller en piezas de dimensiones manejables y transportables, distinguiendo unos elementos laterales, “hombros del cabecero” y un elemento central, “dintel”. Los hombros eran elementos en forma de L invertida que se apoyaban sobre los fustes de los pilonos, mientras que el dintel era el elemento central del cabecero.

En primer lugar y por medio de la grúa torre, se izaron las distintas piezas del dintel, que se soldaron en la plataforma colocada sobre la riostra superior, ver figura 7.

El izado de los hombros, de peso muy superior a las piezas del dintel, requirió el diseño y montaje de un pórtico de izado de gran capacidad de carga.



Figura 7. Vista en planta de la plataforma sobre la riostra superior.

El pórtico de izado estaba formado por dos cuchillos de estructura de celosía que se apoyaban en una estructura en ménsula colocada sobre la coronación de los fustes de las pilas principales, ver figura 8.



Figura 8. Pórtico de izado sobre la pila principal.

Cada pórtico de izado estaba equipado con cuatro unidades de izado de 250 t cada una, dos a cada lado del pórtico, montadas en sendos patines que deslizaban sobre carriles montados en los cordones superiores de las celosías principales.

La parte central del pórtico estaba arriostrada contra el dintel superior de la pila, contribuyendo así a soportar los esfuerzos de flexión que se producían en los cuchillos del pórtico en los casos más desfavorables de izado.

A modo de contraste se elaboró un modelo completo del pórtico de izado, que permitió conocer su comportamiento ante las distintas

hipótesis de carga, determinar la seguridad de la estructura y obtener tensiones y flechas en servicio que serían contrastadas con las obtenidas por la instrumentación o los controles topográficos (figura 9).

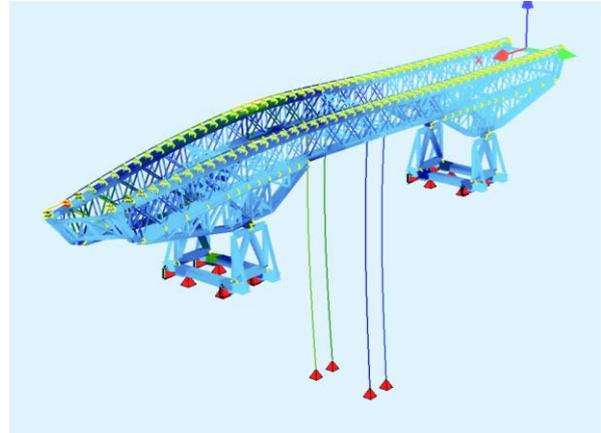


Figura 9. Modelo de cálculo del pórtico de izado.

Con las solicitaciones obtenidas del modelo de cálculo, se realizaron además comprobaciones específicas de detalle de los distintos elementos del pórtico y sus uniones.

El pórtico de izado se utilizó para el izado desde pontona hasta la base de los pilonos de las piezas de los hombros, el izado a cota superior de los hombros, el izado desde pontona de los extremos inferiores del cabecero, el izado desde pontona hasta la base de los pilonos de las dovelas de pilas (dovelas 07) y el izado a cota de tablero de las dovelas de pilas.

Previo a la primera maniobra por cada lado del pórtico, se realizó una prueba de carga del pórtico consistente en el izado de una pieza desde pontona en distintos escalones de carga. En cada uno de los escalones de carga se comprobaron las tensiones provenientes de la instrumentación y las mediciones topográficas, con los resultados teóricos obtenidos del modelo de cálculo. En la figura 10 se muestra un esquema de la instrumentación colocada en el pórtico y las tensiones leídas por la instrumentación en un momento de la prueba de carga.

Una de las operaciones más complejas fue la del izado de las piezas del cabecero desde la pontona.

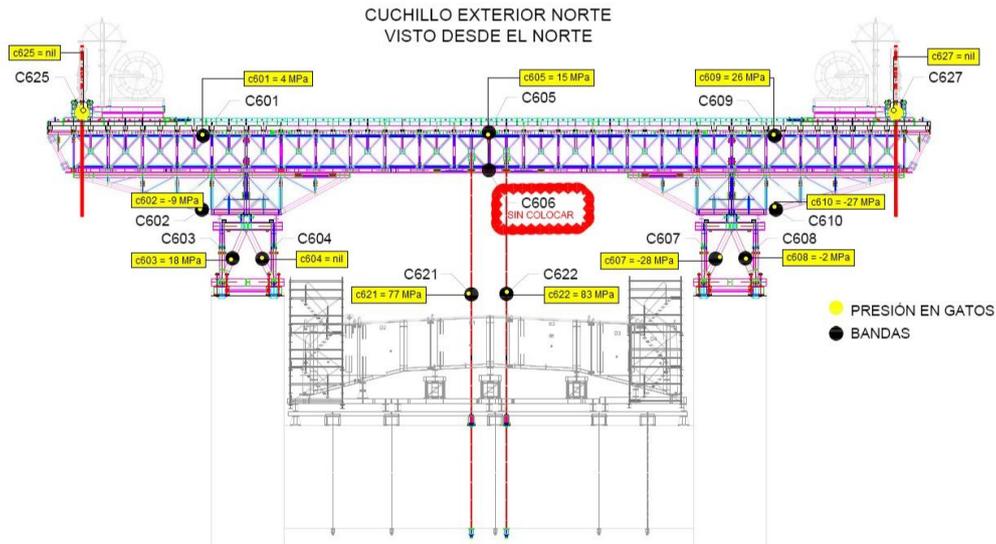


Figura 10. Instrumentación colocada en uno de los cuchillos del pórtico de izado Norte.

Las piezas eran transportadas en horizontal y debían ser colocadas en la base de las pilas en posición vertical. Para ello se tomaba la carga por uno de los extremos y se iba izando hasta colocarla en posición vertical, ver figura 11. Entre tanto el otro extremo de la pieza deslizaba por medio de unos patines y vigas carril. El momento crítico se alcanzaba al llegar a la vertical de izado en el que podían producirse oscilaciones bruscas no deseadas. Además, las condiciones de viento y oleaje producían movimientos que dificultaban aún más la maniobra.

El izado de los hombros se realizó con el brazo largo de la L pegado al fuste de la pila, ver figura 12, debiendo girar la pieza 180° antes de apoyar el hombro sobre la coronación del fuste de la pila. Esta maniobra fue diseñada así con el objetivo de subir la pieza lo más pegada posible al fuste de la pila, protegerla de la acción del viento y evitar balanceos durante la maniobra. El brazo largo del hombro iba equipado con un sistema de ruedas que le permitía rodar sobre el paramento exterior del fuste de la pila, asegurando así el contacto con ella en todo momento.

El giro de la pieza en altura se realizó gracias a un mecanismo colocado en el gancho de elevación.

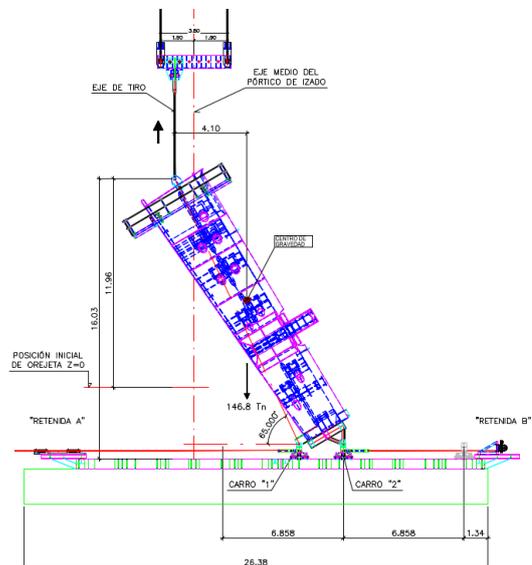


Figura 11. Instrumentación colocada en uno de los cuchillos del pórtico de izado Norte



Figura 12. Izado del hombro.

Unos cilindros hidráulicos actuaban sobre una corona anclada al gancho haciéndola girar y produciendo el giro de la pieza.

La reacción producida por el giro de la pieza generaba una pequeña torsión en las líneas de izado, comprobando que esta torsión era admisible para el funcionamiento de las líneas y de las unidades de izado. Sin embargo, por seguridad se decidió colocar un punto fijo a la pila para recibir la reacción del giro y evitar la torsión en las líneas de izado, ver figura 14.

Una vez colocados los hombros en posición se procedió al izado del dintel del cabecero desde la plataforma de la riostra superior. Para ello se desplazaron los cilindros hidráulicos a la parte central de los cuchillos del pórtico como se observa en la figura 13. En este caso los cuchillos del pórtico trabajan a flexión positiva como una

viga simplemente apoyada sobre los fustes de las pilas.

Todas las maniobras fueron comprobadas realizando cálculos paralelos de contraste de los distintos medios auxiliares.



Figura 13. Izado y soldadura del dintel del cabecero.

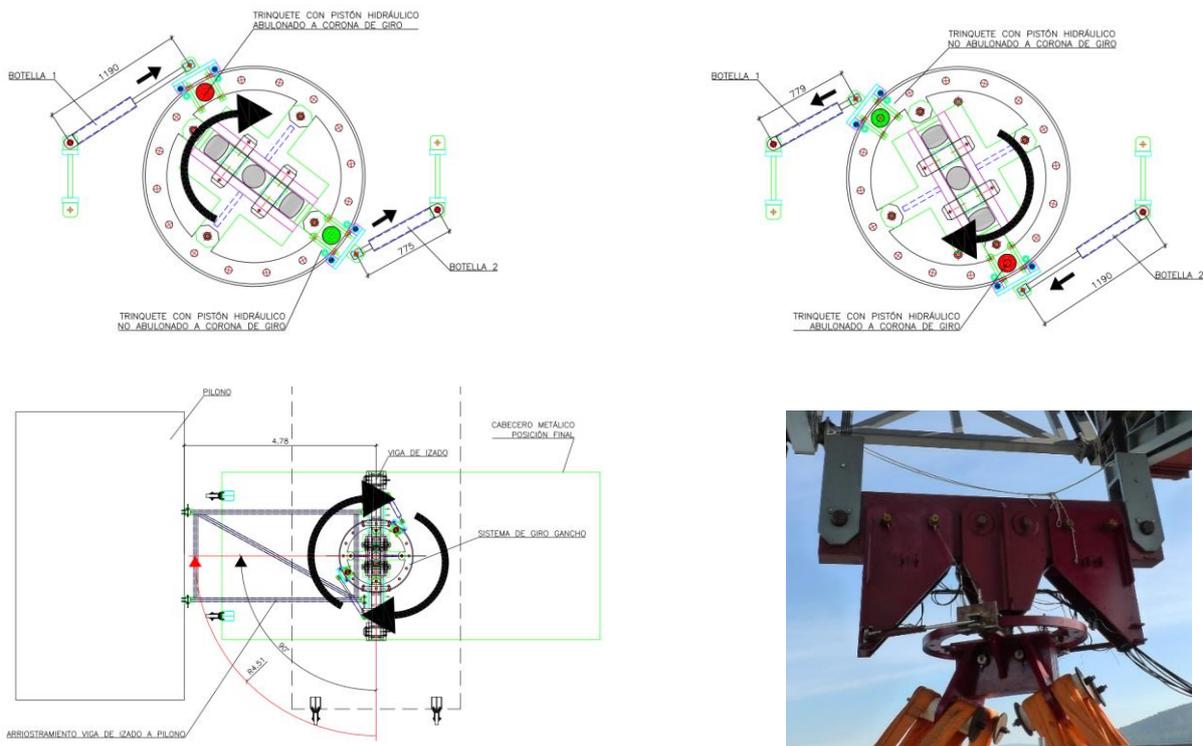


Figura 14. 1) Acción de los cilindros para giro en sentido horario. 2) Acción de los cilindros para giro en sentido antihorario. 3) Fijación del sistema de giro a la pila, 4) Gancho con el sistema de giro.

3. Izado de dovela de pilas principales

Una vez izado el cabecero de anclaje de tirantes se procedió al izado de las dovelas de los tableros de ampliación.

Con el pórtico de izado se izó desde pontona la dovela de pilas principales (dovela 07) para colocarla sobre la cimentación de las pilas. Pevio al izado a cota de tablero, la dovela se equipó de un sistema de rodadura, que al igual

que en el caso de los hombros de los cabeceros, aseguraría un ascenso guiado y sin oscilaciones. El sistema de rodadura estaba formado por un conjunto de ruedas que se movían sobre la cara exterior del fuste del pilono, ver figura 15, y otro conjunto de ruedas que se apoyaban sobre las caras delantera y trasera del fuste. Teniendo en cuenta que en esas caras la sección del fuste es variable, fue necesario adecuar la posición de las ruedas delanteras y traseras para que se mantuvieran en contacto con el paramento durante toda la ascensión. Para ello se empleó un mecanismo denominado cuadrilátero articulado con el que se conseguía mantener el contacto de la rueda contra el fuste sin perder la perpendicularidad de la rueda con la superficie de apoyo, ver figura 16.



Figura 15. Rueda para deslizamiento de la dovela 07 sobre la cara lateral del fuste.

La maniobra de izado comenzó con la toma de carga por parte de los pórticos de izado en varios escalones de carga. En cada uno de los escalones se comprobó que los valores obtenidos de la topografía y de la instrumentación colocada en el pórtico de izado, correspondían a los teóricos obtenidos en los modelos de cálculo. Durante todo el izado de la dovela 07 se mantuvo una atención continua tanto al avance de la dovela como a la instrumentación del pórtico de izado. Se instalaron una pareja de tirantes auxiliares de izado anclados al fondo de la dovela y accionados por cabrestantes situados sobre la cimentación de las pilas, ver figura 17.

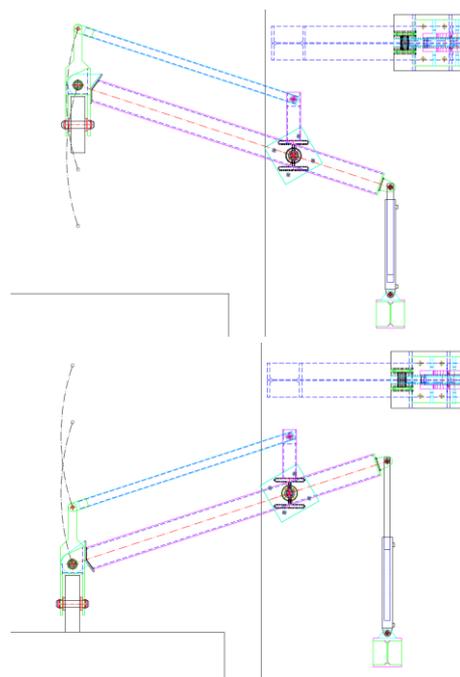


Figura 16. Cuadrilátero articulado para asegurar el apoyo de la rueda sobre el lateral del fuste.

Estos tirantes tenían la misión de mantener cierta presión de contacto en el sistema de rodadura de la dovela a la vez que se evitaban movimientos u oscilaciones no deseadas durante el izado. Por medio de los cabrestantes, se daba una tensión variable a los tirantes en función de la altura a la que se encontraba la dovela, compensando así la inclinación que iban tomando.

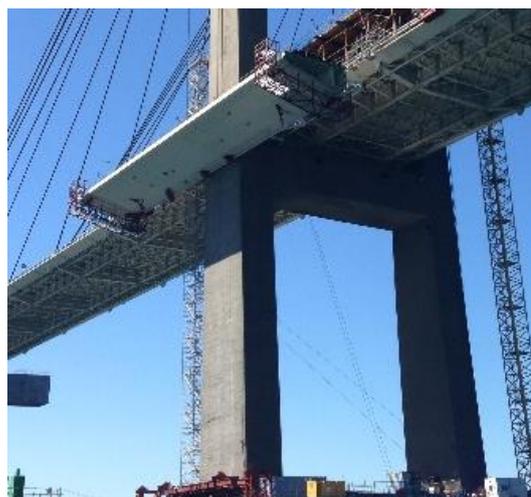


Figura 17. Izado de dovela 07 con el pórtico de izado. Notar los tirantes de arriostamiento que unen la parte inferior de la dovela con la base de la pila.

En una situación de parada durante el izado podría darse una tensión adicional a los tirantes para mantener la dovela fija en posición.

La maniobra fue diseñada para realizarse con un viento no superior a 55 km/h a una altura de 130 m (velocidad media diezminutal).

2. Izado de dovelas tipo

El izado de dovelas se realizó por medio de dos carros de izado, uno colocado sobre el tablero de ampliación ya construido, carro superior, y otro anclado al tablero existente por su parte inferior. El carro superior de izado de dovelas consistía en una estructura metálica formada por dos vigas longitudinales principales unidas entre para hacer un cuerpo único, incluyendo un apoyo delantero y un apoyo de retenida. El carro contaba con dos vigas carrileras ancladas al tablero de ampliación, sobre las que se desplazaba de una posición de izado a la siguiente. El carro disponía de unos bloques de contrapeso para compensar en parte el momento de vuelco durante la maniobra de izado, ver figura 18.

Por otra parte, el carro inferior para izado de dovelas estaba construido en estructura metálica de celosía y se conectaba y colgaba del tablero existente, ver figura 19.



Figura 18. Carro de izado superior.

La estructura del carro incorporaba un sistema de rodadura a través del cual se desplazaba de una posición de izado a la siguiente, deslizándose por dos vigas carril adheridas a la estructura del carro y ancladas a las vigas longitudinales principales del tablero existente. El sistema de avance del carro estaba formado por seis

“grapas” y seis carros de deslizamiento por cada viga carrilera, accionados mecánicamente a través de engranajes de cadena (Figura 20). Los carritos de desplazamiento se iban retirando por la parte trasera de la viga carrilera en el avance, volviéndose a enhebrar y a conectarse con la viga carrilera por su parte delantera en la dirección de avance.



Figura 19. Carro de izado inferior.

Tanto el carro superior como el inferior contaban con una única unidad de izado por lo que la dovela era izada únicamente de dos puntos. Aun así, durante todas las maniobras de izado no se observaron balanceos ni movimientos fuera de lo previsto.



Figura 20. Sistema de rodadura del carro inferior.

En cada izado era necesario el ajuste de las pendientes de la dovela, tanto en sentido longitudinal como en transversal, teniendo en cuenta la deformada que había adquirido la dovela previamente izada y atirantada. La pendiente longitudinal se corregía modificando la cota por medio de los carros de izado, mientras que la inclinación transversal se

corregía por medio de un balancín de ajuste accionado por gatos hidráulicos (Figura 21).



Figura 21. Línea de izado del carro inferior y balancín de ajuste de la pendiente transversal de la dovela.

Los carros de izado de dovelas se dimensionaron teniendo en cuenta fundamentalmente el peso propio de las dovelas a izar. Las dovelas eran izadas desde pontona por lo que fue necesario tener en cuenta los efectos dinámicos debidos al movimiento de la embarcación por causa del oleaje. Estos efectos dinámicos fueron considerados por medio de un coeficiente de mayoración de acciones de 1.2.

La soldadura de las dovelas en altura se realizó con la ayuda de carros de soldadura que avanzaban por dos vigas carril situadas bajo el tablero de ampliación. Una vez izada la dovela se procedía a colocar el carro en la zona de unión para comenzar los trabajos de soldadura, ver figura 22.



Figura 22. Línea de izado del carro inferior y balancín de ajuste de la pendiente transversal de la dovela.

Tanto del carro de izado superior como del inferior y de la plataforma de soldadura, se

realizaron modelos de cálculo con los que se revisó el diseño realizado y sirvieron como referencia para el control de deformaciones durante las maniobras (Figura 23).

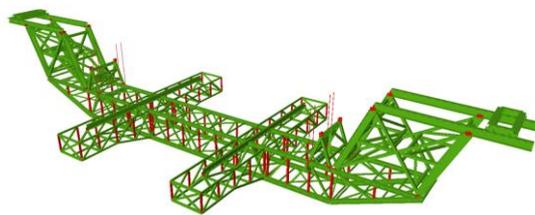


Figura 23. Modelo de cálculo del carro de izado inferior.

4. Izado de dovelas laterales

El izado de las dovelas sobre pilas laterales se realizó con medios auxiliares especiales. Las dovelas laterales norte se izaron desde tierra por medio de una grúa móvil. Las dovelas laterales del sur se izaron por medio de carros de izado diseñados al efecto. El carro consistía en dos cuchillos en estructura de celosía que se apoyaban en el tablero de ampliación ya construido y en el tablero del viaducto de Acceso Sur. Los apoyos del carro se materializaron por medio de unas torres ancladas al tablero, ver figura 24. En estas zonas de apoyo, los cuchillos de celosía estaban pretensados por medio de barras dywidag contra el tablero del viaducto de acceso, lo que contribuía a formar una viga continua, dotando al carro de mayor capacidad para el izado de cargas en el vano principal.

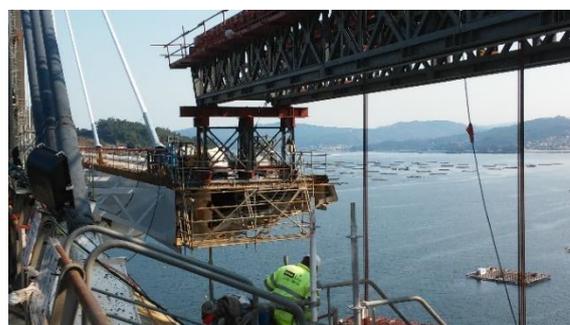


Figura 24. Apoyo del carro sobre el tablero de ampliación.

El carro disponía de dos unidades de izado que se deslizaban sobre vigas carril colocadas sobre los cuchillos de celosía para posicionar y colocar la dovela.

El izado de las dovelas laterales se realizó en dos fases, en primer lugar, se izó un tramo sobre la pila lateral para conectar el péndulo de retenida y a continuación se izó el tramo de unión entre el tablero de ampliación ya construido y el de pila previamente colocado, ver figura 25.

Las acciones predominantes consideradas para el diseño del carro fueron el peso propio y el peso de la pieza a izar. Se consideró un factor de mayoración de 1.2 para la carga a izar desde pontona, debido a los efectos dinámicos que se producen por el oleaje. Adicionalmente, debido a que no es posible garantizar que cada unidad de izado se lleve exactamente el 50 % de la carga, se consideró un factor de descompensación de la carga de valor 1.15.

Previo al izado de la dovela se realizó una prueba de carga del equipo que fue contrastada con los resultados teóricos obtenidos de los modelos de cálculo, ver figura 26.

Entre los cálculos realizados se comprobaron las inestabilidades como el pandeo local de las distintas barras de las celosías o el pandeo global de las celosías de los cuchillos, ver figura 27.

Se prestó una especial atención al análisis de las torres de apoyo, ya que eran elementos críticos que además recibían solicitaciones importantes durante las maniobras.

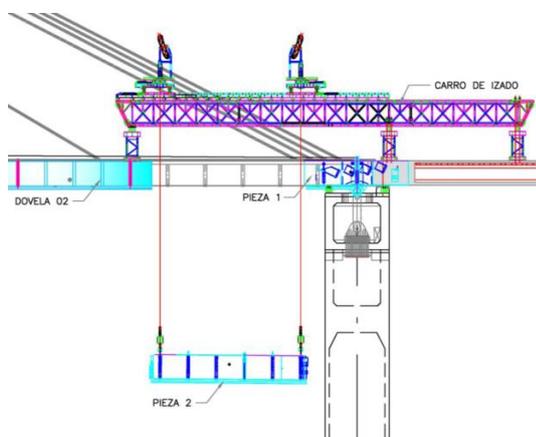


Figura 25. Izado de la dovela de cierre del lado norte.

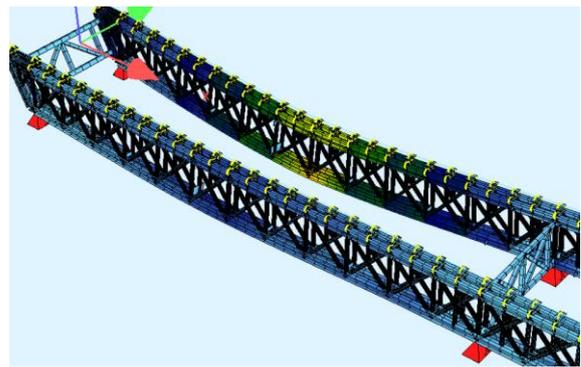


Figura 26. Prueba de carga del carro de izado de D01 Sur.

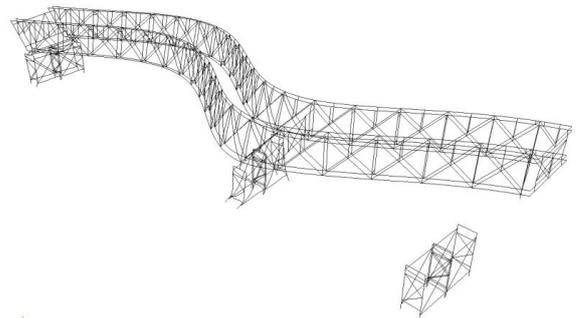


Figura 27. Comprobación de inestabilidad global de los cuchillos del carro.

Referencias

- [1] Instrucciones complementarias para la utilización de elementos auxiliares de obra en la construcción de puentes de carretera. ORDEN FOM/3818. 2007.
- [2] Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. IAP-11. 2012.
- [3] Proyecto de estructuras de acero. Eurocódigo 3. 1996.
- [4] Cimbra. Requisitos de comportamiento y diseño general. EN 12812. 2004.