

EJECUCIÓN DE LOS TABLEROS LATERALES EN LA AMPLIACIÓN DEL PUENTE DE RANDE (VIGO)

Execution of the lateral decks in the widening of the Rande Bridge (Vigo)

D^a Fátima OTERO VIEITEZ ^a

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Directora General de Grandes Proyectos y Servicios Técnicos. Grupo Puentes.

RESUMEN

La ampliación del Puente de Rande, supuso un hito en la ampliación lateral sobre un puente atirantado de gran luz ejecutado con la infraestructura en abierta al tráfico. El proyecto adosa un nuevo tablero a cada uno de los dos lados exteriores de las pilas principales. Este tablero está formado por un cajón y una celosía exterior metálicos unido al tablero preexistente mediante celosías metálicas y uniones rotuladas esféricas. Las dovelas se fabricaron en taller, se trasladaron por carretera hasta la explanada de acopio donde se finalizó su montaje y sobre pontona por mar hasta la vertical de su posición definitiva. El izado se realizó mediante colaboración entre un carro delantero y un trasero diseñados al efecto.

ABSTRACT

The enlargement of the Rande Bridge was a milestone in the lateral widening on a high-span cable-stayed bridge built with the infrastructure open to traffic. The project attaches a new deck to each of the two outer sides of the main piers. This deck is formed by a metal box section and an external lattice connected to the pre-existing deck by means of metallic lattices and spherical labelled joints. The segments were made in a workshop, moved by road to the storage area where they were finished and on a pontoon by sea to the vertical of their definitive position. The lifting was carried out in collaboration between a front traveler and a rear one designed for this purpose.

PALABRAS CLAVE: Ampliación, atirantado, izado, pórtico, carro, dovela, tablero metálico.

KEYWORDS: enlargement, cable-stayed, lifting, gantry, traveler, segment, metal deck.

1. Definición de la ampliación del tablero

El puente de Rande es un puente atirantado con dos torres de atirantamiento y un vano central de 400.14 metros de luz. Asimismo, tiene dos vanos laterales de 147,42 m exentos de

apoyos hasta las pilas estribo. Por tanto, su configuración de luces es 147,42 + 400,14 + 147,42. El tablero del puente original tenía un ancho total de 23,46 m y albergaba dos carriles

con arcén por sentido de circulación y una mediana. Su sección transversal mostraba dos vigas cerradas de borde, que alojaban los tirantes, y dos vigas doble T centrales que conformaban la estructura resistente principal. Transversalmente, se disponían diafragmas de dos tipos: de alma llena cada 21,060 m, coincidiendo con los anclajes de los tirantes, y de celosía cada 2,06 m.

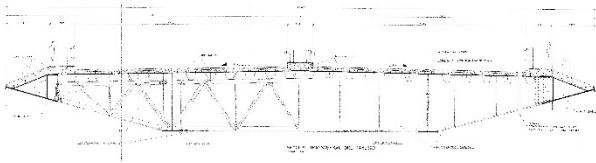


Figura 1.-Sección transversal del puente original.

La ampliación del tablero, añadiendo dos nuevas calzadas a cada lado de las existentes, y sin interrumpir ni afectar al tráfico existente en el puente original, ha supuesto un reto técnico y tecnológico para todas las partes involucradas en el proyecto.

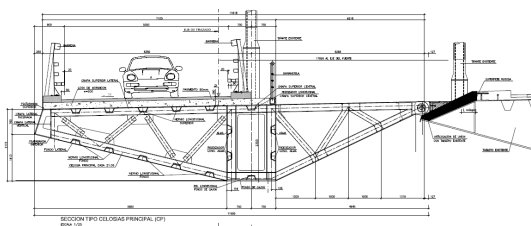


Figura 2.-Sección transversal de la ampliación.

El sistema estructural de la ampliación intenta replicar el del puente original en tanto en cuanto que se mantiene el número de tirantes y su geometría, así como los apoyos del puente original.

Cada tablero de la ampliación consiste en un cajón metálico de canto constante y de

sección transversal no simétrica. Dicha sección transversal está formada por una viga cajón formada a su vez por dos cajones principales: uno exterior que varía de canto entre un mínimo de 0,76 m en su zona más extrema hasta los 2,30 m de canto en la zona de unión con el segundo, un cajón central rectangular de un ancho de 1,50 m y que aloja los anclajes de los tirantes. Esta viga cajón se completa con una losa superior de hormigón armado de 7,10 m y 0,20 m de canto máximo, que le confiere un carácter de viga mixta para estados avanzados de carga, mejorando sustancialmente su comportamiento en relación con la solución simplemente metálica. Esta viga cajón principal tiene dos apoyos claramente diferenciados. Por una parte, está directamente suspendida del sistema de atirantamiento en el eje central de la viga cajón rectangular. Por otra, está apoyado transversalmente mediante una rótula esférica con el tablero existente. Para materializar esta unión con el tablero existente, y ganar la distancia necesaria para salvar el paso de los fustes de las pilas principales, cada 10,53 m se disponen celosías triangulares tipo 'Warren', de 2,30 m de canto en su unión con el tablero y canto decreciente hacia el extremo rotulado. La sección transversal resulta así ser similar a un pseudo-triángulo cuasi-isósceles invertido, en cuya mediana está el sistema portante principal. Las celosías del lado interior del triángulo se disponen exentas, resultando permeables tanto al viento, como a la vista. Las celosías hacia el exterior quedan cubiertas por el ala inferior del cajón metálico a modo de carenado metálico que

busca generar una superficie suave y favorable aerodinámicamente frente al empuje del viento.

La presencia del tablero existente ha supuesto, por un lado, una plataforma desde la que efectuar algunas operaciones necesarias como el izado y el hormigonado del nuevo tablero. Por el otro, las limitaciones en cuanto a las cargas que se le podían transmitir o la flexibilidad e incertidumbres que introducían en la ampliación suponían inconvenientes con los que los profesionales involucrados en la ejecución de esta obra han debido tratar casi diariamente. Todo ello sin olvidar el tráfico existente, pues no se podía cortar la circulación de vehículos por el puente original.

2. Decisión del método constructivo a emplear

El método de construcción más habitual en puentes atirantados es el conocido como avance en voladizo. Este método consiste en la construcción del tablero en porciones transversales conocidas como dovelas apoyándose en la parte de puente ya construida. Habitualmente, estas dovelas tienen una longitud igual a la distancia entre dos tirantes consecutivos y para su instalación se pueden usar métodos de ensamblaje en altura (como los empleados en la construcción del Puente de Rande original) o de elevación de las dovelas completas una vez ensambladas en otras instalaciones. El segundo método tiene la ventaja de disminuir el número de operaciones de

ensamble, soldadura y/o atornillado a realizar en altura, aumentando la productividad y la calidad del tablero final. Sin embargo, la magnitud y el tamaño de las piezas a izar requieren de medios de elevación específicos cuyo peso y coste supone una parte muy importante del total de la construcción. Adicionalmente, los esfuerzos introducidos en el tablero ya construido durante estas operaciones habitualmente requieren de refuerzos y análisis específicos más allá de los necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del tablero como conductor de tráfico rodado.

El utilizar el propio tablero construido como apoyo para las nuevas partes también supone una complicación desde un punto de vista geométrico, pues la estructura sufre configuraciones de carga muy importantes en diferentes estados de construcción. Resulta complejo, por tanto, el conseguir la geometría final requerida y este aspecto es crucial durante la construcción, pues frecuentemente las dovelas colocadas han de situarse en posiciones ligeramente diferentes de las teóricas para poder acomodar errores de construcción, diferencias en el comportamiento de la estructura ya construida o las lógicas desviaciones asociadas a las tolerancias de fabricación y posicionamiento. Esta dificultad se ve especialmente intensificada en un caso como el de la Ampliación del Puente de Rande. A lo dicho anteriormente han de unirse todas las incertidumbres y condicionantes derivados de la interacción con un puente ya construido, el cual no está exento de desviaciones con respecto a los planos y que

presenta un comportamiento estructural difícil de aproximar en un modelo teórico.

Elegido el método de avance en voladizo, en el caso de la Ampliación del Puente de Rande, por su configuración en viga cajón, el ensamble y soldadura en altura era totalmente desaconsejable dada la gran cantidad de soldadura necesaria y la dificultad para garantizar un adecuado control geométrico. Por tanto, los 704,58 m de cada tablero de la ampliación se dividieron en partes transportables y manejables a fin de poder elevarlas a su posición definitiva. Se definieron dovelas tipo de 21,06 m más una serie de dovelas especiales correspondientes a las iniciales y a las de cierre.

Una vez se decidió que la ejecución de las dovelas se haría con el avance en voladizo considerando el izado de dovelas completas, se presentaba un problema que tampoco se encuentra en la construcción convencional de puentes atirantados, y que es dónde situar el elemento auxiliar de izado de las cargas. En un puente de nueva construcción, y de no usarse medios de elevación externos tales como grúas, el dispositivo elevador de cargas, habitualmente conocido como carro de izado, sólo puede situarse en el extremo construido del voladizo en ejecución. En el caso del Puente de Rande, además de este voladizo se tiene el tablero existente, el cual proporciona una plataforma inmejorable para situar un elemento de izado. Sin embargo, las innegables ventajas de tener una plataforma cercana se ven afectadas de los no pocos condicionantes que dicho tablero pone a la construcción. En primer lugar, la capacidad

del tablero existente es limitada. No olvidemos que, en todo momento, como se ha dicho, se debía mantener el tráfico en el puente, por lo que parte de su capacidad está reservada a la carga de uso. Además, su estructura no se diseñó pensando en una futura ampliación, por tanto, la resistencia de sus elementos está limitada. Un carro de elevación suspendido únicamente del tablero existente, si bien técnicamente posible, era una opción que hubiese requerido de refuerzos de su estructura dado lo elevado del peso de la propia estructura.

En segundo lugar, el hecho de cargar el tablero con un peso tan elevado como el de una dovela del nuevo tablero, induce una deformación del puente existente que inevitablemente se transmite también a la nueva estructura, que se encuentra conectada por medio de las rótulas de unión. En otras palabras, el comportamiento de la nueva estructura se ve afectado por el de la existente, lo cual introduce una variable adicional a la hora de predecir y controlar la geometría del nuevo tablero.

Por otro lado, la opción de izar las nuevas dovelas utilizando para ello un carro apoyado exclusivamente en la parte construida de la ampliación, también tenía una serie de desventajas que desaconsejaban la opción. La particular configuración del atirantamiento de la ampliación, dejando la plataforma de rodadura a modo de voladizo y descargando por tanto los tirantes existentes, tiene implícita una gran flexibilidad transversal del tablero de la ampliación. El introducir el peso de un carro de izado más el peso de la propia dovela, con un

radio de izado superior a los 10 m, suponía un giro y descenso inaceptables geoméricamente para el funcionamiento de la maquinaria de elevación. Así mismo magnificaba enormemente la problemática relacionada con el control de la geometría. Adicionalmente, la estructura de la ampliación debería haberse reforzado convenientemente para aceptar las cargas de construcción.

Por estos motivos, se decidió escoger una opción intermedia entre la de izar apoyándose exclusivamente en el viejo tablero o la de hacerlo limitándose al nuevo. Dicha opción utilizaba dos carros de izado que compartían el peso de la dovela a izar. El primero de ellos, llamado carro trasero, se situaba en el frente de la última dovela construida del tablero de la ampliación, en la misma manera de un carro tradicional, con la salvedad de un reducido peso y complejidad habida cuenta de que sólo debía izar aproximadamente la mitad del peso de una dovela tipo. El segundo, llamado carro delantero, se situaba anclado bajo el tablero existente, y era un carro compartido para ambos lados de la ampliación. Su estructura era más complicada que la de los carros traseros, al igual que su peso, pero su posicionamiento en el lugar adecuado permitía maximizar la capacidad resistente del tablero existente a la par que izar dos dovelas al mismo tiempo, una de cada lado.

Una vez elegido el método de construcción para las dovelas tipo y los medios auxiliares necesarios resta planificar la instalación de algunas dovelas singulares, como son las iniciales y las finales, es decir, las que dan

comienzo a la construcción del puente, permitiendo la instalación de los carros de izado, y las que dan continuidad al tablero uniendo las diferentes partes en que se divide para su construcción.

Las primeras, llamadas habitualmente dovelas cero, serán la plataforma de arranque para el resto de medios auxiliares. Se trata habitualmente de dovelas singulares en cuanto a configuración y tamaño. En el caso del puente de Rande, la falta de vinculación entre las torres y el tablero evita diferencias significativas entre estas dovelas y el resto. Sin embargo, esa misma falta de vinculación obligaba a instalar un mínimo de tres tirantes para conformar una estructura estable por sí misma, dando lugar a una dovela de 45 m de longitud.

Por su parte, las dovelas de cierre se diferencian en las del cierre central y en las extremas, situadas sobre las pilas estribo. Las primeras son más cortas que una dovela normal y salvo por su mecanismo de izado no se diferencian excesivamente del resto, pudiendo ser izadas en la vertical de su posición definitiva. Las segundas son dovelas muy particulares, pues corresponden a la zona del tablero donde se concentran anclajes de múltiples tirantes y el péndulo de retenida necesario para transmitir el tiro a las pilas estribo. Además, al situarse sobre dichas pilas, su izado no se puede realizar en la vertical, sino que debe recurrirse a una maniobra combinada de izado-traslación.

3. Proceso de colocación de las dovelas

El proceso de todas las dovelas comenzaba con su fabricación en las instalaciones industriales de dos talleres metálicos situados en A Coruña y en Carballiño. Tras un armado y soldadura, seguía una cuidadosa verificación geométrica, donde se verificaba el encaje del frente de cada dovela con la siguiente de manera que, en obra, se garantizase la alineación de los labios de soldadura. Para su transporte, y dependiendo del taller en cuestión, se acometía con la dovela completa salvo por las celosías de unión al tablero existente, o bien dividida longitudinalmente en dos mitades. En todos los casos las dovelas, una vez llegadas a la zona de obra acondicionada al efecto, seguían el proceso de completarlas con las celosías y elementos que quedasen pendientes de manera previa a su acopio y preparación para la carga en una pontona.



Figura 3.-Dovela 0 en taller.

Esta carga se realizaba por medio de una grúa de gran tonelaje, procediendo la pontona a llevar la dovela en cuestión a la vertical de su

posición definitiva, donde los carros de izado estaban listos para conectar sus útiles de elevación. La presencia de 4 spud en la pontona ha permitido aislar la maniobra de toma de carga del oleaje marítimo, facilitando enormemente el proceso y permitiendo el mismo con gran independencia de las condiciones de oleaje.

Una vez suspendida de ambos carros de izado la dovela, era elevada a su cota utilizando los gatos hidráulicos situados sobre los mismos. Un cuidado control geométrico permitía entonces colocarla en su posición teórica según los cálculos del proceso constructivo, momento en el que se comenzaba la soldadura de su extremo trasero a la última dovela soldada con anterioridad. Tras completar un cierto porcentaje de esta soldadura, se podía proceder a la soldadura de las rótulas de unión al tablero antiguo.



Figura 4.-Carros delantero y trasero.

Estas rótulas, artífices del funcionamiento conjunto y compatibilidad de ambos tableros, son elementos industriales que gracias a su esfericidad permiten la articulación en tres ejes mientras que restringen los movimientos de traslación. Dado que se debía garantizar una

durabilidad suficiente, su ensamblaje se ha realizado en taller, limitándose las actuaciones en obra a la soldadura de unas chapas de gran espesor que las conectan a las ménsulas de celosía que unen tablero existente y ampliación. El diseño de esta conexión soldada ha permitido, además, asumir las tolerancias y errores lógicos de toda fabricación metálica a esta escala.

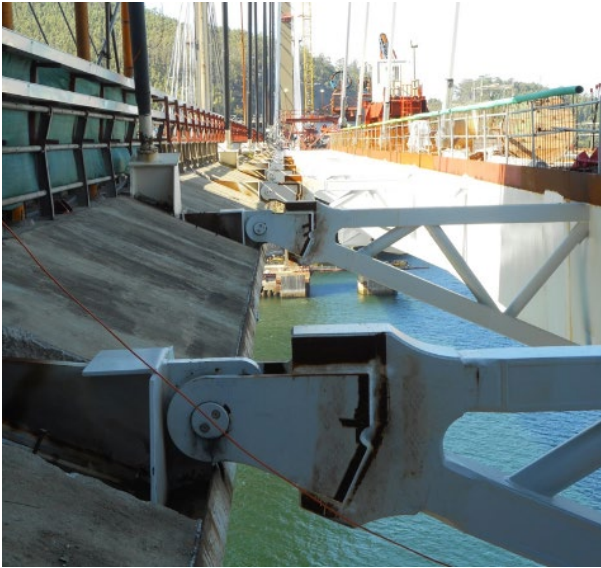


Figura 5.-Detalle de union de la rótula y la dovela

Unidas las rótulas y las caras de dovela, se procedía a la liberación de la carga en los carros de manera que el peso de la dovela estaba resistido únicamente por el tablero de la ampliación y el existente. En ese momento, se procedía a comenzar la instalación del tirante correspondiente a la dovela en cuestión, con un control completo de la carga en el mismo. Dicha instalación tenía el efecto de recuperar parte de la flecha y el giro ocurridos en la dovela al liberar su peso de los carros. Con el tirante instalado y tesado a una cierta fuerza, se procedía al ferrallado y hormigonado de la losa de hormigón que completa la sección mixta.

4. Colocación de las dovelas 0

Este proceso típico de las dovelas estándar no aplica a las dovelas cero. Por su longitud, el transporte a obra de manera completa era más complicado. Adicionalmente, las situadas en el lado donde se colocaron las grúas torre tenían un orificio que permitía el paso del fuste de éstas. Por tanto, su ensamblaje debía de realizarse directamente sobre la propia cimentación de las torres del Puente y en posición que coincidiera con su vertical de izado posterior, usando para ello plataformas auxiliares. Además, su izado no podía realizarse utilizando los carros previstos. Por un lado, los carros traseros no podían instalarse al no haber ninguna dovela sobre la que colocarlos. Por el otro, la opción de usar dos carros delanteros implicaba que cada uno de ellos debía de tomar el doble de la carga para la que estaban diseñados, lo que hubiese condicionado su diseño, ya cercano al límite del tablero existente. La solución escogida fue emplear los mismos pórticos empleados para el izado del cabecero de ampliación de las torres. Estos pórticos tenían la capacidad de elevación y la geometría adecuada para izar en vertical las dovelas cero. A fin de estabilizar las piezas durante el izado, se dispuso, además, de un sistema auxiliar de cables anclados a la cimentación, que servía como vientos de maniobra limitando los movimientos de la pieza ante rachas de viento inesperadas, así como un sistema de rodadura y guiado por contacto por la cara exterior del fuste de las torres del puente, pese a ser caras de ancho variable, que

aseguraban el control geométrico durante el izado

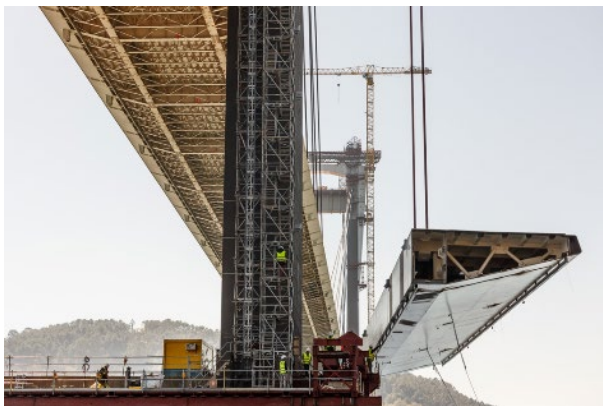


Figura 6.-Izado de la dovela 0 lado Sur.

Una vez a la altura deseada, la dovela cero se conectaba al puente existente por medio de la soldadura de las rótulas metálicas en un procedimiento análogo al seguido en la dovela tipo. Tras ello, se procedía a instalar el tirante central de la dovela 0. La puesta en carga de este tirante permitía la descarga del pórtico de izado y el ajuste de la posición de la dovela, hasta proporcionar el peralte deseado según las necesidades geométricas del proceso constructivo. A continuación, se procedía a la instalación y puesta en carga de los dos siguientes tirantes, quedando la dovela suspendida de los tres y lista para proceder al hormigonado de su losa, tras lo cual se instalaban los carros superiores de izado de dovelas tipo, permitiendo comenzar con el ciclo tipo de montaje no sin previamente, instalar unas estructuras conocidas como “cruces de San Andrés” entre las dovelas cero del tablero de la ampliación y el existente, estructuras encargadas de limitar los movimientos longitudinales del tablero de la ampliación por desequilibrio de cargas en los

tirantes durante la construcción mediante su unión con el existente.

5. Colocación de dovelas de cierre y laterales

Las dovelas correspondientes al cierre central se izaron utilizando sólo los carros traseros, ya que por su configuración permitían el mismo sin necesidad de acudir a los delanteros. Como medida para evitar movimientos diferenciales entre ambos lados se instalaron una serie de medios de fijación provisionales que permitían ejecutar la soldadura sin introducir tensiones parásitas.



Figura 7.-Izado de dovela de cierre

Las últimas dovelas de los vanos laterales son las encargadas de acomodar los tirantes correspondientes a la parte no simétrica del vano central, así como de materializar la conexión a las pilas estribo. El montaje de estas dovelas fue diferente según el lado del puente al que nos referimos.



Figura 8.- Detalle de estructura de izado de dovela lateral lado Sur

En el lado sur, se valoró la posibilidad de enfocar una maniobra de lanzamiento con grúas ubicadas en el viaducto de acceso de ampliación (ya ejecutado) y en parte del tablero de acceso del puente original, pero se testó que las capacidades estructurales de los tableros en ambos casos para hacer frente a las reacciones puntuales tan elevadas no eran adecuadas. Se optó entonces por una opción con suministro desde pontona pero que debía permitir izado vertical y traslación longitudinal de las piezas porque el izado directo estaba impedido por la presencia de la cimentación de la pila estribo y la propia pila estribo en sí misma, pues la dovela debía conectarse al péndulo instalado aproximadamente en el eje de la propia pila.

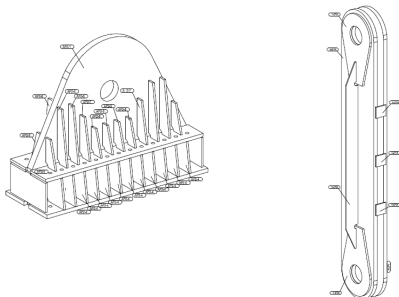


Figura 9.- Componentes del péndulo de retenida

Se instaló una estructura apoyada por un lado en la penúltima dovela de ampliación ya

instalada y en su otro extremo apoyada en el diafragma final del viaducto de acceso de ampliación, ya ejecutado sobre la pila estribo. A través de esta estructura, formada por cuchillos de celosía similares a los empleados en el pórtico de izado del cabecero y de las dovelas cero, se realizó el izado vertical de cada una de las dos partes en las que se dividió esta última dovela sur, permitiendo también el ripado longitudinal hasta las diferentes posiciones previstas de conexión a péndulo y para soldadura entre las dos partes.

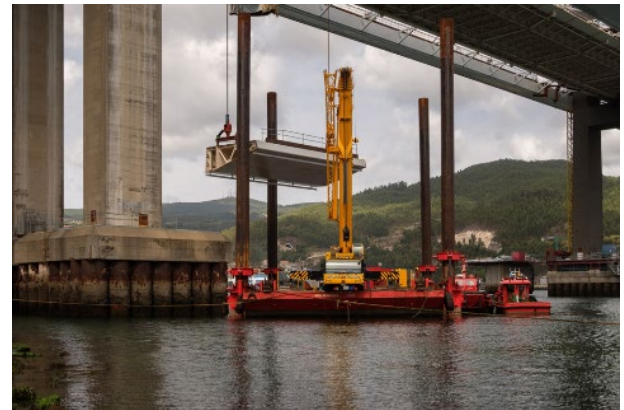


Figura 10.- Detalle de izado de dovela lateral lado Sur desde pontona

En el lado norte, donde la pila estribo se cimenta en tierra, se realizaron una serie de plataformas para situar una grúa de gran tonelaje que permitía, en combinación con los carros de izado, descargar las dovelas de sus transportes y situarlas en posición de soldadura.

En ambos casos, la conexión de los nuevos péndulos era preceptiva antes de que los correspondientes tirantes pudiesen ser anclados a esas dovelas.



Figura 11.- Izado de dovela lateral lado Norte con grúa

Una vez finalizado el izado e instalación de todas las dovelas, con sus correspondientes tirantes y el hormigonado de la losa, se procedió a un retesado de todos los tirantes del puente a fin de conseguir el estado de carga en los mismos y la geometría deseada.

Tras ello, los trabajos de instalación de barreras contra impacto, firme de rodadura y juntas de dilatación en las pilas estribo permitieron finalizar la obra de la ampliación y abrir al tráfico en diciembre de 2017, cumpliendo con los plazos establecidos con el Cliente.

Agradecimientos

Una obra de este calibre no sale adelante sin la total colaboración entre todos los participantes, desde el Ministerio de Fomento, Audasa, MC2,

IDEAM, FHECOR y Pondio Ingenieros, al personal de obra, tanto de Dragados como de Puentes y sus diferentes colaboradores.

Pero es precisa una mención especial al personal de Estructuras, desde todos los que componen la Oficina Técnica, a los capataces, encargados y jefes de obra que dedicaron todo su esfuerzo a definir y gestionar todos los procedimientos y medios auxiliares que lograron llevar a cabo este proyecto, sin ellos, esta obra no sería el referente en que se ha convertido.