

## VII CONGRESO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS

# Congreso de la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE)

A Coruña, 20-22 de junio de 2017

## S1. PUENTES Y PASARELAS

### 31. PASARELA EMPUJADA EN LOS ACANTILADOS DE “EL TRANQUERU” (ASTURIAS)

#### LAUNCHED FOOTBRIDGE IN “EL TRANQUERU” CLIFFS (ASTURIAS)

José Ramón González de Cangas. SILGA, S.L. Ingeniero estructural (Structural Engineer). Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.r.g.de\\_cangas@silga.es](mailto:j.r.g.de_cangas@silga.es)

Domingo Lorenzo Esperante. SILGA, S.L. Ingeniero estructural (Structural Engineer). Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [d.lorenzo@silga.es](mailto:d.lorenzo@silga.es)

José Antonio Crespo Martínez. SILGA, S.L. Ingeniero estructural (Structural Engineer). Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, M.Sc. [j.a.crespo@silga.es](mailto:j.a.crespo@silga.es)

José Ramón González Calvo. SILGA, S.L. Ingeniero estructural (Structural Engineer). Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, M.Sc. [jr.gonzalez@silga.es](mailto:jr.gonzalez@silga.es)

Óscar Saiz Sánchez. SILGA, S.L. Ingeniero estructural (Structural Engineer). Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, M.Sc. [o.saiz@silga.es](mailto:o.saiz@silga.es)

Pasarelas, puentes, estructuras empujadas, celosías, estructuras metálicas.

Footbridges, bridges, launched structures, trusses, steel structures.

## INTRODUCCIÓN

La denominada “Senda costera de El Tranqueru” es una vía verde, de aproximadamente 1,5 km de longitud que, bordeando la línea de costa, discurre entre las localidades asturianas de Perlora y Xivares.

Dicha senda reposa sobre la antigua plataforma del ferrocarril de Carreño, utilizado en su tiempo para el transporte de mineral de hierro entre las localidades de Candás y Aboño.

Aparte de su carácter peatonal, actualmente la senda también sirve de base para el trazado de una conducción de gas y de la tubería que transporta las aguas residuales del municipio de Carreño a la depuradora Oeste de Gijón.

En el año 2013 un deslizamiento de la ladera destruyó el muro que soportaba la plataforma en los acantilados de “El Tranqueru” (fig. 1), cortando, en aproximadamente 50 metros, tanto el acceso a los senderistas como las conducciones antes mencionadas.

A fin de reponer los servicios interrumpidos, la Consejería de Fomento del Principado de Asturias se planteó la construcción de una pasarela que salvase la brecha creada por el deslizamiento de la ladera y el derrumbe del muro, apoyándose en las crestas de los acantilados existentes a uno y otro lado de aquélla.

## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Las especiales características del emplazamiento, la gran dificultad de acceso y la limitadísima disponibilidad de plataformas de trabajo, impedían el desplazamiento a la zona de equipos incluso medianos, y aun así, sólo desde el lado oeste, condicionando extraordinariamente las posibles soluciones al problema.

Tras analizar y valorar todas las posibilidades razonablemente existentes, se consideró que la solución más adecuada era la de una estructura en celosía, de planta curva, construida mediante empuje desde el lado Perlora.

La pasarela, que tiene un ancho de 2,50 m y una luz de 45 m, precisó para su empuje de una estructura auxiliar de lanzamiento, diseñada igualmente en celosía (fig. 1), de 16 metros de longitud, que era el



Figura 1. Acantilados de El Tranqueru. Proceso de empuje de la pasarela



**Figura 2.** Pasarela en servicio

valor máximo permitido por las limitaciones de la plataforma de trabajo disponible. El adecuado equilibrio requerido durante el proceso de empuje se garantizó mediante contrapesos, por un total de 86 toneladas, dispuestos en el extremo de esta estructura auxiliar.

El aspecto final de la pasarela, tras su puesta en servicio en el año 2015, se muestra en la figura 2.

## 40. NUEVO PUENTE CHAMPLAIN, MONTREAL, CANADÁ. INSTALACIÓN DE ZAPATAS DE PILAS EN EL RÍO

### NEW CHAMPLAIN BRIDGE, MONTREAL - CANADA. INSTALLATION OF PIER FOOTINGS IN THE RIVER

José María Martínez Gutiérrez. SARENS. Technical Solutions Spain Sales Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [josemaria.martinez@sarens.com](mailto:josemaria.martinez@sarens.com)

Barcazas, pórtico, deslizamiento, giro, unidades de izado.

*Barges, gantry, skidding, turning, strand jacks.*

#### RESUMEN DE LA OBRA

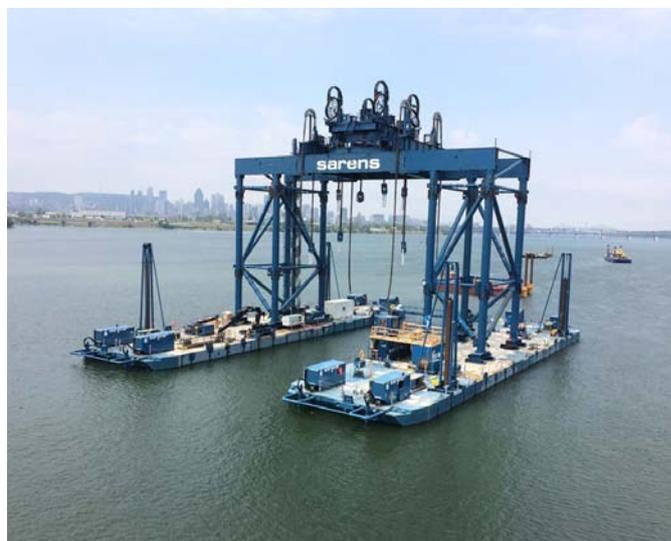
Sarens está instalando las zapatas de las pilas del Nuevo Puente Champlain sobre el río San Lorenzo en Montreal para SSLC (Signature sur le Saint-Laurent).

El cruce del río San Lorenzo (puente Champlain) es parte del crucial enlace entre Canadá y los Estados Unidos para el transporte de mercancías así como para los desplazamientos diarios de los residentes del área metropolitana.

El puente consta de 74 zapatas, 38 de las cuales se prefabrican en un pantalán, mientras que las 36 restantes se hacen in situ hormigonando directamente en el fondo del río. Cada zapata tiene unas dimensiones de  $11 \times 12 \times 2 \text{ m}^3$  (o de  $11 \times 9 \times 2 \text{ m}^3$ ) e incluye un arranque de pila, llegando a una altura total de hasta 14 m. Los pesos totales de estas zapatas varían desde las 600 hasta las 1.000 toneladas.

#### SOLUCIÓN DE SARENS

Al no haber embarcaciones canadienses capaces de cumplir con las limitaciones de esta obra, Sarens ofertó una solución única sumi-



Pruebas de navegación y funcionales del FFI (Floating Foundations Installer) descargado

nistrando un equipo diseñado a medida para estos montajes, el Instalador Flotante de Fundaciones (FFI, del inglés Floating Foundations Installer). El FFI es un catamarán autopropulsado diseñado ex profeso con un pórtico que puede izar, desplazar e instalar las zapatas por sus propios medios. El FFI es capaz de operar con fuertes corrientes e izar y trasladar piezas de hasta 1.000 toneladas. El equipo de izado incluye una mesa de giro que permite rotar las zapatas hasta  $180^\circ$  y además sistemas de deslizamiento en las dos direcciones. Esta disposición de equipos permite movimientos en cualquier dirección del espacio para posicionar las zapatas con la precisión necesaria.

Además, el FFI consta de los siguientes equipos de Sarens:

- Barcazas modulares (Sarens Modular Barges, SMB).
- Torres metálicas de izado (Sarens Multi Lifting Towers, SMLT).
- Pórtico, bogies, sistemas de deslizamiento y unidades hidráulicas de izado.

Como resultado de una segura y excelente planificación así como de una escrupulosa ejecución, esta parte de la obra se realizó exitosamente. Otros factores que contribuyeron a este éxito fueron un fuerte énfasis en seguridad y la gran experiencia del equipo de profesionales de Sarens.



FFI (Floating Foundations Installer) navegando con una zapata colgada para instalarla en su posición

## 47. PUENTES MIXTOS CONTINUOS DE FERROCARRIL EN ZONA SÍSMICA EN EL NORTE DE ARGELIA

### CONTINUOUS RAILWAY COMPOSITE BRIDGES IN SEISMIC ZONE IN THE NORTH OF ALGERIA

Diego Cobo del Arco. Tec-Cuatro. Jefe de proyectos. Socio. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [dcobo@tec-4.es](mailto:dcobo@tec-4.es)  
Ingrid Raventós Dudous. Tec-Cuatro. Jefa de proyectos. Socia. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [iraventos@tec-4.es](mailto:iraventos@tec-4.es)

Puentes mixtos, ferrocarril, vía-estructura, aislamiento sísmico.

Composite bridge, railway, rail-structure interaction, seismic isolation.

Muchas administraciones ferroviarias prefieren construir puentes formados por una sucesión de vanos isostáticos frente a puentes continuos porque, si se proyectan adecuadamente (estricto cumplimiento de los criterios de interacción vía-estructura), se pueden evitar juntas de dilatación en la vía. En algunos casos, si las longitudes dilatables son inferiores a 450 m y el tablero es longitudinalmente suficientemente rígido, estas administraciones aceptan esquemas continuos, utilizando juntas de dilatación de vía de recorrido pequeño ( $\pm 150$  mm) en el extremo móvil. Sin embargo, en zonas con acción sísmica importante, este esquema estructural genera enormes fuerzas horizontales longitudinales en el punto fijo. Por ejemplo, para un viaducto ferroviario típico de longitud 150 m, con masa del tablero entre 30-40 t/m y con un valor de 0,40 g para la aceleración pico horizontal de suelo, la fuerza horizontal longitudinal en el estribo llega a valores de entre 45.000 y 60.000 KN. Lo que pone en entredicho la viabilidad económica de construir viaductos continuos de ferrocarril en zona sísmica.

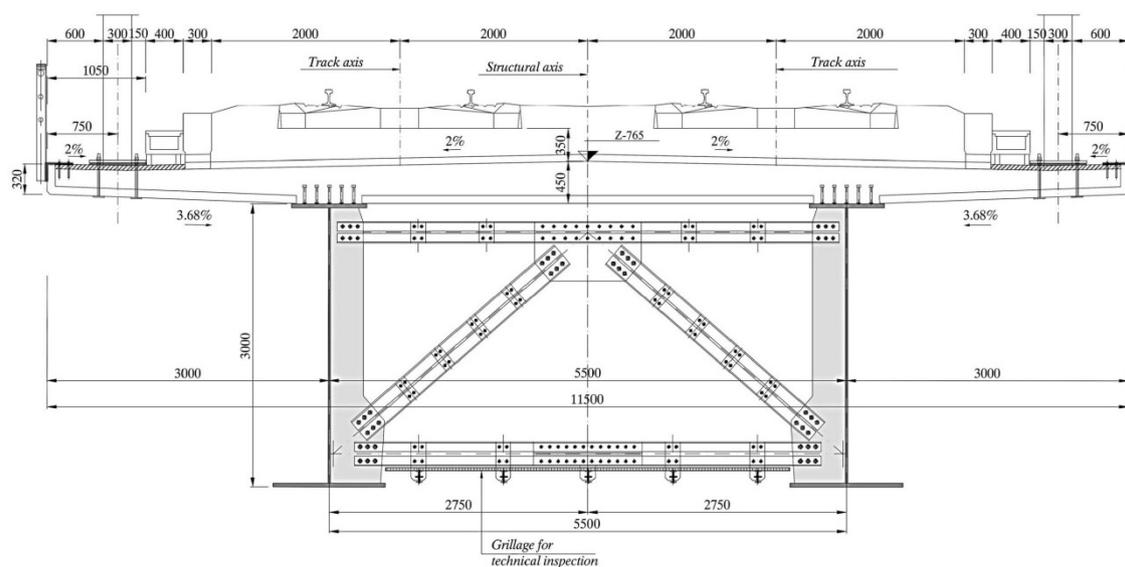
En la ponencia se presenta el proyecto de 3 puentes continuos construidos recientemente en Argelia para la línea de ferrocarril Thenia-Tizi Ouzu. Las longitudes de los viaductos son de 156, 288 y 610 m respectivamente, con vanos tipo de 44 m y con alturas de pila de hasta 22 m. Como compromiso entre masa y coste, los viaductos se proyectaron con tablero mixto formado por 2 vigas longitudinales de 3.000 mm de canto con una losa de hormigón de 320 mm



Viaducto de 156m de longitud

de espesor medio y 11,50 m de ancho, hormigonada sobre pre-lasas prefabricadas de 90 mm de espesor. Para reducir los efectos de la distorsión se dispusieron diafragmas transversales cada 4.750 mm complementados con una celosía inferior de cierre del circuito de torsión. Inferiormente se dispone un "tramex" para habilitar la futura inspección.

Para reducir la transmisión de fuerzas horizontales longitudinales a los estribos, los puentes cortos se fijaron longitudinalmente a uno de los estribos mediante elementos metálicos elasto-plásticos formados por una combinación de piezas con forma de C. El viaducto de 610 m tiene un vano flotante isostático de 40m que divide el tablero en 2 partes (402 + 40 + 168) fijas a cada uno de los estribos también mediante elementos elasto-plásticos. Para aumentar la rigidez horizontal y cumplir con los criterios de vía-estructura para evitar junta de dilatación en la vía, los elementos elasto-plásticos se complementaron con fusibles (que rompen a una fuerza especificada). Transversalmente, la transmisión de fuerzas horizontales a las pilas también está limitada mediante el uso de elementos elasto-plásticos.



Sección transversal tipo

## 53. ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN ACERO CORTEN EN ACTUACIONES URBANAS EN A CORUÑA

### STRUCTURES IN CORTEN STEEL IN URBAN PROJECTS IN A CORUÑA

Félix Suárez Riestra. UDC. Professor. Doctor Arquitecto. [felix.suarez@udc.es](mailto:felix.suarez@udc.es)

Javier Estévez Cimadevila. UDC. Full Professor. Doctor Arquitecto. [javier@udc.es](mailto:javier@udc.es)

Emilio Martín Gutiérrez. UDC. Professor. Doctor Arquitecto. [emilio.martin@udc.es](mailto:emilio.martin@udc.es)

Singular, pasarela, Corten, dinámica, agresividad.

*Singular, walkway, Corten, dynamic, aggressiveness.*

El proyecto de peatonalización del entorno de la Marina (A Coruña) busca la recuperación para el libre uso de un entorno cuyo significado esencial se enmarca en la singular relación con el mar. Los condicionantes de un entorno histórico, caracterizado por un lenguaje visual de formas clásicas, exigen el empleo de un lenguaje propio y diferenciado para aquellas nuevas actuaciones que eviten la mimesis con lo precedente. Estas consideraciones determinan que toda actuación en este ámbito debe mostrar el valor icónico de una pieza singular y el carácter efímero de una obra escultórica, claramente diferenciada del paisaje urbano existente por la plástica de su lenguaje formal y material.

Se presenta la solución de una pasarela peatonal en el entorno de la Marina, constituida por un tramo aéreo y otro tramo parcialmente sumergido. El proyecto se fundamenta en una solución a base de formas dinámicas que se adaptan a la naturalidad de un paisaje creado por la cambiante acción del mar, generando diferentes perspectivas visuales del paisaje construido de la Marina.

En el artículo se presenta la completa definición de la solución estructural, que básicamente desarrolla un tipo "espinas de pez" en el que un eje longitudinal vincula la serie de costillas transversales que se adaptan a la geometría variable. La estructura está resuelta en su totalidad con acero Corten, lo que dada la agresividad del medio ha supuesto también una interesante línea de trabajo en la búsqueda de sistemas y soluciones formales y materiales compatibles con una adecuada durabilidad y mantenimiento.

El otro elemento que se detalla en la ponencia corresponde a una solución singular de muro de contención que permite resolver la diferencia de cotas en el entorno de la Puerta de San Miguel. De nuevo en este caso, se ha mantenido el mismo lenguaje con elementos de chapa en acero Corten que mediante plegaduras resuelven no sólo el problema estructural sino que actúan como una propuesta que conforma y singulariza el espacio.



Pasarela aérea y sumergida en La Marina (A Coruña)



Muro límite de actuación en la Puerta de San Miguel (A Coruña)

## 55. CONSTRUCCIÓN DEL VANO DE 150 M DEL PUENTE NELSON MANDELA SOBRE EL RÍO LLOBREGAT

### CONSTRUCTION OF NELSON MANDELA BRIDGE 150 M SPAN OVER LLOBREGAT RIVER

Manuel Reventós Rovira. Enginyeria Reventós, SL. Presidente. Ingeniero de Caminos. [mreventos@ereventos.com](mailto:mreventos@ereventos.com)

Jaume Guàrdia Tomàs. Enginyeria Reventós, SL. Jefe de proyectos. Ingeniero de Caminos. [jguardia@ereventos.com](mailto:jguardia@ereventos.com)

Juan Carlos Rosa García. Enginyeria Reventós, SL. Jefe de proyectos. Ingeniero de Caminos. [jcroso@ereventos.com](mailto:jcroso@ereventos.com)

Puente singular, instrumentación, estructura evolutiva, arco, pórtico.

*Iconic bridge, monitoring, evolving structure, arch, rigid-frame.*

El último puente del Río Llobregat finalizó su construcción en el 2015, convirtiéndose en el puente con el mayor arco de Cataluña con 150 m de luz. Aparte del reto técnico que supone su proyecto y ejecución, el puente es una pieza icónica que es visible desde el avión al aterrizar en el Aeropuerto del Prat y constituye una puerta de entrada a Barcelona.

La construcción ha durado 6 años, en la edición anterior del congreso de ACHE ya presentamos dos artículos: 'Construcción e instrumentación del Puente de la Gola del Llobregat' y 'Racionalizando el Puente de la Gola del Llobregat. Un análisis crítico'. La intención de éste artículo es complementar las anteriores publicaciones con la finalización de la obra y las conclusiones globales del proyecto.

En el último año de construcción se han realizado las fases constructivas más importantes y complicadas:

- Cimbrado y hormigonado del arco. Fue necesario planificar el proceso de hormigonado hora a hora y realizar pruebas previas para controlar el empuje hidrostático del hormigón.



Cimbra del arco y pilas provisionales en el puente Nelson Mandela sobre el Río Llobregat (2014)



Nuevo puente Nelson Mandela sobre el Río Llobregat (2015)

- Transmisión del peso del tablero al arco mediante una secuencia de tesado de los tirantes.
- Desapeo del tablero en el vano de 150 m. El tramo sobre el río se construyó apeado en 3 pilas provisionales, después de la puesta en carga del arco parte del peso aún descansa en los apeos. Hay que realizar el descenso del tablero de forma controlada mediante gatos hidráulicos. Para ejecutar con garantías estas fases se ha instrumentado el tablero y el arco para conocer las tensiones internas en el hormigón. Mediante éste seguimiento y con el control de las fuerzas de tesado en los tirantes se ha podido planificar un proceso de tesado optimizado con el mínimo de fases. Todas las fases se han monitorizado a tiempo real y se han verificado con el modelo de cálculo del puente. Otros aspectos destacados a analizar fueron el plan de mantenimiento y la prueba de carga antes de la puesta en servicio.

## 56. DISEÑO DE PASARELAS LOW COST

### DESIGNING LOW COST FOOTBRIDGES

Manuel Reventós Rovira. *Enginyeria Reventós, SL. Presidente. Ingeniero de Caminos.* [mreventos@ereventos.com](mailto:mreventos@ereventos.com)

Jaume Guàrdia Tomàs. *Enginyeria Reventós, SL. Jefe de proyectos. Ingeniero de Caminos.* [jguardia@ereventos.com](mailto:jguardia@ereventos.com)

David Berdiel Acer. *Enginyeria Reventós, SL. Jefe de proyectos. Ingeniero de Obras Públicas.* [dberdiel@ereventos.com](mailto:dberdiel@ereventos.com)

Pasarelas, integración urbana, estructura prefabricada, estructura metálica, construcción económica.

*Footbridge, urban landscape, precast structure, steel structure, low budget construction.*

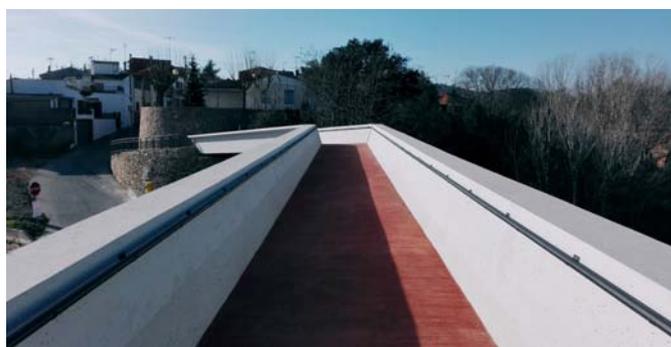
Los tiempos en que había carta libre en el diseño de pasarelas han pasado a la historia, como mínimo en España. Ahora las administraciones deben gestionar un presupuesto ajustado y los modificados que incrementan el coste se están suprimiendo, al contrario, se promueven modificaciones para reducir su coste final. Además, la espiral en el aumento de las bajas desmesuradas en las licitaciones de obras no contribuye a la racionalización de los proyectos.

En este contexto, se analizan tres casos recientes de pasarelas donde el principal criterio por parte del promotor ha sido control del limitado presupuesto:

- Pasarelas provisionales sobre las obras de ADIF en Sant Andreu (Provincia de Barcelona).
- Nueva pasarela en Santa María de Palautordera (Provincia de Barcelona).



Pasarelas provisionales sobre las obras de ADIF, Barcelona (2015). Foto: [barcelonasagrera.com](http://barcelonasagrera.com)



Nueva pasarela en Santa María de Palautordera (2015)

- Alternativa a la nueva pasarela en Vilatenim (Provincia de Girona). Esto no significa que nos hayamos resignado a soluciones estándar y de poca calidad arquitectónica. El uso de elementos prefabricados es una estrategia habitual para reducir coste, aunque no debe implicar una reducción en la calidad del resultado final. Por otro lado, el estudio del emplazamiento para reducir recorridos y obra construida, y la optimización de los procesos constructivos son estrategias que han permitido la reducción del coste final de la obra sin reducir la calidad o la funcionalidad. En los tres casos que se presentan se han utilizado diferentes estrategias, se realiza una comparativa económica en relación a las superficies construidas para tener valores de referencia.

## 58. CIERRES EN EL TABLERO ATIRANTADO DEL PUENTE DE LA CONSTITUCIÓN DE 1812 SOBRE LA BAHÍA DE CÁDIZ

### DECK CLOSURES AT CABLE-STAYED SECTION OF "CONSTITUCIÓN DE 1812" BRIDGE OVER THE CADIZ BAY

Conchita Lucas Serrano. *DRAGADOS SA. Dirección Técnica. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.* [clucass@dragados.com](mailto:clucass@dragados.com)

Luis Peset González. *DRAGADOS SA. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.* [lpesetg@dragados.com](mailto:lpesetg@dragados.com)

Tablero atirantado, cierre, bloqueo, bahía de Cádiz, Constitución de 1812.

*Cable-stayed deck, closure, locking mechanism, Cadiz Bay.*

La construcción del tramo atirantado del Puente de la Constitución de 1812 se ejecutó mediante el método de voladizos sucesivos. Sin em-



Llegada a la pila de retenida

bargo, cuando el tablero alcanzó las primeras pilas, así como en el momento de dar continuidad a diferentes tramos, fue preciso realizar varias maniobras singulares, que son las que aquí se describen.

El apoyo en las pilas de retenida significó el fin de la etapa en la que el desequilibrio del mástil condicionaba el proceso constructivo. La maniobra consistió en llegar con el tablero en voladizo hasta la pila, donde estaba esperando una dovela corta, de 5,4 m de longitud, a la que se empotraba con la ayuda de una estructura metálica auxiliar. Con todos los movimientos relativos impedidos, se procedía a soldar la unión.

El cierre del vano central consistió en bloquear los extremos de los dos tramos a unir para que no se produjeran movimientos relativos entre ellos, y colocar la dovela de cierre que diera continuidad a los dos voladizos construidos de forma independiente. Sin embargo, para permitir los grandes movimientos térmicos que se presentarían durante la operación, la maniobra se complementó con el desplazamiento longitudinal de uno de los semitablero, previo al cierre, que permitió aumentar la separación entre los dos voladizos y soldar la dovela de cierre a uno de ellos antes del bloqueo.

La denominada dovela extrema estaba constituida por los últimos 50 m del tramo atirantado antes de entrar en el puente desmontable, y presentaba la singularidad de estar exenta de atirantamiento. Con un peso superior a las 10.000 kN, su instalación consistió en izar el tramo completo desde sus dos extremos: del lado de la pila 10 con los elementos que habían servido para colocar el tramo desmontable, y en el extremo opuesto con el carro de izado de dovelas.



Colocación de la dovela extrema

La conexión del tramo atirantado con el viaducto de acceso desde Puerto Real se producía sin solución de continuidad. Es decir, sin junta de dilatación, por lo que debía dar continuidad estructural a los dos puentes, conectando la sección mixta del tramo atirantado con el cajón de hormigón pretensado del viaducto de acceso. Para materializar la unión se diseñó una dovela de transición de 10 m de longitud y ancho completo, que quedaba embebida en el tablero de hormigón, y se soldaba posteriormente a la sección mixta del tramo atirantado.

## 66. PASARELA ATIRANTADA EN LA BAHÍA DE ARGEL

### CABLE-STAYED PEDESTRIAN BRIDGE AT ALGIERS BAY

Diego Cobo del Arco. Tec-Cuatro. Jefe de proyectos. Socio. Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [dcobo@tec-4.es](mailto:dcobo@tec-4.es)

Ingrid Raventós Dudous. Tec-Cuatro. Jefa de proyectos. Socia. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [iraventos@tec-4.es](mailto:iraventos@tec-4.es)

Steffen Mohr. Tec-Cuatro. Ingeniero de proyectos. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [smohr@tec-4.es](mailto:smohr@tec-4.es)

Pasarela atirantada, sismo, acero.

*Pedestrian cable-stayed bridge, seisme, steel.*

Una pasarela atirantada ha sido construida recientemente en Argel, para dar acceso al paseo y a la playa de Les Sablettes por encima de la autopista Este. Su emplazamiento estratégico, sobre una de las vías de puerta de entrada a Argel, se utiliza para dotar a la pasarela de un carácter singular, con una identidad moderna, símbolo del desarrollo de la ciudad, convirtiéndose también en un referente visual.

La pasarela tiene 4 m de sección útil, estando formada por 2 vigas metálicas longitudinales tipo cajón de 1.000 mm de canto. Entre ellas se atornillan vigas IPE270 cada 2.500 mm sobre las que apoya una losa de hormigón de 150mm de espesor sobre chapa grecada. En la parte central, el tablero apoya sobre 3 conjuntos de pilas en V formadas por 4 tubos 368 × 30. El vano central sobre la autopista, de 87,50 m, está atirantado mediante barras tipo "Pfeifer" de 70 mm de diámetro, desde una pila excéntrica inclinada (1/15) de 36,50 m de altura, formada por una sección cajón de 1.000 × 900 con chapas de 30 mm. Las rampas de la pasarela (limitadas al 4%) se disponen en continuidad con el tramo recto, materializándose en uno de los lados mediante un bucle helicoidal apoyado también sobre pilas en V (formadas por 4 tu-



Vista con la rampa y pila



Vista de pilona

bos circulares  $300 \times 16$ ) cuyas bases recogen formalmente los tirantes de retención de la pílona (barras de 90 mm de diámetro).

La pasarela se sitúa en zona de importante actividad sísmica (0,30 g aceleración base). Las dimensiones y disposición de pilas están muy condicionadas por la necesidad de controlar los desplazamientos horizontales ante el sismo para no generar esfuerzos inadmisibles en los tirantes.

Las frecuencias de los primeros modos de vibración son bajas, alrededor de 1,30 Hz para el primer modo transversal y alrededor de 1,55 Hz para el primer modo vertical. Se realizó un análisis de vibraciones completo de acuerdo con la metodología del SETRA/AFG.

## 67. EL NUEVO VIADUCTO DE BIZERTA

### THE NEW BRIDGE AT BIZERTE

Diego Cobo del Arco. Tec-Cuatro. Jefe de proyectos. Socio. Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [dcobo@tec-4.es](mailto:dcobo@tec-4.es)

Ingrid Raventós Dudous. Tec-Cuatro. Jefa de proyectos. Socia. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [iraventos@tec-4.es](mailto:iraventos@tec-4.es)

Steffen Mohr. Tec-Cuatro. Ingeniero de proyectos. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [smohr@tec-4.es](mailto:smohr@tec-4.es)

Fernando Casanovas Baró. Tec-Cuatro. Administrador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [atecnica@tec-4.es](mailto:atecnica@tec-4.es)

Celosía mixta, voladizos sucesivos, aislamiento sísmico, viaducto gran luz.

Composite truss, balanced cantilever, seismic isolation, long span viaduct.

El viaducto de Bizerta, ciudad situada 60 km al norte de la capital de Túnez, forma parte del eje viario que permitirá dar un nuevo acceso



Vista virtual

a la ciudad salvando la barrera que supone el canal navegable, solucionando los problemas de tráfico ocasionados por la existencia hoy en día de un único acceso por un puente móvil.

El nuevo viaducto de 2.070 m de longitud se ubica en un tramo en donde el canal tiene una anchura de 900 m. Se concibe con tres vanos imponentes de 258,75 m + 292,5 m + 258,75 m sobre el mismo, respetando un gálibo náutico de 56 m y cumpliendo con la limitación de altura impuesta por la proximidad del Aeródromo de Sidi Ahmed. La estructura, en forma de gran celosía mixta, se completa con dos pilas en forma de V, que enmarcan el vano central sobre el canal confiriéndole un carácter singular.

A ambos lados del canal se prolongan los vanos de acceso con luces claramente más reducidas: del lado sur con 6 vanos de 40 m + 60 m + 70 m + 70 m + 100 m + 150 m, y del lado norte con 10 vanos de 150 m + 100 m + 70 m + 60 m + 40 m.

El tablero, con un ancho de 25 m, alberga una calzada de 10 m para cada sentido de la circulación y dos aceras laterales para operaciones de mantenimiento y paso de seguridad. Lateralmente incorpora barreras de protección contra el viento.

Estructuralmente se trata de un viaducto con tablero mixto con losa superior de hormigón armado y celosía metálica inferior tipo Warren de canto variable, de 6.000 a 15.500 mm en los vanos largos y constante (3.600 mm) para los vanos más cortos. En la proximidad



Vista virtual de noche

de las pilas, el plano inferior de la celosía queda reforzado por una losa inferior de hormigón.

El tablero es continuo en toda su longitud y las pilas principales sobre el canal actúan de punto fijo. Frente al sismo, el viaducto utiliza conceptos de aislamiento sísmico: longitudinalmente a través de amortiguadores viscosos y transversalmente mediante elementos de acero elasto-plásticos histeréticos. Esto permite optimizar el dimensionado de las cimentaciones de las pilas.

La construcción (a partir de 2018) se prevé por voladizos sucesivos aplicando técnicas de transporte y montaje con heavy-lifting similares a las utilizadas en el puente ferroviario del Ulla. La construcción de pilotes de 2,5 m de diámetro y casi 70 m de longitud en medio del canal requerirá también de medios auxiliares marítimos.

Proyecto financiado por el BEI. El BEI no es responsable del contenido del resumen.

### 73. PUENTE CHACAO: ASPECTOS CONTRACTUALES Y SINGULARIDADES ESTRUCTURALES

#### CHACAO BRIDGE: CONTRACTUAL ASPECTS AND STRUCTURAL PECULIARITIES

Matías Valenzuela Saavedra. Dirección de Vialidad, MOP Chile. Inspector Técnico. Doctor Ingeniero Civil. [matias.valenzuela@mop.gov.cl](mailto:matias.valenzuela@mop.gov.cl)  
 Marcelo Márquez Marambio. Dirección de Vialidad, MOP Chile. Inspector Técnico. Ingeniero Civil, MScl. [marcelo.marquez@mop.gov.cl](mailto:marcelo.marquez@mop.gov.cl)  
 Ignacio Vallejo Vial. Dirección de Vialidad, MOP Chile. Asistente Inspección. Ingeniero Civil. [ignacio.vallejo@mop.gov.cl](mailto:ignacio.vallejo@mop.gov.cl)  
 Raúl Vasquez Donoso. Dirección de Vialidad, MOP Chile. Gerente Técnico. Ingeniero Civil. [raul.vasquez@mop.gov.cl](mailto:raul.vasquez@mop.gov.cl)

Puente colgante, proyecto, requerimientos, contrato, mantenimiento.

*Suspension bridge, project, requirements, contract, maintenance.*

A partir de los años 90 se ha estudiado una conexión fija de la Isla de Chiloé con el continente de Chile, en la región de Los Lagos, definiéndose el diseño y construcción de un puente colgante de grandes luces con multi-vano de tres pilas y con una longitud total de 2,6 kilómetros. El puente Chacao será la estructura colgante más larga de Latinoamérica, iniciándose el contrato de ejecución durante el primer semestre de 2014 con una fase de diseño definitivo para continuar con el inicio de la construcción de las obras durante.



Esquema general del Puente Chacao



Trabajos de ingeniería básica

La zona de emplazamiento del puente se ubica muy cercana a la ciudad de Valdivia, lugar del epicentro del terremoto de mayor magnitud registrada a nivel mundial, ocurrido el año 1960 con una magnitud de 9,5 grados Richter. Además el puente estará sometido a importantes cargas de viento (trombas marinas) y grandes corrientes marinas, que convierten el diseño y construcción de este puente en un desafío para la ingeniería.

Este documento presenta el marco referencial desarrollado en este proyecto, incluyendo los estudios de ingeniería básica y los lineamientos técnicos de licitación. Además, se analizan los principales resultados estructurales entregados en su diseño por las empresas de Diseño, destacando las principales singularidades estructurales y desafíos de diseño detectadas en los casi dos años de desarrollo. En específico se presentan los aspectos de cargas aplicadas, normativa considerada y manual de diseño y metodologías de diseño por socavación, sísmica y viento. Finalmente, se concluye sobre los aspectos relevantes en de esta tipología de puente.

### 83. VIADUCTO DE HACHEF Y OTROS EMPUJES SINGULARES

#### HACHEF VIADUCT AND OTHER SPECIAL LAUNCHINGS

Eduard Alberich Jiménez. Mekano4. Jefe de Obra. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ealberich@mekano4.com](mailto:ealberich@mekano4.com)  
 Germán Barés Lucindo. Mekano4. Jefe de Obra. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [gbares@mekano4.com](mailto:gbares@mekano4.com)  
 Carlos Blasco García. Mekano4. Director de Ejecución. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cblasco@mekano4.com](mailto:cblasco@mekano4.com)  
 Raimón Rucabado Jiménez. Mekano4. Director de Proyectos Especiales. Ingeniero Civil. [rucabado@mekano4.com](mailto:rucabado@mekano4.com)

Viaducto, Hachef, empuje, retenida, ONCF.

*Viaduct, Hachef, launching, heavy-lifting, ONCF.*

El viaducto de Hachef en Marruecos, con una longitud total de 3.418 m, fue un reto constructivo en el empuje de un puente de estructura



Vista General del tramo Norte



Vista General del tramo Sur

metálica. Las características singulares de este empuje obligaron a Mekano4 a diseñar un sistema.

## 84. TRABAJOS DE APEO DE UN PUENTE DE PIEDRA DEL SIGLO XVII: PUENTE DE TRUJILLO, LIMA (PERÚ)

### SEVENTEENTH CENTURY MASONRY BRIDGE'S LOAD TRANSFER WORKS: TRUJILLO'S BRIDGE. LIMA (PERU)

Patrick Ladret. Freyssinet España. Director Desarrollo Internacional.

Ingeniero Civil. [pladret@freysinnet-es.com](mailto:pladret@freysinnet-es.com)

Pablo Vílchez. Freyssinet España. Director Técnico. Ingeniero Industrial.

[pablo\\_v@freysinnet-es.com](mailto:pablo_v@freysinnet-es.com)

Sergio del Olmo. Freyssinet España. Ingeniero de Departamento

Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[sergio\\_o@freysinnet-es.com](mailto:sergio_o@freysinnet-es.com)

Juan Pablo Demetrio. Freyssinet España. Jefe de Obra. Geólogo.

[juanpablo\\_d@freysinnet-es.com](mailto:juanpablo_d@freysinnet-es.com)

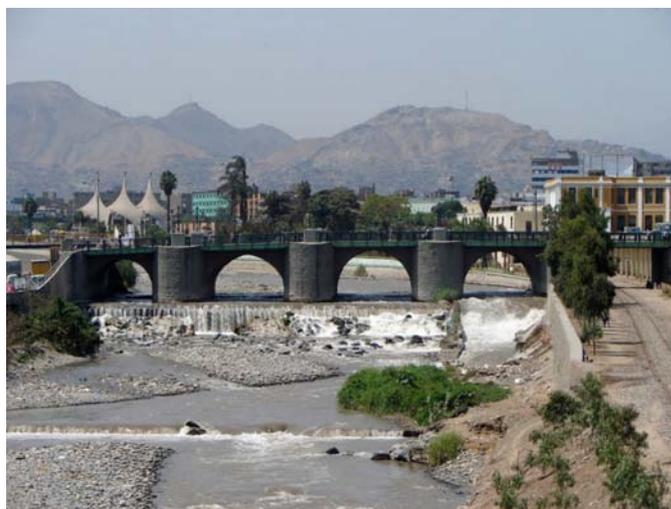
Jesús Aguilar. Freyssinet Perú. Gerente de Operaciones. Ingeniero Civil.

[jesus.aguilar@fta.pe](mailto:jesus.aguilar@fta.pe)

Puente de piedra, transferencia de carga, gatos, pretensado, patrimonio.

Masonry bridge, load transfer, jacks, post-tensioning, heritage.

En la ciudad de Lima se está construyendo la "Vía Expresa Línea Amarilla (Vía Parque Rímac)", una estructura subterránea (túnel para cir-



Vista general del puente

culación de vehículos ejecutado en trinchera) que discurre bajo el cauce del río Rímac. Al integrarse en un entorno urbano, cruza con múltiples pasos transversales al río, como el Puente Trujillo, una estructura de fábrica de piedra construida en 1610. Así, fue necesario el apeo provisional de sus más de 75.000 kN por medio de elementos postesados sustentados en un entramado de micropilotes. El apeo se llevó a cabo previamente a la excavación, extendiéndose hasta la finalización de la construcción del túnel, momento en que el puente fue apoyado sobre la cubierta. Freyssinet llevó a cabo 2 operaciones: el postesado de las doce vigas de apeo de las dos pilas centrales (con un total de 39 tendones de 25 cordones de 0,6" cada uno), antes del inicio de la excavación; y la sucesiva transferencia de carga durante la construcción, entre los cimientos del puente y la estructura de apeo temporal, y de ésta a la cubierta del túnel (estructura de apoyo definitivo). Durante todo este segundo conjunto de operaciones de apeo (de mucha mayor duración que la primera), se llevaron a cabo trabajos continuos de control y seguimiento en todo el sistema. Su objetivo era evitar desplazamientos o movimientos, originados por la excavación o la ejecución del cajón del túnel, que pudieran dañar el puente, puesto que las limitaciones de movimientos diferenciales que fueron impuestas durante la ejecución eran muy restrictivas, de tan solo 5 mm.

Entre las vigas de reparto que recogían los extremos de las vigas postesadas se dispuso un total de 16 puntos hidráulicos (8 por pila) en los que ejercer reacciones de apeo. En cada uno de ellos se alojaron,



Vista del puente durante los trabajos

en función de la carga prevista, 2-3 gatos hidráulicos de 4.000 kN de capacidad, provistos de tuerca de seguridad y rótula. Se empleó el sistema LAO®, que permite la sincronización de múltiples cilindros hidráulicos distintos trabajando a diferentes presiones, y realizar imposiciones de desplazamientos y giros, transferencias de cargas, etc. La monitorización de la extensión de los émbolos de los gatos se materializó gracias a los sensores de desplazamiento del sistema, cuya precisión es de 0,1 mm. El sistema se completaba con cerca de 600 m de mangueras hidráulicas de alta presión, así como válvulas y otros accesorios propios de estas operaciones.

## 85. Puentes de Dovelas Prefabricadas en la Línea Roja de Doha

### PRECAST SEGMENTAL BRIDGES CONSTRUCTION IN DOHA METRO RED LINE

José Rafael Jiménez Aguilar. FCC Construcción S.A. Jefe Departamento Puentes II. Ingeniero de Caminos. [rjimenez@fcc.es](mailto:rjimenez@fcc.es)  
Guillermo Molins Roger. FCC Construcción S.A. Dirección de Maquinaria. Ingeniero de Caminos. [gmolins@fcc.es](mailto:gmolins@fcc.es)

Dovelas prefabricadas, metro, vano a vano, cimbra autolanzable.

*Precast segments, metro, span by span, launching girder.*

FCC fue seleccionado como ganador de un contrato de Qatar Railways Company para construir una sección de la Red Line del metro de Doha. El consorcio de empresas, liderado por FCC, incluye a Archirodon (Grecia), Yüksel (Turquía) y Petroserv Ltd. (Qatar). Se ha construido tres estaciones elevadas (Economic Zone, Ras Bu Funtas y Al Wakrah), 6,97 km de tablero elevado y un túnel de carretera en la entrada de Al Wakrah. El proyecto lo han desarrollado TYPSA, SENER and EHAF.

Se han montado 3,8 km de tablero de dovelas prefabricadas en 120 vanos con luces entre 20 y 44,3 m montadas vano a vano con cimbra autolanzable superior. Los vanos son isostáticos en su mayoría, pero algunos se han unido sobre pilas para incrementar su luz.

FCC tiene una amplia experiencia en la construcción de puentes de dovelas prefabricadas montadas vano a vano con pretensado exterior y junta seca. Los tableros del metro de Doha tienen pretensado interior y juntas de resina epoxi. La posición de la última dovela de un vano está condicionada por la colocación de la primera dovela de ese vano.



Cimbra autolanzable

Un error en la primera dovela puede hacer que la última no se pueda colocar si choca con la pila, y no hay posibilidad de desmontaje porque las dovelas anteriores están unidas con resina. Un control geométrico intenso ha permitido evitar esta situación que hubiese implicado retrasos y penalizaciones.

Tres cimbres autolanzables superiores han trabajado al mismo tiempo, dos de ellas diseñadas para poder operar en las proximidades del aeropuerto. El rendimiento de montaje fue de un vano cada dos días por cimbra, lo que ha permitido terminar el montaje de los 3,8 km en 10 meses.

Las dovelas prefabricadas se han hormigonado en dos líneas largas y en tres líneas cortas. La producción de cada línea corta ha sido de una dovela cada dos días, y en cada la línea larga de tres dovelas al día. La diferencia se justifica porque la línea larga permite el hormigonado simultáneo de varios vanos, y el inicio de un vano en una dovela intermedia. La fabricación en la línea larga y la posibilidad de comenzar la fabricación por cualquier dovela requirió la modificación del software utilizado para el control geométrico.

## 86. Pasarelas Peatonales Atirantadas Ejecutadas por FCC en Lusail, Qatar

### CABLE STAYED PEDESTRIAN BRIDGES BUILT BY FCC IN LUSAIL, QATAR

Pablo Bernal Sahún. FCC Construcción. Ingeniero Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pbernal@fcc.es](mailto:pbernal@fcc.es)  
David Arribas Mazarracín. FCC Construcción. Jefe Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [darribas@fcc.es](mailto:darribas@fcc.es)

Construcción, pasarela atirantada, tirantes de longitud fija, acero inoxidable, hormigón pretensado.

*Construction, cable stayed pedestrian bridge, fixed length cable stays, stainless steel, prestressed concrete.*

Las nuevas pasarelas de las islas Qetaifan forman parte de la ciudad de Lusail, un nuevo desarrollo urbanístico ubicado 13 km al norte de Doha, que está siendo construido por la compañía Qatari Diar.

Las pasarelas se basan en el concepto de un collar enroscado sobre los canales artificiales que separan las islas Qetaifan. El proyecto de las pasarelas fue realizado por una UTE de Parsons, Safdie Rabines Architects y TY Lin y construido por FCC Construcción y la compañía qatarí Petroserv.



Precarga del vano



Vista lateral de una pasarela

Las dos pasarelas tienen una longitud de 120 m con una luz máxima de 60 m y están formadas por tramos de 30 m de planta oval. Cada tramo está formado por dos cajones de hormigón pretensado con un tablero de cristal laminado y acero inoxidable en la parte central.

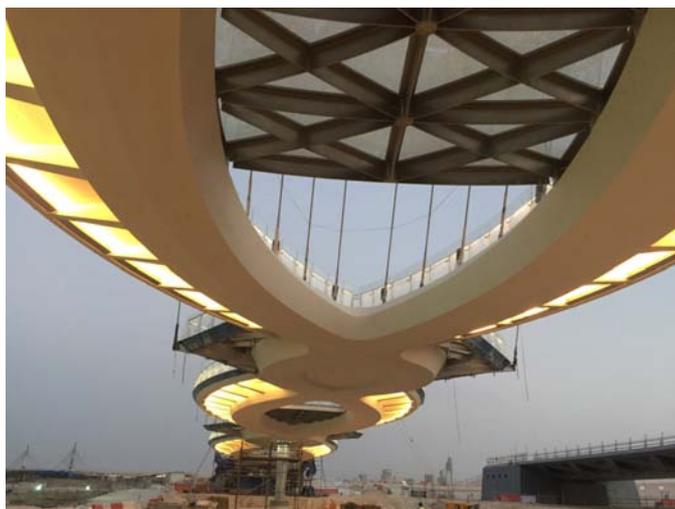
Un pilono que se eleva 16 m por encima del tablero, sostiene el punto de encuentro de los tramos de planta oval con la excepción del centro del vano principal que está soportado únicamente por cables. Diez parejas de cables adicionales fijadas al contorno interior de los tramos ovales se conectan a cada pilono que está equilibrado a su vez por cables de retenida anclados fuera de la estructura.

Los pilonos están formados por tubos de acero inoxidable tipo dúplex de diámetro variable y espesor máximo 50 mm rellenos de hormigón.

El reto más importante del Proyecto fue la instalación y tesado de los tirantes de acero inoxidable tipo Pfeifer PE100 que se prefabrican incluyendo los terminales de conexión lo que limita las posibilidades de ajustar la longitud en obra.

Los tableros se ejecutaron con una cimbra apoyada en un relleno temporal del canal, que también sirvió para ejecutar las cimentaciones que en situación final quedan sumergidas.

Los trabajos de pretensado de los tableros fueron realizados por BBR que también se encargó de la instalación y tesado de los tirantes. Los cables se tesaron en dos fases, antes y después de hormigonar una doveta de cierre situada en el centro del puente, para reducir las fuer-



Vista de la parte inferior del tablero

zas longitudinales transmitidas a pilas y estribos debidas a las deformaciones axiales del tablero.

La estructura de las pasarelas se completó con una serie de elementos arquitectónicos de alto nivel que incluyen pavimento de piedra en el tablero así como en las zonas de acceso. Aunque las pasarelas se completaron a principios de 2016 tendremos que esperar hasta 2020 para verlas prestando servicio.

## 87. RIPADO TRANSVERSAL TRAS SISMO Y REPARACIÓN DEL PASO SUPERIOR DEL ENLACE TALINAY EN LA RUTA DEL ELQUI (RUTA 5), CHILE

### TRANSVERSE RIPPING AFTER SEISM AND REPAIR OF THE TALINAY LINK OVERPASS LOCATED WITHIN LA RUTA DEL ELQUI (ROUTE 5), CHILI

Pablo Vilchez. Freyssinet España. Director Técnico. Ingeniero Industrial. [pablo\\_v@freysinet-es.com](mailto:pablo_v@freysinet-es.com)

Iván Saiz. Freyssinet España. Ingeniero Departamento Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ivan\\_s@freysinet-es.com](mailto:ivan_s@freysinet-es.com)

Laura Benito. Freyssinet España. Jefa de obra. Ingeniera Industrial. [laura\\_b@freysinet-es.com](mailto:laura_b@freysinet-es.com)

Fabián Reyes. Freyssinet Chile. Ingeniero de Oficina Técnica. Ingeniero Civil. [freyes@freysinet.cl](mailto:freyes@freysinet.cl)

Iván Alende. Freyssinet Chile. Managing Director. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ialende@freysinet.cl](mailto:ialende@freysinet.cl)

Levantamiento, ripado, apoyos elastoméricos, bases deslizantes, gatos hidráulicos.

Lifting, ripping, elastomeric bearings, skid shoes, hydraulic jacks.

## LA ESTRUCTURA

Paso superior que constituye el enlace Talinay, comprendido dentro de la Ruta del Elqui (Ruta 5) en Chile. El puente está formado por un tablero de hormigón con vigas doble T prefabricadas y una losa superior de hormigón in situ de 22 cm. El tablero presenta un ancho total de 10,40 m con una pendiente transversal del 1,5%.

Se salvan dos vanos de 21,45 m + 21,45 m. La estructura dispone de dos estribos y un apoyo intermedio sobre pila, con una altura máxima de 5,5 m.

## PROYECTO DE REPARACIÓN

La estructura quedó afectada por el sismo acontecido el 16 de septiembre de 2015.

Se observó el desplazamiento lateral del tablero, roturas y despegues de las juntas y multitud de patologías en los aparatos de apoyo elastomérico y daños en las barras antisísmicas. El proyecto contemplaba, además de la reparación de los daños anteriores, la operación fundamental de levantamiento y ripado transversal de la estructura para devolverla a su posición natural.

## LAS OPERACIONES DE LEVANTAMIENTO Y RIPADO

Para recolocar el puente en su lugar se procedió según dos etapas principales: el levantamiento de la estructura con el empleo de gatos hidráulicos y la ejecución del ripado o movimiento lateral del tablero previa instalación de los elementos auxiliares para ello.

La insuficiencia de espacio debajo de las vigas para poder colocar los gatos hizo necesario ejecutar diafragmas entre las mismas. Estos



Disposición de los gatos de levantamiento y bases deslizantes



Puente levantado y ripado

diafragmas permitían, reaccionar y efectuar el levantamiento de las 550 t totales. Una vez levantada la estructura 14 cm se retiraron los neoprenos existentes y se colocaron unas bases deslizantes fabricadas expresamente para esta operación. Las bases se conectaron entre sí con barras de acero roscadas y que a su vez se conectaron a una viga de reacción en el lateral del estribo, donde un gato apoyaría para efectuar el movimiento mediante tiro. En el estribo opuesto se instalaba el mismo conjunto de elementos para poder materializar un punto fijo sobre el que girase el resto de la estructura. En la pila se dispusieron bases deslizantes de deslizamiento libre. Finalizado el ripado se levantó de nuevo el tablero, se desmontó el sistema de deslizamiento, se colocaron los nuevos aparatos de apoyo elastoméricos y se llevó a cabo el descenso y la transferencia de carga sobre ellos.

El movimiento lateral efectuado fue del orden 10 cm en total, dejando la estructura perfectamente colocada en su posición original previa al evento sísmico.

## 89. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE LAS PILAS NORTE Y SUR DEL PUENTE DE RANDE. REDONDELA Y MOAÑA, PROVINCIA DE PONTEVEDRA (ESPAÑA)

REPAIR WORKS ON NORTH AND SOUTH PILES OF RANDE'S BRIDGE. REDONDELA AND MOAÑA, PONTEVEDRA (SPAIN)

Luis Cosano. Freyssinet España. Responsable Explotación y Marketing. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [luis\\_c@freysinnet-es.com](mailto:luis_c@freysinnet-es.com)  
 Pablo Vélchez. Freyssinet España. Director Técnico. Ingeniero Industrial. [pablo\\_v@freysinnet-es.com](mailto:pablo_v@freysinnet-es.com)  
 Ricardo Masson. Freyssinet España. Ingeniero Departamento Técnico. Ingeniero Civil. [ricardo\\_m@freysinnet-es.com](mailto:ricardo_m@freysinnet-es.com)

Rafael Echevarría. Freyssinet España. Delegado. Ingeniero Industrial. [rafael\\_e@freysinnet-es.com](mailto:rafael_e@freysinnet-es.com)  
 Laura Benito. Freyssinet España. Jefa de Obra. Ingeniera Industrial. [laura\\_b@freysinnet-es.com](mailto:laura_b@freysinnet-es.com)

Reparación, hidrodemolición, hormigón proyectado, puente atirantado.

Repair works, hydro-demolition, shotcrete, cable-stayed bridge.

El puente atirantado de Rande, de 1.604 m de longitud total, consta de una parte central atirantada de 695 metros (vano principal de 401 m y dos vanos de compensación de 147 m cada uno) que en su día, a principios de los ochenta, lo llevó a convertirse en record mundial de luz en su tipología. Su sistema atirantado de 4 haces de 20 tirantes constituye la primera referencia de esta tipología estructural de Freyssinet en España. Ubicado en la provincia de Pontevedra, permite el cruce de la ría de Vigo por la autopista AP-9. La estructura está siendo objeto de ampliación desde febrero de 2015. Freyssinet recibió el encargo de realizar, en dos fases, los trabajos de reparación parcial de los paramentos exteriores de las pilas Sur y Norte, situadas en la ría.

En primer lugar se llevó a cabo una campaña de inspección y ensayos en la pila Sur, con objeto de obtener una evaluación completa de su estado, identificar el origen de la patología presente, valorar posibles estrategias de intervención, y determinar la actuación óptima, plasmada en la definición de unos trabajos concretos de reparación. Éstos consistieron en la limpieza y saneo de paramentos, su reparación mediante reposición de armaduras y regeneración de volúmenes de hormigón, y la aplicación de una protección sobre la totalidad de la superficie intervenida. El ámbito de actuación comprendió los 37 m bajo tablero de los fustes, así como el travesaño de unión bajo tablero. La actuación en la parte superior se integraría en los posteriores trabajos de ampliación del puente.

Se comenzó con una limpieza generalizada con chorro de agua a presión (200 bar), combinada con picados puntuales manuales y/o hidrodemolición según el estado de cada paramento. Para la eliminación del hormigón deteriorado se empleó hidrodemolición a muy



Vista general de la pila Norte tras la reparación



Vista de la pila norte durante los trabajos

alta presión (hasta 2.500 bar). Los trabajos se realizaron por bataches alternos de 1,60 metros de altura, previamente a la aplicación de mortero de reparación por proyección en capas sucesivas de 3 cm, hasta la reconstrucción total de la sección de hormigón. Finalmente se aplicó mediante rodillo un revestimiento cementoso en dos capas. Los trabajos se realizaron con la ayuda de andamios motorizados monomástil de 37 m de altura y 9 o 4 metros de plataforma de trabajo, según las dimensiones de la cara del fuste, así como de un andamio colgado, de 23 × 7 metros, para los trabajos en el travesaño bajo tablero.

## 96. CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE DE OCOPA Y ACCESOS. PUERTO DE OCOPA (PERÚ)

### OCOPA BRIDGE AND ACCESS CONSTRUCTION: PUERTO DE OCOPA (PERU)

Zigor Gómez. Freyssinet España. Ingeniero Departamento Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [zigor\\_g@freysinnet-es.com](mailto:zigor_g@freysinnet-es.com)

Nicolás Trotin. Freyssinet España. Ingeniero Departamento Técnico. Ingeniero Industrial. [nicolas\\_t@freysinnet-es.com](mailto:nicolas_t@freysinnet-es.com)

Jesús Aguilar. Freyssinet Perú. Jefe de Producción. Ingeniero Civil. [jesus.aguilar@fta.pe](mailto:jesus.aguilar@fta.pe)

Patrick Ladret. Freyssinet España. Director Desarrollo Internacional. Ingeniero Civil. [pladret@freysinnet-es.com](mailto:pladret@freysinnet-es.com)

Pablo Vílchez. Freyssinet España. Director Técnico. Ingeniero Industrial. [pablo\\_v@freysinnet-es.com](mailto:pablo_v@freysinnet-es.com)

Péndolas, tesado, prefabricación.

Hangers, tensioning, prefabrication.

El puente Puerto de Ocopa cruza el río Perené y se ubica en el oriente peruano, en el distrito de Mazamari, provincia de Satipo, región Junín.

La estructura se emplaza en el eje de la carretera Mazamari-Puerto de Ocopa- Atalaya.

El puente es una estructura de tipo arco metálico de paso intermedio con 163 metros de luz de tablero y 140 metros de luz de arco, alcanzando el arco en su punto más alto una flecha de 23 metros sobre el tablero. El tablero mixto se compone de una losa de hormigón armado sobre un conjunto de vigas longitudinales y transversales, para formar una anchura total de unos 13 metros. El sistema de suspensión consta de 40 péndolas con 6 cordones autoprottegidos (galvanizado, cera y vaina individual de PEAD) de 150 mm<sup>2</sup> de sección todas ellas, a excepción de las 4 péndolas extremas que constan de 7 cordones.

Freyssinet participó en la construcción como especialista en la instalación de péndolas, suministrando, calculando e instalando las casi 4 toneladas de acero de tirantes que sustentan el puente. Los elementos utilizados pertenecen a la gama 7H1000 de Freyssinet, siendo el terminal superior una horquilla fija y el terminal inferior una horquilla regulable.

Las péndolas se prefabricaron completamente en taller antes de su traslado a obra. La instalación en obra se dividió en varias fases. La primera fase, una vez construido el arco, fue la conexión del pin de la horquilla fija superior mediante grúa. La segunda fase, consistía en la colocación de vigas longitudinales, transversales y conexión de pin en horquilla regulable.

Para el tesado de los anclajes en forma de horquilla se desarrolló un sistema de tesado. El tesado se realiza desde el tablero mediante un sistema formado por dos horquillas auxiliares, barras de pretensado y un sistema hidráulico. Este sistema no necesita conexión adicional a la estructura para su uso, ya que se conecta al pin de la horquilla regulable facilitando las operaciones.



Vista general del puente



Vista del puente durante los trabajos

## 99. RED LINE SOUTH. METRO DE DOHA (QATAR). ESTRUCTURAS PREFABRICADAS EJECUTADAS MEDIANTE DOVELAS Y MÉTODO FULL-SPAN

### RED LINE SOUTH. DOHA METRO (QATAR). SEGMENTAL AND FULL-SPAN PRECAST STRUCTURES

Jordi Revoltós Fort. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Jefe de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jrevoltos@sener.es](mailto:jrevoltos@sener.es)  
 Javier Antón Díaz. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [janton@sener.es](mailto:janton@sener.es)  
 Silvia Criado Catalina. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Ingeniera de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniera de Caminos. [scriado@sener.es](mailto:scriado@sener.es)  
 Juan Miguel Cereceda Boudet. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jmcereceda@sener.es](mailto:jmcereceda@sener.es)  
 Manuel Palomo Herrero. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [mpalomo@sener.es](mailto:mpalomo@sener.es)

Dovelas prefabricadas, full-span, sección abierta, metro, viga de lanzamiento.

*Precast segments, full-span, open cross-section, metro, launching gantry.*

La Red Line South del Metro de Doha (Qatar) cuenta con unos 6.500 metros de longitud y transcurre elevada prácticamente en su totalidad.

La mayor parte de la línea se ha construido mediante tableros prefabricados, bien para vía simple o para vía doble.

Entre las estructuras prefabricadas se han diseñado vanos full-span de 6,05 metros de ancho para vía simple con luces hasta 36 m; vanos isostáticos ejecutados mediante dovelas de 10,62 y 12,12 metros de ancho para doble vía con luces hasta 32 m y puentes continuos ejecutados por dovelas prefabricadas de hasta 4 vanos y 44,0 m de luz para doble vía.

En todos los casos, la sección transversal del tablero es abierta en U, de modo que los trenes circulan por su interior quedando los pasillos de evacuación al nivel de las puertas de los vagones. Se ha estudiado el comportamiento resistente de esta sección abierta, caracterizado por una torsión no uniforme y una importante flexión transversal donde la fatiga es claramente condicionante.

Los puentes continuos se construyen vano a vano de manera isostática con un pretensado de primera fase y posteriormente se les dota de continuidad con pretensado longitudinal de segunda fase. Por requerimientos de espacio para conducciones no ha sido posible el empleo de barras postesadas exteriores a la sección. Este hecho ha condicionado enormemente el diseño por los estrictos criterios tensionales, puesto que no se admitían tracciones en combinación característica.

En la construcción se emplearon simultáneamente tres vigas de lanzamiento (launching gantry). Estas estructuras auxiliares tienen la capacidad de izar las dovelas que lo conforman y posicionarlas con una precisión milimétrica. Además, dichas viga de lanzamiento son autopropulsadas de modo que una vez concluida la ejecución de un vano avanzan hasta la posición siguiente. El rendimiento medio de cada viga de lanzamiento fue de dos vanos por semana.

Las pilas son cuadradas, ataluzadas en ambas direcciones y se han construido in-situ. Los capiteles se han proyectado prefabricados, logrando de esta manera colocar cada capitel en cuestión de pocas horas. Los capiteles para secciones de doble vía son postesados.

Cabe destacar que el proyecto y la obra se han desarrollado en un tiempo inferior a dos años y medio.



Operación de izado de dovelas prefabricadas para el vano de 44 m. de luz



Viga de lanzamiento avanzando

## 100. VIADUCTO DE ALMONTE. DISEÑO DE DETALLE

### ALMONTE VIADUCT. DETAILED DESIGN

David Arribas Mazarracín. FCC Construcción, Departamento de Puentes I. Jefe de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [darribas@fcc.es](mailto:darribas@fcc.es)  
 Pablo Bernal Sahún. FCC Construcción, Departamento de Puentes I. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pbernal@fcc.es](mailto:pbernal@fcc.es)  
 José María Pérez Casas. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [perezcasas@gmail.com](mailto:perezcasas@gmail.com)  
 José Ignacio González Esteban. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [josei.gesteban@gmail.com](mailto:josei.gesteban@gmail.com)

Arco de hormigón, tirantes, control geométrico, pila provisional.

*Concrete arch, cables, geometry control, temporary pier.*

El viaducto de Almonte está situado cerca de Cáceres en el suroeste de España dentro de la línea de ferrocarril de Alta Velocidad Madrid-Extremadura. La línea cruza el embalse de Alcántara lo que hace necesario un puente record para pasar de una orilla a otra sin pilas intermedias. El puente tiene una longitud total de 996 m y en el vano



Vista general durante la construcción del tablero sobre el arco

principal tiene un arco de 384 m de luz. Se trata del mayor arco del mundo para puentes de ferrocarril y el tercer mayor arco del mundo dentro del ranking de arcos de hormigón tanto de carretera como de ferrocarril.

El propietario de la línea y por tanto del puente es ADIF y el puente ha sido diseñado por una UTE formada por Arenas y Asociados e IDOM. La construcción la ha realizado una UTE formada por FCC Construcción y la empresa portuguesa Conduril.

El arco está resuelto con unas formas especiales ya que en el arranque está compuesto por una sección doble compuesta por dos hexágonos huecos que van cambiando sus formas gradualmente así como aproximándose entre sí hasta fundirse en una sección única en un punto intermedio del arco y formar un octógono hueco.

Debido a lo complicado del proyecto fue necesario un trabajo de ingeniería adicional al desarrollado en proyecto, principalmente en los aspectos relacionados con el proceso constructivo. Este trabajo está englobado en el Proyecto de Detalle y ha sido desarrollado por los Servicios Técnicos de FCC.

Los trabajos pueden explicarse en dos grupos:

- Desarrollo de algunos detalles del puente definitivo, algunos ejemplos son:
  - Ajuste y desarrollo de las zapatas del arco a la situación real del terreno
  - Conexión entre la zona de doble sección a la zona de sección simple.
  - Conexión entre el tablero y el arco en la clave. En esta unión las fuerzas de frenado y arranque del puente tienen que ser transmitidas del tablero al arco.
  - Diseño del proceso constructivo:
  - Sistema de tirantes, incluyendo tipologías de cables, conexión de los tirantes a la estructura, montaje de tirantes.



Vista general durante la construcción del arco

- Pilono provisional.
- Control geométrico durante la construcción en voladizo.
- Sistema de instrumentación.
- Cierre del arco. Fue necesaria una estructura especial para bloquear ambos voladizos y evitar movimientos relativos.

## 101. PUEBLOS PREFABRICADOS EN EL METRO DE RIAD

### PRECAST DECKS IN RIYADH METRO

José Rafael Jiménez Aguilar. FCC Construcción S.A. Jefe Departamento de Puentes II. Ingeniero de Caminos. [rjimenez@fcc.es](mailto:rjimenez@fcc.es)  
 Álvaro Argany García. FCC Construcción S.A. Departamento Puentes II. Ingeniero de Caminos. [aargany@fcc.es](mailto:aargany@fcc.es)

Vigas prefabricadas, full span, dovelas prefabricadas, metro.

Precast beams, full span, precast segments, metro.

FCC fue seleccionado como ganador del contrato de construcción de las líneas 4, 5 y 6 del metro de Riad. El consorcio ganador, liderado por FCC, incluye a Alstom, Strukton, Samsung, Freyssinet Saudi Arabia, Setec, Atkins y Typsa.

Las altas temperaturas y la afección al tráfico son los principales condicionantes en la elección del sistema constructivo del metro elevado. Se han usado tres sistemas de prefabricación: dovelas prefabricadas montadas vano a vano, full span (lanzamiento de vanos completos) y vigas prefabricadas.

Son vanos isostáticos cuya luz varía entre 20 y 40 m, y el ancho del tablero es de 8,64 m para dos líneas de metro. Las vigas prefabricadas y sus losas han sido prefabricadas por DELTA. La sección transversal está formada por dos vigas prefabricadas unidas en el eje del tablero para obtener la forma de una sección cajón. Se ha dividido cada vano en dos vigas para reducir su ancho y su peso y así facilitar el transporte por la ciudad. La losa ha sido completamente prefabricada para reducir el volumen de hormigón colocado in situ. El rendimiento en montaje es de un vano al día y en fabricación, diez vigas por semana.

Las vigas prefabricadas tienen la ventaja de que se pueden colocar en cualquier orden y los equipos de colocación son sencillos y fáciles de conseguir:

- En el full span los vanos se colocan consecutivamente porque el vano que se va a colocar pasa sobre los vanos anteriores. En las dovelas prefabricadas, la cimbra avanza sobre el vano montado pre-



Montaje del tablero



Tablero antes unión losas

viamente. Un retraso en el hormigonado de una pila detiene el montaje y provoca un retraso en el montaje de los siguientes vanos. Las vigas prefabricadas permiten colocar vanos en cualquier lugar y en cualquier orden adaptándose a la disponibilidad de pilas finalizadas.

- En el "full span" y las dovelas prefabricadas se usa maquinaria muy especializada, las averías son complejas y la falta de recambios detiene el montaje. Las vigas prefabricadas necesitan grúas y camiones que son relativamente fáciles de reemplazar.

Las ventajas mostradas durante la ejecución de los tablero han incrementado el número de vanos previstos con vigas prefabricadas respecto a lo inicialmente planificado, pasando de los 6 km previstos a 11 km.

## 102. RED LINE SOUTH. METRO DE DOHA (QATAR). ESTRUCTURAS SINGULARES CONSTRUIDAS IN SITU DE ANCHO O CANTO VARIABLE

### RED LINE SOUTH. DOHA METRO (QATAR). COMPLEX CAST-IN-SITU STRUCTURES

Jordi Revoltós Fort. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Jefe de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jrevoltos@sener.es](mailto:jrevoltos@sener.es)  
 Javier Antón Díaz. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [janton@sener.es](mailto:janton@sener.es)  
 Silvia Criado Catalina. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Ingeniera de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [scriado@sener.es](mailto:scriado@sener.es)  
 Juan Miguel Cereceda Boudet. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jmcereceda@sener.es](mailto:jmcereceda@sener.es)  
 Manuel Palomo Herrero. SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [mpalomo@sener.es](mailto:mpalomo@sener.es)

Ancho variable, metro, sección abierta, canto variable, estructura evolutiva.

Variable width, metro, open section, variable depth, staged structure.

La Red Line South del Metro de Doha (Qatar) cuenta con unos 6.500 metros de longitud y transcurre elevada prácticamente en su totalidad.

La mayor parte de la línea se ha construido mediante tableros prefabricados. Debido a las particularidades tanto de la obra como del entorno en este proyecto han tenido cabida una serie de estructuras de carácter singular, construidas in-situ, bien por ser de ancho variable o bien por tener luces mayores que requerirían el uso de medios auxiliares más potentes a los empleados.

Los tableros de ancho variable siguen las formas de los tableros prefabricados: secciones abiertas en U donde los trenes circulan por su interior quedando los pasillos de evacuación al nivel de las puertas de los vagones. Se han diseñado dos puentes continuos de 3 vanos para alojar bifurcaciones de vía, de modo que el ancho varía desde 6,05 metros (vía simple) hasta 10,62 m (vía doble). El análisis se ha realizado empleando tanto modelos de emparrillados como de elementos finitos.

Los tableros de luces mayores a las admitidas por las secciones tipo prefabricadas han requerido secciones de canto variable. Puesto que la sección tipo de los prefabricados es en U, los tableros de canto variable mantienen esa forma exterior y descuelgan un cajón de canto variable. En los casos de vía simple (6,05 m de ancho), el cajón ocupa todo el ancho de la sección, dando lugar a una sección híbrida: sección abierta considerando el canto total y cajón cerrado de menor canto. Con estas secciones se ha llegado hasta 75 m de luz.

Sin embargo, en secciones de doble vía el cajón descuelga únicamente en el centro de la sección para aligerar tanto física como visualmente la solución. Se trata de una sección con un comportamiento resistente muy complejo, donde la participación de la rígida sección cajón y la flexible sección abierta en U varía a medida que aumenta y disminuye el canto. Con estas secciones se ha llegado hasta 60 m de luz.

El estudio ha requerido de diversos modelos para entender el fenómeno, desde simples modelos de barras hasta complejos modelos de elementos finitos tipo lámina.

En estas estructuras las fases de construcción condicionan significativamente el estado tensional final de la estructura, por lo que son fuertemente evolutivas. Además, era necesario que la viga de lanzamiento para la ejecución de vanos de dovelas pasara por encima de alguno de estos puentes.



Puente continuo de canto variable ejecutado in situ



Puente continuo de canto variable ejecutado in situ. Cimbrado de la fase central

### 103. VIADUCTO DE ALMONTE. PROCESO CONSTRUCTIVO

#### ALMONTE VIADUCT. CONSTRUCTION PROCESS

David Arribas Mazarracín. FCC Construcción, Departamento de Puentes I. Jefe de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [darribas@fcc.es](mailto:darribas@fcc.es)

Pedro Cavero de Pablo. FCC Construcción, Delegación de Transportes. Jefe de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pcavero@fcc.es](mailto:pcavero@fcc.es)

David Carnero Pérez. FCC Construcción, Departamento de Puentes I. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [dcarnero@fcc.es](mailto:dcarnero@fcc.es)  
Pablo Jiménez Guijarro. ADIF Alta Velocidad. Jefe de Área. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablojimenez@adif.es](mailto:pablojimenez@adif.es)

Alta velocidad, arco de hormigón, record del mundo.

High speed, concrete arch, world record.

El viaducto de Almonte está situado cerca de Cáceres en el suroeste de España dentro de la línea de ferrocarril de Alta Velocidad Madrid-Extremadura. El viaducto tiene 996 m de longitud y en el vano principal hay un arco inferior de hormigón de 384 m de luz. El arco es el más grande del mundo en arcos de ferrocarril y el tercero mayor del mundo dentro del ranking de arcos de hormigón teniendo en cuenta puentes de carretera.

El propietario de la línea y por tanto del puente es ADIF y el puente ha sido diseñado por una UTE formada Arenas y Asociados e IDOM. El contratista es una UTE formada por FCC y la empresa portuguesa Conduril.

El sistema constructivo del vano principal ha sido la ejecución del arco con dovelas en voladizo ejecutadas in situ con carros de avance y un sistema de atirantado auxiliar. El sistema de tirantes requiere unos pilonos auxiliares y unas zapatas de retenida donde transferir las cargas.

Los aspectos a destacar de la construcción han sido:

- Materiales:
  - Arco: se ha usado un hormigón autocompactante de alta resistencia (80 MPa).
  - Pilonos provisionales: varias chapas de estas piezas tienen una elevada resistencia (690 MPa).

- Construcción de la subestructura:
  - Anclajes al terreno en las zapatas de retenida del sistema de tirantes.
  - Detalles especiales en las pilas principales para el paso de tirantes.
  - Cimentaciones del arco.
- Construcción del tablero:
  - Tablero de hormigón postesado construido con una cimbra auto-lanzable superior.
  - Detalles especiales en las riostras del tablero para resolver las interferencias con la pata delantera de la cimbra.
- Montaje de los pilonos temporales:
  - Los pilonos son elementos de 500 Tn de peso cada uno.
  - Se ensamblaron en posición horizontal y se rotaron en pocas horas hasta su posición vertical definitiva.
- Construcción del arco:
  - Construcción con dos carros por cada lado del río ya que la sección transversal es doble en los arranques. En el tramo con sección única, cada pareja de carros se fusionaba en una sola para continuar la construcción por cada lado.
  - Secuencia constructiva: avance de carro, movimiento de los encofrados, tesado de cables, hormigonado...
  - Montaje de grúa torres sobre el arco de hasta 90 m de alto.
  - Operación de heavy-lifting para descender los carros del arco tras el cierre de este.



Montaje de la torre provisional



Vista general del arco tras retirada de carros

## 104. TREN INTERURBANO CIUDAD DE MÉXICO-TOLUCA, MÉXICO. TRAMO 1: DESDE COCHERAS EN ZINACANTEPEC HASTA TÚNEL EN PK 36

INTERCITY RAILWAY MÉXICO DF – TOLUCA (MÉXICO).  
SECTION 1 - FROM ZINACANTEPEC TO TUNNEL  
STATION 36

Jordi Revoltós Fort. SENER-EIPSA. Jefe de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jrevoltos@sener.es](mailto:jrevoltos@sener.es)  
Javier Carrero Martínez. SENER-EIPSA. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jcarrero@sener.es](mailto:jcarrero@sener.es)  
João Ribeiro. SENER. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero Civil. [joao.ribeiro@sener-engvia.pt](mailto:joao.ribeiro@sener-engvia.pt)  
Andrés Molina Escudero. SENER-EIPSA. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [amolina@sener.es](mailto:amolina@sener.es)

Vigas artesa, bow-string, diseño por capacidad, ferrocarril, estructura evolutiva.

*U shaped beams, bow-string, capacity design, railway, staged construction.*

El Tramo 1 del Tren Interurbano México-Toluca con una longitud de 37 km, de los que aproximadamente 32 km discurren sobre viaducto, cruza de oeste a este la localidad de Toluca en la que se ubican 4 estaciones elevadas.

La solución general elegida es la de vigas prefabricadas artesas con losa de compresión. Existen secciones para vía doble con ancho de 11,50 m, para vía única con 6,90 m y para vía múltiple con hasta 20,70 m. Se diseñan soluciones isostáticas con vanos de 27, 28, 30 y 32 m y soluciones continuas de 2 y 3 vanos para salvar luces mayores: 36 + 36 m, 33 + 44 + 33 m y 35 + 46 + 35 m.

Las soluciones isostáticas poseen vigas de 2,20 m de canto y losa de hormigón in-situ sobre prelosas prefabricadas en celosía con un bombeo del 1%. El pretensado está formado íntegramente por armadura pretesa en la viga.

Las soluciones continuas de 2 vanos poseen vigas de 2,20 m de canto constante y las de 3 vanos vigas de canto variable desde 3,00 m en pila hasta 2,20 m en centro de vano. La losa es análoga a la de las soluciones isostáticas. El pretensado de las vigas está formado por armadura pretesa y postesa ejecutado en planta de prefabricación. En obra se disponen barras de alta resistencia y tendones postesos en las juntas entre vigas y tendones postesos en la losa de compresión.

Las pilas poseen sección octogonal maciza con 1, 2 o 3 fustes y con diferentes dimensiones en función del tablero que reciben. Las cimentaciones son profundas.



Construcción soluciones prefabricadas



Modelo de cálculo Arco Bow-String

El esquema anti-sísmico empleado es el correspondiente al del diseño por capacidad, de tal manera que se estudia la formación de rótulas plásticas en la subestructura y se protegen mediante sobre-resistencia los elementos que rodean dichas rótulas.

Adicionalmente se diseña un arco bow-string metálico que cruza un paso de ferrocarril muy esviado en el pk 21. Dicho arco posee una luz de 100,00 m, una flecha de 20,00 m y un ancho total de 14,30 m. La estructura está formada por dos arcos inclinados que se arriostran mediante vigas transversales cerca de la clave. El cuelgo del tablero se materializa mediante tubos cerrados dispuestos según un esquema Warren. Tanto el arco como el tablero se diseñan con cajones cerrados. El tablero se conforma con vigas transversales en doble "T" sobre las que se hormigona una losa in-situ sobre prelosas en celosía.

## 105. INDUSTRIALIZACIÓN DE VIADUCTOS EN EL TREN INTERURBANO CIUDAD DE MÉXICO-TOLUCA, MÉXICO. TRAMO 3: PK 41+200 A 56+400

INDUSTRIALIZATION OF VIADUCTS FOR MEXICO DF'S  
INTERCITY RAILWAY TOLUCA (MEXICO) - SECTION 3  
- KM 41+200 TO KM 56+400

Jordi Revoltós Fort. SENER-EIPSA. Jefe de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jrevoltos@sener.es](mailto:jrevoltos@sener.es)  
José M.ª Pérez Casas. SENER-EIPSA. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jmaria.perez@sener.es](mailto:jmaria.perez@sener.es)  
Juliana Fernández Vega. SENER-EIPSA. Ingeniera de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniera Civil. [jfernandez@sener.es](mailto:jfernandez@sener.es)  
Cecilia M.ª Andrade Mendonça. SENER-EIPSA. Ingeniera de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniera Civil. [cecilia.mendonca@sener.es](mailto:cecilia.mendonca@sener.es)  
Diego Rubio Peiroten. SENER-EIPSA. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Dr. Ingeniero de Caminos. [diego.rubio@sener.es](mailto:diego.rubio@sener.es)

Prefabricación, ferrocarril, hormigón, dovelas, vigas.

*Precast, railway, concrete, segments, beams.*

El Tramo 3 del Tren Interurbano México-Toluca se desarrolla a lo largo de 17km mediante una sucesión de viaductos concatenados.

Se inicia en una zona de alto valor ecológico para posteriormente internarse en la Ciudad de México. En ambos casos, es imprescindible reducir al máximo las afecciones por lo que se optó, por una parte aprovechar el corredor generado por la autopista México-La Marquesa, por otra prefabricar el mayor número de elementos posibles.

La industrialización permite una optimización en los tiempos de ocupación de la zona de obra así como la independización de la eje-



Industrialización de elementos estructurales de hormigón

cución de estos elementos de otras incidencias propias de la ejecución en campo; por otra parte, la ejecución en planta de prefabricados permite un mejor control de calidad y uniformidad de acabados.

Adicionalmente a los elementos prefabricados habituales (vigas, prelosas e impostas), se lleva a cabo la industrialización de capiteles y fustes de pilas, para lo que ha sido preciso desarrollar soluciones específicas tanto para la conexión entre elementos como para su traslado y montaje en obra.

Las pilas a prefabricar son de sección octogonal hueca con dimensiones que oscilan entre los 5 y los 30 m de altura, llegando a fabricarse piezas de hasta 270 Tn de peso que son posteriormente trasladadas, volteadas y conectadas a la cimentación con medios y procedimientos diseñados "ex profeso" para esta obra.

La prefabricación de grandes elementos permite una importante reducción de los tiempos de montaje de cada columna, así como la simplificación de los elementos de conexión, al quedar limitados a la conexión zapata-pila y pila-capitel.

Para la conexión de los fustes a sus respectivas zapatas y capiteles se han empleado tanto uniones mediante barras pasivas embebidas en vainas rellenas de grout (columnas de hasta 20 m de altura), como conexiones postesadas para los fustes de mayor altura que alcanzan los 30 m.

En aquellas zonas donde las luces superan los 40 m, máxima viga prefabricada considerada en el proyecto, se ha recurrido a estructuras metálicas que permiten su ejecución en taller y posterior ensamblaje en obra.



Montaje en blanco de subestructura prefabricada

En los 4 últimos km del tramo, el trazado atraviesa la Barranca de la SEDENA, zona militar de difícil orografía donde el paso de maquinaria pesada resulta muy dificultoso, por lo que se ha recurrido a una solución de vanos isostáticos construidos mediante dovelas prefabricadas montadas con cimbra de lanzamiento (LG), de forma que el montaje del tablero se realiza desde la estructura ya ejecutada.

## 106. VIADUCTO SOBRE EL RÍO URUMEA (GIPUZKOA). NUEVA RED FERROVIARIA DEL PAÍS VASCO EN EL TRAMO URNIETA-HERNANI

### VIADUCT OVER THE RIVER URUMEA (GIPUZKOA). NEW BASQUE RAILWAY NETWORK IN THE STRETCH URNIETA-HERNANI

Jordi Revoltós Fort. SENER-EIPSA. Jefe de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jrevoltos@sener.es](mailto:jrevoltos@sener.es)

José Antonio Llombart Jaques. SENER-EIPSA. Consultor. Ingeniero de Caminos. [jallombart@sener.es](mailto:jallombart@sener.es)

Javier Carrero Martínez. SENER-EIPSA. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jcarrero@sener.es](mailto:jcarrero@sener.es)

Andrés Molina Escudero. SENER-EIPSA. Ingeniero de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [amolina@sener.es](mailto:amolina@sener.es)

Cimbra de avance, voladizos sucesivos, puente AVE, cajón pretensado, dovelas in-situ.

Moving scaffolding system, balance cantilever, high speed train, prestressed box girder, segments cast-in-situ.

El viaducto sobre el Río Urumea forma parte de la Nueva Red Ferroviaria del País Vasco, en el tramo Urnieta-Hernani. Se trata de una estructura de 798 m de longitud con vanos  $48,00 + 5 \times 59,20 + 4 \times 60 + 62,40 + 96,00 + 54,00$  m que se divide en dos partes con continuidad estructural. La primera, de 598 m, es un tablero ejecutado mediante cimbra de avance. La segunda, de 200 m, es un tablero de voladizos sucesivos.

El tablero ejecutado con cimbra de avance es una viga continua de hormigón pretensado de sección cajón de 4,20 m de canto constante y una anchura total de 14,00 m. La tabla inferior posee una anchura de 6,00 m y se disponen voladizos de 3,60 m. La sección se hormigona en 2 fases para simplificar el encofrado interior y reducir la carga sobre la cimbra.

El tablero ejecutado mediante avance en voladizo es una viga continua de hormigón pretensado de sección cajón de canto variable desde 6,70 m en pila hasta 4,20 m en centro de vano y una anchura total de 14,00 m. Las almas se disponen con inclinación constante de tal manera que la anchura de la tabla inferior es de 5,52 m en pila y 6,00 m en centro de vano. Los voladizos laterales son de 3,60 m. Las dovelas se ejecutan in-situ en una sola fase.

El pretensado del tablero ejecutado con cimbra está formado por 5 tendones con trazado parabólico de 31T16 por alma y 3 familias de tendones rectos de 15T16 que discurren por las tablas superior e inferior. Los tendones parabólicos de cada fase se solapan con los de la siguiente fase en regresamientos del alma.

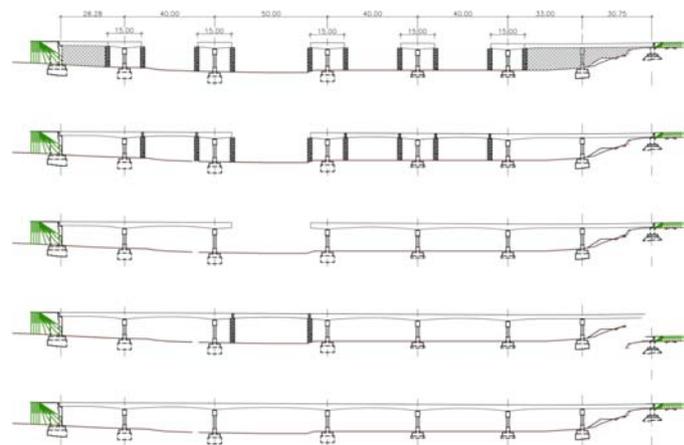
El pretensado del tablero de voladizos está formado por tendones 19T16 de avance en voladizo y por tendones de continuidad 15T16 en la tabla inferior.

Adicionalmente se disponen 4 tendones 31T16 en la dovela de cierre entre tableros que materializa la continuidad estructural.

Las pilas poseen sección rectangular hueca de 3,60 m de lado y con las caras laterales curvas. La cabeza de las pilas se ensancha transversalmente hasta los 6,00 m para albergar los apoyos. La altura máxima es de 22,00 m.



Vista aérea del Viaducto de Urumea



Secuencia de construcción



Construcción del Viaducto de Urumea: autocimbra y carro de avance



Carro de alas

Los apoyos dispuestos son tipo POT deslizantes en sentido longitudinal.

El tablero se fija longitudinalmente en el estribo 1 mediante 12 tendones 12T16 y se deja libre en el estribo 2, cuyo cuerpo alberga monolíticamente un paso inferior por el que discurre una carretera de dos carriles.

## 110. PUENTE DE JACA OESTE

### JACA OESTE BRIDGE

José Rafael Jiménez Aguilar. FCC Construcción S.A. Jefe Departamento de Puentes II. Ingeniero de Caminos. [rjimenez@fcc.es](mailto:rjimenez@fcc.es)  
 Álvaro Argany García. FCC Construcción S.A. Departamento Puentes II. Ingeniero de Caminos. [aarganyg@fcc.es](mailto:aarganyg@fcc.es)

Vigas prefabricadas, dintel prefabricado, carro de alas.

Precast beams, precast pier cap, side cantilever form traveler.

FCC Construcción ha proyectado y construido el puente de Jaca Oeste sobre el río Aragón. Está formado por 7 vanos continuos con luces entre 28,25 y 50 m formando un puente de 262 m de longitud total. La sección transversal tiene 11 m de ancho, un canto variable de 2 a 2,7 m y está formada por una U central de 6 de anchura y una losa hormigonada en segunda fase que completa el ancho de la sección.

Las pilas son de sección variable con tajamares y sus dinteles se han prefabricado a pie de obra. Las cimentaciones son directas.

Los apoyos son de neopreno-teflón en estribos y de neopreno en las pilas.

Inicialmente se ejecuta la U central, que en tres vanos se hormigona in situ sobre cimbra al suelo y en los restantes vanos se prefabrica a pie de obra para evitar los trabajos en altura incrementando la seguridad y la calidad. Se prefabrican con dos geometrías tipo para cada vano: la zona sobre pila y la zona central restante. Los tramos prefabricados se colocan sobre pilas provisionales y se unen entre sí hormigonando las juntas y tesando los tendones pasantes entre ellos. Todo el pretensado se tesa antes de comenzar con el hormigonado de la losa.

La losa superior se hormigona en dos fases. Primero los 6 m centrales sobre prelosas y después los voladizos laterales con la ayuda de un carro de alas.

## 111. PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO MIXTO SOBRE EL EMBALSE DE MULARROYA

### DETAIL DESIGN OF THE COMPOSITE STEEL AND CONCRETE VIADUCT OVER THE MULARROYA RESERVOIR

Miguel Ortega Cornejo. IDEAM, S.A. Director de Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [miguel.ortega@ideam.es](mailto:miguel.ortega@ideam.es)  
 Pedro Atanasio Utrilla. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pedro.atanasio@ideam.es](mailto:pedro.atanasio@ideam.es)  
 M.ª Reyes García Orduña. IDEAM, S.A. Ingeniera. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [reyes.garcia@ideam.es](mailto:reyes.garcia@ideam.es)

Juan Luis Mansilla Domínguez. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [Juanluis.mansilla@ideam.es](mailto:Juanluis.mansilla@ideam.es)  
 Narciso Pulido Asín. Sacyr Construcción. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [npulido@sacyr.com](mailto:npulido@sacyr.com)

Puente mixto, sección bijácena, doble acción mixta, fatiga, soldaduras.

Composite steel and concrete bridge, twin girder, double composite action, fatigue, welding.

El viaducto de Mularroya se proyecta en la N-11a a su paso sobre el embalse de Mularroya, mediante un viaducto mixto de carretera continuo con 8 vanos y trazado recto en planta, con una longitud total de 445 m, una distribución de vanos de  $37 + 6 \times 60 + 48$  m y 11,50 m de anchura.

Para la sección transversal del puente se ha optado por una sección bijácena en cajón estricto, con claras ventajas frente a las soluciones más convencionales en cajón mixto clásicas. La doble viga metálica se conecta a la losa superior con espesor variable entre 33 cm en el eje y 23 cm en los extremos, con bombeo transversal del 2%. En las zonas de negativos sobre pilas se materializa la doble acción mixta y en las zonas de positivos se disponen prelasas inferiores sin conexión con la

estructura metálica, para permitir que la sección sea accesible por el interior para inspección y mantenimiento, dando continuidad visual al hormigón inferior de negativos.

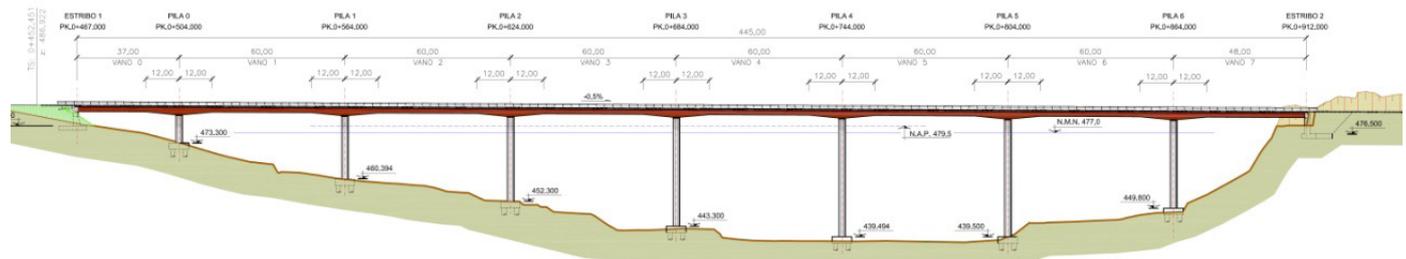
La estructura metálica consta por tanto de dos vigas separadas 6 m, con 1,75 m de canto constante en las zonas de centros de vanos, y una zona de canto variable hasta los 2,75 m en los 12,00 m adyacentes a ambos lados de las pilas con transición recta. Las esbelteces resultantes son 1/30 en el centro del vano, y 1/20 en pilas.

En la zona de canto variable se dispone hormigón de fondo conectado a la estructura metálica materializando la doble acción mixta, con un espesor comprendido entre 0,28 m (a 12,00 m de las pilas) y 0,65 m (en el eje de pila).

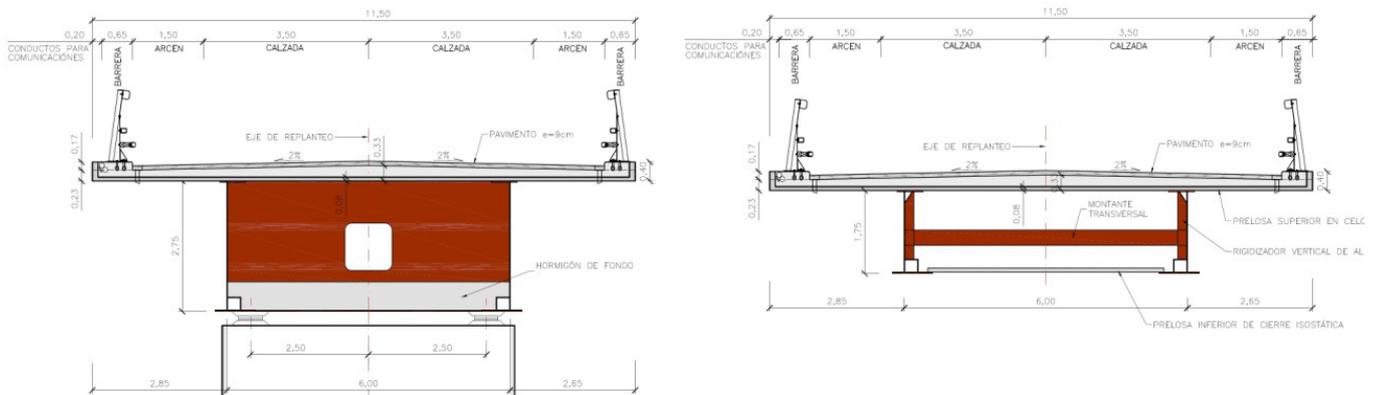
Las dos vigas se arriostran entre sí cada 6,00 m aprox. mediante marcos transversales metálicos, que simplifican mucho los detalles y permiten transportar a obra las dos vigas de forma independiente y ensamblarlas con uniones soldadas sencillas. Asimismo, las platabandas superiores se arriostran entre sí por medio de una celosía horizontal con cruces de san Andrés para resistir las acciones del viento durante las fases del montaje del tablero.

En el artículo se describirán los principales detalles de la estructura metálica, así como el proceso constructivo seguido para la ejecución.

En la actualidad se están ejecutando las pilas del viaducto y el taller metálico está en las primeras fases de ejecución de la estructura metálica, que se empezará a montar en obra a inicios de 2017, quedando el puente concluido en Semana Santa.



Alzado longitudinal del viaducto



Secciones transversales. Sección sobre pila (izquierda) y sección en centro de vano (derecha)

## 112. PROYECTO CONSTRUCTIVO DE PASARELA PEATONAL ENTRE EL AEROPUERTO DE VIGO-PEINADOR Y EL INSTITUTO FERIA DE VIGO (IFEVI)

DETAIL DESIGN OF THE FOOTBRIDGE BETWEEN VIGO PEINADOR'S AIRPORT AND THE FERIA INSTITUTE OF VIGO (IFEVI)

Miguel Ortega Cornejo. IDEAM, S.A. Director de Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [miguel.ortega@ideam.es](mailto:miguel.ortega@ideam.es)  
 Juan Luis Mansilla Domínguez. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [juanluis.mansilla@ideam.es](mailto:juanluis.mansilla@ideam.es)  
 Fu Lei Zhou Yang. IDEAM, S.A. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fulei.zhou@ideam.es](mailto:fulei.zhou@ideam.es)

Estructura metálica, pasarela, celosía tubular, nudos, soldadura.

Steel structure, footbridge, tubular truss, nodes, welding.

Con objeto de facilitar el acceso a los viandantes, reforzar la vertebración de las distintas dotaciones y mejorar la seguridad vial de la zona de conexión entre el aeropuerto y el Instituto Ferial de Vigo, se ha previsto la construcción de una pasarela metálica cubierta que unirá el aparcamiento P-1 del aeropuerto y las dársenas de aparcamiento de vehículos pesados del IFEVI. IDEAM ha realizado para COPASA el proyecto modificado de la estructura metálica del tablero de la pasarela y las pilas sobre las que se sustenta, optimizando las cuantías de acero y detalles de los nudos de la estructura.

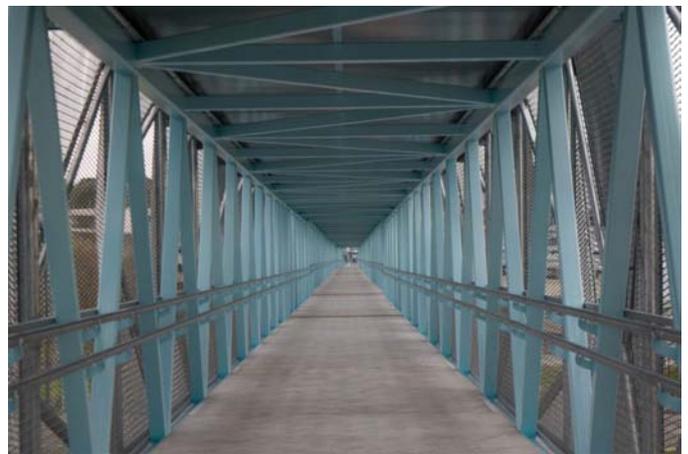
La longitud total de la pasarela metálica es de 281,31 m repartidos en 10 vanos de luces variables entre los 9,24 m y 40,00 m. El tablero de la pasarela queda definido por vanos conformados por dos celosías metálicas arriostradas entre sí por dos planos de arriostamiento superior e inferior. Cada una de las dos celosías o cuchillos de un vano la forman un cordón superior, un cordón inferior, montantes verticales y diagonales.

La sección transversal de la pasarela tiene forma rectangular, casi cuadrada. Las dimensiones interiores libres son de 2,715 metros en vertical y 2,68 metros en horizontal. Todos los elementos que forman los vanos son perfiles metálicos (S-275-JR) tubulares rectangulares o cuadrados.

Las conexiones previstas entre los diferentes elementos que forman las celosías metálicas, así como la conexión de los perfiles de arriostamiento superior e inferior, se realizan mediante soldaduras y todos los vanos se han fabricado completos en taller, evitando las soldaduras en obra.



Vista general de la pasarela



Vista desde el interior de la pasarela

Las pilas de apoyo del tablero se resuelven mediante dos tipologías básicas, en función del apoyo de dos o cuatro puntos del tablero: si únicamente apoyan dos puntos del tablero (cordón inferior de cada uno de los dos cuchillos de un vano) la pila tiene forma de Y, pero si apoyan cuatro puntos del tablero (cordón inferior de cada uno de los cuchillos para dos vanos isostáticos consecutivos) la pila tiene forma de tetrápodo invertido. Tanto los fustes como cada una de las ramas de los soportes, están formados por perfiles metálicos (S-355-J2+N).

En el artículo completo y en la presentación se describirán los principales detalles así como los criterios de cálculo de los nudos en los que confluyen perfiles tubulares de acuerdo al Eurocódigo EN 1993-1-8 y las implicaciones a nivel geométrico en el diseño.

## 113. DISEÑO DEL VIADUCTO 2 DE LA LÍNEA DE TREN INTERURBANO MÉXICO-TOLUCA

DESIGN OF THE VIADUCT 2 IN THE RAILWAY MÉXICO-TOLUCA

Francisco Millanes Mato. IDEAM, S.A. Presidente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [francisco.millanes@ideam.es](mailto:francisco.millanes@ideam.es)  
 Luis Matute Rubio. IDEAM, S.A. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [luis.matute@ideam.es](mailto:luis.matute@ideam.es)  
 Jesús Martín Suárez. IDEAM, S.A. Director de Asistencias Técnicas. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jesus.martin@ideam.es](mailto:jesus.martin@ideam.es)  
 Pablo Solera Pérez. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablo.solera@ideam.es](mailto:pablo.solera@ideam.es)  
 Carlos Gordo Monsó. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [carlos.gordo@ideam.es](mailto:carlos.gordo@ideam.es)  
 David Alcañiz Jiménez. IDEAM, S.A. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [carlos.alcañiz@ideam.es](mailto:carlos.alcañiz@ideam.es)  
 Jorge Miguel Montero Borja. IDEAM, S.A. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jorgemiguel.montero@ideam.es](mailto:jorgemiguel.montero@ideam.es)

Autocimbra, sismo, amortiguadores, punto fijo.

Mobile Scaffolding System, seism, dampers, fixed point.

El Viaducto 2 de la línea de tren interurbano México-Toluca es la actuación estructural de mayor relevancia dentro del proyecto de esta nueva línea férrea. El viaducto tiene una longitud total de 3.865,40 metros, dividida en 5 tramos continuos con unas longitudes entre 670 y



Amortiguadores sísmicos semejantes a los que se dispondrán en el Viaducto 2

850 metros. La luz del vano tipo para todos los tramos es de 55 m, siendo los vanos extremos de tramo de 44 metros.

El tablero consta de una sección transversal en forma de cajón de hormigón pretensado de 3,80 metros de canto constante en toda la longitud y un ancho de 11,5 metros, lo que permite acoger dos vías férreas.

La construcción del tablero se realiza mediante una cimbra auto-lanzable, lo cual convierte al Viaducto 2 en el primer puente de México construido de esta manera. Dada la gran longitud del viaducto, para disminuir el plazo de construcción, se emplean 3 cimbras que parten, respectivamente, del estribo 1, del estribo 2, y de un punto intermedio ubicado en una columna que sirve de junta entre tramos de tablero.

El diseño del viaducto viene claramente condicionado por la acción sísmica, pues está situado en una zona de alta sismicidad, con una aceleración en meseta de 0,77 g. La concepción antisísmica del viaducto es, en consecuencia, uno de sus aspectos más relevantes.

Para resistir el sismo longitudinal, se han diseñado un punto fijo para cada tramo de tablero formado por unos amortiguadores sísmicos (fig. 1) y unos neoprenos zunchados que permiten el recentrado del tablero. Dichos puntos fijos se sitúan en los estribos, para los tramos de tablero extremo, y en pilas en forma de delta, para los tramos intermedios.

Dada la imposibilidad de disponer en obra a tiempo los amortiguadores, en fase constructiva se emplea como elemento provisional de fijación únicamente los neoprenos de recentrado, para las cimbras que parten de los estribos. Para la columna de arranque de la cimbra intermedia, al no coincidir ésta con un punto fijo definitivo, se ha tenido que recurrir a un atirantamiento provisional a fin de estabilizarla.

El sismo transversal se resiste por medio de unos topes transversales ubicados en todas las pilas del viaducto. Los topes se han materializado mediante unas "orejetas", situadas a ambos lados de la columna, que se ejecutan en segunda fase, para no dificultar el paso de la cimbra y no disminuir la velocidad de construcción del tablero.

## 116. PUENTE MIXTO SOBRE EL RÍO GUADALIMAR

### COMPOSITE BRIDGE OVER GUADALIMAR RIVER

José María Lorenzo Romero. TYPESA. Jefe Sección Departamento Estructuras. Ingeniero de Caminos. [jmlorenzo@typsa.es](mailto:jmlorenzo@typsa.es)

Guillermo Lorente Perchín. DRAGADOS SA. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos. [glorentep@dragados.com](mailto:glorentep@dragados.com)

Juan Jesús Álvarez Andrés. DRAGADOS SA. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos. [jjalvarez@dragados.com](mailto:jjalvarez@dragados.com)

Eduardo Torralba Bolzano. TYPESA. Departamento Estructuras. Ingeniero de Caminos. [etorralba@typsa.es](mailto:etorralba@typsa.es)

José Luis Sánchez Jiménez. TYPESA. Director Departamento Estructuras. Ingeniero de Caminos. [jsanchez@typsa.es](mailto:jsanchez@typsa.es)

Bijácena metálico, doble acción mixta, cajón estricto, Guadalimar, A32.

Two-I steel girder layout, double concrete composite collaboration, tight box section, Guadalimar, A32.

En las proximidades de Linares, dentro del tramo Linares-Ibros de la autovía A-32, se encuentra el viaducto del Guadalimar. Sus dos tableros mixtos continuos gemelos, inmersos en una alineación curva en planta, con radio 1.600 m, y pendiente -1,85% en alzado, tienen 13,70 m de ancho y 4 vanos de luces 65-100-75-45 m.

Buscando salvar el cauce del Guadalimar con la menor afección, tanto en construcción como en servicio, se encajó una estructura con un vano principal de 100 m, resuelto mediante una solución mixta, que se adapta perfectamente a las necesidades planteadas.

La sección de cada tablero es de tipo bijácena, con doble acción mixta en cajón estricto en zona de pilas. El hormigón de fondo, tipo HA-50, está formado por prelosas de 6 cm de espesor más 29 cm de losa in situ, optimizando así la cuantía de acero estructural.

El tablero presenta variación parabólica de canto en los tres primeros vanos, con canto de viga metálica 6,15 m sobre pilas 1 y 2, y 2,65 m en centro del vano principal y zonas laterales de canto constante. La sección se completa con una losa superior de hormigón, con espesor in situ variable entre 12,5 y 27,5 cm ejecutado sobre prelosas colaborantes de 7,5 cm de canto. Para completar el funcionamiento resistente de la sección se colocan diafragmas transversales entre las vigas cada 7,50 m aproximadamente.

Las pilas, cimentadas mediante encepados de pilotes de diámetro 1,5 m, son de fuste único con sección en cajón aligerado y anchura variable en altura, con capitel en cabeza para poder recoger los dos apoyos, separados 6,70 m, coincidiendo con el alma de las vigas. En longitudinal las pilas tienen una dimensión constante de 2,20 m.

Los estribos son cargaderos pilotados sobre relleno de suelo reforzado. Los pilotes, de 0,80 m de diámetro se han dispuesto al trespilado en dos filas.

El montaje del tablero se realizó mediante grúas, izando tramos formados con las dos vigas y los arriostamientos correspondientes. Estos tramos se colocaron sobre apeos provisionales, avanzándose hacia el río por ambas márgenes. En P1 y P2 se dejaron voladizos de 15 m hacia el río sobre los que se apoyó el tramo central de 70 m, izado también con grúas. Los apeos se mantuvieron durante el hormigonado de la losa, permitiendo optimizar la cuantía de acero.



Puente de Guadalimar durante la construcción



Puente de Guadalimar

## 118. INNOVADORAS CIMBRAS AUTOLANZABLES DE GRANDES DIMENSIONES

### OVERCOMING THE CHALLENGES OF MULTI-SPAN VIADUCTS CONSTRUCTION

Pedro Carmo Pacheco. BERD. CEO. Profesor. [brigitte.rouquet@berd.eu](mailto:brigitte.rouquet@berd.eu)  
 Hugo Soares Coelho. BERD. Director Departamento de Ingeniería y Producción. [hugo.coelho@berd.eu](mailto:hugo.coelho@berd.eu)

Autocimbra, OPS, M1.

MSS, OPS, M1.

En las últimas décadas ganó definición una gama crítica de vanos (comprendida entre 70 y 100 metros de longitud) para viaductos de hormigón con múltiples vanos. Los métodos constructivos frecuentemente adoptados para este tipo de viaductos son 1) voladizos sucesivos hormigonados in situ; 2) voladizos sucesivos con segmentos prefabricados; 3) prefabricado de vano completo. El primero es un método con baja productividad, con consumos medianos de materiales y baja inversión en equipo. El segundo es un método de productividad mediana, con altos consumos de materiales e inversión mediana en equipo. El tercero es un método de alta productividad, con consumos de materiales medianos a altos y con una alta inversión en equipo e instalaciones de obra. Publicaciones de diferentes autores identifican esta gama como "crítica" porque el número de puentes o viaductos de múltiples vanos construidos con esta gama de vanos es relativamente bajo cuando comparado con otras gamas de vanos. Con los desarrollos técnicos recientes, configurase como posible una 4ª alternativa para algunos tipos de puentes: tablero hormigonado in situ, vano a vano. En esta presentación sus características y limitaciones serán presentadas, considerando los desafíos técnicos implicados.

En la última década, se conoce una plétora de publicaciones discutiendo los principales desafíos técnicos de la construcción hormigonada in situ, vano a vano en la gama crítica. Las conclusiones indican que este método puede ser el más eficiente en términos de consumos de materiales (si el equipo no condiciona el diseño del puente). Aun ahí hay dudas técnicas como 1) cargas verticales y horizontales transmitidas al puente debidas al método constructivo; 2) estabilidad del equipo con fuerzas del viento en fase constructiva; 3) nivel de deformaciones del equipo y 4) nivel de productividad.



M1-90-S de BERD, autocimbra para vanos de 90 metros



M1-90-S de BERD en operación en Turquía

En esta presentación, se discuten posibles formas de superar los desafíos técnicos arriba citados. Será analizado el efecto estructural del Sistema de Pretensado Orgánico (OPS) en la reducción de las deformaciones y, indirectamente, en la reducción de las cargas verticales y horizontales en fase constructiva. Se dará un enfoque a los estudios de la acción del viento, incluyendo tests del equipo en túnel de viento. Finalmente, se discutirá un conjunto de posibles medidas para incremento de productividad.

Finalmente, se presenta una aplicación real de construcción in situ de un viaducto con múltiples vanos de 90 metros en Turquía. El puente y el método constructivo son caracterizados y los principales aspectos estructurales de la interacción puente-equipo son abordados.

## 119. AMPLIACIÓN Y REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DE ACCESO SUR A LOS PUENTES SOBRE EL RÍO MARIBYRNONG SOBRE UN ANTIGUO VERTEDERO

### STRENGTHENING AND WIDENING OF THE SOUTHERN APPROACH STRUCTURE TO THE MARIBYRNONG RIVER BRIDGES OVER A FORMER INDUSTRIAL WASTE LAND FILL

Guillermo Muñoz-Cobo Cique. Arup. Senior Civil Structures Engineer. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[guillermo.munoz-cobo@arup.com](mailto:guillermo.munoz-cobo@arup.com)

Scott Taylor. SMEC. Team Leader-Structures. Doctor of Philosophy-Engineering. [scott.taylor@smec.com](mailto:scott.taylor@smec.com)

Samir Hanna. SMEC. Senior Structural Engineer. Doctor of Philosophy-Engineering. [Samir.Hanna@smec.com](mailto:Samir.Hanna@smec.com)

Matthew Dinnison. Fulton Hogan. Senior Project Manager. Masters Engineering Science-Project Management. [matthew.dinnison@fultonhogan.com.au](mailto:matthew.dinnison@fultonhogan.com.au)  
 Samuel Thornton. Fulton Hogan. Senior Project Engineer. Bachelor Degree-Civil Engineering. [samuel.thornton@fultonhogan.com.au](mailto:samuel.thornton@fultonhogan.com.au)

Losa in situ, postesado, refuerzo, pilote, vertedero.

*In situ slab, post tensioning, strengthening, pile, waste fill.*

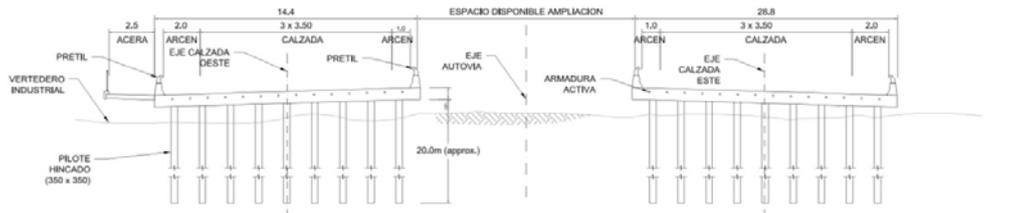
El proyecto de mejora de la autovía M80 Ring Road entre Sunshine Avenue y Calder Freeway incluye dos estructuras gemelas sobre el antiguo vertedero industrial de Sunshine, ubicado en el extremo sur de los puentes sobre el río Maribyrnong, en Victoria, Australia. Ambas

estructuras consisten en losas in situ de 0,65 m de canto postesadas de 120 m de longitud, apoyadas sobre pilotes hincados los cuales descansan en la base del vertedero.

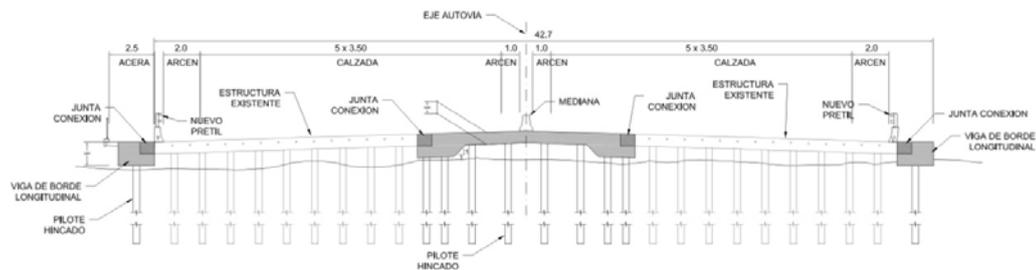
El objetivo último del proyecto es ampliar dos carriles adicionales por sentido, así como proporcionar el nivel de seguridad exigido por la vigente normativa australiana. Esto se consigue mediante la unión de las dos estructuras existentes con una estructura con misma tipología, esto es, una losa in situ postesada y sustentada en pilotes hincados.

El diseño es llevado a cabo por la unión temporal de Arup, Flint & Neill y SMEC, y ejecutada por Fulton Hogan.

El hecho de encontrarse las estructuras sobre un antiguo vertedero presenta importantes retos tanto en la fase de diseño como en su futura construcción. En particular, la subestructura ha de ser diseñada de acuerdo a las características del material sobre el que descansa y la reducida estabilidad lateral proporcionada por el material de relleno.

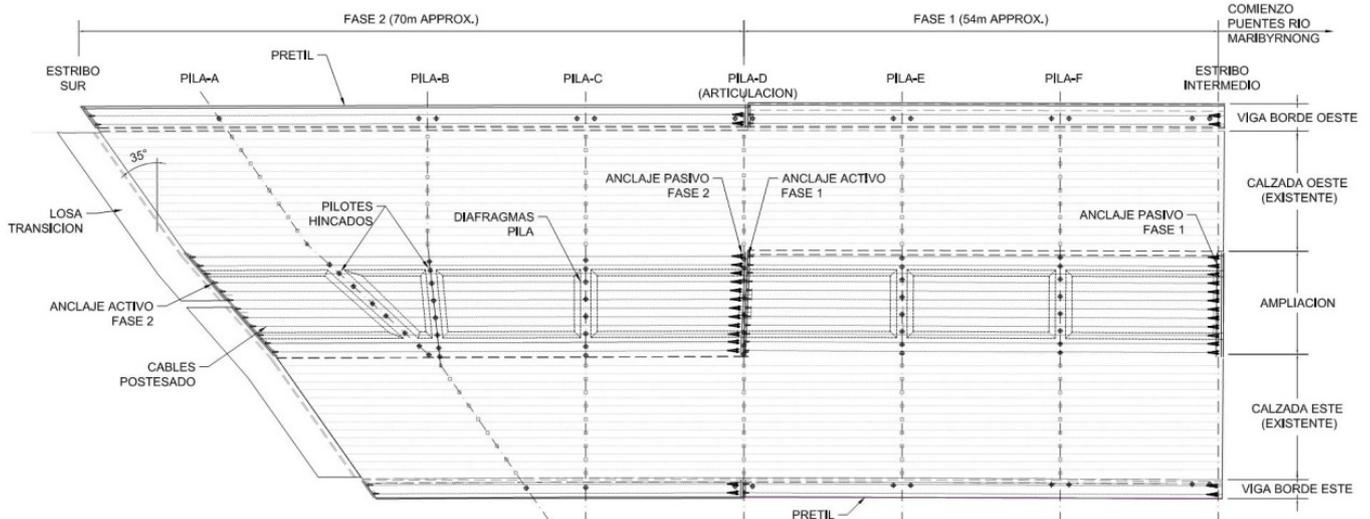


SECCION TIPO - SITUACION ORIGINAL



SECCION TIPO - SITUACION FINAL

Sección tipo: situación original y final



Planta general estructura

no. Así mismo, el diseño ha de tener en cuenta las potenciales obstrucciones que pueden encontrarse en obra. Ha sido también necesario tener cuenta ciertos aspectos medioambientales en lo relativo al tratamiento de las emisiones de gas y lixiviados en el vertedero.

El nuevo tablero ha sido diseñado para minimizar la necesidad de refuerzo de los puentes existentes, dada la dificultad de acceso bajo los mismos. Esto se consigue mediante el uso de elementos sensiblemente más rígidos directamente adyacentes a la estructura existente, denominados vigas de borde, alterando de esta manera el esquema estructural original. Cabe destacar la dificultad añadida por el acusado esvaje que presentan los puentes en su extremo sur.

Por último, una vez ejecutada la nueva estructura será conectada a las existentes mediante sendas juntas de hormigonado longitudinales. Esto ha requerido un cuidadoso diseño de la junta, puesto que esta se hormigona con los puentes existentes abiertos al tráfico. Para garantizar la máxima calidad, se pretende tomar medidas de las vibraciones bajo situaciones de tráfico representativas de manera que la vibración durante el hormigonado de la junta sea limitada a niveles satisfactorios.

## 120. PROCESO CONSTRUCTIVO Y ESTRUCTURAS TEMPORALES DEL PUENTE DE MERSEY

### MERSEY BRIDGE CONSTRUCTION SEQUENCE AND TEMPORARY WORKS

Pablo Bernal Sahún. FCC Construcción. Ingeniero Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pbernals@fcc.es](mailto:pbernals@fcc.es)  
David Arribas Mazarracín. FCC Construcción. Jefe Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [darribas@fcc.es](mailto:darribas@fcc.es)  
José Romo Martín. FHECOR. Consejero Delegado. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jrm@fhcor.es](mailto:jrm@fhcor.es)  
Javier Andueza Olmedo. FHECOR. Director del Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jao@fhcor.es](mailto:jao@fhcor.es)

Puente atirantado, voladizos sucesivos, estructuras auxiliares, hormigón pretensado, proceso constructivo.

*Cable stayed bridge, balance cantilever, temporary works, prestressed concrete, construction sequence.*

El puente de Mersey está formado por dos viaductos de acceso de 706 y 544 m de longitud y un tramo principal atirantado de 998 m de longitud. El puente ha sido proyectado por una UTE formada por Fhecor, Flint and Neill, Eptisa y URS y construido por una UTE de FCC Construcción, Samsung C&T y Kier.

El tramo principal atirantado tiene cuatro vanos con una luz máxima de 318m construidos mediante avance en voladizo arrancando en tres pilonos de alturas distintas. Los viaductos de acceso tienen 70 m de luz máxima y se construyen usando dos cimbras autoportantes comenzando por los estribos.

El tablero del puente es continuo alcanzando una longitud total de 2.248 m entre juntas de dilatación. Durante la ejecución, los viaductos de acceso se encuentran inicialmente fijados en los estribos hasta que alcanzan el tramo atirantado. Entonces esta fijación se pasa a los pilonos laterales hasta que pasa al pilono central en la configuración final de la estructura.

La sección transversal del tablero está formada por un cajón central de 16,84 m de ancho y 4,60 m de canto y dos voladizos laterales dotados de costillas hasta alcanzar un ancho total tipo de 33,95 m. El tablero se ejecuta con hormigón pretensado en las dos direcciones transversal y longitudinal.

Para la construcción de este puente han sido necesarias multitud de obras auxiliares desde recintos de tablestacas para la ejecución de



Viaducto norte de aproximación en construcción



Puente principal atirantado en construcción

las cimentaciones en el lecho del río, fijaciones longitudinales del tablero, empotramientos provisionales tablero pilono, pilas provisionales para garantizar la estabilidad de los tramos ejecutados en voladizo y arriostramientos provisionales en las dovelas de cierre.

Los servicios técnicos de FCC se han encargado del diseño de estas estructuras auxiliares ligadas al proceso constructivo lo que ha exigido una estrecha colaboración con los proyectistas del puente.

Entre las principales estructuras auxiliares cabe destacar dos pilas provisionales que se han empleado para garantizar la estabilidad de los tramos norte y sur ejecutados en voladizo bajo cargas descompensadas como el avance de carro o el hormigonado de la dovela, el viento o la caída accidental del carro de hormigonado. Cada pila se ha cimentado mediante 36 pilotes hincados de sección circular de acero, con capacidad para trabajar en tracción y compresión, conectados a un encepado metálico construido sobre el nivel máximo de agua en el río. Todos los elementos se han diseñado para ser retirados debido a las exigencias medioambientales del proyecto.

## 121. MONTAJE DE UN PUENTE ARCO SOBRE EL RÍO VÍSTULA EN GDANSK, POLONIA

### ERECTION OF AN ARCH BRIDGE OVER VISTULA RIVER IN GDANSK, POLAND

Conchita Lucas Serrano. DRAGADOS SA. Dirección Técnica. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [clucass@dragados.com](mailto:clucass@dragados.com)  
Juan Jesús Álvarez Andrés. DRAGADOS SA. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjalvarez@dragados.com](mailto:jjalvarez@dragados.com)  
Luis Peset González. DRAGADOS SA. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [lpeset@dragados.com](mailto:lpeset@dragados.com)

Arco metálico, Vístula, transporte fluvial, montaje en pontona, péndolas.

*Steel arch, Vistula, river transport, assembly on barge, hangers.*

El puente sobre el río Vístula en Gdansk, Polonia, es un puente para tráfico ferroviario, con un único vano, constituido por un arco de tablero inferior de 124 m de luz. Tanto el tablero como el arco son metálicos y su sección transversal está formada por tres vigas cajón, lo que da lugar a tres planos de péndolas.

Los estribos son cerrados y cimentados mediante pilotes. El tablero se apoya en cada estribo mediante 3 POTs, situados bajo cada una de las vigas cajón que conforman el tablero.

Los condicionantes para el montaje de la estructura eran muy estrictos, pues no se podía trabajar en el río entre el 1 de enero y el 1 de junio por ser el periodo reproductivo de los peces, ni tampoco entre el 1 de marzo y el 31 de agosto ya que había que respetar la nidificación de las aves. Se decidió, por tanto, cambiar el sistema constructivo previsto, que era un lanzamiento desde uno de los lados, haciendo todo el montaje sobre la pontona que se había encargado del transporte.



*Transporte fluvial del arco pre-montado*



*Colocación del arco*

En los talleres metálicos, el arco se preensambló sobre la pontona y se llevó hasta la obra remontando el río. Una vez en el muelle de la obra, el arco se terminó de montar sobre la plataforma flotante, y todavía apeado, se colocó sobre unas torres de pequeña altura. La estructura se trasladó después, sobre la misma barcaza, a su ubicación definitiva y se elevó hasta su cota final con la ayuda de dos pontonas auxiliares.

Una vez llegado a la ubicación definitiva, se descendió el tablero hasta dejarlo apoyado en los POTs que estaban colocados sobre los estribos del puente, y finalmente se procedió a instalar las péndolas.

## 122. PUENTES DE DOVELAS PREFABRICADAS EN EL PROYECTO DE VIADUCTOS DEL METRO DE RIAD. LÍNEAS 1 & 2

### *PRECAST SEGMENTAL BRIDGES IN RIYADH METRO PROJECT - LINES 1 & 2*

*Pablo Benedetto Marengo. AECOM. Madrid Transportation Design Center. Ingeniero Civil. [pablo.benedetto@aecom.com](mailto:pablo.benedetto@aecom.com)*

*Fernando Martínez García. AECOM. Madrid Transportation Design Center. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fernando.martinez@aecom.com](mailto:fernando.martinez@aecom.com)*

*Diego González Pascual. AECOM. Madrid Transportation Design Center. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [diego.gonzalez@aecom.com](mailto:diego.gonzalez@aecom.com)*

*Ángel Álvarez Fernández. AECOM. Madrid Transportation Design Center. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [angel.alvarez@aecom.com](mailto:angel.alvarez@aecom.com)*

Metro elevado, dovelas prefabricadas, diseño/construcción.

*Elevated Metro, segmental bridges, design/construction.*

El proyecto del metro de Riyadh es un proyecto de Diseño y Construcción en Arabia Saudí que comprende la construcción del primer sistema urbano de Metro Ligero elevado en la ciudad, compuesto por 6 líneas. El consorcio internacional encargado de la construcción de las líneas 1 y 2 ha contratado a AECOM como proyectista líder para las estructuras elevadas.

Las líneas 1 y 2 comprenden 21 km de viaductos construidos por dovelas prefabricadas. El número de dovelas supera los 6.000 elementos, con longitud variable entre 2,00 y 3,80 m, las cuales dan cabida principalmente a un sistema de doble vía, pero incluyen también simples y triples vías, así como plataformas para las estaciones, en algunos sectores.

Las dovelas se ejecutan con el sistema de "célula de prefabricación", en el que el tape dorsal es ocupado por la dovela hormigonada anteriormente. La unión de las dovelas se materializa tras el izado mediante resina epoxi más barras de pretensado auxiliares, antes del pretensado definitivo.

Las longitudes de los vanos van desde 21 m en el caso de estaciones elevadas hasta 70 m en los vanos más largos, en algunos casos con radios muy ajustados (de hasta tan solo 100 m). Estos radios tan reducidos producen esfuerzos transversales muy importantes en la subestructura debido a la interacción vía-tablero (acentuado por el hecho de ser vía en placa).

Para longitudes menores de 38 m se utiliza el método de erección vano a vano, usando vigas lanzadoras para la colocación de las dovelas; y cuando los vanos son mayores (hasta 70 m), el método a utilizar es el de voladizos sucesivos. Para los vanos de hasta 38 m de luz se ha utilizado una combinación de pretensado exterior e interior para aprovechar las ventajas de ambos sistemas.

En cuanto a la subestructura, el proyecto consta de 600 pilas de varios tipos (pilas convencionales, pilas en ménsula, pilas-martillo y



Recreación mediante foto-realismo del viaducto una vez concluido



Erección de los vanos mediante viga de lanzamiento

pilas-pórtico) ejecutadas “in situ” y cimentadas en su mayoría mediante monopilotes de gran diámetro.

El Proyecto tiene un muy ajustado cronograma de diseño y construcción, empezando en el 2014 y estando actualmente en fase de construcción. Por otra parte, consideraciones estéticas han sido un factor determinante en este proyecto, lo que ha repercutido en la adopción de formas inusuales para la superestructura y subestructura. Todo ello, ha incrementado el nivel de complejidad en el diseño y la construcción.

Por último, el proyecto ha sido elaborado bajo la plataforma BIM por pedido del cliente.

## 128. CONCEPCIÓN GENERAL Y PROYECTO DEL PUENTE DEL MERSEY

### MERSEY BRIDGE'S CONCEPTUAL AND DETAILED DESIGN

José Romo Martín. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. CEO-Consejero Delegado. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jrm@fhecor.es](mailto:jrm@fhecor.es)

Javier Andueza Olmedo. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Director Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jao@fhecor.es](mailto:jao@fhecor.es)

Pablo Bernal Sahún. FCC Construcción. Ingeniero Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pbernals@fcc.es](mailto:pbernals@fcc.es)  
David Arribas Mazarracín. FCC Construcción. Jefe Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [darribas@fcc.es](mailto:darribas@fcc.es)

Puente atirantado, diseño conceptual, proyecto de construcción.

Cable stayed bridge, conceptual design, detailed design.

El puente de Mersey es una estructura de 2.248 m entre juntas de dilatación, de los cuales los casi 1.000 m centrales cruzan el cauce del río Mersey con una solución atirantada singular de cuatro vanos.

El puente ha sido proyectado por una UTE formada por Fhecor, Flint and Neill, Eptisa y URS y construido por una UTE de FCC Construcción, Samsung C&T y Kier.

El río Mersey, presenta dos canales de desagüe principales en las zonas más próximas a las orillas, condicionando la posición de las pilas extremas de la estructura, resultando unos vanos laterales de 181 y 205 m. La posición de la pila central, también se sitúa en una zona central delimitada por cuestiones medioambientales. Como consecuencia de ello, la estructura principal está formada por 4 vanos de luces: 181, 294, 318 y 205 m.

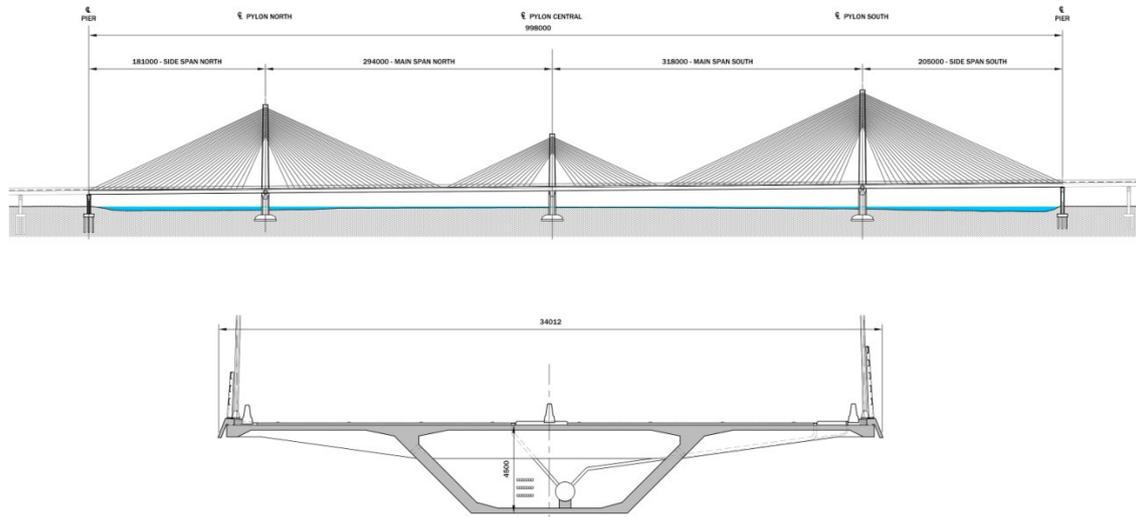
El puente tiene dos vanos principales consecutivos, lo que implica que no existe un sistema de retenida clásico, que controle la deformación en cabeza de la pila central frente a cargas asimétricas. Por otra parte, los vanos laterales de compensación tienen una luz superior al 50% de la luz de los vanos principales, lo que implica que para conseguir la compensación de los momentos en las pilas laterales debidos al peso propio de la estructura sea necesario llegar con los tirantes que salen de las pilas laterales hasta una posición más allá del centro de la luz de los vanos principales.

Durante la fase inicial de concepción de la estructura, se estudiaron diversas configuraciones estructurales, para conseguir la necesaria rigidez del sistema. La solución finalmente elegida presenta una pila central de una altura menor que las dos pilas laterales, junto con una conexión monolítica entre pila central y tablero, que si bien atrae momentos importantes en la cimentación de esta pila central debidos a la sobrecarga excéntrica, permite conseguir la rigidez buscada.

La sección es constante a lo largo de todo el puente, incluyendo los tramos atirantados y los dos viaductos de acceso. La sección tiene 34,00 m de ancho, y se resuelve con un cajón único de hormigón, de 4,60 m de canto, que permite tener la rigidez a torsión suficiente para poder salvar la luz principal del puente con un sistema de sustentación central y al mismo tiempo resolver los viaductos de acceso, dando una continuidad estructural que al mismo tiempo proporciona también una alta calidad formal al puente.



Imagen virtual del puente de Mersey



Alzado y sección del puente del Mersey

### 133. ADECUACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL NUEVO PUENTE DE PUMAREJO EN BARRANQUILLA, COLOMBIA

#### MODIFICATION CONSTRUCTION SEQUENCE CABLE STAYED BRIDGE OF THE NEW PUMAREJO BRIDGE IN BARRANQUILLA, COLOMBIA

Rüdiger Spengler Spengler. Sacyr Construcción. Coordinación Diseño Estructural. Ingeniero de Caminos. [rspengler@sacyr.com](mailto:rspengler@sacyr.com)  
 David Ordín Barrabes. Sacyr Construcción. Jefe Oficina Técnica Obra. Ingeniero Industrial. [dordin@sacyr.com](mailto:dordin@sacyr.com)  
 Juan Pablo Durán Ruiz. Sacyr Construcción. Director de Proyecto. Ingeniero de Caminos. [jduran@sacyr.com](mailto:jduran@sacyr.com)  
 David Ruiz Melo. Consorcio SES. Especialista estructural. Ingeniero de Caminos. [dmelo@consorcioses.com](mailto:dmelo@consorcioses.com)  
 Agustín Redero García. Sacyr Construcción. Ingeniero Departamento Ingeniería Obra Civil. Ingeniero Civil. [aredero@sacyr.com](mailto:aredero@sacyr.com)  
 Rafael Guillén Carmona. Sacyr Construcción. Director de Métodos, Tecnología e Innovación. Ingeniero de Caminos. [rguillen@sacyr.com](mailto:rguillen@sacyr.com)  
 Fátima Calderón Zurita. Sacyr Construcción. Ingeniera Departamento Métodos, Tecnología e Innova. Ingeniera de Caminos. [fcalderon@sacyr.com](mailto:fcalderon@sacyr.com)  
 Raquel Caballero Jaraiz. Sacyr Construcción. Jefa Departamento Ingeniería Obra Civil. Ingeniera de Caminos. [rcaballero@sacyr.com](mailto:rcaballero@sacyr.com)

Puente atirantado, autocimbra, carros, cajón de hormigón pretensado.

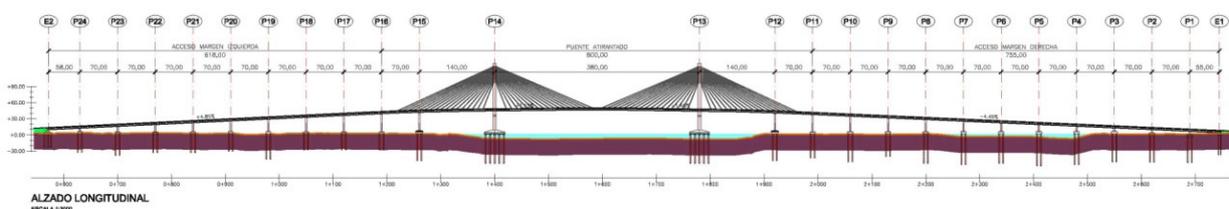
Cable stayed bridge, movable scaffold system, form traveller, concrete prestressed box girder.

El Nuevo Puente de Pumarejo sobre el río Magdalena en Barranquilla tiene una longitud de 2.173 m repartida en un tramo central atirantado de 800 m y viaductos de acceso de 618 m y 755 m.

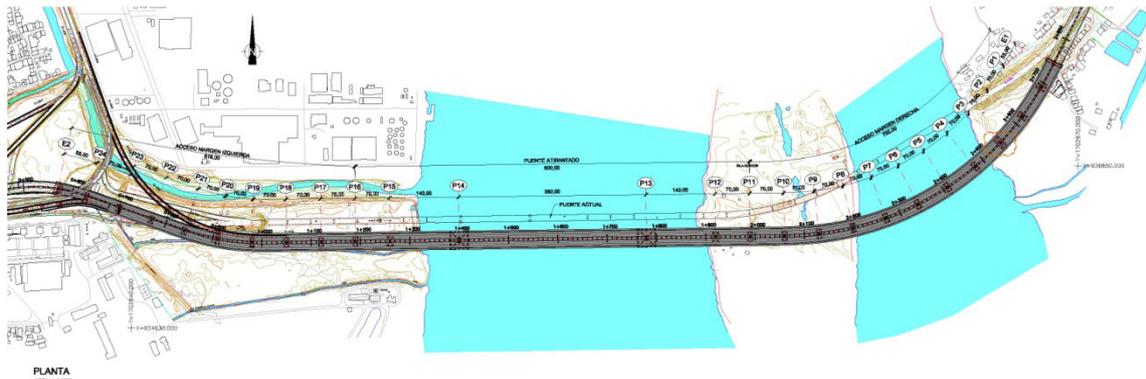
El proyecto de licitación del consorcio ECOPUENTES consideró la construcción del puente completo mediante dovelas prefabricadas de sección completa. Analizando dicho proceso constructivo en detalle teniendo en cuenta tanto los condicionantes económicos y locales como el plazo exigido por el INVIAS (Instituto Nacional de Vías), se decidió estudiar otras alternativas constructivas.

Con el fin de minimizar el plazo de ejecución del puente y optimizando los recursos económicos, se llegó a la conclusión que la solución óptima es construir los vanos de accesos con una autocimbra y un carro de alas correspondiente y los vanos atirantados con carro de avance y carro de alas.

La decisión de construir los accesos con autocimbra implicó modificar ligeramente tanto las luces de los vanos de acceso como la configuración de los entronques y garantizando de esta manera el uso de autocimbra para todos los vanos aparte del primer vano en la margen izquierda.



Alzado puente principal



Planta puente principal y entronques

La construcción de una sección cajón de un canto de 3,65 m, un ancho entre almas de 12 m y de un ancho total de hasta 38,10 m requiere la implementación de medios auxiliares extraordinarios:

- Autocimbra para vanos de 70 m de luz y un ancho de tablero de 16 m, dimensionada para soportar aproximadamente 3.000 toneladas de peso de hormigón.
- Carro de alas de 15 m de luz para completar la sección ejecutada con autocimbra.
- Carro de avance para voladizos de 10 m y un ancho de tablero de 16 m, diseñado para soportar aproximadamente 500 toneladas de peso de hormigón.
- Carro de alas de 10 m de luz para completar la sección ejecutada con carro de alas.

### 134. VIADUCTOS DE LA LÍNEA 3 DEL TREN LIGERO DE GUADALAJARA (MÉXICO)

#### GUADALAJARA (MEXICO) LINE 3 LIGHT RAIL TRAIN VIADUCTS

Jordi Revoltós Fort. SENER. Jefe de Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jrevoltos@sener.es](mailto:jrevoltos@sener.es)

Ignacio Pita Olalla. SENER. Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [ignacio.pita@sener.es](mailto:ignacio.pita@sener.es)

Javier Sánchez-Mateos Enrique. SENER. Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [jsanchez@sener.es](mailto:jsanchez@sener.es)

Andrés Molina Escudero. SENER. Sección de Puentes y Viaductos. Ingeniero de Caminos. [amolina@sener.es](mailto:amolina@sener.es)

Estructura mixta, prefabricación, fatiga, sismo, capacidad.

Composite structures, prefabrication, fatigue, seism, capacity.

La línea 3 del Tren Ligero de Guadalajara (Jalisco, México) consta de 21,9 km, de los cuales 15 km transcurren sobre viaductos elevados, a su vez divididos en 14 tramos separados por estaciones. Dada la longitud de estructura a construir, se ha optado por emplear soluciones prefabricadas y moduladas que permitan un proceso constructivo industrializado, y que cumplan con el requisito estético que exige la integración de la infraestructura en el núcleo urbano.

En las zonas centrales de los tramos, el viaducto elevado está modulado en vanos isostáticos de 34, 37, 40 y 43 m. Se han resuelto mediante una sección cajón central mixta de 2,55 m de canto metálico y 2,50 m de ancho, sobre la que se conecta una losa de hormigón de 30 cm de espesor. Cada 3,00 m se disponen costillas trans-

versales de canto variable, sobre las que apoyan dos losas laterales de hormigón armado. Con un espesor medio de 26 cm, estas losas dan soporte a las dos vías laterales por las que circulan los trenes, mientras que la losa superior central se utiliza como vía de evacuación de pasajeros en caso de emergencia. El ancho total del tablero es 9,80 m.

En las zonas cercanas a estaciones, y para permitir el cruce de trenes y adecuar los intereses de vía, el canto metálico del tablero se reduce hasta 1,27 m, por lo que se ha optado por disponer vanos



Vista general de tramos isostáticos



Vista general de tramos continuos

continuos de dos y tres vanos en torno a 32 m de luz. La sección es cajón mixto con un ancho de 3,06 m entre almas metálicas y una losa de hormigón de 26 cm, apoyada sobre costillas transversales cada 3 metros. En este caso, la evacuación de los viajeros tendría lugar por las zonas laterales del tablero, quedando ambas vías en la zona central del mismo.

Debido a la previsión de alta frecuencia de paso de los trenes por la línea, la resistencia a fatiga ha sido uno de los principales condicionantes en el diseño de la estructura metálica, debiéndose adoptar detalles que eviten la iniciación y propagación de fisuras.

Por otra parte, el diseño de la subestructura es controlado esencialmente por consideraciones relativas al sismo, habiéndose empleado cálculo por capacidad mediante la formación de rótulas plásticas en base de columna. La sección de las columnas es ovalada y en su armadura se han adoptado detalles de confinamiento que permiten la formación de las rótulas previamente mencionadas.

#### 144. SECCIÓN ELEVADA DE LA LÍNEA 3 DEL METRO DE RIAD. LONGITUD TOTAL DE VIADUCTO DE 26 KM

*ELEVATED SECTION IN RIYADH METRO LINE 3. VIADUCT WITH TOTAL LENGTH OF 26 KM*

*Manuel Casado Lechuga. IDOM. Director de Proyecto. Especialista Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. mcl@idom.com*

Metro Riad, construcción segmental, vigas lanzadoras, eficiencia, voladizos equilibrados.

*Riyadh metro, segmental construction, launching gantries, efficiency, balanced cantilevers.*

Dentro del consorcio ganador del diseño y construcción de la Línea 3 del Metro de Riad, Idom ha liderado las tareas de diseño de este ambicioso proyecto. En la presente comunicación nos centramos en la descripción y particularidades del diseño asociadas al método constructivo para la construcción de 26 km de sección elevada de un total de 40 km en toda la línea 3.

La construcción de viaductos de varios kilómetros de longitud necesita un diseño efectivo, bien coordinado con el método de construcción que por un lado maximice la eficiencia aumentando ritmos de producción y por otro minimice el coste por la aplicación de criterios de economía de escala. La técnica prefabricada segmental o de dovela conjugada ha sido la utilizada para la práctica totalidad de la sección elevada.

Los vanos isostáticos, que forman la gran mayoría del trazado, se han diseñado en un rango de luces de 24 a 37 m, con un canto total de la sección transversal de 2.10 m. Cuando se han necesitado luces superiores de rango moderado, se han implementado soluciones de tableros hiperestáticos con la misma sección transversal que las soluciones isostáticas. Se han salvado cruces de 50 m de luz principal con esta solución, manteniendo la misma maquinaria de construcción que en las soluciones isostáticas, aunque con ligeros ajustes en el proceso constructivo para evitar el sobredimensionamientos de las vigas lanzadoras.

El sistema de construcción vano a vano utilizando vigas lanzadoras, se basa en el auxilio de estas vigas que izan los segmentos prefabricados hasta su posición teórica de forma previa a su tesado final que confiere el carácter monolítico definitivo al vano ejecutado. Durante el proceso de izado y construcción de un vano típico, la viga lanzadora se apoya en el cabecero de la pila de avance y en el segmento de pila del vano previamente ejecutado.



*Construcción del último vano lateral en el puente continuo de la autopista de Jeddah*



*Izado de segmentos en vanos isostáticos. Estado previo al ensamblaje y tesado del vano*

En el caso de cruces de grandes arterias urbanas, ha sido preciso salvar luces de hasta 95 m de vano principal. Con el mismo criterio prefabricado segmental de las soluciones anteriores, se han utilizado estructuras auxiliares de izado montadas sobre carriles que bajo la filosofía del proceso de construcción en voladizos equilibrados han conseguido resolver las soluciones de cruce más demandantes.

#### 145. PASARELA EN SESTAO

*SESTAO FOOTBRIDGE*

*Roberto Revilla Angulo. r2 estudio. CEO. Doctor Ingeniero de Caminos y Arquitecto. roberto.revillaangulo@gmail.com*  
*Pablo Cembrero Masa. Bowstring. Jefe. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. pablocembreromasa@gmail.com*

Viga, sección en U, pila tabique, tablero continuo, acero corten.

*Beam, U-section, wall pier, continuous deck, weathering steel.*

La pasarela peatonal y ciclista que se sitúa en Vega Vieja, un antiguo área industrial y de servicios en reconversión al sur de Sestao que se



Perspectiva de la pasarela

va a urbanizar, surge de la necesidad de comunicar diferentes zonas situadas a distintos niveles, y de superar la herida longitudinal del río Ballonti y de la línea de ferrocarril de cercanías C-2.

Nace de la tierra a la cota de la futura urbanización y progresivamente se va elevando hasta alcanzar la cota más elevada en su unión con el carril bici de bidegorri Baracaldo-La Arena. En su desarrollo, de un salto limpio y claro a través de una viga en "U", salva el río para establecerse en una zona horizontal a modo de mirador, para finalmente volver a elevarse, retornando a la tierra y alcanzando el carril bici una vez superado el ferrocarril.

Estructuralmente, la pasarela presenta una tipología de viga con sección en "U" que se resuelve mediante un tablero continuo de acero corten de 171 m de longitud y 5,55 m de anchura de planta en "S", materializado mediante una sucesión de cuatro vanos, de luces 60,85, 25,55, 46,8 y 37,85 m.

La sección transversal está resuelta mediante una sección en "U" formada a base de dos potentes vigas laterales longitudinales a modo de parapetos de 2,05 m de canto y 0,45 m de anchura, que dependiendo de la zona en que se encuentren se unen transversalmente mediante perfiles IPE 220 dispuestos cada aproximadamente 2,5 m, o mediante chapas continuas transversales dispuestas inferiormente, a nivel del parapeto izquierdo según sentido de avance, y superiormente, a nivel de la calzada.

Para conformar el mirador existente en la zona horizontal coincidente con el vano 2, de forma progresiva en el vano 1 la viga lateral derecha según sentido de avance va aumentando de anchura hasta 0,8 m y disminuyendo de canto hasta un valor de 1,38 m. En el vano 3 y a partir de la pila 2 dicha viga vuelve a disminuir de anchura y aumentar de canto hasta alcanzar los 0,45 y los 2,05 m respectivamente.

Las 3 pilas están cimentadas de forma profunda y se resuelven mediante tabiques de hormigón armado de sección rectangular maciza de 4,2 m de anchura y 0,8 m de canto.



Vista lateral

## 146. NUEVO PUENTE SOBRE EL RÍO LLOBREGAT. LA MATERIALIZACIÓN DE UNA IDEA

### NEW BRIDGE OVER LLOBREGAT RIVER, THE MATERIALIZATION OF AN IDEA

Roberto Revilla Angulo. RR estudio. CEO. Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [roberto.revillaangulo@gmail.com](mailto:roberto.revillaangulo@gmail.com)

Patricia Olazabal Herrero. INECOSA. Ingeniera. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [polazabalherrero@gmail.com](mailto:polazabalherrero@gmail.com)

Marcos Pantaleón Prieto. APIA XXI. Presidente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [alherrera@louisberger.com](mailto:alherrera@louisberger.com)

Arco superior, pórtico, rombo espacial, tablero sección lenticular, hormigón pretensado.

Superior arch, V-shaped pier, spatial rhombus, lenticular section, prestressed concrete.

Situado en la carretera que une el puerto y el aeropuerto de Barcelona y en una zona cercana al espacio natural protegido del Delta del Llobregat, el recientemente llamado Puente Nelson Mandela, solución ganadora del Concurso de Ideas celebrado en Barcelona en septiembre de 2003, surge de la necesidad de comunicar ambos márgenes del río, superando la herida longitudinal existente y proporcionando una referencia al lugar.

De un salto limpio y claro, mediante sendos pórticos, a modo de trípodes invertidos, formados por una pila simple inclinada longitudinalmente y una pila doble inclinada longitudinal y transversalmente, se eleva y vuela sobre el río para retornar de nuevo a la tierra recogiendo a los arranques de ambos arcos centrales superiores inclinados lateralmente y configurando sendos rombos espaciales de enorme espacialidad y riqueza visual.

Estructuralmente, el puente presenta una tipología de arco superior y viga y se resuelve mediante un tablero continuo de hormigón pretensado de 304 m de longitud y 29 m de anchura de planta rectangular, materializado mediante una sucesión de cinco vanos, de luz central 104 m, luces contiguas de 55 m y luces laterales de 42 y 48 m.

La tipología de arco se aborda de una manera singular. La forma adquiere un papel activo en su comportamiento estructural. A través de la continuidad y gracia de sus líneas, de la proporción de sus masas, del ritmo de sus formas y de la plasticidad del hormigón, el puente toma una forma escultórica en donde la función de resistir sigue a la forma diseñada. A través de su relación flecha/luz, y de la rigidez relativa de los diferentes elementos que lo conforman, tablero, arcos y pórticos, en esa búsqueda de la ligereza, se desarrolla una nueva relación formal.



Alzado del puente



Vista lateral

## 152. CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO DE MERSEY MEDIANTE CARROS DE VOLADIZOS SUCESIVOS HORMIGONADOS IN SITU

### MERSEY VIADUCT CONSTRUCTION USING FORM TRAVELLERS WITH IN SITU CONCRETING

Javier Fernández del Moral. Rubrica Ingeniería y Arquitectura. Coordinador de Proyectos en Rubrica Bridges. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jfernandez@rubricaingenieria.es](mailto:jfernandez@rubricaingenieria.es)

José Vicente Rajadell Manuel. Rubrica Ingeniería y Arquitectura. Responsable Oficina Técnica en Rubrica Ingeniería. Ingeniero Industrial. [jvrajadell@rubricaingenieria.es](mailto:jvrajadell@rubricaingenieria.es)

Enrique Tichell Fortea. Rubrica Ingeniería y Arquitectura. CEO Rubrica Ingeniería y Arquitectura. Ingeniero Industrial. [etichell@rubricaingenieria.es](mailto:etichell@rubricaingenieria.es)

Tomasz Pawel Smich. Rubrica Ingeniería y Arquitectura. CTO Rubrica Ingeniería y Arquitectura. Civil Enginner. [tsmich@rubricaingenieria.es](mailto:tsmich@rubricaingenieria.es)

Mersey-Gateway, rúbrica, voladizos-sucesivos, carros-de-alas, encofrados-metálicos-modulares.

Mersey-Gateway, rubrica, form-travellers, wing-traveller, modular-formworks.

El viaducto de Mersey Gateway está compuesto por tres tipologías de puente en más de 2 km. El tramo principal atirantado (de 181-294-318-205 metros de luz) es construido mediante seis estructuras de carros de voladizos-sucesivos. Los dos viaductos de aproximación (con vanos de 70 metros) son realizados mediante MSS (Movable Scaffold System) que hormigona el cajón central de 18.65 metros de ancho y realiza puestas de 70 metros. Esta lanzadera es perseguida por un carro-de-alas para la realización del tablero completo. El ancho varía desde 43,5 metros NAV (North Approach Viaduct) a 32,5 metros (puente central atirantado), manteniéndose prácticamente constante durante todo el tramo principal.

Los carros de voladizos-sucesivos se izaron unidos en cola mediante viga centradora y posteriormente se desconectaron para permitir el avance en voladizo de los encofrados en ambos sentidos. Dicha unión de carros en izado se realizó para habilitar una plataforma de hormigonado de la dovela 0, cuyo punto de anclaje durante el hormigonado se situó en la estructura de izado que soportaba el peso de los carros en elevación (2.450 kN cada carro).

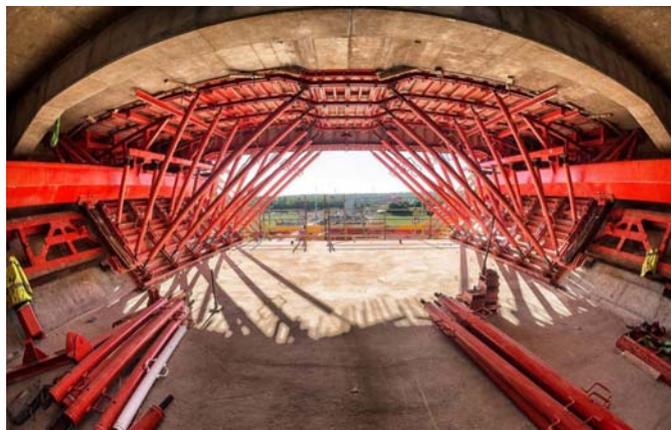
Los carros de voladizos-sucesivos llevan asociados una pareja de carros de encofrado interior que acompañan al exterior salvando las



Izado del FT en el pilón sur

estructuras de anclaje de los tirantes, generando la geometría del cajón, que varía según avance. Estos encofrados son auto-portantes y se lanzan hidráulicamente, igual que el carro exterior, avanzando 6 metros por semana. La particularidad del encofrado interior es su geometría flotante, ya que habilita el hormigonado de un segmento en una única fase.

Ambas estructuras de avance llevan encofrados-metálicos-modulares que permiten adaptarse a los anchos del tablero, y a su vez llevan sistemas hidráulicos que permiten el plegado de los paneles para el avance, y así evitar interferencias con las costillas a lo largo de todo el recorrido. El desencofrado del tablero se realiza por deformación de la estructura, evitando los movimientos de izado de cargas muy pesadas.



Encofrado interior en segunda puesta en pilar sur

## 156. INTERVENCIÓN EN EL PUENTE SOBRE LA AVENIDA DEL MARQUÉS DE CORBERA EN MADRID

### REFURBISHMENT OF THE VIADUCT OVER AV. MARQUÉS DE CORBERA, MADRID

Francisco Javier León González. Grupo de Hormigón Estructural. ETSICCP-UPM. Profesor Titular. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jl@he-upm.com](mailto:jl@he-upm.com)

Juan Jesús Álvarez Andrés. DRAGADOS. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjalvarez@dragados.com](mailto:jjalvarez@dragados.com)

Cristina Cobo Rodríguez. DRAGADOS. Dirección Técnica. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [ccobor@dragados.com](mailto:ccobor@dragados.com)

Luis Sánchez Ripio. DRAGADOS. Jefe de Obra. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [lsanchezr@dragados.com](mailto:lsanchezr@dragados.com)

Alberto Martín Galán. FHECOR Ingenieros Consultores. Jefe de Equipo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [amg@fhecor.es](mailto:amg@fhecor.es)

Apoyos a media madera, bielas y tirantes, rehabilitación.

Gerber joints, strut-and-tie models, rehabilitation.

Se trata de una excelente estructura con esquema clásico de viga Gerber, muy frecuente en los puentes de mediados del s. XX. Su proyectista entendió, en sintonía con lo que se venía haciendo desde el s. XIX, que lo inteligente era disponer juntas y apoyos a media madera para resolver cómodamente el problema estructural y constructivo de estructuras de cierto porte, como este noble ejemplar. No se le puede reprochar a aquella generación de grandes ingenieros que la durabilidad fuera un problema 60 años después, periodo que sobrepasa la vida útil implícita de 50 años que ya empezaba a considerarse en las bases de proyecto vinculadas a los métodos semi-probabilistas.

Las juntas, en coincidencia con los apoyos a media madera situados hacia los quintos de la luz del tramo principal, dejaron pasar el agua y la suciedad, dando lugar a una corrosión preferente de las armaduras en esa zona tan delicada.

La inspección de la estructura confirmó la gravedad aparente de los daños, de forma que al proyecto y a su ejecución se les dio prioridad frente a otras actuaciones que DRAGADOS tenía encomendadas en el

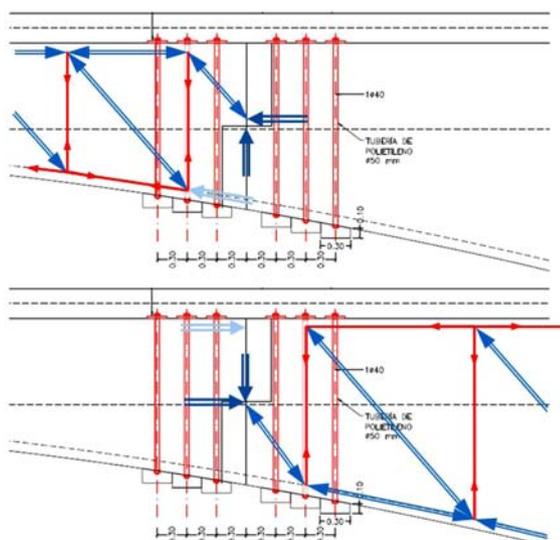


Figura 1. Esquemas de bielas y tirantes para justificar que la única armadura necesaria era la vertical



Figura 2. Imagen del puente tras su acondicionamiento

contexto de su contrato de acondicionamiento de obras de paso propiedad del Ayuntamiento de Madrid.

En esta ponencia se presenta el aspecto de más interés técnico del proyecto y de la obra que fue el de entender cómo estaba funcionando la estructura, en qué medida se corrían riesgos inducidos por la propia ejecución de los trabajos, y de qué manera debía optimizarse y secuenciarse la ejecución de la rehabilitación.

En la figura 1 se presenta el esquema de bielas y tirantes dibujado para entender por qué

a) era esencial asegurar el contacto (que se venía dando de facto desde hacía muchos años) entre el tramo biapoyado y el tramo en voladizo, con el fin de asegurar el paso de las reacciones recíprocas y entender que no era esencial la armadura longitudinal; y

b) que el talón de Aquiles estaba en la deficitaria y deteriorada armadura vertical, hasta el punto de que la solución pasaba claramente por la disposición de barras verticales pretensadas (con el solo propósito de asegurar su inmediata entrada en carga para las cargas posteriores a la actuación, de mínimos, por otra parte).

En la figura 2 se muestra la apariencia final de la obra, en la que se llevaron a cabo labores no menos meritorias pero más convencionales de reparación.

## 161. ANÁLISIS DE UN CASO DE INESTABILIDAD LATERAL DE UNA VIGA DE HORMIGÓN PRETENSADO DE GRAN LUZ EN FASE DE IZADO

### STUDY CASE OF A LATERAL INSTABILITY PROBLEM OF A LONG PRESTRESSED CONCRETE GIRDER DURING LIFTING

Albert de la Fuente Antequera. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Lector. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [albert.de.la.fuente@upc.edu](mailto:albert.de.la.fuente@upc.edu)

Sergio Pialarissi Cavalaro. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Agregado. Dr. Ingeniero Civil. [sergio.pialarissi@upc.edu](mailto:sergio.pialarissi@upc.edu)

Jesús Miguel Bairán García. Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor Agregado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jesus.miguel.bairan@upc.edu](mailto:jesus.miguel.bairan@upc.edu)

Inestabilidad lateral, torsión, izado, hormigón pretensado, vigas esbeltas.

Lateral instability, torsion, lifting, prestressed concrete, long girders.

Los avances en la tecnología del hormigón, sistemas de refuerzo y maquinaria de transporte y elevación están permitiendo la fabricación de vigas de hormigón pretensado de mayores longitudes y, a su vez, incrementar la competitividad de estas frente a otras alternativas para la ejecución de puentes. El peso de éstas, sin embargo, debe minimizarse con el fin de alcanzar un óptimo económico entre los costes de transporte e izado y la longitud deseada. A tal fin, la tendencia establecida consiste en aumentar la longitud de las vigas minimizando el ancho de las alas o, simplemente, emplear las mismas secciones recogidas en los catálogos de prefabricados incrementando la fuerza de pretensado para hacer frente a los requerimientos tensionales en fases transitorias y de servicio. En consecuencia, las vigas están sujetas a una reducción notable de la rigidez lateral y, por tanto, son más vulnerables fenómenos de inestabilidad lateral en fases transitorias (transporte e izado principalmente). En este sentido, ya se han descrito varios accidentes debido a este procedimiento de optimización.

Por otra parte, las recomendaciones recogidas en las distintas guías de diseño y normativas en referencia a los problemas de inestabilidad lateral (que principalmente acotan superiormente la combadura lateral previa a llevar a cabo cualquier operación de transporte o izado) pueden estar del lado de la inseguridad en vigas esbeltas y con inercia lateral insuficiente. Por este motivo, organismos como el ACI y la fib ya han formado comités para estudiar estos aspectos y proponer nuevas limitaciones.

El objetivo de esta comunicación es presentar un caso real de una viga de 45,0 m con sección doble T de hormigón pretensado que, en fase de izado, estuvo sujeta a grandes deformaciones laterales y fisuración a causa de un fenómeno de inestabilidad lateral (fig. 1). Esta



Figura 1. Configuración deformada de la viga en fase de izado

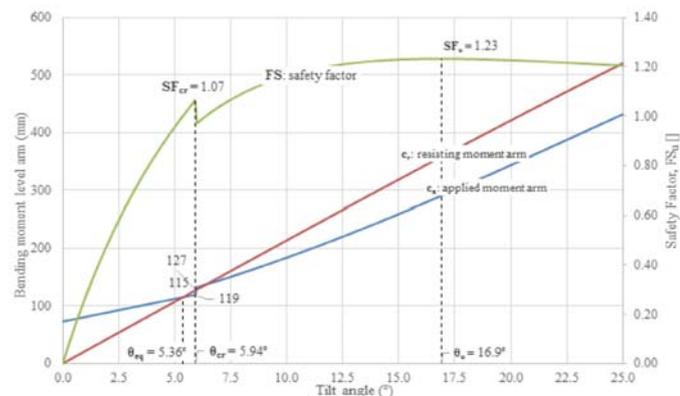


Figura 2. Factor de seguridad frente a la fisuración ( $SF_{cr}$ ) y a la rotura ( $SF_u$ ) en función del ángulo giro

viga cumplía los requisitos establecidos en las normativas de referencia; sin embargo, su inercia lateral resultó insuficiente para hacer frente a la imperfección inicial existente y tuvo que ser remplazada. Se lleva a cabo un estudio numérico en el que se evalúan los coeficientes de seguridad frente a la fisuración ( $SF_{cr}$ ) y a la rotura ( $SF_u$ ) (fig. 2) en fase de izado y se establece un conjunto de conclusiones extrapolables a otros casos similares.

## 165. PUENTE DE DOVELAS PREFABRICADAS CONSTRUIDO POR EL MÉTODO DE VOLADIZOS SUCESIVOS RA-186 KUWAIT

### SEGMENTAL PRECAST CANTILEVER BRIDGE IN RA-186 KUWAIT

Antonio Jiménez Sánchez-Jáuregui. Mekano4. Director de Ejecución en Oriente Medio. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[ajimenez@mekano4.com](mailto:ajimenez@mekano4.com)

Germán Barés Lucindo. Mekano4. Jefe de Obra. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [gbares@mekano4.com](mailto:gbares@mekano4.com)

Carlos Blasco García. Mekano4. Director de Ejecución. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cblasco@mekano4.com](mailto:cblasco@mekano4.com)

Raimon Rucabado Jiménez. Mekano4. Director de Proyectos Especiales. Ingeniero Civil. [rucabado@mekano4.com](mailto:rucabado@mekano4.com)

Segmentos prefabricados, voladizos compensados, postesado, control geométrico, Kuwait.

Precast segments, balanced cantilever, post-tensioning, geometrical control, Kuwait.

## INTRODUCCIÓN

La construcción del puente RA-186 en la ciudad de Kuwait fue realizado por MK4 mediante el método de voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas.

## DESCRIPCIÓN

Se trata de un puente de 760 metros, con 224 segmentos izados.

Tiene dos partes diferenciadas: la primera es la construcción de las dovelas en la planta de prefabricados. La dovella prefabricada tiene dos ventajas respecto a las realizadas "in situ": una es el plazo de ejecución del puente, ya que las dovelas que conforman el tablero se pueden ir haciendo al mismo tiempo que se realiza la subestructura y la segunda es un mejor control del acabado mismo. En esta fase es muy importante realizar un adecuado control de calidad y geométrico de la dovella.

La segunda parte, es la ejecución del puente mediante el sistema de voladizos compensados. Para ello es necesario, en el inicio, instalar una dovella en cada lado la T de la pila que nos permita anclar en ella la estructura de izado de las posteriores dovelas (carro de izado). Para el izado de esta primera dovella MK4 diseñó una estructura metálica auxiliar denominada clamping. La colocación de las dos primeras dovelas es de vital importancia porque de ella dependerá el correcto posicionamiento de las siguientes dovelas a izar.

Posteriormente, se instala el carro de izado en las dos primeras dovelas ya colocadas. Éste nos permite ir izando dovelas a cada lado de la pila de forma compensada. El carro posee unos gatos hidráulicos huecos que izan la dovella mediante unas barras de pretensado conectadas a las mismas. Una vez levantada la dovella, ésta se une a la anterior mediante unas barras de postesado provisional y un postesado



Vista General del izado de las primeras dovelas con clamping



Vista General del izado de dovelas con carro de izado

superior longitudinal que va consiando las dovelas ya erectadas. Posteriormente, se mueve el carro para realizar la siguiente fase. Este procedimiento permitió colocar hasta ocho dovelas de forma compensada en cada lado de las pilas. A partir de la octava dovela fue necesaria la instalación de una torre metálica para poder completar seis dovelas que no estaban compensadas.

Durante las diferentes fases de ejecución se realizó un exhaustivo control topográfico que tuvo en cuenta los diferentes estados de deformación: instalación del carro, izado de dovelas, introducción de las fuerzas de compresión debido al postesado y movimiento del mismo.

Finalmente, una vez finalizados todos los izados, se realizó el tesa-do de continuidad del puente mediante tendones situados en la parte inferior del puente.

## 169. PASARELAS BANDA TESA SOBRE EL RÍO TAJO EN TOLEDO

### STRESS RIBBON FOOTBRIDGES OVER THE TAJO RIVER IN TOLEDO

Alejandro Bernabeu Larena. Bernabeu Ingenieros. Director.  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [abl@bernabeu.net](mailto:abl@bernabeu.net)  
Isabel Sáez Alonso. Bernabeu Ingenieros. Responsable de Proyecto.  
Arquitecta, Máster Estructuras. [isa@bernabeu.net](mailto:isa@bernabeu.net)

Banda tesa, pasarelas, río Tajo.

Stress ribbon, footbridge, Tajo river.

La ponencia presenta tres pasarelas banda tesa que forman parte del proyecto de integración del río Tajo en la ciudad de Toledo, de Burgos y Garrido arquitectos.

Las pasarelas conectan las dos márgenes del río, una de ellas accesible desde Toledo, y la otra mucho más rústica y abrupta, con un importante desnivel entre ambas. Otros requisitos importantes eran el respeto de la línea de avenida de 500 años, situada muy por encima del nivel actual de agua, y evitar la disposición de pilas en el río. Teniendo en cuenta estos requerimientos, y la intención arquitectónica de mantener la estructura lo más próxima posible al nivel de agua y de evitar grandes estructuras, llevó a considerar estructuras banda tesa.

Uno de los principales condicionantes de diseño fue la elección de una localización y un trazado adecuados de las pasarelas, en planta y en alzado, que minimizaran la máxima luz, teniendo en cuenta que la posición del río es excéntrica respecto al eje de las pasarelas, lo que impidió que la solución de disponer una pila intermedia en una de las márgenes resultara favorable, al dividir la pasarela en dos vanos muy desiguales.

Las tres pasarelas tienen por lo tanto un único vano, de 106 a 132 metros, con una relación luz/flecha de casi 65. Están formadas por una pareja de cables catenaria, y un tablero de hormigón de 27 cm de canto, formado por dovelas prefabricadas, posteriormente postesadas, a fin de controlar la aparición de tracciones y garantizar la continuidad estructural, mejorando el comportamiento dinámico de la estructura.

Al realizarse la transferencia de cargas en las estructuras banda tesa mediante fuerzas axiales y siendo la pendiente de la catenaria muy suave, las reacciones horizontales resultantes en los estribos son muy importantes, y requieren sistemas de cimentación especiales.

En este caso se resolvieron de manera diferente en ambas márgenes, conforme a la diferente localización del nivel de granito en cada caso. En la margen izquierda el granito se encuentra muy superficial, y los



Pasarela banda tesa sobre el río Tajo en Toledo. Vista general



Pasarela banda tesa sobre el río Tajo en Toledo. Vista desde la pasarela

esfuerzos horizontales se pueden transferir directamente mediante un sistema de anclajes postesados. En la otra margen, sin embargo, el granito se sitúa a una profundidad mucho mayor, y tuvo que disponerse un sistema de micropilotes inclinados, que transfieren el conjunto de cargas, verticales y principalmente horizontales. Este sistema produce un cierto desplazamiento horizontal del estribo, que debe ser tenido en cuenta, al modificar la geometría de la catenaria.

## 177. PUENTE SOBRE EL RÍO PACHITEA EN PUERTO INCA, PERÚ

### BRIDGE OVER THE PACHITEA RIVER, PERU

Juan Luis Bellod Thomas. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero de Caminos.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

David Sanz Cid. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero de Caminos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

Peter Tanner Furrer. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero de Caminos.

MSc ETH, Zürich; Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

Diego Aita Santos. Cesma Ingenieros, S.L. Delegación de Perú. Ingeniero de Obras Públicas. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

Atirantamiento extrasdosado, tablero mixto, unión pilono-tablero, proceso constructivo, condicionantes externos.

*Extradosed stay bridge, composite deck, pylon-deck connection, constructive procedure, external conditioning factors.*

El puente sobre el río Pachitea se sitúa al final de la ruta departamental HU-106 uniendo la capital de la provincia de Puerto Inca con el resto de la región, permitiendo el cruce del río que hasta el momento se llevaba a cabo por medio de embarcaciones y presentando una alternativa al actual transporte fluvial de mercancías.

La estructura, de 356 m de longitud total, presenta un tablero de ancho 14,25 m y canto constante en toda la longitud del puente, así como un atirantamiento extrasdosado, formado por cuatro parejas de tirantes rígidos de acero con sección troncopiramidal, dos de ellos sustentando el vano principal de 180 m de luz y los otros dos, anclados a los vanos laterales de 88 m de luz. Los tirantes quedan unidos a los pilonos en su coronación a 27 m sobre el tablero, presentando éstos configuración en diamante. Los pilonos se definen con hormigón armado bajo el tablero y metálicos sobre el mismo para compatibilizar la unión con los tirantes rígidos.



Estructura metálica del Puente sobre el río Pachitea una vez finalizado el lanzamiento



Lanzamiento de la estructura metálica del puente

La sección transversal se compone de dos cajones longitudinales laterales, a los que se unen los tirantes, con 3,5 m de canto, 1,3 m de ancho y almas inclinadas hacia el interior, unidos entre sí por medio de vigas transversales separadas cada 4 m, con canto variable de 0,82 m a 1 m. Sobre éstas se dispone la chapa colaborante junto con el vaciado de concreto para completar la losa de concreto armado, de 0,25 m de espesor constante en la zona de calzada y arcones, y de 0,4 m en los 2,2 m laterales, correspondientes a las veredas y a la zona de barreras.

## 199. VIADUCTO DE VALDETRAVIESO EN LA LAV MADRID-EXTREMADURA

### VALDETRAVIESO VIADUCT IN THE HSRL MADRID - EXTREMADURA

Francisco Millanes Mato. IDEAM, S.A. Presidente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [francisco.millanes@ideam.es](mailto:francisco.millanes@ideam.es)

Luis Matute Rubio. IDEAM, S.A. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [luis.matute@ideam.es](mailto:luis.matute@ideam.es)

Pablo Solera Pérez. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablo.solera@ideam.es](mailto:pablo.solera@ideam.es)

Hormigón pretensado, autocimbra, pila en delta.

*Steel structure, truss, fatigue, nodes, welding.*



Vista panorámica del Viaducto sobre el arroyo de Valdegravieso

En el tramo entre Casas Millán y Cañaverall de la LAV Madrid-Extremadura se encuentra como obra principal el viaducto de Valdegravieso, cuya longitud total es de 1.596 m, con una luz tipo de 48 m y vanos laterales de 30 m. El tablero tiene sección cajón de hormigón pretensado con la anchura habitual de plataforma de 14 m y su canto es de 3,44 m.

Dada la longitud del viaducto y la ausencia de juntas intermedias, se requiere la disposición de un punto fijo próximo al punto medio del viaducto que reduzca la longitud dilatante a unos 800 m que permiten juntas convencionales en puentes de ferrocarril de hormigón. Se ha dispuesto dicho punto fijo en la pila P16 que se diseña en delta con ángulo de 60° con la horizontal de las patas de sección rectangular hueca. Para reducir las fuerzas horizontales transmitidas al terreno por la pila en delta se unen las zapatas de ambas patas mediante unas vigas riostras.

El resto de las pilas son corrientes con sección rectangular hueca de canto variable en ambas direcciones alcanzando una altura máxima de 58 m de altura. Los estribos se proyectan en caja con dos tabiques intermedios en longitudinal y longitud de unos 20 m que permiten albergar aparatos de dilatación de vía.

El proceso constructivo del tablero es el habitual para este tipo de viaductos de gran longitud y alturas elevadas mediante cimbra autolanzable. La autocimbra empleada es inferior y apoya en la pila en su apoyo delantero y cuelga del tablero a 1/5 de la luz en su apoyo trasero para la construcción de cada fase.

Para reducir los plazos de ejecución la sección transversal se hormigona en dos fases que corresponden a la sección formada por almas, tabla inferior y voladizos más una pequeña parte de la losa superior entre almas, dejando una segunda fase de hormigonado de la zona restante entre almas que se reduce al mínimo que permite retirar los encofrados interiores del alma posteriormente.



Cimbra autolanzable al paso sobre la pila delta durante la construcción del tablero

El pretensado del tablero se dispone en tres familias diferentes optimizando su cuantía: el pretensado parabólico en las almas, el pretensado de sombrero en la losa superior en la zona sobre pilas, y el pretensado de continuidad centrado en la sección al disponerlo en losa superior e inferior y que compensa la tracción acumulada en el tablero debido a las fuerzas longitudinales (viento longitudinal, rozamiento de teflones, frenado).

## 201. EL VIADUCTO MIXTO DE SIGÜÉS EN LA AUTOPISTA A-21

### THE COMPOSITE STEEL AND CONCRETE VIADUCT OF SIGÜÉS IN THE A-21 HIGHWAY

Luis Matute Rubio. IDEAM, S.A. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [luis.matute@ideam.es](mailto:luis.matute@ideam.es)

Miguel Ortega Cornejo. IDEAM, S.A. Director de Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [miguel.ortega@ideam.es](mailto:miguel.ortega@ideam.es)

Helder Figueiredo Sousa. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [helder.figueiredo@ideam.es](mailto:helder.figueiredo@ideam.es)

Juan Luis Mansilla Domínguez. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [juanluis.mansilla@ideam.es](mailto:juanluis.mansilla@ideam.es)

Joao Adao da Fonseca. ADF Engenharia Consultores. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[joao.adaodafonseca@adfconsultores.com](mailto:joao.adaodafonseca@adfconsultores.com)

Cajón mixto, doble acción mixta, jабalcones transversales, fatiga.

Composite box girder, double composite action, transverse struts, fatigue.

El viaducto mixto de Sigüés se ubica en la autovía A-21 entre Pamplona y Jaca, en Zaragoza, junto a la localidad de Sigüés. El viaducto de 989 m de longitud total cruza el valle del río Escá, que en un futuro quedará inundado por el recrecido de la presa de Yesa.

El viaducto de 25,30 m de ancho aloja la doble calzada de la autopista con dos carriles por sentido de 3,5 m cada uno, arcones interiores de 1,5 m, amplios arcones exteriores de 2,5 m y barreras laterales de 0,65 m. Los 989 m de longitud se sitúan en una curva de radio constante de 1.500 m con un peralte transversal del 4,775% y las pilas tienen alturas que varían entre 16 y 40 m. El tablero se ha resuelto con un único cajón mixto continuo con doble acción mixta en las zonas de negativos sobre pilas con una distribución de luces de 64,5+10 ± 86,0 m + 64,5 m (fig. 1).

El tablero mixto se compone de un cajón metálico de 3,00 de canto constante, con la sección transversal inclinada según el peralte del trazado, con una esbeltez de metal 1/28,67, un ancho de 7,0 m en su base y 8,50 m de anchura entre ejes de almas en las platabandas superiores. A ambos lados del cajón se disponen costillas transversales con jабalcones metálicos cada 5,375 m, coincidiendo con las celosías transversales del cajón mixto, aumentando la anchura de la estructura metálica 6,75 m a cada lado.

La losa superior se resuelve con prelosas isostáticas que flectan en sentido longitudinal apoyadas entre dos costillas en las zonas de voladizos y entre dos montantes transversales de las celosías del interior del cajón. Sobre las prelosas en celosía se ejecuta in situ la losa superior con un espesor total de 25 cm.

En las zonas de negativos sobre pilas se dispone una losa de fondo conectada al cajón materializando la doble acción mixta.

En el artículo completo se describirán los principales detalles de la estructura metálica, el funcionamiento estructural del cajón y las costillas con jабalcones laterales, así como el proceso constructivo seguido para la ejecución del viaducto (fig. 2).

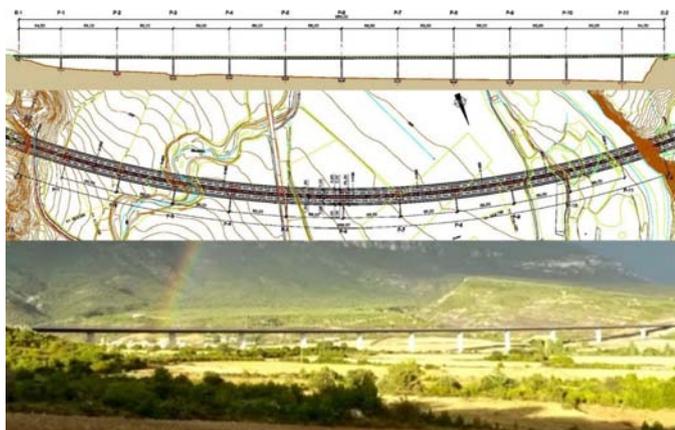


Figura 1. Alzado, planta y vista del viaducto construido



Vista general del puente



Figura 2. Vista del viaducto en ejecución

### 203. VIADUCTO EN LA MA-30 EN LOS ACCESOS A PALMA DE MALLORCA

#### MA-30 OVERPASS IN PALMA DE MALLORCA ACCESS

Juan Luis Bellod Thomas. CESMA Ingenieros, S.L. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

David Sanz Cid. CESMA Ingenieros, S.L. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

Estructura mixta, anchos de tablero, detalles constructivos, funcionalidad, uniformidad visual.

Composite structure, deck width, construction details, functionality, visual uniformity.

La estructura, formada por cuatro tableros independientes, tres de ellos destinados al tráfico de vehículos reservándose el último como carril bici, se sitúa en las inmediaciones de Palma de Mallorca, en el

Término Municipal de Marratxí, salvando la carretera Ma-13 y la línea M2 del Metro de Palma. Los cuatro tableros son mixtos, empotrados a estribos y pilas, con tres vanos con luces de 25 m los laterales y de 35 m el central, siendo sus anchos variables en los dos primeros casos de 20,6 m a 16,4 m y de 20,5 m a 15,8 m, mientras que los dos últimos presentan un ancho constante igual a 11,3 m y de 4,5 m según el caso. A pesar de la diferencia de anchuras de cada uno de los tableros, se mantiene la uniformidad visual en la definición de todos ellos mediante la disposición como elementos resistentes de cajones metálicos de iguales dimensiones en todos los casos. Así, el ancho de los cajones es de 1,5 m definiéndose almas verticales de 0,65 m de canto, variando únicamente el número de elementos a disponer por tablero, que fue de 3 en los dos primeros, de 2 en el tercero y de 1 en el caso del tablero para paso de bicicletas. Por otra parte, todos los cajones son abiertos con platabandas superiores de 0,4 m de ancho salvo los centrales de los dos primeros tableros, que son cerrados. La losa superior presenta un canto de 0,25 m y se construye sobre prelosas.

Las pilas, una por cajón, son metálicas, con geometría en "V" y se definen mediante una sección cajón de ancho 0,6 m y canto variable entre 0,6 y 0,8 m. Su cimentación es directa mediante zapatas corridas, definiéndose una zapata por tablero. Por su parte los estribos se definen mediante vigas de canto variable para acomodar el peralte, que simultáneamente materializan el empotramiento del tablero y el encepado que agrupa la cabeza de los pilotes. Para contener las tierras se disponen muros de suelo reforzado.



Vista de las pilas metálicas en V y su unión con los cajones metálicos del tablero

## 209. NUEVA PASARELA EN EL PUERTO DE MELILLA

### NEW FOOTBRIDGE IN THE PORT OF MELILLA

Luis Carrillo Alonso. Acciona Ingeniería S.A. Ingeniero Jefe de Proyecto. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [luis.carrillo.alonso@acciona.com](mailto:luis.carrillo.alonso@acciona.com)

Mariano Martín Cañueto. Acciona Ingeniería S.A. Jefe Departamento Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mariano.martin.canueto@acciona.com](mailto:mariano.martin.canueto@acciona.com)

Pasarela, tablero prefabricado, marquesina, pasillos rodantes, topes sísmicos.

Footbridge, precast girder, Steel roof, moving walks, shear keys.

Con el objetivo de optimizar los movimientos del pasaje, la Autoridad Portuaria planteó una serie de mejoras en la Dársena Villanueva. Una de ellas consistía en ejecutar una pasarela elevada que permitiera la circulación peatonal desde la zona de desembarque hasta la Nueva Terminal.

La nueva estructura debía contar con una sección que diera cabida a un pasillo para circulación peatonal y espacio suficiente para la futura instalación de unos pasillos rodantes. El ancho de la sección estructural finalmente necesaria sería así de 4,50 m.

El desarrollo longitudinal propuesto requería de una estructura que contornease todo el muelle, quedando conformada por 2 tramos independientes conectados por otro intermedio de 31,04 m de luz. La distribución de luces planteada fue de: 13,55 + 26,15 + 26,15 + 25,27 m para el primer tramo que comenzaba en la Nueva terminal, y de 5 × 25,15 + 25,97 + 9,50 m para el segundo tramo.

A la vista de los condicionantes geométricos anteriores, ante la necesidad de poder contar con una solución que permitiera la futura instalación de los pasillos y dada la limitación, que el mantenimiento de la operatividad del muelle imponía, tanto del plazo de ejecución como de la afección en superficie a causar, se decidió que la mejor alternativa en este caso era el uso de vigas artesa prefabricadas para conformar el tablero. Así, la pasarela se compondría de una serie de tramos isostáticos apoyados sobre pilas con fuste rectangular macizo y capitel piramidal invertido. La conexión final con el edificio del parking se proyectó mediante un tramo en losa ejecutada "in situ" sobre cimbra.



Tramo final de conexión a edificio parking



Vista general

Las principales singularidades de la estructura se deben a su ubicación sobre un muelle y por la necesidad de compatibilizar los elementos prefabricados con los requerimientos impuestos, en concreto:

- Siendo todas las cimentaciones proyectadas mediante zapatas apoyadas directamente sobre los rellenos del trasdós del muelle, en algún caso fue necesario realizar una mejora del terreno de cimentación con pilotes de mortero.
- La necesidad de incorporar unos rehundidos en el fondo de las artesas donde alojar los topes sísmicos, sin interferir en el trazado de los cables de pretensado.
- La ejecución de unos cajeados en la losa de compresión que permitiera la instalación de los fosos de los pasillos. Estos cajeados debían quedar cerrados provisionalmente.
- Para proteger tanto a los peatones como a los pasillos, se proyectó una marquesina metálica de cierre que debía ser fácilmente desmontable para permitir la colocación de los pasillos.

## 212. EMPUJE CON DOBLE CURVATURA, PLANTA Y ALZADO EN VIADUCTO DE LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD ORENSE-MONFORTE-LUGO, VARIANTE SAN JULIÁN

### INCREMENTAL-LAUNCHED VIADUCT WITH DOUBLE CURVATURE, PLAN AND ELEVATION, IN HIGH SPEED LINE-LUGO MONFORTE ORENSE, SAN JULIAN VARIANT

Marta Pérez Escacho. Ferrovial-Agroman S.A. Jefa de Equipo en Área Estructuras de Obra Civil. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [mpescacho@ferrovial.com](mailto:mpescacho@ferrovial.com)

Carlos J. Bajo Pavía. Ferrovial-Agroman S.A. Jefe de Área de Estructuras de Obra Civil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [carlos.bajo@ferrovial.com](mailto:carlos.bajo@ferrovial.com)

Juan Sevillano Gacho. Ferrovial-Agroman S.A. Ingeniero en Área Estructuras de Obra Civil. Ingeniero Civil. [jsevillano@ferrovial.com](mailto:jsevillano@ferrovial.com)

Alta Velocidad, empuje, doble-curvatura, descenso de apoyos.

High Speed, launching, double-curvature, support descent.

El proyecto de la Nueva Línea de Alta Velocidad Orense-Monforte-Lugo, Variante de San Julián, ha precisado de la construcción de dos viaductos empujados, 630 metros y 590 metros de longitud total respectivamente.

Estas estructuras, resueltas mediante tablero continuo de hormigón postesado con sección cajón unicelular de 3,65 metros de canto y almas

inclinadas, presentan un ancho de plataforma de 13,50 metros y una distribución de vanos de  $40 + 11 \times 50 + 40$  y  $40 + 10 \times 51 + 40$ .

Ambas estructuras se construyeron y empujaron desde uno de los estribos, mediante empuje secuencial de dovelas de longitud tipo, 25,00 a 25,50 metros según el tablero, y cuatro extremas de longitud especial. Adicionalmente a los procesos de empuje convencionales, para el caso de la estructura de 590 metros fue necesario plantear una estrategia de lanzamiento que permitiera empujar un tablero con alineación curva en planta y una rasante mixta, alzado recto en los primeros vanos y acuerdo parabólico convexo en los restantes. El procedimiento finalmente seleccionado requirió establecer en una primera fase una trayectoria transitoria de empuje, curva en planta y alzado, compatible con una posterior rectificación de cota a nivel de apoyos. El procedimiento secuencial de descenso de apoyos llevado a cabo tras el empuje del tablero involucró 30 gatos de pequeñas dimensiones instalados en grupos de tres pilas, y consiguió situar la estructura conforme a las cotas establecidas en la rasante de diseño, logrando de esta forma mínimas variaciones en el espesor teórico de balasto.

En ambas estructuras el postesado del tablero se organizó en dos grupos. El primero correspondiente al postesado de lanzamiento e instalado tras el proceso de fabricación del segmento en el parque, fue diseñado de forma que su resultante estuviera centrada y dotase a la estructura de capacidad suficiente para resistir solicitaciones propias de las fases de empuje. El segundo grupo, pretensado exterior con anclajes en diafragmas de pila y desviadores en riostras intermedias e instalado antes del cambio de apoyos, fue diseñado para complementar al anterior de forma que ambos conjuntamente resistieran las solicitaciones propias de la fase de servicio.

Para el paso de los cables por las riostras se realizaron desviadores conformados en chapa metálica para la primera estructura, mientras que en la segunda se definieron y ensayaron nuevos desviadores tri-dimensionales de poliestireno, cuya mejora permitió establecer una superficie curva uniforme con el propio hormigón de la riostra evitando puntos de concentración de carga en el paso de los cables.



Vista lateral en fase inicial de empuje

## 213. DOS CASOS ESPECIALES DE SUSTITUCIÓN DE APOYOS

### TWO CASES OF SPECIAL BEARING REPLACEMENT

Albert Bailo Fernández. Mekano4. Responsable de Oficina Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [abailo@mekano4.com](mailto:abailo@mekano4.com)  
Sergio Moreno Rodríguez. Mekano4. Responsable de Producto. Ingeniero Mecánico e Industrial Superior. [smoreno@mekano4.com](mailto:smoreno@mekano4.com)  
Mariela Cordero Verge. Mekano4. Responsable I+D. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [mcordero@mekano4.com](mailto:mcordero@mekano4.com)  
Rafael de la Sotilla Clarasó. Mekano4. Director General. Ingeniero Civil. [rsotilla@mekano4.com](mailto:rsotilla@mekano4.com)

Sustitución de apoyos, gateo, apoyo pot, hidrocorte, Riadh.

Bearing replacement, jacking, pot bearing, hydro-cutting, Riyadh.



Vista lateral del viaducto terminado

Mekano4 se encarga de extraer y reemplazar los apoyos inoperativos tipo pot para así extender la vida útil de dos puentes existentes (Exit 23 y Gulf Bridge en Riyadh, KSA). Debido a desplazamientos sufridos mayores a los calculados por proyecto, los apoyos quedaron inoperativos, por lo que necesitan ser extraídos y reemplazados para garantizar que el puente recupere su capacidad estructural. La superestructura se levantará para poder reemplazar los apoyos pot. Se presentan dos casos de reemplazo de apoyos diseñados por Mekano4.

En el primero, este artículo presenta las etapas llevadas a cabo para reemplazar los apoyos del puente Hijaz Road Interchange – Exit 23. Este puente tiene dos apoyos por pila, los cuales tienen que ser reemplazables. Las pilas son a media madera por lo cual la complejidad para levantar dichos apoyos viene dado por el limitado espacio del que se dispone. Debido a este factor condicionante, se han considerado los siguientes parámetros: utilizar Euronorma, en vez de AASTHO; mejora de materiales y utilización de técnicas de hidrocorte para colocar los nuevos pernos, siendo las técnicas de perforación estándar imposibles de aplicar debido al limitado espacio existente. Para el proceso de levantamiento se utilizarán una o dos torres temporales en función de cada vano, y dos gatos hidráulicos por apoyo. Durante la sustitución de los apoyos definitivos, el tablero estará sostenido por dos apoyos elastoméricos temporales montados en las mismas torres.



Figura 1. Exit 23

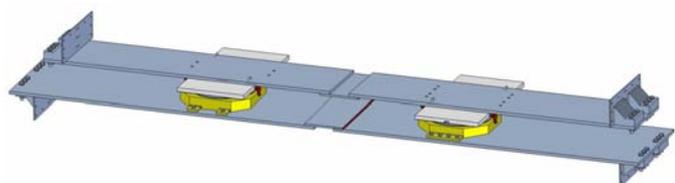


Figura 2. Gulf Bridge

En el segundo, el artículo muestra los pasos llevados a cabo en el Gulf Bridge. En este caso, igual que en el anterior, los apoyos son también a media madera, pero aquí el gálibo es ligeramente superior, por lo que se aplica normativa AASTHO, que da lugar a apoyos de dimensiones superiores a los diseñados según Eurocódigo. Debido a que las placas existentes se encuentran embebidas en el hormigón y no son reemplazables, no es posible la utilización de los pernos existentes. Además, la normativa no permite la utilización de placas que trabajen por fricción, por lo que se propone utilizar camisas de acero ancladas en sus extremos, tanto en cabeza de pila como en tablero, para la transmisión de los esfuerzos horizontales, especialmente las derivadas del sismo. Para proceder al levantamiento se utilizará una estructura adicional, ya que la geometría del tablero en su parte inferior es curva, debajo de la cual se dispondrán de dos gatos hidráulicos por apoyo que descansan sobre dos torres temporales metálicas.

## 214. MANIOBRA DE EMPUJE DEL VIADUCTO DE APROXIMACIÓN NORTE DEL PUENTE QUEENSFERRY CROSSING

### LAUNCHING MANEUVER FOR THE APPROACH VIADUCT NORTH OF THE QUEENSFERRY CROSSING BRIDGE

Enrique Martí Bandrés. Mekano4, S.A. Investigación y Desarrollo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [emarti@mekano4.com](mailto:emarti@mekano4.com)  
 Germán Barés Lucindo. Mekano4, S.A. Jefe de Obra. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [gbares@mekano4.com](mailto:gbares@mekano4.com)  
 Raimon Rucabado Jiménez. Mekano4, S.A. Director de Proyectos Especiales. Ingeniero Civil. [rucabado@mekano4.com](mailto:rucabado@mekano4.com)  
 Rafael de la Sotilla Clarasó. Mekano4, S.A. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rsotilla@mekano4.com](mailto:rsotilla@mekano4.com)



Maniobra de izado del mástil del atirantamiento



Tablero del AVN durante el empuje

Procedimientos constructivos, construcción de puentes, empuje de puentes, heavy lifting, tirantes provisionales.

*Construction methods, bridge construction, bridge launching, heavy lifting, temporary stays.*

El Forth Replacement Crossing, luego rebautizado como Queensferry Crossing, es el nuevo puente de 2,7 km que cruza el estuario del Forth, cerca de Edimburgo, Escocia. Uno de los tramos de este puente es el denominado Viaducto de Aproximación.

## 219. CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL BAJO UN PUENTE HISTÓRICO DEL SIGLO XVII EN LIMA (PERÚ) MEDIANTE OPERACIÓN HEAVY-LIFTING

### HEAVY LIFTING OPERATION TO BUILD A TUNNEL UNDER AN HISTORICAL C.XVII-TH BRIDGE IN LIMA (PERU)

José Luis Sánchez Jiménez. TYPSA. Director de Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jlsanchez@typsa.es](mailto:jlsanchez@typsa.es)  
 Álvaro del Cuvillo M. Ridruejo. TYPSA. Jefe de Sección Departamento Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [adelcuvillo@typsa.es](mailto:adelcuvillo@typsa.es)

Eduardo Torralba Bozzano. TYPESA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [etorralba@typsa.es](mailto:etorralba@typsa.es)  
 Xavier Torelló Ciriano. TYPESA. Jefe de Estructuras Catalunya. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [xtorello@typsa.es](mailto:xtorello@typsa.es)

Puente-histórico, heavy-lifting, apeo, asiento, sismicidad.

*Historical-bridge, heavy-lifting, apeo, asiento, sismicidad.*

La Línea Amarilla es una autopista urbana de 10 km de longitud que se construye en régimen de concesión en Lima, Perú. Para evitar la afección paisajística al centro histórico de la ciudad la vía transcurre en túnel de 1,8 km bajo el cauce del río Rímac.

La construcción de este túnel, sección cajón bicelular, implica el cruce bajo la cimentación del Puente de Trujillo, un puente arco de piedra del siglo XVII con luces de 10 m y ancho de pilas de 6 m, con alto valor histórico y catalogado en el patrimonio cultural del Perú.

El ajuste del trazado obliga a apeo simultáneamente la cimentación de dos de las cuatro pilas del puente histórico. La solución debe ser activa, compensando los movimientos que se producen. Se realiza un estudio de riesgos en función del asiento relativo entre dos pilas adyacentes, aplicando criterios clásicos de daño como Boscardin & Cording, contrastados con resultados de modelos numéricos. Se fija como máximo asiento relativo admisible 9 mm, que se corresponde con un daño imperceptible a la estructura, con un máximo operativo de 5 mm.

Se emplea un sistema de apeo provisional mediante micropilotes de 170 mm de diámetro para las dos pilas apeadas, cada una con un peso de 3000 t. Es preciso controlar la inestabilidad por pandeo de los micropilotes esbeltos, para lo que se disponen elementos de atado según progresa la excavación.

Un sistema de heavy-lifting con 37 gatos hidráulicos de 400 toneladas cada uno, sincronizados entre sí, soportan la carga y corrigen los asientos de las pilas. La transmisión de la carga de cada pila hasta los gatos se resuelve a través de seis vigas pretensadas transversales, excavadas manualmente en la cimentación del puente.

Para controlar el riesgo de la aparición de un sismo durante los cuatro meses de la ejecución, se ha dispuesto un sistema temporal de arriostramiento entre las pilas del puente histórico.

Toda la operación se ha realizado con desplazamientos por debajo de los 5 mm el asiento máximo en cualquiera de las pilas, sin que se haya detectado daño alguno a la estructura del puente. El asiento acumulado ha quedado compensado y corregido por la acción de los gatos hidráulicos.



Puente Trujillo apeado sobre micropilotes



Gatos hidráulicos para la maniobra heavy - lifting

El puente ha quedado finalmente apoyado sobre la estructura del túnel de hormigón armado, al que se le dota de shear-walls para garantizar un comportamiento rígido en eventos sísmicos.

## 220. LOS PUENTES DEL MTDC PARA NORTH TARRANT EXPRESS SEGMENT 3AN EN TEXAS, ESTADOS UNIDOS

### MTDC BRIDGES FOR NORTH TARRANT EXPRESS SEGMENT 3AN PROJECT IN TEXAS, USA

Jaime Burón García. AECOM. Madrid Transportation Design Center. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jaime.buron@aecom.com](mailto:jaime.buron@aecom.com)

Wally R. Burns. AECOM. Transportation, Houston TX. P.E. [wally.burns@aecom.com](mailto:wally.burns@aecom.com)

Romina Granullaque Díaz. AECOM. Madrid Transportation Design Center. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [romina.granullaque@aecom.com](mailto:romina.granullaque@aecom.com)

Andrzej Kaplon. AECOM. Madrid Transportation Design Center. Ms Civil Engineer. [andrzej.kaplon@aecom.com](mailto:andrzej.kaplon@aecom.com)

Juan Antonio Calvo Benítez. AECOM. Madrid Transportation Design Center. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [juanantonio.calvo@aecom.com](mailto:juanantonio.calvo@aecom.com)

Prefabricado, puente de vigas, pila pórtico, optimización, AASHTO.

*Precast, girder bridge, straddle-bent, optimization, AASHTO.*

El proyecto North Tarrant Express (NTE) comprende un conjunto de mejoras de las autopistas del área metropolitana de Fort Worth/Dallas, la cuarta por número de habitantes de los EEUU. El proyecto pretende reducir los problemas de tráfico, mejorar la seguridad y anticiparse a las necesidades de desarrollo de uno de los condados más pujantes de la región. Los viales públicos se reordenarán para dar espacio a nuevos carriles de pago, ayudando a reducir tiempos de viaje.

El Madrid Transportation Design Center (MTDC), como parte del equipo de AECOM, ha sido responsable de la ingeniería de carreteras, estructuras y desvíos provisionales de los 5 km del tramo clave denominado 3AN, que incluye la remodelación del enlace de cuatro niveles entre las dos autopistas IH-35W&IH-820.



Puente 205 en ejecución para el cruce de la GP35-NB sobre Hodge Yard



Vista del enlace entre IH-35W y IH-820 en sentido norte

Los 22 puentes diseñados por el equipo del MTDC de AECOM se han resuelto con tableros de vigas prefabricadas en doble T, excepto los 3 puentes que cruzan sobre la playa de vías de HodgeYard, donde el uso de un tablero mixto de 70 m de longitud de vano mejora las condiciones de las operaciones ferroviarias.

En el enlace entre la IH-35W y la IH-820, los 8 “puentes conectores” diseñados por el MTDC de AECOM, con pilas de altura hasta 24 m y longitudes totales de hasta 1.015 m, son un buen ejemplo de los retos abordados durante las fases de diseño y construcción:

- Preponderancia de tipologías estructurales que favorecen el uso eficiente de elementos prefabricados. El empleo de las vigas Tx54 en los tableros de todo el enlace, y la limitación de luz máxima asociada, conlleva el planteamiento de una subestructura compleja y con gran variedad de soluciones.
- La estricta geometría resultante de los esfuerzos de optimización de trazados convirtieron al enlace en un complejo sistema de ejes interconectados en el que cualquier modificación de un elemento era susceptible de provocar cambios en los puentes restantes, incluyendo los 2 “puentes conectores” recientemente ejecutados como parte del tramo adjunto NTE-W.
- La coordinación precisa con los desvíos temporales de tráfico se convirtió en primordial, dada la importancia de mantener el tráfico durante la ejecución de las obras. El diseño de todo el conjunto considera además el futuro desarrollo vial, conocido como Ultimate Configuration.

El resultado es un ejemplo de éxito en el empleo de soluciones estructurales optimizadas, capaces de adaptarse a la naturaleza evolutiva de un enlace multinivel de primer orden y puestas al servicio de las redes de circulación en áreas de gran expansión.

## 225. EL VIADUCTO MIXTO SOBRE EL RÍO TAJO EN TALAVERA DE LA REINA

### THE COMPOSITE STEEL AND CONCRETE VIADUCT OVER THE RIVER TAJO IN TALAVERA DE LA REINA

Francisco Millanes Mato. IDEAM, S.A. Presidente. Dr.Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [francisco.millanes@ideam.es](mailto:francisco.millanes@ideam.es)  
 Miguel Ortega Cornejo. IDEAM, S.A. Director de Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [miguel.ortega@ideam.es](mailto:miguel.ortega@ideam.es)  
 Daniel Martínez Agromayor. IDEAM, S.A. Director de Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [daniel.martinez@ideam.es](mailto:daniel.martinez@ideam.es)  
 Pablo Solera Pérez. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablo.solera@ideam.es](mailto:pablo.solera@ideam.es)  
 Juan Luis Mansilla Domínguez. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [juanluis.mansilla@ideam.es](mailto:juanluis.mansilla@ideam.es)

Estructura metálica, puente mixto, doble acción mixta, celosía, pretensado.

*Steel structure, composite steel and concrete bridge, double composite action, truss, prestressing.*

El viaducto sobre el río Tajo pertenece a la Variante Suroeste de Talavera de la Reina, Tramo Enlace actual con la N-V hasta el P.K. 122.5 (aproximadamente) de la N-502 al sur de Talavera.

El tramo principal continuo del viaducto, objeto de esta presentación, es el resultado de un proyecto modificado realizado por IDEAM para la empresa constructora SACYR mediante una estructura híbrida de 4 vanos y luces 27,75 + 56,25 + 114,00 + 55,75 m, salvando su vano central el cauce del río Tajo con un vano principal de 114 m de luz.



Montaje vano central



Alzado puente acabado

Los vanos 1, 2 y 4 junto con los 9,75 m de cada extremo del vano central (vano 3) se ejecutan con una sección cajón de hormigón pretensado, al poder cimbrarse contra el terreno, mientras que el tramo central del vano 3, de 94,5 m de longitud total, se ejecuta con una sección bijnaca mixta en cajón estricto, materializada por dos vigas laterales armadas con almas inclinadas y canto variable, con un cierre inferior no estructural en la zona a flexión positiva para hacer el tablero visitable para inspección y mantenimiento, y con doble acción mixta en la zona a flexión negativa cercana a las pilas. El cajón mixto estricto es distorsionable frente a acciones excéntricas, cerrándose el circuito de torsión únicamente en las zonas con doble acción mixta.

El empleo del tramo central del vano principal mixto facilita notablemente la ejecución sobre el río Tajo, al poder montarse la estructura metálica con grúas, evitando así el empleo de carros de avance por voladizos, que presentan un coste relativo muy importante.

En el artículo se explicarán los detalles de conexión entre el tramo con sección mixta y el cajón de hormigón pretensado, así como los detalles de las celosías de arriostramiento de vigas.

El proceso constructivo empleado para producir la menor afección posible al río Tajo, que se desarrollará con detalle en el artículo, ha consistido en:

- Ejecución de los vanos laterales de hormigón con cimbra cuajada.
- Colocación apeada de la estructura metálica de 9,75 m en cada extremo del tramo central, hormigonado de fondo y tesado de conexión con el cajón pretensado.
- Descimbrado y colocación con grúas del tramo central metálico de unos 50 m de longitud y soldadura en continuidad de estructura metálica.
- Colocación de prelosas, ferrallado y hormigonado de losa superior.
- Acabados.
- Cimentaciones complejas con un alto número de pilotes y geología mixta combinando suelo disgregado con grandes bolos.
- Como condicionante constructivo es la ejecución sobre la Central Eléctrica EGASA con una distribución de luces de hasta 157 m para salvar la afección.
- Altura sobre rasante de más de 50 m sobre el río.

## 229. PUENTE SINGULAR EN LA PLAZA ABU DHABI DE RIAD

### ICONIC BRIDGE IN ABU DHABI SQUARE OF RIYADH

Ignacio Hinojosa Sánchez-Barbudo. Ayesa Ingeniería y Arquitectura, S.A.U. Director de Ingeniería Civil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ihinojosa@ayesa.com](mailto:ihinojosa@ayesa.com)

Puente, celosía espacial, cajón metálico, icónico, detalles arquitectónicos.

Bridge, space truss, box-girders, iconic, architectural aspects.

El puente diseñado pertenece a la colección de puentes icónicos, en los que los detalles estructurales se vinculan a los detalles arquitectónicos.

La alineación vertical del puente es una curva parabólica convexa con una curvatura  $k = 46,399$ . La pendiente de bajada es de 4,266% y la de subida de 4,355%. La longitud de la curva vertical es de 400 metros.

La alineación en planta de la carretera es una curva circular con un radio de 180,50 metros y 158,934 metros de largo. Dos clotoides se conectan a ambos lados de la curva circular con el fin de asegurar una transición suave entre la tangente y la curva circular.

El emplazamiento de las pilas ha sido condicionado por la posición de las carreteras existentes y las estaciones de metro. Con el fin de cumplir con todos los requisitos se ha adoptado la siguiente distribución de vanos:  $40 + 60 + 60 + 60 + 60 = 280$  metros.

La sección transversal tiene un ancho total de 14,30 metros, distribuido de la siguiente forma: 3 carriles de 3,5 metros, 2 arcones de 0,6 metros, dos aceras de mantenimiento de 0,6 y 1 metro, y dos barreras de seguridad.

Bajo estos condicionantes, las soluciones estructurales necesitan tener una alta rigidez a la flexión y a la torsión. Soluciones como vigas cajón, de hormigón, acero o mixtas, requieren un gran canto con el fin de salvar los vanos de 60 metros y controlar la flexión y deformaciones de torsión.

Puentes de celosía metálica (celosía espacial) son lo suficientemente rígidos como para controlar las deformaciones debido a su gran canto, pero con el fin de evitar el pandeo de los elementos de compresión, se requiere el diseño de perfiles potentes y grandes con el consecuente diseño muy pesado y de enorme impacto visual.

Se ha elegido un diseño estructural mixto entre dos tipologías: viga-cajón mixta y celosía espacial de acero, con el fin de aprovechar sus capacidades.

Primero una viga-cajón mixta se debe construir. La sección transversal está formada por un cajón de acero de tres células y una losa de hormigón de compresión. La anchura de la sección es de 14,30 metros y el canto de la sección de acero es sólo de 1,50 metros, con un espesor



Vista interior del Puente singular



Perfil del Puente singular

de la losa de hormigón es de 0,25 metros. El resultado es un tablero muy esbelto, con una relación longitud/altura=60/1,75=34.

### 238. PUENTES URBANOS EN GHANA: ENLACE DE KWAME NKRUMAH IN ACCRA Y ENLACE DE KASOA EN LA AUTOPISTA ACCRA-CABO CORSO

#### URBAN BRIDGES IN GHANA: KWAME NKRUMAH INTERCHANGE IN ACCRA AND KASOA INTERCHANGE ON ACCRA-CAPE COAST HIGHWAY

Javier Torrico Liz. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Director División Puentes y Obra Civil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jtl@fhcor.es](mailto:jtl@fhcor.es)

José Antonio Roldán Torres. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Jefe de Equipo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jart@fhcor.es](mailto:jart@fhcor.es)  
 Ana Palomanes Soto. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Ingeniera de Proyecto. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [aps@fhcor.es](mailto:aps@fhcor.es)  
 Elena Hortigüela Páramo. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Ingeniera de Proyecto. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [ehp@fhcor.es](mailto:ehp@fhcor.es)  
 Julio Sánchez Delgado. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jsd@fhcor.es](mailto:jsd@fhcor.es)

Puentes mixtos, puentes urbanos.

Composite bridges, urban bridges.

La populosa capital ghanesa, Acra, precisa de nuevas infraestructuras viarias que mejoren la fluidez del tráfico, como la remodelación de la Glorieta de Kwame Nkrumah.

La constructora Queiroz Galvao contactó con FHECOR para desarrollar un proyecto estructural que fuese de rápida ejecución y minimizase a la afección al tráfico durante su construcción. El proyecto comprende las siguientes estructuras.

- RING ROAD VIADUCTS: incluye 5 estructuras:
  - Main Viaduct: viaducto de 925 m de longitud, con 25 vanos, luz máxima de 41 m y 24,0 m de ancho de tablero.
  - Ramp Down Nkrumah: longitud total de 93,5 m y ancho 9,20 m.
  - Ramp Up Nkrumah: longitud total 57,7 m y ancho 6,50 m.
  - Ramp Down Feo Oyeo: longitud total 141,5 m y ancho 6,50.
  - Ramp Up Feo Oyeo: longitud total 143 m y ancho 6,50.
- LOOP: viaducto de 323 m de longitud, con 10 vanos, luz máxima 41 m y 9,20 m de ancho de tablero.
- AKASANOMA: viaducto de 168,3 m de longitud, con 5 vanos, luz máxima 41 m y 9,20 m de ancho de tablero.
- NSAWAM: viaducto de 167,8 m de longitud, con 5 vanos, luz máxima 40 m y 9,20 m de ancho de tablero.
- BRIDGE 1: 1 vano de 34,50 m de luz, ancho 11,65 m.
- BRIDGE 2: 1 vano de 34,50 m de luz, ancho 18,15 m.



Figura 1. Enlace de Kwame Nkrumah



Figura 2 Enlace de Kasoa

- BRIDGE 3: 1 vano de 35,20 m de luz, ancho 12,30 m.
  - Los condicionantes de diseño llevaron a plantear soluciones de tablero mixto susceptibles de ser transportadas en contenedores marítimos, con un mínimo de soldadura en obra y prelasas de fácil ejecución. De esta forma los tableros están formados por vigas cajón enlazadas por vigas transversales que permiten la disposición de prelasas biapoyadas.
  - La solución fue del agrado de las autoridades ghanesas y la seleccionaron para ejecución de otro enlace en la cercana ciudad de Kasoa. Enlace que incluye las siguientes estructuras:
- Central Interchange:
  - Viaducto de 270 m de longitud, con 8 vanos de luz máxima de 36,50 m y ancho del tablero de 18,50 m.
  - Paso inferior peatonal tipo marco de 18,80 m de longitud y dimensiones interiores de 7,55 × 3,75 m.
- East Interchange: paso superior 2 vanos de 20,50 + 20,50 m de luz y 12 m de ancho.
- West Interchange: paso superior 2 vanos de 19,80 + 19,80 m de luz y 12 m de ancho.

### 239. PASARELA ZABALGANA SOBRE EL FERROCARRIL MADRID-IRÚN EN VITORIA

#### ZABALGANA FOOTBRIDGE OVER MADRID – IRÚN RAILROAD IN VITORIA

José Romo Martín. FHECOR Ingenieros Consultores. Director. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jrm@fhcor.es](mailto:jrm@fhcor.es)  
 Francisco Prieto Aguilera. FHECOR Ingenieros Consultores. Jefe Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fpa@fhcor.es](mailto:fpa@fhcor.es)  
 Lola Capdevila González-Navia. FHECOR Ingenieros Consultores. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mdcgn@fhcor.es](mailto:mdcgn@fhcor.es)

Pasarela, acero, cables cerrados.

*Footbridge, steel, fully locked coil cables.*

La pasarela de Zabalgana es el resultado de un concurso en el que FHECOR realizó una propuesta basada en:

### FUNCIONALIDAD

La implantación permite el mínimo recorrido peatonal, con un acceso único desde el sur, cerca del Colegio existente, y dos accesos en la zona norte donde la demanda es más dispersa.

Los requisitos del gálibo ferroviario y de accesibilidad han llevado a la realización de una gran rampa en el norte.

### CONSTRUCCIÓN DE UNA TOPOGRAFÍA VERDE

La gran rampa necesaria en la zona noroeste se ha construido en su mayor parte en terraplén, generando una topografía que protege y aísla las edificaciones próximas del tráfico ferroviario y que crea un espacio verde, prolongación de las amplias zonas verdes de Zabalgana.

### MINIMIZACIÓN FORMAL: OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL

La pasarela se ha proyectado buscando la mínima intrusión visual. Para ello se ha evitado la construcción de elementos de gran porte, creando un único elemento que no compite con las construcciones del entorno.

La estructura principal se ha diseñado con una configuración geométricamente sencilla, acorde con la actuación urbanística de la zona, con un tablero en acero con forma de "U" y canto constante, que se prolonga en los tramos estructurales de rampas y escalera dando una unidad formal al conjunto.

### INTEGRACIÓN URBANÍSTICA

Para evitar la creación de zonas marginales, frecuentes en puentes y pasarelas urbanas, se ha liberado la zona bajo el desembarco norte, creando bajo la estructura una posible zona de esparcimiento. En esta zona se han evitado los apoyos directos, y se ha dispuesto un atirantamiento inferior sencillo que proporciona el efecto de "posado" de la pasarela sobre sus apoyos.



*Vano principal sobre el ferrocarril, y vanos extremos en rampa y escalera*

tamiento inferior sencillo que proporciona el efecto de "posado" de la pasarela sobre sus apoyos.

### FACILIDAD CONSTRUCTIVA

La pasarela se ha planteado como una estructura metálica, ya que presenta una menor afección durante su construcción con el ferrocarril. El ensamblaje se ha realizado apoyando el tramo principal en la zona sur y conectándolo a la estructura de meseta y rampas de la zona norte mediante dos grúas, con una ocupación mínima y temporal del espacio situado entre el vallado del ferrocarril.

## 240. ENLACE A 2 NIVELES MEDIANTE GLORIETA ELEVADA DE TABLERO DE HORMIGÓN ALIGERADO PRETENSADO EN EL CONCELLO DE ARTEIXO, A CORUÑA

### POST-TENSIONED CONCRETE STRUCTURE IN TWO-LEVEL ROUNDABOUT INTERSECTION IN ARTEIXO (A CORUÑA)

Jesús José Corbal Álvarez. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [corbal@temha.com](mailto:corbal@temha.com)

José Antonio González Meijide. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [meijide@temha.com](mailto:meijide@temha.com)

Alberto Esteban Castrillejo. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [esteban@temha.com](mailto:esteban@temha.com)

Arturo Antón Casado. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [anton@temha.com](mailto:anton@temha.com)



*Acceso a la pasarela desde la rampa noroeste*

Glorieta elevada, hormigón pretensado, cámara de tesado, enlace a dos niveles.

*Raised roundabout, Post-tensioned concrete, post-tensioning chamber, two-level intersection.*

La estructura forma parte de un enlace a dos niveles en el que confluyen seis ramales, de los que únicamente tres permiten el acceso al nivel superior. El nivel superior está formado por una glorieta elevada y tres rampas de acceso que se resuelve mediante una única estructura hiperestática de tablero de hormigón pretensado aligerado sin



Enlace de Sabón. Vista aérea



Enlace de Sabón. Vista inferior

presencia de juntas intermedias. El nivel inferior está compuesto por una glorieta concéntrica a la del nivel superior y de radio mayor, de forma que las pilas de la estructura superior se inscriben en el interior de la glorieta inferior. La estructura se engloba dentro del proyecto "Acondicionamiento da Conexión das Estradas: AC-552, AC-551 y DP-0509. Concello de Arteixo".

La solución adoptada para el tablero de la glorieta elevada consiste en una losa aligerada de hormigón pretensado, cuya sección transversal tiene una anchura de 11,10 m de anchura, describiendo un trazado circular de 23 m de radio y 144,50 m de longitud, repartidos en seis vanos de luces 22,00 m - 22,01 m - 20,07 m - 20,08 m - 30,18 m - 30,15 m.

Los tableros de los tres viales que acceden a la glorieta son de tipo "pantalón", con una bifurcación para acoger los ramales de entrada y salida. Estos tableros tienen un ancho de 6,60 m en la zona bifurcada, que pasan a ser variable entre 13,00 m y 10,10 m en el tramo común. Al igual que en el caso de la glorieta, la solución estructural consiste en una losa aligerada de hormigón pretensado. El canto del tablero,

tanto de la glorieta como de los ramales, es de 1,15 m, lo que aporta una gran esbelteza a la estructura.

Dada la geometría de la estructura superior, el tablero se ejecutó en tres fases, siendo necesario realizar el tesado de la tercera fase desde cámaras de tesado que se dejaron preparadas en las zonas de los tableros correspondientes a las dos primeras fases.

La glorieta se sustenta en 6 pilas de hormigón armado de sección maciza constituida transversalmente por un tramo recto en la zona interior y un tramo curvo de radio en la parte exterior de la glorieta de radio 8,92 m. conformando una sección variable desde 1,40 m en cabeza hasta 4,10 m en la base. Los tableros de los ramales se apoyan en 3 estribos de hormigón armado formados por un fuste de sección variable en dirección transversal al ramal. La cimentación es profunda en todos los casos.

## 242. PUENTE SOBRE EL RÍO PERENÉ EN LA COMUNIDAD NATIVA DE CAPACHARI, DISTRITO DE PICHANAKI, REGIÓN DE JUNÍN, PERÚ

### PERENÉ RIVER BRIDGE IN THE NATIVE COMMUNITY OF CAPACHARI, PICHANAKI DISTRICT. PERÚ

Jesús José Corbal Álvarez. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [corbal@temha.com](mailto:corbal@temha.com)

José Antonio González Meijide. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [meijide@temha.com](mailto:meijide@temha.com)

Alberto Esteban Castrillejo. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [esteban@temha.com](mailto:esteban@temha.com)

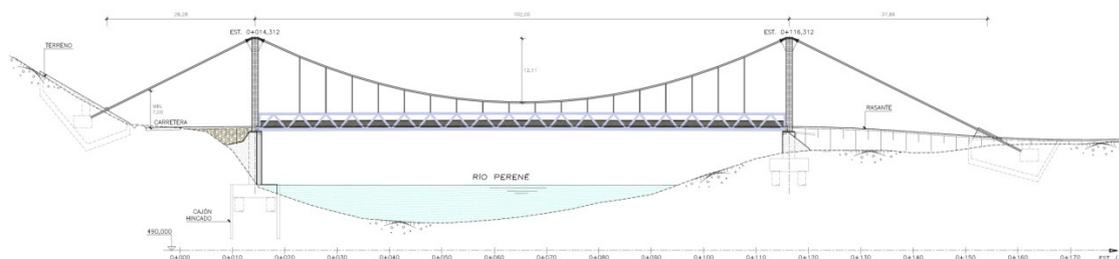
Puente colgante, tablero celosía, catenaria, mástiles, río Perené.

*Suspension bridge, lattice, catenary, masts, Perené river.*

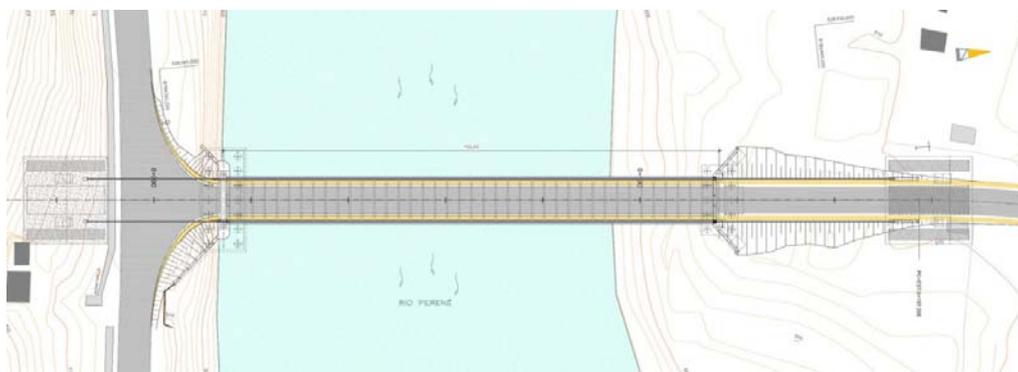
El puente sobre el río Perené es un puente colgante que permite el paso sobre el río Perené en la comunidad nativa del Capachari, distrito de Pichanaki en Perú. El puente presenta una luz de 102 m que se salva disponiendo en cada margen del río Perené dos mástiles dobles que elevan los cables hasta 17 metros de altura por encima de la rasante y que se anclan en ambos extremos en macizos de cimentación.

Los cables principales, que presentan una flecha de 12,11 metros en el centro del puente, están formados por 75 cordones de siete hilos de acero de alto límite elástico, de 15,70 mm de diámetro nominal.

A ambos lados del tablero se disponen dos celosías metálicas, de 3,40 metros de canto, constituidas por un cordón longitudinal superior, otro inferior y diagonales de sección rectangular hueca. Las celosías están unidas en sus nudos por traviesas metálicas sobre las que se dispone una losa de hormigón armado. La anchura libre entre paramentos interiores de las celosías es de 8,10 m, lo que permite albergar



Puente sobre el río Perené. Alzado



Puente sobre el río Perené. Planta

dos carriles de 2,75 metros de anchura, dos bermas de 0,50 metros y sendas veredas de 0,80 metros de anchura.

El tablero transmite la carga vertical a los cables principales a través de unas péndolas formadas por 4 cordones de siete hilos de acero de alto límite elástico, de 15,70 mm de diámetro nominal.

Los mástiles están formados por dos fustes de sección rectangular situados a cada lado de la sección tipo, con canto constante de 1,20 metros y anchura variable entre 1,55 metros en la base y 1,00 metro en coronación donde una viga de atado une ambos fustes. Los mástiles se apoyan sobre sendos pilonos de hormigón armado, sobre los que apoyan ambos extremos del tablero a través de aparatos de apoyo de neopreno anclados.

Como topes longitudinales y transversales frente a sismo se disponen apoyos de neopreno en dirección vertical. La cimentación de los pilonos es profunda con un encepado de pilotes de 1,50 metros de diámetro.

En la coronación de los fustes se dispone embebida una silla de desviación metálica que materializa la vinculación de los cables principales con los mástiles. Los cables principales se anclan en ambos extremos en macizos de cimentación de hormigón armado, en los que se dispone una cámara de tesado para la puesta en carga.

La construcción comenzó a finales de 2016.

### 243. PUENTE SOBRE EL RÍO MIÑO EN OS PEARES, OURENSE

#### BRIDGE OVER MIÑO RIVER EN OS PEARES (OURENSE)

Jesús José Corbal Álvarez. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [corbal@temha.com](mailto:corbal@temha.com)

José Antonio González Mejjide. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mejjide@temha.com](mailto:mejjide@temha.com)

Arturo Antón Casado. TEMHA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [anton@temha.com](mailto:anton@temha.com)

Puente mixto, integración paisajística, puente pórtico, proceso constructivo.

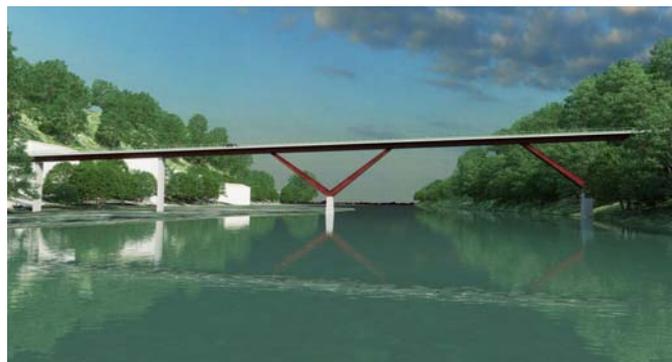
*Composite bridge, landscape integration, constructive process.*

Para resolver los problemas de accesibilidad de los núcleos ubicados en el entorno de Os Peares, se proyecta un nuevo puente que permite el cruce sobre el Río Miño aguas abajo de su confluencia con el Río Sil. El vial unirá la antigua carretera nacional N-120 con el núcleo de A Peroxa.

Teniendo en cuenta las condiciones del viario existente en el entorno y la potencial demanda de tráfico, que condicionan su funcionalidad,

los aspectos ambientales y su encaje paisajístico, así como los criterios económicos, se ha considerado como solución más adecuada un tablero de 193,60 m de longitud, con cinco vanos de luces 20,50 - 34,10 - 45,00 - 64,00 - 30,00 m, correspondiendo el vano mayor al cruce del cauce sobre el Río Miño. El tablero tiene 6,25 m de ancho total, en los que se dispone una calzada compartida de 5,05 m, y espacio para dos pretiles de 0,60 m cada uno.

La solución tipo pórtico con células en "V" en las pilas más próximas al río permite salvar una luz de 64,0 m en el vano principal empleando elementos de en torno a 30,0 m de longitud. De esta forma el transporte y los medios necesarios para el montaje son de un tamaño adecuado a los accesos disponibles, dado el difícil acceso existente en la



Vista general en alzado



Vista lateral del tablero

margen derecha del río. En la elección de esta tipología se ha buscado un esquema estructural cuya estética encaje en el entorno y de poca presencia, minimizando la afección visual sobre el entorno natural.

El tablero es de sección mixta de canto constante de 1,50 m, con cajón metálico de 1,20 m de canto y 3,28 m de ancho máximo, sobre el que se dispone una losa de hormigón armado.

El apoyo del tablero se realiza sobre cuatro pilas. Las pilas 1 y 2 son convencionales, verticales de sección constante. Por su parte, los brazos en V se apoyan sobre plintos de hormigón, que constituyen las pilas 3 y 4. Para las pilas 1 y 2 la sección del fuste es rectangular maciza de dimensiones 2,0 × 1,0 m. Las pilas 3 y 4 son de fuste rectangular hueco de 2,40 m de ancho y de canto variable. Los estribos son cerrados con muros en vuelta.



Figura 2. Fotomontaje del detalle de la celosía del puente

## 248. PUENTE SOBRE EL BARRANCO DEL CINT

### BRIDGE OVER THE BARRANCO DEL CINT

Fernando Ibáñez Climent. Degree of Freedom Engineers. Socio/Director. MSc ICCP. [f.ibanez@dofengineers.com](mailto:f.ibanez@dofengineers.com)

Salvador Monleón Cremades. Universidad Politécnica de Valencia. Catedrático Dep. Mecánica Medios Continuos ETSICCP. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [smonleon@mes.upv.es](mailto:smonleon@mes.upv.es)

Sergio Albero Chacón. Degree of Freedom Engineers. Ingeniero Senior. MSc ICCP PMP®. [s.albero@dofengineers.com](mailto:s.albero@dofengineers.com)

Manuel Sánchez-Solís Rabadán. Degree of Freedom Engineers. Ingeniero. MSc ICCP. [m.sanchez@dofengineers.com](mailto:m.sanchez@dofengineers.com)

Diseño, Monleón, mixto, celosía, lanzamiento.

Design, Monleón, composite, truss, launching.

En febrero de 2016 el Ayuntamiento de Alcoy (Alicante) adjudicó a Degree of Freedom mediante concurso el proyecto de un puente. Éste se ubicará al noreste del municipio y conectará, por el sur el sector la Solana 1 con la Calle Bernat al norte, cruzando el denominado Barranco del Cint.

La propuesta se desarrolló a partir del concepto inicial de Salvador Monleón Cremades, Catedrático de Puentes de la Universidad Politécnica de Valencia, y cuida enormemente los detalles así como la adaptación general al entorno.

El puente, de 96 m longitud y 13 m de ancho, dispone de un vano principal mixto de 58,5 m encastrado al conjunto monolítico que forman una pila única de 12 m de altura inclinada hacia el barranco y un vano de 37,5 m, ambos de hormigón armado.

El tablero del vano principal es un cajón monocelular de celosías Warren con perfiles de acero tubulares y armados en H. Su canto es variable, pasando de 2 m en estribos a 4 m en la pila. Completa la sección una losa de 22 cm de hormigón armado encofrado mediante prelosas armadas.



Figura 1. Fotomontaje de la vista general del puente del Barranco del Cint

El vano corto lo forman dos jácenas y una única pila con dos fustes inclinados, configurando en alzado dos medias Z. Todos los cantos crecen hacia el nudo central, siendo el del vano de hormigón una simetría del vano mixto. Su mayor peso frente al vano mixto permite equilibrar los momentos transmitidos a los cimientos.

En el diseño del tablero sobresalen tanto los voladizos de 3,25 m del tablero, donde se replica a lo largo de todo el puente una retícula triangular nervada, como los paramentos de hormigón, a los que se les ha aplicado un encofrado ondulado.

Completan el sistema estructural los estribos en los extremos de tablero y la cimentación de la pila, formada por un gran encepado excéntrico con 20 pilotes.

Uno de los mayores retos durante el desarrollo del proyecto fue sin embargo concebir el proceso de ejecución del puente, puesto que se ha considerado como óptimo el ensamblaje y lanzamiento de la celosía desde el lado norte, previa ejecución del conjunto de hormigón armado. Además, se ha tenido que gestionar la presencia de una línea de alta tensión justo sobre el estribo sur, que dificultará la maniobra de las grúas.

Actualmente, el proyecto de construcción del puente se ha completado y dará pie a la fase de licitación de las obras.

## 249. VIADUCTO DEL CERRO DE SAN CRISTÓBAL. PROYECTO LÍNEA AMARILLA, LIMA, PERÚ

### CERRO DE SAN CRISTÓBAL VIADUCT. LÍNEA AMARILLA PROJECT. LIMA (PERÚ)

Javier Vaquero Molina. TYPSA. Jefe de Equipo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jvaquero@typsa.es](mailto:jvaquero@typsa.es)

Eduardo Torralba Bozzano. TYPSA. Jefe de Equipo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [etorralba@typsa.es](mailto:etorralba@typsa.es)

José Manuel Duro Rodríguez. TYPSA. Jefe de Equipo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jmduro@typsa.es](mailto:jmduro@typsa.es)

Álvaro del Cuvillo M-Ridruejo. TYPSA. Jefe de Sección. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [adelcuvillo@typsa.es](mailto:adelcuvillo@typsa.es)

Aerls de la Rosa Toro. TYPSA. Jefe Dpto. Estructuras Perú. Ingeniero Civil. [adelarosatoro@typsa.com](mailto:adelarosatoro@typsa.com)

José Luis Sánchez Jiménez. TYPSA. Director Departamento Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jlsanchez@typsa.es](mailto:jlsanchez@typsa.es)

Viaducto, tablero mixto, socavación, aislamiento sísmico, LRB.

Viaduct, mixed deck, scour, seismic isolation, LRB.

El viaducto Cerro de San Cristóbal es el de mayor longitud y complejidad del proyecto de Línea Amarilla, una concesión de una nue-

va vía rápida en el centro de Lima, con una longitud total de unos 9 km.

El viaducto marca la entrada a la vía expresa Línea Amarilla desde la vía de Evitamiento, en dirección oeste. Consta de 5 vanos con una distribución de luces de 60 + 110 + 110 + 80 + 60 m, siendo la longitud total del puente 420 m. De esta forma se consigue salvar la principal vía existente, la vía de Evitamiento, así como el río Rímac y otras comunicaciones existentes de conexión con la avenida 9 de octubre.

Es un viaducto urbano curvo, con un radio de 350 m, con unos fuertes condicionantes para su encaje tanto en planta como en alzado. Para evitar los problemas de socavación debido al carácter torrencial del río Rímac las pilas directamente afectadas se han proyectado con cimentación profunda, mediante pilotes, con una protección de escollera.

La solución estructural del tablero es la de dos cajones metálicos, sobre los que se ejecutará una losa de hormigón de 25 cm de espesor constante. Ésta quedará conectada al cajón metálico mediante conectores, para su comportamiento global como estructura mixta. En las zonas próximas a las pilas se ha dispuesto una losa inferior de hormigón con el fin de contribuir a la resistencia de la estructura, así como rigidizar la chapa de fondo, con una doble acción mixta.

El cajón metálico en alzado tiene un canto constante de 3,25 m, salvo en las proximidades de las pilas P1, P2 y P3. En dichas zonas, se ha diseñado un canto variable de trazado parabólico, llegando a medir el cajón metálico 5,75 m en el eje de las pilas.

Se han diseñado unos aparatos de apoyo de neopreno zunchado con núcleo de plomo, para amortiguar las fuerzas debidas al sismo. Para el desarrollo del diseño sísmico se ha seguido lo indicado en Guide Specifications for LRFD Seismic Isolation Design, de AASHTO.

La intención básica del aislamiento sísmico es doble: aumentar el período fundamental de vibración de la estructura, de forma que dis-

minuyen las aceleraciones y por tanto las fuerzas, y disipar parte de la energía debida al sismo, por plastificación de los núcleos de plomo. No se han diseñado rótulas plásticas, por lo que en caso de sismo no será necesario llevar a cabo ninguna reparación en la subestructura.

## 257. DOS PASARELAS PARA LA CIUDAD DE OSLO

### TWO PEDESTRIAN BRIDGES FOR THE CITY OF OSLO

Gaute Mo. Degree of Freedom Engineers. Socio/Director.

MSc Sivilingeniør ICCP. [g.mo@dofengineers.com](mailto:g.mo@dofengineers.com)

Mario Rando. Degree of Freedom Engineers. Ingeniero Senior.

MSc ETSIIM. [m.rando@dofengineers.com](mailto:m.rando@dofengineers.com)

Teresa Caballero. Degree of Freedom Engineers. Ingeniera Senior.

MSc ICCP. [t.caballero@dofengineers.com](mailto:t.caballero@dofengineers.com)

Pasarela, puente, acero, Cor-Ten, cables.

Pedestrian, bridge, steel, Cor-Ten, cables.

Recientemente terminados en 2016 para la ciudad de Oslo encontramos los puentes peatonales “Bumerán” y “Colgante”.

Así nombrado por su forma en planta, con 85m de longitud el puente Bumerán cruza la ronda exterior de Oslo, con sus cuatro vanos siguiendo la serpenteante forma de las sendas adyacentes, evitando así árboles y otros obstáculos de la naturaleza. Es una viga cajón continua de acero, con sección transversal asimétrica. El canto máximo del tablero es de 0,85 m, resultando una relación canto-luz de 1/26 para el vano mayor (22 m). Los tres soportes intermedios son de secciones circulares huecas simulando los pinos vecinos. El diseño pretende dar la impresión de un tablero curvo que flota sobre la carretera.

El puente esta realizado con acero autopatinable Cor-Ten, para evitar la necesidad del pintado y minimizar el mantenimiento futuro. Su peculiar aspecto oxidado integra el puente con el entorno forestal que lo rodea. Los elementos en contacto con los usuarios, como los pasa-



Vano 2 de 110 m. Cruce de la avenida Evitamiento



Colocación de prelosas en el último vano, cerca del estribo 2



Figura 1. Pasarela “Bumerán”



Figura 2. Pasarela “Colgante”

manos y los solados son, respectivamente, de acero inoxidable y de un revestimiento antideslizante de un color claro, proporcionando una experiencia más placentera tanto a ciclistas como a viandantes.

El puente colgante tiene 36 m de longitud cruza y por encima de un pequeño valle ribereño cercano a ronda exterior de Oslo.

Los elementos estructurales principales que soportan el tablero de 2 m de ancho son  $2 \times 2$  cables tipo locked-coil, que forman una suave parábola entre los estribos. Para transmitir las cargas del tablero y barandillas se ha diseñado un entramado de acero formado por vigas transversales cada 1,5 m, perfiles en L en los bordes y en diagonales. Estos elementos proporcionan además la rigidez horizontal necesaria al tablero. Los estribos de hormigón se han anclado en la roca para compensar el tiro de las catenarias.

El diseño pretende maximizar el uso de elementos ligeros prefabricados, para facilitar la ejecución del puente y minimizar el impacto sobre el entorno natural.

Dada la ligereza de la estructura del puente se estudiaron durante la fase de diseño las aceleraciones debidas a las vibraciones inducidas por los peatones, y de este modo evaluar el nivel de confort de los usuarios de la pasarela.

## 263. PUENTE PEATONAL SOBRE EL RÍO SINÚ

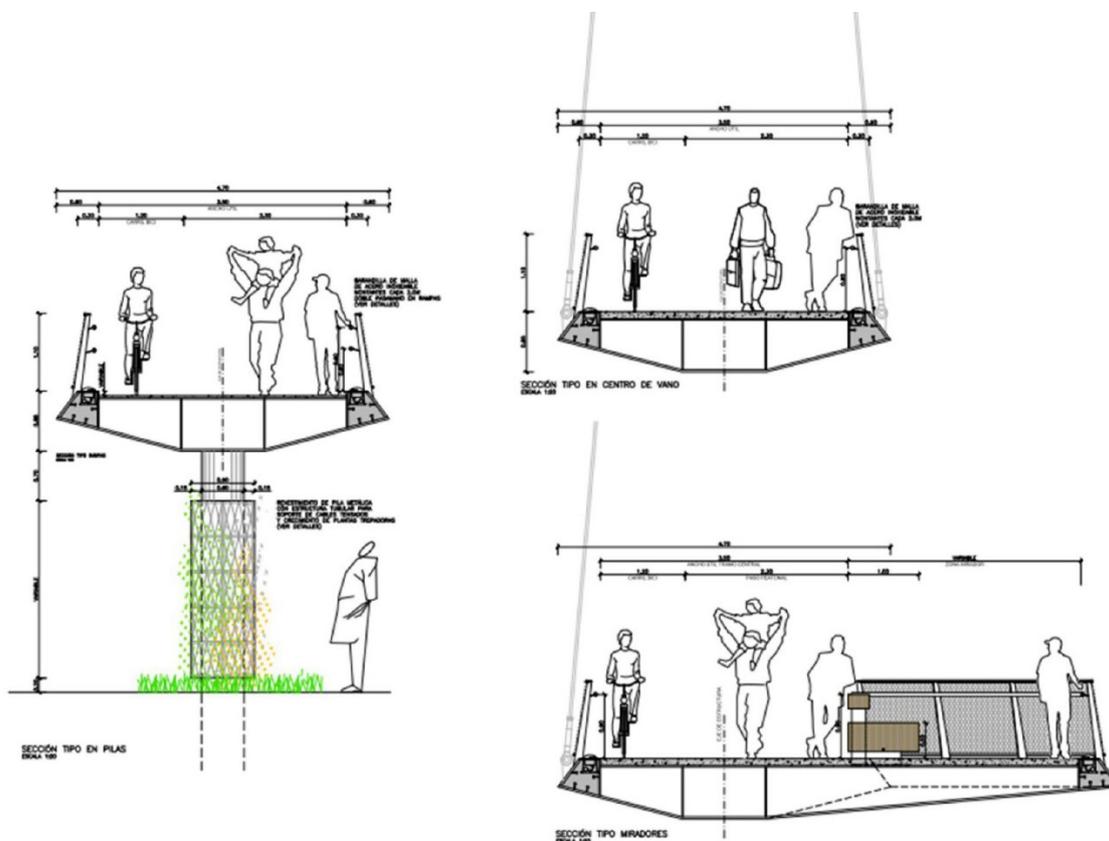
### PEDESTRIAN FOOTBRIDGE OVER THE SINÚ RIVER

Carlos García Acón. Esteyco S.A.P. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cgarcia@esteyco.com](mailto:cgarcia@esteyco.com)  
 Andreu Estany Serra. Esteyco S.A.P. Responsable del Departamento de Arquitectura de ES. Arquitecto. [andreu@esteyco.com](mailto:andreu@esteyco.com)  
 Miguel Bañares Dorado. Esteyco, S.A.P. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [miguel.banares@esteyco.com](mailto:miguel.banares@esteyco.com)  
 Javier Nieto Calduch. Esteyco, S.A.P. Responsable del Departamento de Ingeniería del Ter. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [javier.nieto@esteyco.com](mailto:javier.nieto@esteyco.com)  
 Roser Valls Vidal. Esteyco, S.A.P. Ingeniera. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [roser.valls@esteyco.com](mailto:roser.valls@esteyco.com)

Pasarela, colgante, Montería, Colombia.

Footbridge, suspended, Montería, Colombia.

La nueva pasarela peatonal pretende establecer una nueva conexión entre las riberas del río Sinú emplazada en el centro urbano de Mon-



Sección tipo pasarela peatonal



Vista virtual desde uno de los miradores

tería (Colombia) mejorando la comunicación entre los barrios a ambos lados del río.

Un aspecto fundamental del puente peatonal propuesto es su galíbo más reducido respecto al puente vehicular.

Otra de las determinaciones a la hora de diseñar la estructura que configura la pasarela suspendida, es la de integrar en la mayor medida posible sus elementos funcionales.

El puente se configura mediante un encaje de cinco vanos, cuyas longitudes en desarrollo son las siguientes: 22,5 + 15 + 140 + 15 + 22,5 metros. El vano colgante central de 140 metros materializa el cruce sobre el Río Sinú.

La sección tipo del tablero consiste en un cajón metálico de canto total 85 cm que dispone de dos almas interiores y sendos petos mixtos de borde en los extremos. La anchura tipo total del tablero es de 4,70 metros, presentando unos ensanchamientos en las zonas de los miradores de acceso que llegan a alcanzar una anchura máxima de 8,40 metros.

El vano colgante se compone de dos catenarias principales de cuelgue con una dimensión horizontal de 140 metros y una flecha de 15,5 metros en el centro del vano. Las dos catenarias no están contenidas en un plano vertical, sino que configuran una curva en el espacio que nace del eje del pilono y se van abriendo hasta la anchura del tablero en el centro del vano, para volver a cerrarse en la coronación del otro pilono.

Las péndolas de cuelgue del tablero de los cables principales configuran una triangulación que se une al tablero cada 8 metros.

Los pilonos se diseñan con una sección circular mixta de diámetro 900 mm, con una inclinación respecto a la vertical de 7° y 25 metros de altura.

Los cables de retenida configuran un triángulo en planta, y se anclan en los macizos de retenida que están unidos mediante vigas riostras a la cimentación del pilono.

Las pilas ubicadas en los vanos de acceso son circulares, de 650 mm de diámetro y de sección mixta. La conexión con el tablero es integral, sin existir aparatos de apoyo entre pilas y tablero.

Los estribos son solidarios a las rampas de acceso, configurando una sección en "U" de hormigón armado. Se disponen topes sísmicos longitudinales y transversales, para atar adicionalmente el puente a los estribos.

## 265. CONCEPCIÓN Y PROYECTO DEL PUENTE ARCO SOBRE EL RÍO EBRO EN LOGROÑO

### CONCEPTUAL DESIGN AND PROJECT OF THE ARCH BRIDGE OVER EBRO RIVER IN LOGROÑO

Francisco Millanes Mato. IDEAM, S.A. Presidente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [francisco.millanes@ideam.es](mailto:francisco.millanes@ideam.es)  
 Daniel Martínez Agromayor. IDEAM, S.A. Director del Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [daniel.martinez@ideam.es](mailto:daniel.martinez@ideam.es)  
 Pablo Solera Pérez. IDEAM, S.A. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablo.solera@ideam.es](mailto:pablo.solera@ideam.es)

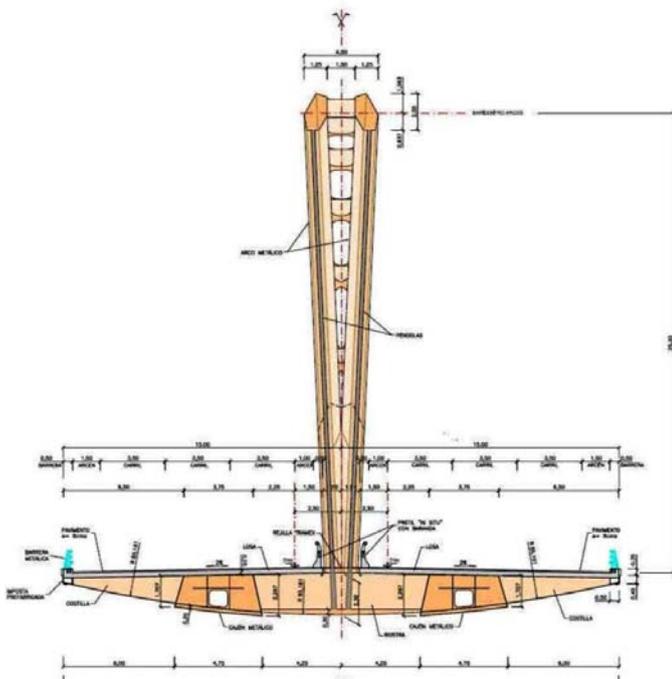
Puente arco, bowstring, arriostramiento, pandeo.

Arch bridge, bowstring, bracing, buckling.

En la actuación de prolongación de la Autovía LO-20 se proyectan varias estructuras en el tramo Recajo-Logroño de las cuales la más representativa y singular es el Puente sobre el río Ebro en las cercanías de la ciudad de Logroño. El puente está formado por un viaducto de acceso de hormigón pretensado y el puente arco que salva el cauce del río con una luz de 120 m. La longitud total del puente incluyendo el viaducto de acceso es de 453 m. Puesto que se trata del puente principal del tramo y dada la relevancia que implica cruzar el río Ebro, en el diseño del puente se ha prestado un especial interés al aspecto estético de la estructura.

El puente arco está constituido por un arco metálico superior de 25 m de flecha y 2,0 m de canto; tablero mixto con vigas longitudinales y transversales metálicas y losa de hormigón armado con 2,5 m de canto total; y dos planos de péndolas verticales (ligeramente inclinadas en transversal y verticales en longitudinal) cada 8 m.

El arco se dispone en la mediana separando las dos calzadas de la autovía. Su sección es variable en transversal partiendo de una sección única en arranques y abriéndose en transversal para desdoblarse en dos subsecciones hasta la clave. El ancho en el arranque es de 1,80 m



Sección transversal del puente arco por la clave

y alcanza los 4,0 m en la clave. En la parte donde la sección del arco se divide en dos, éstas se arriostran con vigas rígidas cada 8 m coincidiendo con las péndolas. El diseño de esta singular sección responde tanto a aspectos formales como estructurales, puesto que el desdoblamiento del arco permite aumentar la rigidez transversal del mismo manteniendo un ancho contenido en el arranque. Además este esquema implica duplicar los planos de las péndolas e inclinarlas ligeramente lo que mejora su capacidad de arriostramiento frente al pandeo transversal del arco.

La anchura del tablero es de 30 m lo que determina la configuración del mismo, en la que el trabajo transversal es importante. Se han diseñado dos vigas longitudinales de sección cajón que materializan el tirante de tracción propio del arco bowstring. Estos cajones se unen mediante vigas metálicas transversales de sección doble T cada 8 m coincidiendo con las péndolas, que resisten la flexión transversal y se unen a las péndolas para llevar las cargas del tablero al arco.



Vista aérea del puente sobre el río Ebro en Logroño

## 267. FORMAS FLUIDAS Y EFICIENTES: PASARELA BICONTENTIO SINUS EN SAN SEBASTIÁN

### FLUID AND EFFICIENT SHAPES; BICONTENTIO SINUS FOOTBRIDGE IN SAN SEBASTIÁN

Mario Guisasa Ron. ANTA Ingeniería Civil. Gerente. Ingeniero de Caminos. Máster Ouvrages d'Art. mgr@anta-ic.com

Empotramiento, canto variable, parametrización, pasarela, superficie reglada.

Restraining, variable depth, parameterization, footbridge, ruled surface.

La pasarela Bicontentio Sinus en San Sebastián presenta tres vanos: uno principal de 62,6 metros, y dos auxiliares de 2,8 metros, con una longitud total de 71,1 metros.

El puente es la aplicación de un prototipo paramétrico prediseñado por ANTA, y reemplaza una pasarela de vigas de hormigón de menor longitud y con un pilar central sobre el río Urumea, que presentaba un gálibo hidráulico insuficiente.

El puente se encuentra biempotrado elásticamente. Ello se logra emplazando dos ejes de apoyos simples en cada estribo que origina un par de reacciones comprimidas - traccionadas.

La topografía existente establece las condiciones de apoyo de la estructura, y la ley de momentos que solicita la tipología estructural resultante inspira la forma final del puente. La pasarela se conecta con el terreno mediante un suave talud en ambas márgenes. Se estimó como la opción más adaptada a las condiciones de contorno una estructura doblemente empotrada en estribos ocultos en el terreno. Una vez que el tipo estructural quedó definido, la ley de momentos flectores originó una forma eficiente y fluida bien adaptada a la geometría del lugar.

La sección resistente del puente es un polígono de 5 lados. Cada uno de sus cinco vértices describe una fibra curva que genera la geometría longitudinal de los cajones principales. Así se originan cinco superficies regladas que componen la volumetría de cada viga.

El material estructural utilizado para la pasarela es el acero cortén. La barandilla del puente presenta un diseño neto y transparente con soportes de acero cortén, y cables y pasamanos de acero inoxidable como contrapunto luminoso.

El drenaje de la pasarela se encuentra íntimamente ligado al diseño del puente desde el primer momento. Las aguas pluviales son recogidas en el exterior y el interior de cada viga. Amabas líneas de drenaje



Pasarela Bicontentio Sinus en San Sebastián. Vista General



Pasarela Bicontentio Sinus en San Sebastián. Empotramiento

se unen en el estribo en una única salida directa al río. En cuanto a la ejecución se refiere, la estructura fue dividida en tres partes. Los dos tramos laterales se situaron en voladizo sobre ambos estribos. Posteriormente, el tramo central se colocó sobre los tramos laterales, y se solidarizó todo el conjunto mediante soldadura. Una vez que la estructura metálica fue completada, se hormigonó la losa del tablero, y se ejecutó la barandilla y el pavimento. Por último una prueba de carga con depósitos de agua permitió verificar el buen comportamiento estructural de la pasarela.

### 273. LEY DE MOMENTOS FLECTORES GENERADORA DE LA FORMA: PUENTE BICONTENTIO MARTUTENE EN SAN SEBASTIÁN

#### *BENDING MOMENT DIAGRAM AS SHAPE: BICONTENTIO BRIDGE IN SAN SEBASTIÁN*

Mario Guisasaola Ron. ANTA Ingeniería Civil. Gerente. Ingeniero de Caminos. Máster Ouvrages d'Art. [mgr@anta-ic.com](mailto:mgr@anta-ic.com)

Empotramiento, canto variable, parametrización, puente, superficie reglada.

*Restraining, variable depth, parameterization, bridge, ruled surface.*

Un puente Bicontentio ha sido construido en el barrio donostiarra de Martutene sobre el río Urumea. El mismo es una aplicación directa del concepto de puentes prediseñados paramétricos desarrollado por ANTA.

El prototipo Bicontentio abarca luces de 20 a 66 metros, y se trata de una estructura simétrica de vigas laterales biempotradas. Las caras exteriores de las vigas son superficies regladas alabeadas que reflejan la ley de momentos flectores que solicita la estructura.

El puente Bicontentio de Martutene presenta 3 vanos: uno principal de 51,5 metros, y dos laterales de 5,15 metros, con una longitud total de 64,4 metros.

El tablero, de una anchura de 15,5 metros, es una losa de hormigón sobre chapa colaborante apoyada cada 2,576 metros en unas viguetas transversales. El material utilizado para la estructura es acero cortén.

El puente está constituido por dos cajones metálicos laterales de canto variable unidos por 25 viguetas mixtas transversales.

Los principales elementos estructurales del puente son:

- Dos cajones metálicos longitudinales de canto variable.
- Las viguetas transversales son perfiles armados doble "T" conectados mediante conectores a la losa del tablero. La cara inferior de



Puente Bicontentio en Martutene. Montaje del tramo central

estas viguetas coincide en todo momento con la fibra inferior de los cajones longitudinales. Su canto varía entre 1.075 mm en centro de vano, y 1.765 mm en estribos.

- Los rigidizadores interiores de las vigas principales son solidarios con las viguetas transversales mediante unas ventanas que rasgan el alma interior de las vigas principales. Su geometría trapezoidal variable es la guía que genera la forma de las vigas principales.
- Las placas de anclaje situadas en los extremos de las vigas principales aseguran la transmisión de las reacciones verticales de tracción de los vanos de empotramiento. Una articulación de doble bulón permite los movimientos longitudinales en la margen derecha, estableciendo el punto fijo en la margen izquierda con un único bulón. La sección resistente de los cajones principales es un polígono de cinco lados. Cada vértice describe una curva que genera la geometría longitudinal de las vigas, originando cinco superficies regladas. Las tres superficies exteriores son el reflejo de la ley de momentos que solicita la estructura.

La principal problemática de cálculo de la estructura es su geometría extremadamente variable. Los cajones longitudinales fueron divididos en 48 secciones que permitieron modelizar adecuadamente el puente obteniendo las características mecánicas, solicitaciones, deformaciones, tensiones y esfuerzos resistentes de todas ellas.



Puente Bicontentio en Martutene. Prueba de carga

## 270. VIADUCTO DE LA ESTACIÓN DE LOYOLA EN SAN SEBASTIÁN

### AERIAL RAILWAY STATION-BRIDGE OF LOYOLA IN SAN SEBASTIAN

Mario Guisasola Ron. ANTA Ingeniería Civil. Gerente. Ingeniero de Caminos. Máster Ouvrages d'Art. mgr@anta-ic.com

Estación, viaducto urbano, superficie reglada, pila en V.

Station, urban viaduct, ruled surface, V pile.

El proyecto forma parte de la sustitución de la anterior Estación del Topo de San Sebastián, construyendo una nueva sobre un viaducto urbano que permite duplicar la anterior vía única, a la vez que elimina un terraplén que dividía en dos el barrio donostiarra de Loyola. La obra se inscribe en las actuaciones del nuevo metro de San Sebastián, y permite la regeneración de una zona degradada permeabilizando dos zonas urbanas separadas por el ferrocarril de vía estrecha que une San Sebastián con Hendaya.

El nuevo viaducto urbano está formado por dos cajones metálicos de sección trapezoidal con once vanos de luces 50,4, 21,6, 24, 6 × 21,6, 24 y 26,4 metros. La longitud total del nuevo puente es 277,2 metros. En el vano 1, la luz de 50,4 metros se soporta mediante unas pilas en "V" que integran una escalera imperial que conecta el vestíbulo de la estación con los andenes de acceso al tren.

El tablero del puente se encuentra parcialmente cubierto para permitir su uso como estación. El ancho de la plataforma del viaducto es variable: 7,25 m. para los vanos 1 y 2 (zona estación), y 6,70 m. en los vanos 4 a 11; en el vano 3 se produce una variación de ancho lineal.

La sección transversal resistente es un polígono de 5 lados. Cada uno de los cinco vértices de la sección se sitúan en una fibra curva que describe la geometría longitudinal de las vigas. La superficie que



Vista general



Pila en V

genera el alma interior del cajón es vertical. Las dos superficies contiguas a ésta constituyen las alas del cajón. Las otras dos superficies son alabeadas y constituyen las almas exteriores del cajón. La sección varía en altura y anchura en una suerte de homotecia para dar respuesta a las diferentes necesidades de los vanos 1 y 2 (estación de 50,4 metros de luz), y los vanos 4 a 11 (viaducto de 21,6 metros de luz).

## 280. PASOS MIXTOS SOBRE LA AVENIDA GENERAL PAZ EN BUENOS AIRES, ARGENTINA

### COMPOSITE-DECK OVERPASSES ON GENERAL PAZ AVENUE IN BUENOS AIRES (ARGENTINA)

Hugo Corres Peiretti. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático de la U.P.M. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. hcp@fhcor.es

Javier de Cabo Ripoll. FHGOR Ingenieros Consultores, S.A. Jefe de Equipo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jcr@fhcor.es  
Julio Sánchez Delgado. FHGOR Ingenieros Consultores, S.A. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jsd@fhcor.es

Puentes mixtos, puentes celosía, tableros de sustentación lateral.

Composite bridges, truss bridges, half-through bridges.

La Avenida General Paz, con una IMD que supera en varios tramos los 300.000 vehículos/día, es una de las autopistas con mayor tráfico rodado de Argentina. Durante el proyecto de su remodelación se planteó la ejecución de diferentes pasos superiores que mejorasen la permeabilidad de la vía.

La empresa Consulbaires ICSA encargó inicialmente a FHGOR un estudio de soluciones estructurales que evitasen la disposición de un soporte intermedio en la mediana, reduciendo así la ocupación de las calzadas inferiores durante la ejecución de la cimentación de la pila, de sus fustes y de los vanos del tablero. De esta forma la luz del tablero pasó a ser de unos 41,50 metros. Lo cual, unido a las fuertes restricciones habituales en ámbito urbano (gálibo estricto con la calzada inferior, poca libertad para modificar el trazado en planta y alzado), condujo a soluciones en las que el sistema portante se situaba por encima de la calzada soportada.

En este rango de luces se encuentran las soluciones de tablero mixto, formado por una losa de hormigón armado sobre un entramado de vigas metálicas transversales, vigas conectadas con los elementos sustentantes longitudinales que se disponen en los bordes del tablero o de la calzada soportada. De esta forma el canto de la estructura, bajo la superficie de rodadura, está gobernado por la distancia entre estos elementos sustentantes longitudinales y no por luz o distancia entre apoyos longitudinales.

Las alternativas se particularizaron para un paso tipo (correspondiente a la calle 25 de Mayo) con una calzada central de 8,0 metros y dos aceras de 2,0 m. Las distintas alternativas planteadas abordaron diferentes configuraciones de los elementos sustentantes longitudinales: 1. Vigas metálicas de canto constante. 2. Vigas metálicas de canto variable. 3. Arco tipo "bow-string". 4. Celosía metálica de canto constante. 5. Celosía metálica de canto variable. 6. Cercha metálica triangular.

Finalmente la concesionaria Autopistas del Sol eligió esta última alternativa que fue desarrollada a nivel de construcción en cinco pasos: 25 de Mayo, Beiró I, Beiró II, López de Vega y Víctor Hugo. Cuatro de estos pasos se ensamblaron en los laterales de la autopista y fueron trasladados a su posición definitiva con ayuda de carretones autopropulsados de gran capacidad de la empresa ALE



Figura 1. Pasos Avda General Paz: 25 de Mayo, Beiró I y II, López de Vega y Víctor Hugo



Figura 2. Montaje de los pasos de Beiró I y II con carretones autopropulsados

## 286. PROYECTO DE FERROCARRIL AWASH-KOMBOLCHA-HARA GEBAYA, ETIOPÍA. DISEÑO ORIENTADO A OBRAS EN PAÍSES EN DESARROLLO

AWASH-KOMBOLCHA-HARA GEBAYA RAILWAY PROJECT IN ETHIOPIA. SITE ORIENTED DESIGN IN DEVELOPING COUNTRIES

Maria Estany Blázquez. TEC-CUATRO S.A. Coordinadora. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. mestany@tec-4.es  
 Alexandre Correia Paulo. TEC-CUATRO S.A. Coordinador. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. apaulo@tec-4.es  
 Ricard Leal Baró. TEC-CUATRO S.A. Director de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. rleal@tec-4.es

Puente de ferrocarril, construcción modular, sismo, interacción vía/estructura.

Railway bridge, modular design, seismic design, track/bridge interaction.

Con un presupuesto de 1.700 millones de dólares para la ejecución, la línea ferroviaria electrificada de 400 km de longitud, entre las ciudades de Awash y Hara Gebeya, se convertirá en un importante corredor conectando los centros económicos del norte y este del país.

El proyecto incluye 53 puentes de vía única a ejecutar en un estricto plazo de 42 meses, lo que requiere una estrecha colaboración entre

los equipos de proyecto y ejecución (TEC-CUATRO y YAPI MERKEZI). El diseño deberá resolver cualquier posible problema logístico simplificando y reduciendo el número de operaciones a realizar in-situ. La solución obtenida pasa por un diseño modular con elementos prefabricados que pueden combinarse de diferentes maneras para conseguir agilidad en la consecución de las diferentes tipologías de puentes incluidas en el proyecto.

El equilibrio entre el diseño sísmico y los requerimientos de la interacción vía/estructura supone un reto que conlleva el uso de tecno-



Puente empujado de 8 vanos



*Pila metálica en celosía de acero*



*Pasarela de Ilhabela en la fase final de las obras*

logías novedosas, como los amortiguadores pretensados y estribos resistentes al impacto.

Se consideran 7 tipologías de puentes en función de la longitud total y del número de vanos (de 20,60 m a 46,40 m). Las tipologías varían de puentes isostáticos de un solo vano a puentes continuos de 14 vanos.

Los tableros son mixtos con vigas de acero y losa de hormigón. En Etiopía, el uso de acero estructural en construcción es novedoso, por lo que las piezas de acero son fabricadas en Europa y transportadas hasta el país. Las vigas se dividen en módulos de 11,6 m, que quedarán unidos mediante tornillos. La losa de hormigón, también prefabricada y dividida en módulos de  $2,9 \times 4,8$  m, conserva pequeños huecos para permitir la conexión con las vigas metálicas y entre los módulos de losa.

Las pilas se dividen en dos categorías principales: hormigón armado hasta 20 m de altura y celosía de acero a partir de los 20 m. Las primeras son ejecutadas in situ, las segundas, como las vigas, son prefabricadas en segmentos de 5 o 10 m cuyo montaje sucesivo permite pilas desde los 10 m hasta los 45 m de altura.



*Tesado de barras mediante barras auxiliares*

## 288. PASARELA ATIRANTADA EN ILHABELA, SÃO PAULO

### ILHABELA CABLE STAYED FOOTBRIDGE, SÃO PAULO

Hugo Corres Peiretti. Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Hormigón Estructural. Dr. Ingeniero de Caminos. [hcp@he-upm.com](mailto:hcp@he-upm.com)  
Francisco Prieto Aguilera. FHECOR Ingenieros Consultores. Jefe Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fpa@fhcor.es](mailto:fpa@fhcor.es)  
Lola Capdevila González-Navia. FHECOR Ingenieros Consultores. Ingeniera de Proyecto. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [mdcgn@fhcor.es](mailto:mdcgn@fhcor.es)

Pasarela, acero, barra, tirante.

*Footbridge, steel, bar, stay.*

La pasarela atirantada sobre el río de Agua Blanca se encuentra en Isla Bella, en el estado de Sao Paulo.

Está formada por tres tramos bien diferenciados:

- Un tramo principal atirantado de 50,50 m de longitud, divididos en un vano sobre el río de 32,50 m y un vano trasero de 18 m.
- Un tramo de acceso norte, que conecta la pasarela atirantada con una pasarela previamente construida en hormigón armado, con una longitud de 48 m aproximadamente.
- Un tramo de acceso sur, en rampa, de 43,50 m de longitud.

En el tramo atirantado se tiene un ancho total de 5,00 m.

El tablero está formado por dos vigas longitudinales separadas 4,70 m. Estas vigas longitudinales son vigas con sección doble T, simplemente apoyadas sobre las dos torres laterales de atirantamiento.

Las torres son dos cajones de chapa de  $300 \times 600 \times 20$  mm, y unos 13 m de altura sobre el tablero, cimentados con estacas raíz.

Estas vigas longitudinales están conectadas por una serie de vigas transversales dispuestas cada 3,00 m sobre las que se apoya el pavimento de madera.

Todos los elementos estructurales se proyectaron en acero para facilitar su montaje y reducir los plazos de ejecución.

El atirantamiento está formado por  $2 \times 8$  barras de 40 mm de diámetro, dispuestas con un esquema en arpa, ancladas en el vano principal cada 6,00 m y cada 4,00 m en el vano trasero.

Las barras se tesaron desde su parte inferior con la ayuda de un sistema de barras auxiliares apoyadas en un bulón enhebrado en la orejeta inferior y reaccionando contra el manguito de empalme de las barras.

En el vano trasero los tirantes están conectados a unos pilares inferiores de hormigón que soportan la tracción asociada a la carga en el tirante, y que están conectadas al tablero mediante una articulación que asegura que la carga horizontal se transmite al tablero y la vertical a la pila.

## 301. EL PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO ATIRANTADO DEL NUEVO PUENTE DE PUMAREJO EN BARRANQUILLA, COLOMBIA

### DETAIL DESIGN OF THE CABLE STAYED STRETCH OF THE NEW PUMAREJO BRIDGE IN BARRANQUILLA, COLOMBIA

Miguel Ortega Cornejo. IDEAM SA. Director de Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [miguel.ortega@ideam.es](mailto:miguel.ortega@ideam.es)  
Francisco Millanes Mato. IDEAM SA. Presidente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [general@ideam.es](mailto:general@ideam.es)

Enrique Bordó Bujalance. IDEAM SA. Director de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [enrique.bordo@ideam.es](mailto:enrique.bordo@ideam.es)  
 Fernando Ruano Parra. IDEAM SA. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fernando.ruano@ideam.es](mailto:fernando.ruano@ideam.es)  
 Jokin Ugarte González. IDEAM SA. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jokin.ugarte@ideam.es](mailto:jokin.ugarte@ideam.es)  
 Juan Pablo Durán Ruiz. SACYR SA. Director del Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jduran@sacyr.com](mailto:jduran@sacyr.com)  
 David Ordín Barrabés. SACYR SA. Jefe de la Oficina Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [dordin@sacyr.com](mailto:dordin@sacyr.com)

Puente atirantado, voladizos sucesivos, sismo, cajón de hormigón pretensado, construcción evolutiva.

*Cable-stayed bridge, equilibrated cantilevers, seism, concrete prestressed box girder, evolutive construction.*

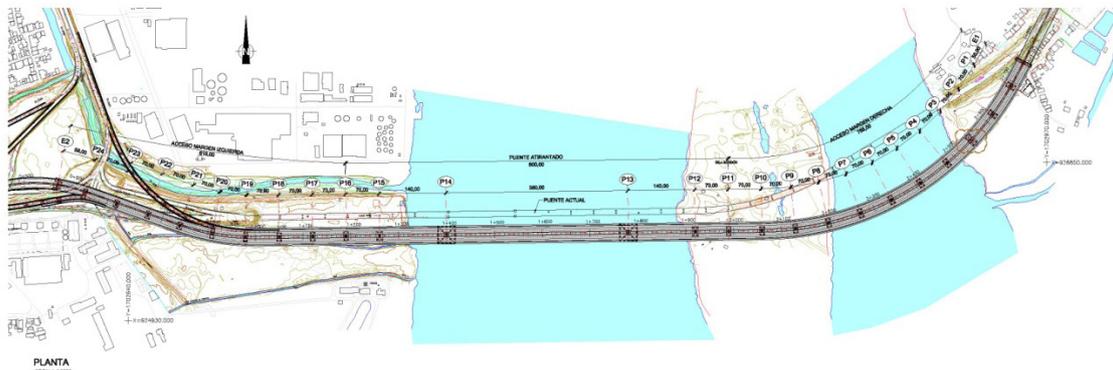
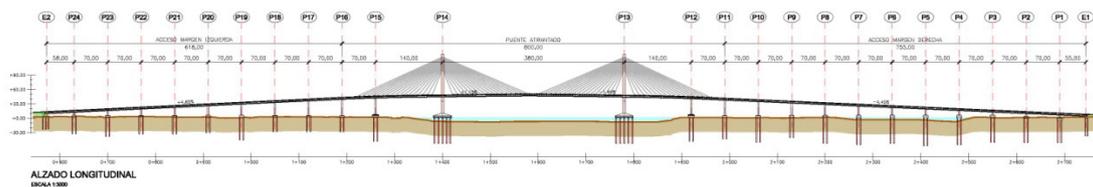
El Nuevo Puente de Pumarejo sobre el río Magdalena en Barranquilla, estructura continua con una longitud de 2.170 m repartidos en un tramo central atirantado de 800 m y viaductos de acceso de 618 m y 755 m, constituye, probablemente, la obra de ingeniería más impor-

tante hasta la fecha abordada en Colombia y una de las mayores de Sudamérica.

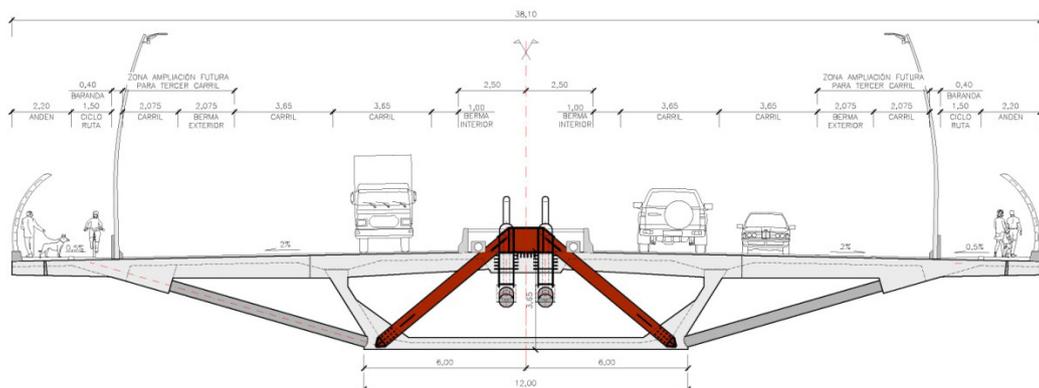
El tramo central atirantado, de 38,1 m de ancho, tiene una configuración simétrica con un vano central de 380 m de luz y vanos de retención de 140 m. El tablero, que consta de una sección cajón de hormigón con grandes voladizos laterales apuntalados por jabalcones equidistantes, está atirantado por un plano central de parejas de cables anclados en el punto medio. Los pilonos que flanquean el vano principal están conformados por un solo fuste que atraviesa el tablero.

El sistema de ejecución del tramo atirantado, inicialmente concebido por voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas, ha sido modificado por IDEAM para el consorcio adjudicatario SES, liderado por SACYR, a una solución de tablero ejecutado "in situ" a fin de adaptarlo a la tradición constructiva del país. En una estructura tan sensible al proceso constructivo, esta variación tiene una gran incidencia en la concepción estructural del tablero y en los detalles particulares del puente, lo que ha obligado a la redacción de un proyecto específico para su adecuación al nuevo proceso constructivo.

Las extraordinarias dimensiones del Nuevo Puente de Pumarejo, hacen que los medios auxiliares requeridos para su construcción sobrepasen las magnitudes convencionales que se manejan habitualmente en el mercado. Así, el carro de voladizos sucesivos que se empleará en la construcción del tramo atirantado se encuentra, con sus



Alzado general y planta del Nuevo Puente de Pumarejo



Sección transversal del Nuevo Puente de Pumarejo

dovelas de 10 m y 500 toneladas de peso, entre los carros más importantes utilizados en obras similares. A lo anterior se le debe añadir la dificultad del obstáculo a franquear, el río Magdalena, con un gran caudal y calado, lo que exige el recurso a medios de ingeniería marítima para la realización de las cimentaciones.

En el artículo completo se hace una descripción general del proceso constructivo, así como una exposición detallada de su incidencia en la concepción estructural y en el diseño de detalles específicos del tramo atirantado, que tiene la enorme responsabilidad de sustituir a una de las obras señeras de la ingeniería del siglo XX: el antiguo puente de Pumarejo diseñado por el notable ingeniero italiano Morandi.

### 302. VIADUCTOS 03A Y 03B EN LA NUEVA AUTOVÍA DE MASCARA, EN ARGELIA

#### VIADUCTS 03A AND 03B IN THE NEW MASCARA HIGHWAY, IN ARGELIA

Julián Alcalá González. Universitat Politècnica de Valencia. Profesor Contratado Doctor. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jualgon@upv.es](mailto:jualgon@upv.es)

Juan José Clemente Tirado. Pantecnia Consulting SL. Gerente. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjclemente@pantecnia.es](mailto:jjclemente@pantecnia.es)

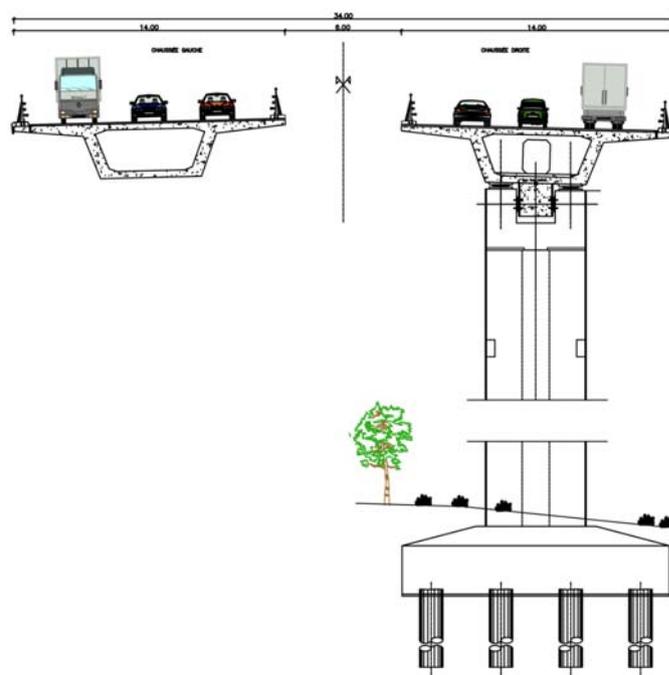
Fernando González Vidosa. Universitat Politècnica de Valencia. Director General. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fgonzale@upv.es](mailto:fgonzale@upv.es)

Antonio Azorín Carrión. Universitat Politècnica de Valencia. Profesor Asociado. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [anazcar@upv.es](mailto:anazcar@upv.es)

Viaducto, autocimbra, sismo, Argelia.

Viaduct, launching formwork, seismic, Argelia.

Los viaductos 03A Y 03B forman parte de las estructuras del tramo 2: Enlace RN17 (Hacine) – Enlace RN17A (Tizi) sur, de la nueva autovía Pénétrante autoroutière reliant Mascara à l'autoroute Est-Ouest. Consisten en viaductos dobles (uno por calzada) con tablero cajón de hormigón pretensado de 2,90 m de canto constante y 14,00 m de anchura. El primer viaducto está formado por 13 vanos de  $40-5 \times 50-40-40-4 \times 50-40$  m de luz. La longitud total es de 613,80 m repartidos en dos tramos de 331,80 m y 281,80 m respectivamente, separados por una junta de dilatación. El segundo es mucho más largo, con una longitud total de 1.909,80 m repartidos en cinco tramos de 381,80 m cada uno. Cada tramo tiene luces de  $40-6 \times 50-40$  m. Los puentes se deben adaptar a la sucesión de curvas del trazado.



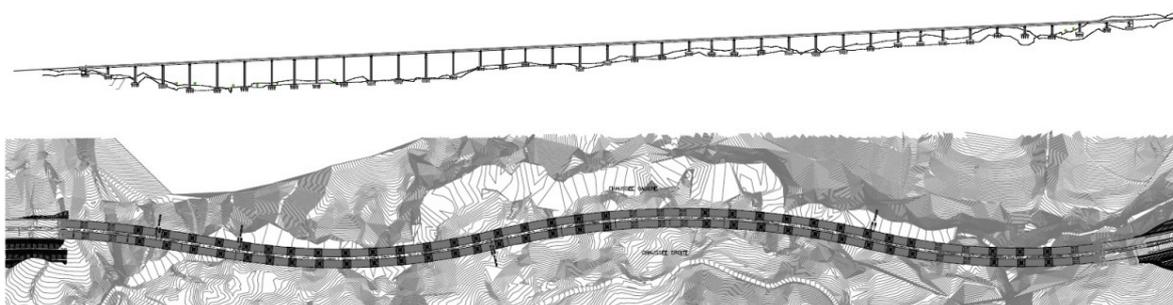
Sección transversal

Ambos puentes se van a construir con cimbra autolanzable por vanos en tramos rectos, dando la planta curva con variaciones en el vuelto de las losas laterales. Cada vano es ejecutado a sección cuasi completa, dejando para el segundo hormigonado solamente el cierre de la losa superior. Esto permite desplazar la cimbra tras el primer hormigonado, pues la sección ya es resistente.

La continuidad entre las fases se consigue mediante un cruce de los cables de pretensado que se salen por el interior de los cajones en dos escalones. Esto permite tener siempre accesibles los anclajes para aplicar el tesado y posibles retesados en cualquier momento, independiente de la fase del tablero.

Las pilas adoptan una novedosa sección en H, conseguida al distribuir por el exterior el hueco interior. Al haber un solo encofrado exterior se aumenta el rendimiento de las trepas, que han resultado ser el camino crítico de la ejecución del proyecto. La importante aceleración sísmica de cálculo y la altura de pilas de hasta 50 metros ha obligado a disponer un sistema de apoyos que combina pots fijos, unidireccionales y libres para transmitir las cargas horizontales a las propias pilas. En transversal, se disponen topes sísmicos en la cabeza de las pilas, descolgando tetones del tablero para ello.

La cimentación es profunda tanto en pilas como en estribos, con pilotes de 1,0 m de diámetro y profundidades variables de hasta 38 m.



Planta y alzado del viaducto 03B

### 309. OBRAS DE EMERGENCIA EN EL VIADUCTO DEL HONDÓN, EN CARTAGENA, MURCIA

#### EMERGENCY WORKS CARRIED OUT IN THE VIADUCT OF THE HONDÓN, IN CARTAGENA, MURCIA

Félix Ignacio Villanueva Jover. Demarcación de Carreteras de Murcia. Área de Conservación. Ingeniero de Caminos. [fvillanueva@fomento.es](mailto:fvillanueva@fomento.es)  
Eduardo Díaz-Pavón Cuaresma. INTEMAC. Jefe Sección Patología. Ingeniero de Caminos. [ediazpavon@intemac.es](mailto:ediazpavon@intemac.es)

Viaducto, reparaciones, corrosión.

*Viaduct, corrosion, repairs.*

A raíz de los importantes daños que presentaban algunos elementos del viaducto del Hondón, estructura mediante la cual la autovía A-30 entra en Cartagena, a lo largo de la primera mitad del año 2016 se han llevado a cabo reparaciones de emergencia.

La estructura, de los años 90 y por tanto con poco más de 20 años en servicio, ya había sido objeto de algunas reparaciones desde su construcción, por localizarse el viaducto en una zona extremadamente contaminada por gases ácidos y sales cloradas generados por unas fábricas de potasa y fertilizantes. Entonces se creyó que el hormigón podía haber sufrido reacciones expansivas por la acción de sulfatos o ataques ácidos por vertidos o residuos industriales.

Las reparaciones que se llevaron a cabo no resultaron en cambio efectivas, como pusieron de manifiesto las inspecciones principales que de forma rutinaria lleva a cabo el personal del Ministerio.

La magnitud de los daños desembocó en la necesidad de llevar a cabo un estudio, el cual puso de manifiesto un diagnóstico inicial equivocado. Efectivamente, los daños más graves habían sido motivados por la corrosión de las armaduras debido a la presencia de cloruros, cuyas concentraciones resultaron extraordinariamente elevadas.

El estudio desembocó en un proyecto de reparación, cuya envergadura hizo que se aprovechara para realizar otras operaciones que han



*Reparaciones en pilas*

mejorado la funcionalidad y seguridad de la estructura, tales como la sustitución del pretel existente a otro que cumpla los actuales requisitos normativos.

En la presente comunicación recogemos la importancia de diagnosticar correctamente los daños de las estructuras para así poder plantear las medidas de reparación más adecuadas, al tiempo que exponemos algunas dificultades inherentes a los propios procesos de reparación y los condicionantes que las propias estructuras existentes plantean a ciertas intervenciones, como la citada sustitución del pretel.

### 313. VIADUCTO V3 SOBRE EL RÍO PISUERGA EN EL NUDO DE VENTA DE BAÑOS DE LA LÍNEA DE AVE NORTE-NOROESTE

#### VIADUCT V3 OVER PISUERGA RIVER IN THE HIGH SPEED RAILWAY LINE TO NORTH SPAIN (VENTA DE BAÑOS RAILWAY JUNCTION)

Arturo Ruiz de Villa Valdés. AR2V Ingeniería. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [arturo.ruizdevilla@ar2v.com](mailto:arturo.ruizdevilla@ar2v.com)  
Iñaki Auzmendi Alfaro. AR2V Ingeniería. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [inaki.azmendi@ar2v.com](mailto:inaki.azmendi@ar2v.com)  
Javier Oliva Quecedo. AR2V Ingeniería. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [javier.olivaquecedo@ar2v.com](mailto:javier.olivaquecedo@ar2v.com)

Viaducto alta velocidad, hormigón postesado, sección cajón, pila-pilote, cimbra autolanzable.

*Railway bridge, postensioned concrete, concrete box girder, drilled piles, Movable Shuttering System (MSS).*



*Reparaciones en pilas y losas*

En agosto de 2015 se finalizó la ejecución del último viaducto sobre el río Pisuerga que cierra el nudo de Venta de Baños en el nuevo corredor Norte-Noroeste de Alta Velocidad. El mencionado nudo de comunicaciones ferroviario permite la conexión entre Valladolid, Palencia y Burgos mediante una configuración en triángulo. El tronco principal conecta las dos primeras localidades, mientras que del mismo se derivan dos ramales hacia y desde Burgos que conforman un esquema con forma de Y griega que da servicio a dos líneas de alta velocidad.

El viaducto objeto de este artículo da servicio al ramal Norte del nudo, que conecta Burgos con Palencia, y fue proyectado por AR2V



Prueba de carga. Se observan las distintas configuraciones de pilas y otro de los viaductos del nudo

Ingeniería, que también prestó asistencia técnica durante la ejecución del mismo por Ferrovial.

El viaducto V3 sobre el río Pisuerga es un puente de hormigón post-tensado monocajón con una longitud total de 1.330 metros sin juntas que se dividen en 25 vanos con una luz máxima de 55,5 m y un canto constante de 3,5 m. Fue construido in situ mediante una cimbra auto-lanzable superior en 25 fases vano a vano y tiene una anchura variable entre 14 y 15,80 m debido a la bifurcación de las dos vías.

Presenta un punto fijo en la pila P-10, ligeramente asimétrico respecto al centro del tablero (810 + 620 m), para evitar afectar al cauce principal y con forma de pila en A o pila Delta. Provisionalmente, el tablero se fijó al estribo E-2 durante la ejecución del mismo, siendo necesaria una delicada maniobra de cambio de punto fijo durante el hormigonado de la pila en A para evitar una indeseable coacción longitudinal de un tablero de 800 m de longitud. En el artículo se profundiza en esta maniobra.

Las pilas se apoyan en encepados cimentados con seis pilotes perforados de diámetro D1800 mm. En la zona del cauce principal, de la pila P-13 a la pila P-17, la tipología de pila se transforma en una doble pila-pilote de D2500 mm de fuste coronadas por un cargadero trapezoidal. Esta configuración de pila-pilote conduce a una longitud total de la misma de casi 83 m, de los cuales 62 m son de excavación de pilote. Esta profundidad supone un record en España para esta tipología y diámetro de pilote.

El tablero se encuentra apoyado en aparatos de apoyo tipo POT, unidireccionales y multidireccionales.



Lanzamiento de viaducto con autocimbra superior. Paso por pila en A (punto fijo del tablero)

### 314. EL PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LOS ACCESOS AL NUEVO PUENTE DE PUMAREJO EN BARRANQUILLA, COLOMBIA

#### DETAIL DESIGN OF THE APPROACH VIADUCTS OF THE NEW PUMAREJO BRIDGE IN BARRANQUILLA, COLOMBIA

Francisco Millanes Mato. IDEAM SA. Presidente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [general@ideam.es](mailto:general@ideam.es)  
 Miguel Ortega Cornejo. IDEAM SA. Director de Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [miguel.ortega@ideam.es](mailto:miguel.ortega@ideam.es)  
 Enrique Bordó Bujalance. IDEAM SA. Director de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [enrique.bordo@ideam.es](mailto:enrique.bordo@ideam.es)  
 Fernando Ruano Parra. IDEAM SA. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fernando.ruano@ideam.es](mailto:fernando.ruano@ideam.es)  
 Ildefonso de la Cruz Hebrero. IDEAM SA. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ildefonso.delacruz@ideam.es](mailto:ildefonso.delacruz@ideam.es)  
 Jokin Ugarte González. IDEAM SA. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jokin.ugarte@ideam.es](mailto:jokin.ugarte@ideam.es)  
 Juan Pablo Durán Ruiz. SACYR SA. Director del Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jduran@sacyr.com](mailto:jduran@sacyr.com)  
 David Ordín Barrabés. SACYR SA. Jefe de la Oficina Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [dordin@sacyr.com](mailto:dordin@sacyr.com)

Autocimbra, sismo, cajón pretensado, construcción evolutiva, pretensado transversal.

Movable scaffolding system, seism, concrete prestressed box girder, evolutive construction, transverse prestressing.

El Nuevo Puente de Pumarejo en Barranquilla, Colombia, concebido para mejorar la comunicación entre Barranquilla y Santa Marta y habilitar la navegación del río Magdalena para embarcaciones de gran calado, tiene la difícil tarea de sustituir a la estructura actual, auténtico icono del país diseñado por el insigne ingeniero Morandi y uno de los puentes más significativos del siglo XX. Con un tramo atirantado central de 800 m y sendos viaductos de acceso de 618 m y 755 m, la nueva estructura, continua de 2.173 m de longitud, será una de las obras de ingeniería señeras de Sudamérica.

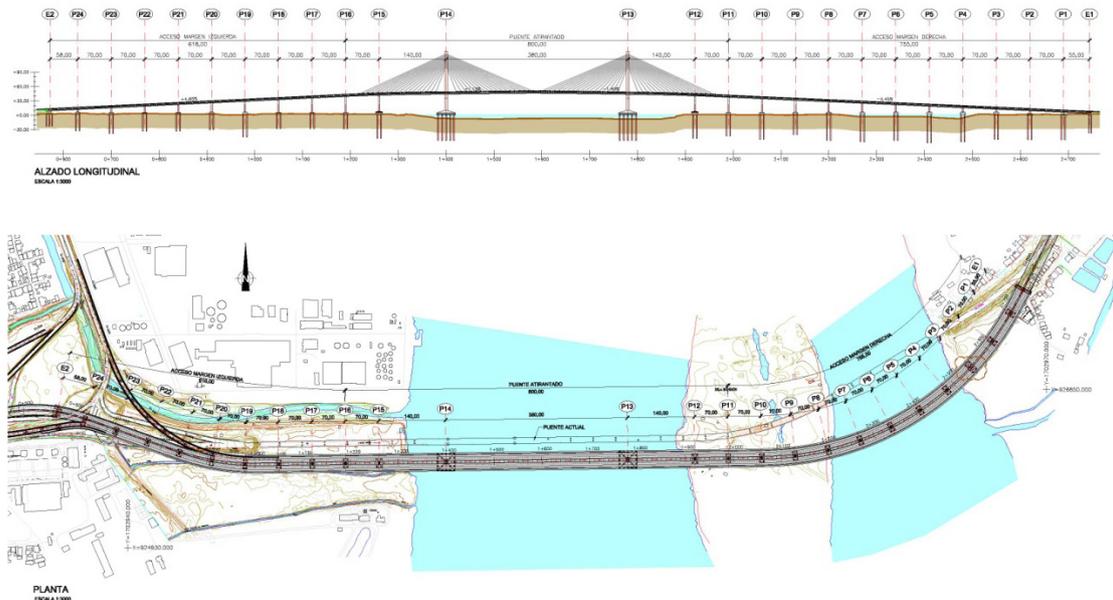
Los viaductos de acceso, con un ancho variable entre 35,1 m y 41 m, se resuelven mediante una estructura continua con vanos tipo de 70 m. La sección del tablero está conformada por un cajón de hormigón con grandes voladizos laterales apuntalados por jalabalcones prefabricados.

El proyecto inicial se había concebido con un proceso constructivo vano a vano con dovelas prefabricadas, si bien el consorcio adjudicatario SES, liderado por SACYR, optó por la ejecución del tablero "in situ" con autocimbra que se adapta mejor a la tradición constructiva local. Esta modificación tiene una gran incidencia en la concepción estructural del tablero y en los detalles, lo que ha obligado a la redacción por parte de IDEAM de un proyecto específico para su adecuación al nuevo proceso de ejecución.

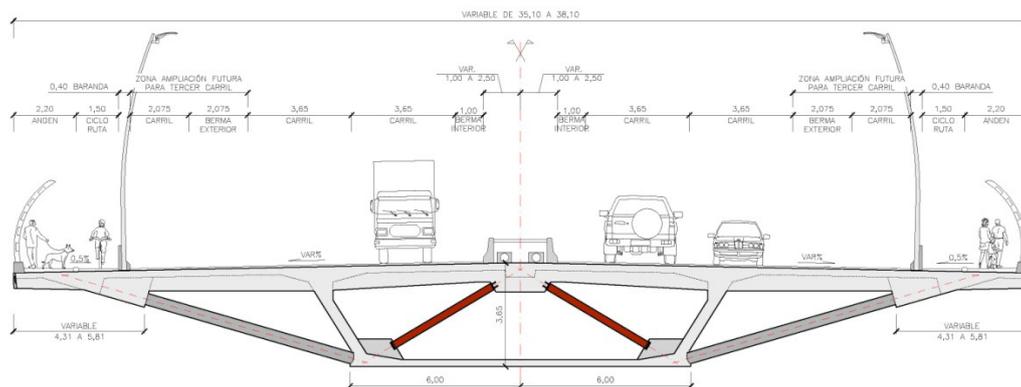
Es reseñable que los medios auxiliares necesarios para la construcción de esta estructura de estas dimensiones, quedan fuera de las magnitudes habituales. Tal es el caso de la autocimbra y los carros de voladizos, fabricados exprofeso para este puente, y que se sitúa entre los mayores empleadas hasta la fecha en el mundo.

La conexión de los viales adyacentes a la estructura principal del Nuevo Puente de Pumarejo, se materializa mediante unos ramales constituidos por viaductos continuos de hormigón pretensado. Estas estructuras, de longitudes 292,5 m y 280,45 m con vanos de luces de hasta 62 m, presentan una cierta complejidad geométrica y estructural especialmente por su complicada vinculación a los accesos del puente principal.

Además de la descripción de los aspectos más relevantes del nuevo proceso de ejecución, el artículo expondrá las implicaciones que esta



Alzado y planta del Nuevo Puente de Pumarejo



Sección transversal de los accesos del Nuevo Puente de Pumarejo

modificación constructiva ha tenido tanto en la concepción estructural, como en el desarrollo de detalles específicos de adaptación a los medios auxiliares en los vanos de acceso y ramales de acceso.

### 316. VIADUCTOS MIXTOS DEL ENLACE DE GEREDIAGA EN VIZCAYA

#### STEEL-CONCRETE COMPOSITE VIADUCTS IN GEREDIAGA JUNCTION

Arturo Ruiz de Villa Valdés. AR2V Ingeniería. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [arturo.ruizdevilla@ar2v.com](mailto:arturo.ruizdevilla@ar2v.com)  
 Javier Oliva Quecedo. AR2V Ingeniería. Jefe de Proyecto. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [javier.olivaquecedo@ar2v.com](mailto:javier.olivaquecedo@ar2v.com)  
 Iñaki Auzmendi Alfaro. AR2V Ingeniería. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [inaki.auzmendi@ar2v.com](mailto:inaki.auzmendi@ar2v.com)

Puente mixto, cajón metálico, enlace, puente de carretera, bifurcación.

Steel-concrete composite bridge, steel box girder, junction, road bridge, splitting.

En agosto de 2016 se puso en servicio el nuevo tramo de autovía entre las localidades vizcaínas de Gerediaga y Elorrio. El enlace de Gerediaga, ubicado en el municipio de Abadiño, sirve de unión de esta vía con la autopista AP-8. Los viaductos objeto de este artículo dan soporte a los distintos ramales de dicho enlace. AR2V Ingeniería es autora del Proyecto Modificado y ha prestado asistencia técnica durante la construcción.

Se trata de tres viaductos diferenciados. Todos ellos son viaductos mixtos formados por cajones de acero y losas de hormigón construidos mediante izado de los cajones metálicos y posterior vertido del hormigón sobre prelosas.

El viaducto de Elorrio es un puente mixto monocajón con una longitud total de 865 metros que se dividen en 17 vanos con una luz máxima de 57,5 m y un canto constante de 2,5 m.

El viaducto Bilbao-Donostia es un puente en doble ramal con doble cajón. La longitud de esa estructura es de 648 + 190 metros divididos en 11 + 4 vanos. La luz máxima es de 62,5 m y el canto es constante de 2,5 m. La anchura del mismo es fuertemente variable entre 15,70 m y 25 m en la zona de bifurcación, lo que condujo a una compleja geometría tanto de los cajones como de la propia losa, con anchuras y espesores variables.

El viaducto sobre la AP8 es un puente mixto de doble cajón con una longitud de 98,5 metros y 4 vanos de 1,5 m de canto constante. Sobre la pila central el apoyo es único para ambos cajones dado el reducido espacio existente en la mediana.



Vista general de los viaductos mixtos del enlace de Gerediaga (Vizcaya)



Vista de los tres cajones y la bifurcación al fondo

Los tableros se encuentran apoyados en aparatos de neopreno zunchado, algunos fijos y otros deslizantes. En cuanto a las cimentaciones encontramos zapatas superficiales, pilotes y micropilotes.

### 318. VIADUCTO DE ALMONTE. DISEÑO Y CONTROL DE CONSTRUCCIÓN

#### ALMONTE VIADUCT. DESIGN AND CONSTRUCTION CONTROL

Guillermo Capellán Miguel. Arenas & Asociados. Director Técnico. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gcapellan@arenasing.com](mailto:gcapellan@arenasing.com)  
 Javier Martínez Aparicio. Arenas & Asociados. Coordinador de Construcción. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jmartinez@arenasing.com](mailto:jmartinez@arenasing.com)  
 Emilio Merino Rasillo. Arenas & Asociados. Coordinador Oficina de Madrid. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [emerino@arenasing.com](mailto:emerino@arenasing.com)  
 Pascual García Arias. IDOM. Director Ingeniería. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pga@idom.com](mailto:pga@idom.com)  
 Pablo Jiménez Guijarro. ADIF. Gerente de Área. Adif Alta Velocidad. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablojimenez@adif.es](mailto:pablojimenez@adif.es)

Alta velocidad, puente arco, hormigón de altas prestaciones, avance en voladizo, monitorización.

High speed railway, arch bridge, high performance concrete, cantilever construction, monitoring.

La Línea de Alta Velocidad Madrid – Extremadura, cruza sobre el río Almonte en las estribaciones del Embalse de Alcántara, por medio de un gran arco realizado en hormigón de altas prestaciones. Con una luz principal de 384 m entre apoyos, este arco establece un nuevo record mundial como el mayor arco de hormigón para tráfico ferroviario de alta velocidad. La luz e innovaciones de Almonte lo hacen extraordinario incluso en comparación con otros arcos de hormigón sin distinción de tráfico.

Arenas & Asociados es responsable de su diseño, y ha estado involucrado en la construcción como Supervisor en Obra en colaboración con Idom, consultor del tramo completo. Propiedad de Adif, quien ejerce a su vez las labores de Dirección de Obra, la estructura está siendo ejecutada por la UTE AVE Alcántara - Garrovillas, compuesta por el consorcio hispano-portugués FCC-Conduril. Su finalización está prevista para finales de 2016.

El arco ha sido construido por avance en voladizo, con la ayuda de torres provisionales de atirantamiento (usando carros de avance específicamente diseñados para este proyecto por Rúbrica Ingeniería). El tablero se ha ejecutado por medio de una cimbra autolanzable.

Este artículo trata de explicar las técnicas y cálculos estructurales, fuera del trabajo ingenieril convencional, realizados para alcanzar el diseño y construcción del viaducto. Se hace hincapié en las numerosas actividades de supervisión y control llevadas a cabo durante los trabajos de construcción, entre las que se incluye la revisión de los diferentes hormigones dispuestos en obra (incluyendo la verificación de las características del Ultraval HA-80), el control geométrico de la estructura, la instrumentación dispuesta durante la construcción o el sistema de monitorización permanente.



Construcción del tablero mediante autocimbra



Alcanzando el cierre del arco

## 320. LA FUNCIONALIDAD COMO PARÁMETRO DETERMINANTE DE UN DISEÑO. LA PASARELA PARA PEATONES Y CICLISTAS DE ST. PHILIPS EN BRISTOL

FUNCTIONALITY AS KEY PARAMETER OF A DESIGN. ST. PHILIPS PEDESTRIAN AND CYCLIST BRIDGE IN BRISTOL

Héctor Beade Pereda. Knight Architects. Senior Bridge Designer.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[h.bead@knightarchitects.co.uk](mailto:h.bead@knightarchitects.co.uk)

Rocío Romo Torres. Knight Architects. Bridge Designer. Arquitecta.

[r.romo@knightarchitects.co.uk](mailto:r.romo@knightarchitects.co.uk)

John McElhinney. CH2M. Principal Bridge Engineer. Civil Engineer (MEng). [John.McElhinney@ch2m.com](mailto:John.McElhinney@ch2m.com)

Bogdan Barbulescu. CH2M. Senior Bridge Engineer. Civil Engineer (MEng). [Bogdan.Barbulescu@ch2m.com](mailto:Bogdan.Barbulescu@ch2m.com)

Puente urbano, diseño holístico, coincidencia camino-estructura, origami, viga empotrada elásticamente.

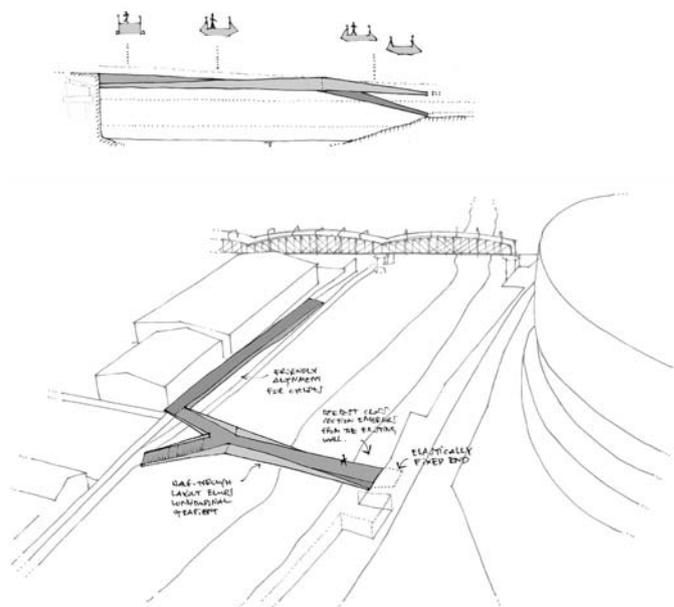
Urban bridge, holistic design, coincidence structure-walkway, origami, elastically fixed beam.

Uno de los múltiples desarrollos urbanos que se están llevando a cabo en Bristol es la transformación de una parcela adyacente a la estación de Temple Meads, anteriormente de uso ferroviario, en lo que se ha denominado Arena Island. La nueva zona incluirá un recinto multiusos con capacidad para 12.000 espectadores, una plaza pública y, posteriormente, un desarrollo de uso mixto. La nueva pasarela de St. Philips, diseñada por Knight Architects y Ch2m para el Ayuntamiento de Bristol, salva el Río Avon conectando el recinto (margen oeste) con un camino fluvial para peatones y ciclistas (margen este).

El diseño pretende resolver un problema complejo: la conexión de dos márgenes con una significativa diferencia de cota, una de ellas un muro de mampostería y la otra un talud verde, una que será desarrollada inmediatamente con estándares arquitectónicos de calidad y la otra manteniéndose por algo más de tiempo como un camino fluvial anexo a un área industrial. El diseño debe ser adecuado tanto a corto como a medio plazo y debe coexistir de forma armoniosa con los puentes existentes en las proximidades y el edificio multiusos.

El puente, innovador en el modo en que geometría y estructura dan respuesta simultánea al problema de cruce, tiene una luz de 50 m, una anchura de 4 m y configuración de Y en planta. Una de sus ramas permite un camino accesible para peatones y ciclistas y la otra, maximizando la funcionalidad, aloja una escalera como parte de la estructura. El puente está simplemente apoyado en su extremo este y empotrado elásticamente en el oeste (gracias a un vano lateral oculto de 2,5 m). Su forma responde simultáneamente a condicionantes estructurales, estéticos y funcionales: la geometría se adapta significativamente a la ley de momentos flectores bajo cargas uniformes, minimiza su canto en la zona en la que existen conflictos hidráulicos y de gálibo y lo maximiza cuando el tablero se encuentra con el masivo muro de mampostería.

Gracias a esta aproximación holística, estética y estructural, el diseño es compacto, simple y elegante, y es claramente legible para tanto los usuarios del puente como los del camino de ribera. La inevitable pendiente longitudinal se difumina gracias al modo en que se materializa la variación de canto, de modo que el diseño no se percibe como un objeto inicialmente concebido para tener una disposición horizontal, un problema frecuente en puentes con pendiente longitudinal significativa.



Croquis preliminares de la pasarela y sus parámetros fundamentales de diseño



Imagen aérea virtual de la pasarela y su entorno

## 321. NUEVO DISEÑO DEL PONTE DEI CONGRESSI EN ROMA, ITALIA

NEW DESIGN OF PONTE DEI CONGRESSI IN ROME, ITALY

Guillermo Capellán Miguel. Arenas & Asociados. Director Técnico.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gcapellan@arenasing.com](mailto:gcapellan@arenasing.com)

Miguel Sacristán Montesinos. Arenas & Asociados. Coordinador Oficina de Santander. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[msacristan@arenasing.com](mailto:msacristan@arenasing.com)

Juan José Arenas de Pablo. Arenas & Asociados. Presidente.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjarenas@arenasing.com](mailto:jjarenas@arenasing.com)

Puente arco, Roma, Río Tíber, arco metálico, bowstring.

Arch bridge, Rome, River Tiber, steel arch, bowstring.

El Ponte dei Congressi es una nueva estructura sobre el río Tíber, diseñada por encargo del Comune di Roma.



Vista general del nuevo diseño

El diseño, ha sido desarrollado por la asociación profesional de ingenieros y arquitectos que ganó el concurso internacional de este puente, albergado en 2001. El equipo de profesionales, estaba liderado por Juan José Arenas y Enzo Siviero, y entre otros Roberto & Fabio Di Marco y Studio Transit formaron parte de esa exitosa alianza.

14 años después, el proyecto parece tomar forma y convertirse en realidad, con el comienzo esperado de construcción a principios de 2017. El diseño ha sido adaptado y renovado de acuerdo a los nuevos condicionantes de trazado impuestos.

El nuevo diseño es un arco metálico bowstring de 174 m de luz, que alberga un tablero de 25 m de anchura, y dos pasarelas peatonales laterales suspendidas del tablero principal a distinto nivel, permitiendo el enlace con los nuevos paseos peatonales y carriles bici previstos en ambas riberas del Tíber.

Esta nueva estructura, forma parte de un ambicioso proyecto que se está llevando a cabo para mejorar el acceso a Roma desde el sudoeste. Su cuidada arquitectura, prevé que se convierta en una nueva puerta para todo aquel que arribe al centro de la "ciudad eterna" desde el Aeropuerto de Fiumicino.

Los dos arcos metálicos vuelan sobre el tablero con una configuración espacial y arriostramientos transversales integrados por completo en el diseño. Un conjunto de pares de péndolas paralelas permiten el cuelgue del tablero de los arcos metálicos. Otra de las características especiales del proyecto es la división del tablero en uno de sus extremos por condicionantes de trazado, lo que conlleva la apertura trans-



Imagen detallada de la pasarela peatonal lateral

versal de la geometría del arco, el cual debe abrirse en arranques para permitir la circulación y conectar con el tablero.

### 324. EXPERIENCIAS EN LA SUSTITUCIÓN DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN SOBRE ESTRUCTURAS EXISTENTES

#### REPLACEMENT OF BRIDGE GUARDRAILS ON EXISTING STRUCTURES

Noemí Corral Moraleda. LRA Infrastructures Consulting. Ingeniera de Estructuras. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [noemicorral@lraingenieria.es](mailto:noemicorral@lraingenieria.es)  
 Paloma Lampaya Nasarre. LRA Infrastructures Consulting. Ingeniera de Estructuras. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [palomalampaya@lraingenieria.es](mailto:palomalampaya@lraingenieria.es)  
 Tomás Ripa Alonso. LRA Infrastructures Consulting. Socio Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [tomasripa@lraingenieria.es](mailto:tomasripa@lraingenieria.es)

Sistema de contención, rehabilitación estructuras existentes, refuerzo, nivel de contención, OC 35/2014.

Bridge guardrails, existing structures rehabilitation, reinforcement, containment level, OC 35/2014.

Esta ponencia profundizará en la sustitución de sistemas de contención que se han desarrollado en los últimos meses en estructuras en España, destacándose los sistemas utilizados más novedosos.

Actualmente, los sistemas de contención se deben implantar con marcado CE, cuyo certificado presenta cada fabricante de acuerdo a los ensayos que ha realizado a escala real.

Así, al renovar los sistemas de contención en estructuras existentes resulta fundamental estudiar las características propias de la estructura, las intensidades de tráfico que soporta y su ubicación en el entorno, así como los condicionantes geométricos, materiales constituyentes y esquemas de la sección resistente.

Teniendo todo esto presente, se debe recabar en cada caso toda la información necesaria, tanto de la estructura en cuestión como de los diferentes pretiles existentes en el mercado con marcado CE y el nivel de contención requerido.

Así, los distintos fabricantes deben indicar los requisitos a cumplir en la implantación de su pretil, como anchura de trabajo y deflexión dinámica, y facilitarán los datos de esfuerzos transmitidos a la estructura en el impacto.

Con estos esfuerzos, LRA ha estudiado en cada caso si la estructura existente sería capaz de resistirlos. No obstante, han sido varios los estudios en los que la información de que se disponía de la estructura o la armadura que según proyecto había sido dispuesta, no resultaba suficiente para resistir estos impactos, por lo que se han diseñado los refuerzos más adecuados para posibilitar la implantación del pretil requerido, sin que fuese imprescindible ejecutar los zócalos con los que cada fabricante habría realizado el ensayo.

Este es el caso de la estructura sobre el ferrocarril en el Nudo Mauterolas en la M-30, en la que ha sido necesario disponer bandas de fibra de carbono sobre la cara superior de la losa para recoger estos esfuerzos y transmitirlos adecuadamente a la misma, o en el desvío a la Carretera El Pardo también en la M-30, en que se ha reconstruido un zócalo de borde a modo de zuncho de torsión con la armadura necesaria y que se ha conectado a la losa mediante la disposición de U invertidas ancladas químicamente.



Sustitución de pretel H4b metálico con refuerzo de fibras de carbono



Sustitución de pretel H4b de hormigón anclado químicamente

### 325. PUENTE DE ACCESO A LA NUEVA ISLA DE ZORROTZAURRE: PUENTE FRANK GEHRY

#### NEW ZORROTZAURRE ISLAND ACCESS BRIDGE IN BILBAO: FRANK GEHRY BRIDGE

Guillermo Capellán Miguel. Arenas & Asociados. Director Técnico. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gcapellan@arenasing.com](mailto:gcapellan@arenasing.com)  
 Pablo Alfonso Domínguez. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [palfonso@arenasing.com](mailto:palfonso@arenasing.com)  
 Héctor Beade Pereda. Arenas & Asociados. Coordinador de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [hbeade@arenasing.com](mailto:hbeade@arenasing.com)  
 Jorge López Tamames. Teknés Innovación. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jlopez@teknes.es](mailto:jlopez@teknes.es)  
 Víctor García Martín. Teknés Innovación. Presidente. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [vgarcia@teknes.es](mailto:vgarcia@teknes.es)

Puente urbano, viga Fink invertida, monitorización remota, instrumentación.

*Urban bridge, inverted Fink truss, remote monitoring, instrumentación.*

El museo Guggenheim de Bilbao proyectado por Frank Ghery hizo conocida en todo el mundo a esta ciudad. Su inauguración indujo a una impresionante regeneración urbana a lo largo de los últimos 20 años, transformando su dura imagen industrial en una atractiva ciudad donde vivir y en un destino turístico.

Esta transformación continúa hoy en día y está enfocada en la península (artificial) de Zorrotzaurre. Esta península está siendo transformada en una isla siguiendo el nuevo Master Plan encargado a la arquitecta Zaha Hadid.

El primero de los puentes, llamado Frank Gehry como homenaje del Ayuntamiento de Bilbao a sus excepcionales logros, materializará

conexión de esta isla con el resto de la trama urbana. El puente salvará el curso de agua con un vano principal de 76.90 m y anchura media de 28 m, utilizando un diseño innovador que combina dos sistemas estructurales: una viga Fink invertida y una viga continua de tres vanos con canto variable. El puente es metálico con tablero rodado mixto. La estructura proporciona transparencia y esbeltez, cumple con los requerimientos hidráulicos y tiene una escala adecuada para un puente urbano en su ubicación.

El sistema estructural, que se compone de una secuencia de mástiles en la que únicamente los dos extremos transmiten la reacción a las cimentaciones, resume una parte de la historia de Bilbao y su ría, evocando su pasado como área industrial portuaria, recordando la sucesión de grúas, mástiles y chimeneas de barcos, torres de las industrias que un día poblaron sus orillas...

Representante del estado del arte en la tecnología de puentes, es un puente de mayor interés por la tipología estructural utilizada, sin precedentes en puentes de carretera, por la singularidad de muchas de las soluciones geométricas desarrolladas y por la instrumentación utilizada. Un sistema remoto de monitorización en tiempo real fue desarrollado para conocer los esfuerzos de cada elemento estructural durante toda la construcción.



Alzado de la estructura



Vista desde el paseo peatonal lateral

### 329. PASARELA COLGANTE SOBRE EL RÍO PAS

#### SUSPENSION FOOTBRIDGE OVER PAS RIVER

Javier Oliva Quecedo. AR2V Ingeniería. Jefe de Proyecto. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [javier.olivaquecedo@ar2v.com](mailto:javier.olivaquecedo@ar2v.com)  
 Arturo Ruiz de Villa Valdés. AR2V Ingeniería. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [arturo.ruizdevilla@ar2v.com](mailto:arturo.ruizdevilla@ar2v.com)

Pasarela peatonal, puente colgante, tablero mixto, cable cerrado, anclajes terreno.

*Pedestrian bridge, suspension footbridge, steel-concrete composite deck, full locked cables, ground anchors.*

La pasarela se ubica en el término municipal de Piélagos (Cantabria) y cruza el río Pas entre las localidades de Carandía y Zurita.

El tramo central es un tablero colgado de 80 metros de luz. La alineación del tablero es recta en planta y ligeramente convexa en alzado, esta curvatura aumenta la sensación de ligereza de la pasarela.

El tablero cuelga de dos planos de cables que distan 2,0 m entre sí. La directriz del par de cables principales que sujetan el tramo colgado tiene una flecha máxima de 7,0 metros con una relación flecha/luz



Vista general de la pasarela sobre el río Pas



Vista longitudinal desde el interior y péndolas de cuelgue

cercana a 1/11,5. Los cables se anclan en lo alto de las torres metálicas y desde ahí parten los cables rectos de retenida hacia el terreno, estas retenidas mueren en un macizo sujeto al terreno mediante 6 anclajes permanentes de barra. Los cables principales son cables cerrados de 50 mm de diámetro.

La sección del tablero tiene un canto total de 20 cm y una anchura de 1,8 m. Está formada por dos perfiles metálicos laterales en L y una losa de hormigón armado que rellena el espacio entre ambos. El tablero se conecta al cable principal mediante péndolas en espiral de 10 mm cada 3,0 metros. La esbeltez del tablero es de 1/400 (canto/luz) siendo susceptible a fenómenos vibratorios, tanto por el paso de peatones como por el viento. Dichos fenómenos fueron estudiados en detalle durante el proyecto de la pasarela y verificados en su ejecución, resultando un comportamiento de la estructura satisfactorio.

La cota de la pasarela viene definida para salvar el nivel de avenida de 500 años. Para acceder al tramo central se necesitan dos rampas de acceso al estar ambas márgenes por debajo de él. En la margen izquierda el desnivel a salvar es de 2,8 m, en la derecha de 1,2 m.

### 334. EL VIADUCTO DEL CORGO Y EL VIADUCTO TRANS-RHUMEL, DOS EJEMPLOS DE CONSTRUCCIÓN IN SITU DE TABLEROS ATIRANTADOS EJECUTADOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

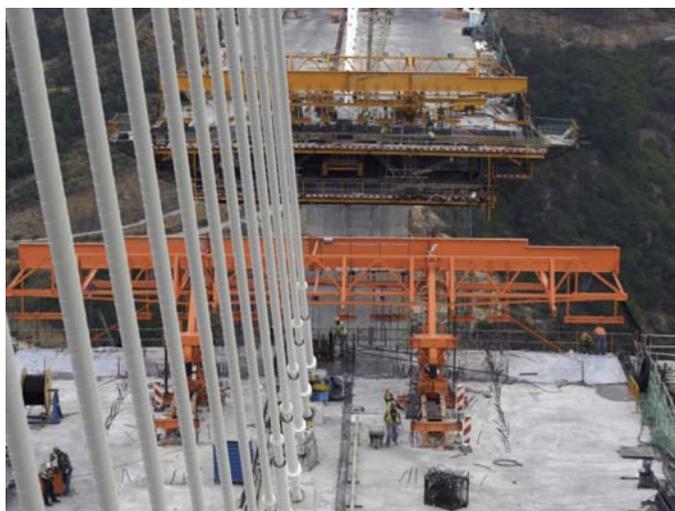
#### TRANS-RHUMEL VIADUCT AND CORGO VIADUCT. TWO EXAMPLES OF IN-SITU CONCRETE CABLE-STAYED BRIDGES CONSTRUCTION BY BALANCED CANTILEVER METHOD

Aquilino Raimundo. Strukturas AS. Marketing and Sales Manager. Civil Engineer. [ar@strukturas.no](mailto:ar@strukturas.no)  
 Daniel Rodríguez Pereiras. Avensi Ingeniería y Construcción. Gerente. Ingeniero Técnico Industrial. [daniel.rodriguez@avensi.es](mailto:daniel.rodriguez@avensi.es)

Atirantado, voladizos sucesivos, carros de voladizos, hormigonado in-situ.

*Cable-stayed, balanced cantilever, formtravellers, in-situ.*

El viaducto del Corgo y el viaducto Trans - Rhumel son dos ejemplos de tableros de puentes atirantados con tablero de hormigón construido in-situ por medio de carros de voladizos sucesivos.



Carro de voladizos en el viaducto del Corgo

El viaducto del Corgo, de hormigón pretensado, tiene una longitud total de 2.796 metros y se divide en tres sub-pasos elevados continuos, el oeste, el este y el centro, que consta de un tramo central atirantado entre dos pilonos.

La parte central sobre el río Corgo presenta un tablero atirantado de tres vanos, construido por voladizos sucesivos en consola. El restante viaducto fue construido por tramos ejecutados mediante cimbras autolanzables. La coronación de los pilonos está a 300 m de altura con respecto al nivel del cauce del río.

Con una longitud de 2.796 metros y un tramo central atirantado de 300 m de luz, el Viaducto de Corgo se inserta en la autopista Trasmontana entre Vila Real y Bragança. El viaducto, que se levanta al sur de la ciudad de Vila Real, entre la parada Dies y Folhadela, será el más alto construido en el país.

Las pilas principales del puente son de 134 metros de altura entre la cimentación y la placa base (inclusive), mientras que los mástiles se elevan 63 metros sobre el tablero. La altura desde la base hasta la cima de los pilonos es de 197 metros. El punto de mayor altura sobre el fondo del valle, cuenta con una altura de 230 m sobre el río Corgo.

El caso del viaducto Trans-Rhumel es muy similar al viaducto del Corgo. Se trata de un viaducto con una longitud total de 1.119 metros, con una parte central atirantada de 3 vanos y una luz máxima de 245 m. La altura de los pilonos es de 130 metros construida por voladizos



Viaducto Trans-Rhumel

sucesivos en consola. Este puente es localmente conocido por ser el primer suceso de especial interés en la ciudad desde la independencia, con lo que es comúnmente conocido como el puente de la independencia entre los vecinos.

### 337. PUENTE DE LA FLORIDA, OVIEDO

#### LA FLORIDA SUSPENSION BRIDGE. OVIEDO, SPAIN

Guillermo Capellán Miguel. Arenas & Asociados. Director Técnico.  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gcapellan@arenasing.com](mailto:gcapellan@arenasing.com)  
Alejandro Godoy Ansótegui. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto.  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [agodoy@arenasing.com](mailto:agodoy@arenasing.com)  
Marianela García Pérez. Arenas & Asociados. Ingeniera de Proyecto.  
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [mgarcia@arenasing.com](mailto:mgarcia@arenasing.com)  
Santiago Guerra Soto. Arenas & Asociados. Coordinador de Calidad.  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [sguerra@arenasing.com](mailto:sguerra@arenasing.com)

Rotonda volada, puente urbano, sistema de suspensión, anillo de retenida, pasarelas peatonales.

*Suspended roundabout, urban bridge, suspension system, counterweight ring, escort footbridges.*

El Puente de La Florida, es un proyecto promovido por el Ayuntamiento de Oviedo, para enlazar el barrio de La Florida y el Parque del Oeste, con un coste final de 5,9 millones de euros.

El diseño final, desarrollado por Arenas & Asociados, representa una innovación en puentes urbanos carreteros, resolviendo la conexión entre ambos áreas mediante una rotonda volada semicircular, suspendida de su interior por medio de un sistema de atirantamiento. Su construcción, de gran complejidad, ha sido llevada a cabo por Assignia Infraestructuras.

La principal novedad de esta solución es que los tirantes de cuelgue y retenida, se encuentran fijos al mismo sistema de suspensión, compuesto por dos cables principales realizando un lazo, y anclados en un mástil articulado.

La estructura se completa con un viaducto de acceso en hormigón postensado, un vano de conexión mixto entre rotonda y viaducto,



Vista del Puente de La Florida desde el Parque del Oeste

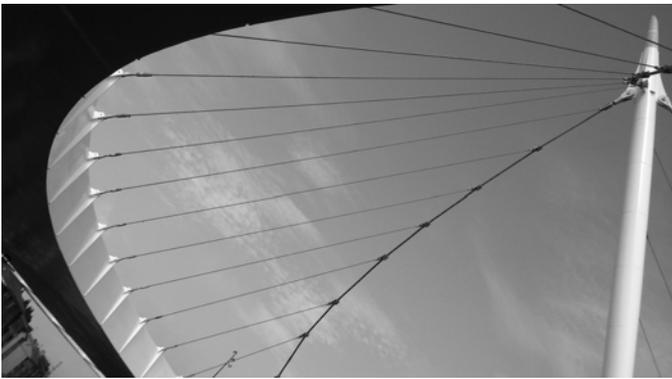


Imagen artística de tablero, mástil y sistema de anclaje

dos pasarelas en voladizo que surgen del tablero de hormigón para volar paralelas a la rotonda (a la que se unen mediante costillas), y finalmente un anillo de hormigón que actúa como anclaje de redonda.

### 338. SUSTITUCIÓN DE ANCLAJES VERTICALES DE ESTRIBOS EN EL ENLACE DE LA A-42 CON LA N-400

#### REPLACEMENT OF ABUTMENT VERTICAL ANCHORAGE SYSTEM IN THE JUNCTION BETWEEN A-42 AND N-400

Ignacio Rueda Sastre. LRA Infrastructures Consulting. Ingeniero de Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [nachorueda@lraingenieria.es](mailto:nachorueda@lraingenieria.es)

Tomás Ripa Alonso. LRA Infrastructures Consulting. Socio Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [tomasripa@lraingenieria.es](mailto:tomasripa@lraingenieria.es)

Tope antilevantamiento, barras pretensadas, anclaje vertical, estructura hiperestática, estribo.

*Antilifting stop, prestressed rods, vertical anchorage, hyperstatic structure, abutment.*

La disposición de vanos laterales de luces del orden del 40-45% del central obliga a disponer anclajes verticales en los estribos, para evitar el levantamiento de los extremos del tablero frente a cargas permanentes y sobrecargas en el vano central.

En tres de las cuatro estructuras que conforman el enlace de la autovía A-42 con la N-400, en la provincia de Toledo, se observó un estado de corrosión avanzado en los cables de pretensado. Estos deterioros estructurales graves implicaron la necesidad de una actuación de reparación con carácter urgente, procediendo además a la sustitución de los aparatos de apoyo, los cuales se encontraban en el final de su vida útil.

En los ramales del enlace los anclajes estaban constituidos por barras pasivas; mientras que en el tronco de la autovía, debido a una reacción de levantamiento mayor, el anclaje estaba formado por tendones de pretensado situados a ambos lados de los apoyos.

En las estructuras de los ramales se planteó la ejecución de unos nuevos anclajes verticales pretensados que complementarían a los pasivos existentes, situándose en el lado opuesto de cada apoyo. Estos anclajes están compuestos por una barra rígida de pretensado autoprotegida con tuercas y placas esféricas en sus extremos,



Anclaje vertical con barras pretensadas autoprotegidas

para permitir los giros originados por los movimientos horizontales de la estructura. Una vez llevada a cabo la sustitución de los aparatos de apoyo del estribo se procedió a tesar las barras desde la cara inferior del estribo, evitando cualquier afección al tráfico, asegurando una precompresión de los aparatos de apoyo del orden de 3,0 MPa.

En el caso de la estructura del tronco la distancia a la que deberían disponerse las barras, debido a la sección transversal, induce una flexión que la riostra del tablero y el cargadero son incapaces de soportar. Se consideró, por tanto, la ejecución de un sistema de topes antilevantamiento colocados por delante de los estribos, uno por apoyo. Este sistema, compuesto por estructuras metálicas atornilladas, permite su montaje en obra actuando desde la cara inferior del tablero afectando mínimamente al tráfico de la A-42. Esta estructura se ancla al tablero mediante 8 barras pretensadas, enfiladas en taladros rellenos de mortero, de forma que se asegure un correcto contacto entre las basas metálicas y la cara inferior del tablero. Los esfuerzos se transmiten al cargadero a través de un tetón metálico anclado químicamente al estribo.



Topes antilevantamiento en estribos

## 342. DIAGNÓSTICO Y REPARACIÓN DE LOS PILONOS DEL PUENTE DE RANDE

### ASSESSMENT AND REPAIR OF PYLONS OF RANDE BRIDGE

Fernando Rodríguez García. FHECOR Ingenieros Consultores, S.A. Director de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [frg@fhcor.es](mailto:frg@fhcor.es)

Pilar Segura Pérez. DRAGADOS, S.A. Jefa del Servicio de Materiales y Firmes. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [psegura@dragados.com](mailto:psegura@dragados.com)

José Millán Pérez. Galaicontrol. Director Técnico. Licenciado en Ciencias Químicas. [jmillan@galaicontrol.com](mailto:jmillan@galaicontrol.com)

Javier Martínez González. FHECOR Ingenieros Consultores. Ingeniero de Proyecto. Departamento de Ingeniería de Materiales. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jmg@fhcor.es](mailto:jmg@fhcor.es)

Puente, corrosión, durabilidad, vida útil, reparación.

Bridge, corrosion, durability, lifetime, repair.

La finalización del Puente de Rande tuvo lugar en 1978, si bien su puesta en servicio fue en 1981. Se trata, por lo tanto, de una estructura que ya ha consumido 34 años de su "vida útil" original.

Durante su vida de servicio ha experimentado diversas actuaciones de mantenimiento, entre las que cabe señalar la de 1991 que afectó básicamente a la parte metálica del tablero y la de 2013-14, que afectó a los elementos de hormigón de los pilonos ubicados por debajo de la cota del tablero.

Recientemente se han llevado a cabo los trabajos para la ampliación de la AP-9, con la consiguiente necesidad de aumentar el número de carriles que transcurren por el Puente. Con tal motivo, la Propiedad ha definido una vida útil de 100 años a partir de la finalización de los referidos trabajos de ampliación.

Para ello, se ha considerado una caracterización adicional relativa a aquellos parámetros que permitan estimar la vida útil residual de la estructura actual y, en su caso, sirvan de base para plantear estrategias de durabilidad específicas que resuelvan posibles déficit de vida útil respecto a los 100 años especificados.

Además, hay que tener en cuenta que la casuística que presentaba el puente existente tanto desde el punto de vista resistente como de durabilidad era muy amplia, ya que se emplearon diferentes procedi-



Detalle de armaduras

mientos constructivos y diferentes centrales de hormigonado. Por otra parte, hay zonas que han sido objeto de reparación reciente y otras que no, los niveles de exposición son muy diferentes en función del alejamiento a la cota de nivel del mar, etc. Todo ello ha obligado a caracterizar de forma independiente diferentes elementos.

Esta comunicación por objeto describir los criterios seguidos para la caracterización del hormigón como material que forma parte de los pilonos del puente principal del Puente de Rande así como la reparación efectuada en los mismos.

## 343. PROYECTO DE SUSTITUCIÓN DEL GERALD DESMOND BRIDGE. CONSTRUCCIÓN DE LOS VANOS DE APROXIMACIÓN MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

### THE GERALD DESMOND BRIDGE REPLACEMENT PROJECT. MOVABLE SCAFFOLDING SYSTEM FOR THE APPROACHING BRIDGE

Aquilino Raimundo. Strukturas AS. Marketing and Sales Manager. Civil Engineer. [ar@strukturas.no](mailto:ar@strukturas.no)

José Antonio Becerra Mosquera. Avensi Ingeniería y Construcción. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.a.becerra@avensi.es](mailto:j.a.becerra@avensi.es)

Daniel Rodríguez Pereiras. Avensi Ingeniería y Construcción. Gerente. Ingeniero Técnico Industrial. [daniel.rodriguez@avensi.es](mailto:daniel.rodriguez@avensi.es)

Atirantado, cimbra autolanzable, hormigonado in-situ.

Cable-stayed, movable scaffolding system, in-situ.

El proyecto de sustitución del Gerald Desmond Bridge es un proyecto de colaboración ente Caltrans y el puerto de Long Beach y colaboración del "U.S. Department of Transportation" y el "Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority (Metro)". El proyecto consiste en la sustitución del actual puente, construido en 1968 sobre el Back Channel del puerto de Long Beach por un puente atirantado con un vano principal de 305 m de longitud situados 61 m sobre el Back Channel y dos vanos extremos de 152 m. El puente se ha concebido mediante dos torres de fuste único de 155 m de altura máxima.

El Gerald Desmond Bridge se ha convertido en una parte vital de las infraestructuras de la nación, con casi el 15% del total del tráfico de mercancías marítimo pasando por debajo del puente. Es un punto crítico de acceso al puerto de Long Beach, a la ciudad de Long Beach y a su área metropolitana.

Para el nuevo puente se adoptará una solución de puente atirantado, y el diseño será lo suficientemente alto para el paso de las nuevas generaciones de barcos de carga. Además de esto, el nuevo puente será más amplio y será capaz de dar cabida a los volúmenes de tráfico presentes y futuros.

El Gerald Desmond Bridge ha sido designado como una ruta intermodal de conexión dentro del "sistema nacional de autopistas" y una parte de la red estratégica federal de autopistas. Es una infraestructura crítica que da servicio a los puertos de Long Beach y Los Angeles, las ciudades de Long Beach y Los Angeles, y a los condados Orange, así como toda la nación.

Los principales Beneficios que aportará la construcción del nuevo puente serán los siguientes: Tres carriles por sentido de circulación para mejorar el flujo de tráfico, carriles de emergencia en los puntos de entrada y salida de cada dirección para reducir los retrasos debidos a los accidentes. Una altura libre total de 205 pies para dar cabida a los nuevos buques portacontenedores, nuevas mejoras para el tráfico pedestre y de bicicletas, incluyendo al menos 3 miradores panorámicos.



Cimbra autolanzable en viaductos de aproximación



Nuevo Gerald Desmond Bridge

### 346. ASSESSMENT AND STRENGTHENING EXPERIENCE WITH BRIDGES IN GERMANY

#### ASSESSMENT AND STRENGTHENING EXPERIENCE WITH BRIDGES IN GERMANY

Michael Müller. Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure. Director Proyectos Internacionales, Corporate Offi. Dipl.-Ing. michael.mueller@lap-consult.com  
 Volkhard Angelmaier. Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure. Member Executive Board. Dipl.-Ing. volkhard.angelmaier@lap-consult.com  
 Wolfgang Eilzer. Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure. CEO. Dipl.-Ing. wolfgang.eilzer@lap-consult.com

Rehabilitación, inspección, ampliación, monitoreo, checking.

Rehabilitation, inspection, broadening, monitoring, checking.

Repair and maintenance of bridges gain constantly importance for the infrastructure sector. Considering the 40.000 bridges of federal highways in Germany; their functioning is the mandatory basis to ensure the mobility of a modern society. After having built up and expanded successfully the road network in the eastern part of Germany strengthening of existing structures in the western part of Germany became the big challenge for the near future.

The strengthening of bridge structures need to be guided by a holistic approach. Therefore, the whole spectrum of the engineering

disciplines starting with evaluation and finishing with the professional execution of the works is required. It is essential to have a close coordination between different disciplines:

- Inspection, monitoring,
- Evaluation and rating,
- Planning and checking.

The need for strengthening of a structure can get initiated by various reasons:

- Low rating, emergency repair.
- Increase of the overall capacity for higher live loads
- Rehabilitation
- Repair of specific deficits
- Provision against future damages.

The services to the Bridge Departments comprise the following steps.

- Complete inspection according DIN 1076,
- Analysis and evaluation according to "Nachrechnungsrichtlinie",
- Design and tendering of rehabilitation and repair works,
- Design and tendering of immediate repair works to stop increasing damages to the structure,
- Planning and implementation of a monitoring program in relation to dynamic loading and fatigue issues.

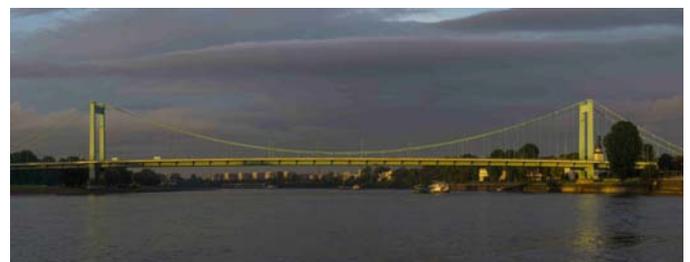
With two examples, the Kochertalbridge and the Rhine Bridge Cologne-Mülheim, we will present a couple of specific experiences related to the strengthening topic.

The Kochertalbridge (Fig.1), built as prestressed concrete structure was built in the 1970s with an overall length of 1128 m and a maximum of 185 m above the valley is the highest viaduct in Germany. Due to increasing traffic loads, the viaduct had to be rehabilitated.

The approx. 1054 m long Suspension Bridge Cologne-Mülheim (Fig.2) is a steel bridge with at total length of 485m and a main span of 315m. After more than 60 years of service and increasing traffic



Kochertalbridge, Germany. Design by Fritz Leonhardt in 1976



Suspension Bridge Cologne-Mülheim

loads the Mülheim Bridge, listed as historic monument, has to be recalculated, refurbished and strengthened to ensure the future long-term serviceability of this important river crossing.

The presentation will focus on the wide range of engineering services involved in such a rehabilitation planning of and the specific experience gained through strengthening projects.

### 348. PUENTE DE QUEENSFERRY. DISEÑO CONCEPTUAL Y DISEÑO BASE

#### QUEENSFERRY CROSSING – DEVELOPMENT FOR CONCEPT TO SPECIMEN DESIGN

Richard Hornby. ARUP. Director. Civil Engineer. MA MICE. richard.hornby@arup.com

Matt Carter. ARUP. Director. Civil Engineer. PE CEng. matt.carter@arup.com

Steve Kite. ARUP. Associate Director. Civil Engineer. CEng. steve.kite@arup.com

Billy Minto. Transport Scotland. Structures Manager. Civil Engineer. billy.minto@transportscotland.gsi.gov.uk

Atirantado, mixto, tres torres, cables cruzados, diseño preliminar.

Cable stayed, composite, 3 tower, overlapping stays, specimen design.

Este artículo describe el desarrollo del proyecto desde la fase conceptual al diseño base en las diferentes alternativas, tablero ortótropo, mixto y de hormigón para este puente atirantado de tres torres que cruza el estrecho de Forth en Escocia. El puente sustenta actualmente el record de vano en sección mixta y el mayor vano múltiple atirantado.

El artículo describe cada opción considerada y el proceso de selección efectuado. En él se estudian y analizan y comprueban que los conceptos seleccionados son realizables y económicos. Asimismo, se describe el proceso de concurso de construcción propuesto incluyendo el proyecto Base y los planos de definición del mismo. El grado de detalle alcanzado en el proyecto base permitió elaborar un criterio de diseño específico para el puente, permitiendo mostrar una solución realizable desde el punto de vista de un proyecto de diseño y construcción pero también satisfaciendo los requerimientos del cliente.

El proceso de innovación incluyó la evaluación e implementación por primera vez de un sistema de atirantamiento cruzado para resistir eficientemente las cargas asimétricas en un puente atirantado multi-vano. El cálculo de impacto de barco se realizó con un



Three centuries of bridge engineering

cálculo completamente probabilístico basado en los principios de ALARP. Asimismo una especificación de monitorización e inspección de “estado del arte” formó parte de los requerimientos del diseño base.

El puente representa el mayor proyecto de infraestructura de Escocia de esta generación y el resultado, un puente del siglo XXI encaja junto sus vecinos, puentes icónicos del siglo XX y XIX.

### 352. TAMINA CANYON CROSSING, BAD RAGAZ, SWITZERLAND

#### TAMINA CANYON CROSSING, BAD RAGAZ, SWITZERLAND

Volkhard Angelmaier. Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure. Member Executive Board. Dipl.-Ing. volkhard.angelmaier@lap-consult.com

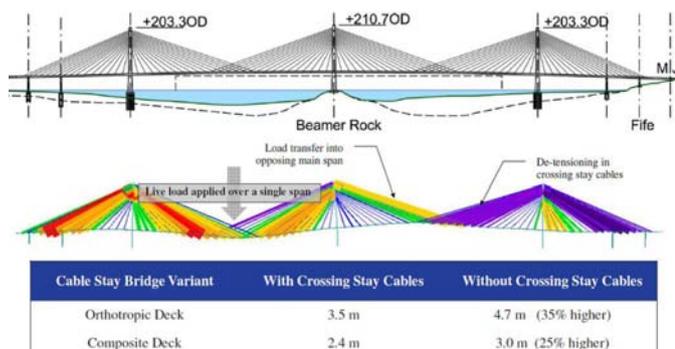
Wolfgang Eilzer. Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure. CEO. Dipl.-Ing. wolfgang.eilzer@lap-consult.com

Michael Müller. Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure. Director Proyectos Internacionales, Corporate Offi. Dipl.-Ing. michael.mueller@lap-consult.com

Holger Haug. Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure. Director Proyectos Nacionales. Dipl.-Ing. holger.haug@lap-consult.com

Puente arco, estructura integral, construcción en voladizo sucesivo, rótulas en concreto.

Arch bridge, integral structure, cantilever construction, concrete hinges.



Efecto rigidizador de los cables cruzados

In 2007 the City of St. Gallen, Switzerland, has announced a public competition for a new bridge across the Tamina Canyon. The new road should bypass the village of Pfäfers in the northwest and lead into the district of Bofel. From Bofel to the district of Berg on the other side of the Tamina valley (fig. 1) a 400 m long bridge is built, crossing at the gorge at about 200 m height, becoming the most important and outstanding bridge construction in Switzerland of the last years.

Bridging the Tamina gorge requires exceptionally high standards for a harmonious integration of the structure in the natural surroundings. For achieving this objective, sensitive handling of the boundary conditions and local conditions are essential. This is particularly the case



Figure 1. Tamina Canyon Bridge, Switzerland

for the technically demanding stages of construction of the bridge with the least possible disturbance of the nature reserve.

The response to the invitation for this anonymous, unrestricted design competition was overwhelming with 24 entries and, within these, 14 arches of different shape and configuration had been proposed. In a two stage tedious selection process the jury came to the conclusion to select the presented scheme which had been developed by Leonhardt, Andrä und Partner.

Summary of the concept and principal design aspects:

- Tamina gorge to be crossed column-free (reinforced concrete arch with 265 m span).
- End region of the hillside areas had to be also column-free (rigid frame with 89 m span Bofel side).
- Construction of the main opening had to be by balanced cantilever method with a temporary stay system.
- Integral structure by monolithic connections of all main components (bearings only at the abutments) and thus a high degree of durability, robustness and redundancy. Use of concrete hinges at all piers.
- Extension of the typical appearance of arch structures by radial arrangement of the piers which brings distinct static advantages due to shorter end spans and in general (compared to vertical piers) showing a very favorable loading for the arch.
- The three small piers over the arch have as well from solid sections. In elevation these appear very slender since they are provided with hinged supports at the superstructure and at the arch.

The presentation will focus on the design concept, some particular details such as the concrete hinges and their design criteria, as well as the challenging construction process.

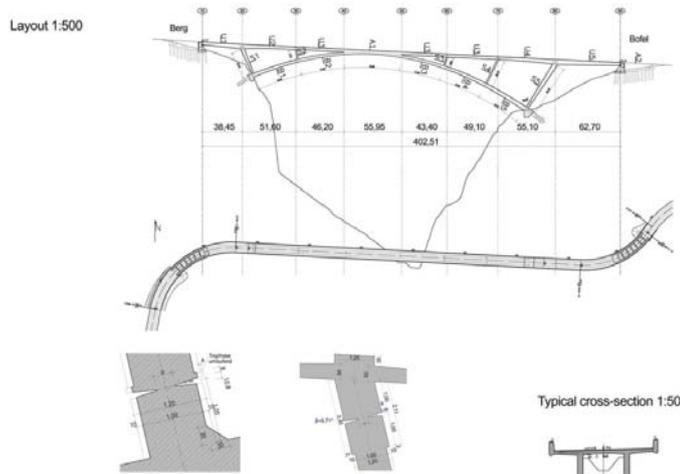


Figure 2. Layout, Cross-Sections and Concrete Hinges

### 353. DISEÑO DE 2 NUEVOS PUENTES EN LIMA: PUENTE JUNÍN Y PUENTE LEONCIO PRADO

#### DESIGN OF TWO NEW BRIDGES IN LIMA: JUNÍN BRIDGE AND LEONCIO PRADO BRIDGE

Guillermo Capellán Miguel. Arenas & Asociados. Director Técnico. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gcapellan@arenasing.com](mailto:gcapellan@arenasing.com)  
 Miguel Sacristán Montesinos. Arenas & Asociados. Coordinador Oficina de Santander. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [msacristan@arenasing.com](mailto:msacristan@arenasing.com)  
 Alejandro Godoy Ansótegui. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [agodoy@arenasing.com](mailto:agodoy@arenasing.com)  
 Carlos David Alonso Velasco. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [calonso@arenasing.com](mailto:calonso@arenasing.com)  
 José Luis Pando Anta. Arenas & Asociados. Coordinador Oficina de Lima. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jlpando@arenasing.com](mailto:jlpando@arenasing.com)

Lima (Perú), puente arco atirantado, bowstring, péndolas, tablero mixto.

Lima (Peru), tied arch bridge, bowstring, hangers, composite deck.

La Avenida Paseo de la República es un eje vertebrador en la ciudad de Lima, que debido a su condición de trinchera, supone un gran obstáculo entre los distritos de Surquillo y Miraflores.

Con el fin de facilitar una mayor permeabilidad de tráfico entre estos dos barrios, se han proyectado los puentes de Junín y de Leoncio Prado. Puentes plenamente urbanos que darán servicio a peatones y vehículos.

La solución planteada para los dos puentes, debido a las limitaciones de gálibo, y a fin de despejar completamente los carriles de la Avenida de la República de pilas intermedias que supongan un peligro constante de accidentes, se trata de un puente arco superior atirantado por el tablero (arco "bowstring") con dos arcos metálicos sin arriostrar que separan el tráfico peatonal del rodado, unidos por un tablero mixto de acero y hormigón.

Sin embargo, el diseño de ambos puentes se ha cuidado por separado, debido a la variabilidad en sus luces y anchos, por lo que cada uno presenta una geometría claramente diferenciada.

El puente de Leoncio, de 42,8 metros de luz entre apoyos, es el arco más rebajado, que se une al nervio inferior por medio de péndolas rígidas. Tanto las anchas aceras, los arcos, los nervios y las vigas de borde siguen un trazado curvo para permitir el abocinamiento de la entrada y de la salida al puente, invitando a peatones y vehículos a cruzar. Aunque los principales elementos, como los arcos y los nervios



Imagen renderizada del Puente Junín



Imagen en escorzo del Puente Leoncio Prado



Render del puente terminado

longitudinales tienen un ancho constante, las aceras tienen un ancho variable que va desde los 4 metros en la entrada, a los 3,30 metros en el centro luz.

En el puente de Junín, de 55,50 metros de luz entre apoyos, los arcos se unen al tablero mediante péndolas realizadas con barras de acero inoxidable. A pesar de que los nervios inferiores de bowstring siguen manteniendo el mismo abocinamiento de entrada y salida, la directriz del arco es completamente recta en planta, por lo que los tirantes forman una superficie tridimensional que cubre a los peatones en su paso sobre el Paseo de la República.

En ambos puentes se ha querido implementar una zona ajardinada entre los arcos y la zona de tráfico rodado, que acentúa todavía más la separación entre las distintas circulaciones del puente.

### 354. EL PUENTE QUEENSFERRY CROSSING. DESARROLLO DEL DISEÑO GANADOR

#### QUEENSFERRY CROSSING BRIDGE. DEVELOPMENT OF THE WINNING DESIGN

Joseph Michael Martin. Morrison Construction. Project Director. BSc; C Eng; MICE. [michael.martin@fbcjv.co.uk](mailto:michael.martin@fbcjv.co.uk)  
 Peter Curran. Ramboll UK. International Bridge Director. CEng, BSc, MICE, MStructE. [peter.curran@ramboll.co.uk](mailto:peter.curran@ramboll.co.uk)  
 Felipe Tarquis Alfonso. DRAGADOS. Dirección Técnica. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ftarquisa@dragados.com](mailto:ftarquisa@dragados.com)  
 Peter Walser. Leonhard, Andrä & Partners. Director of Projects. Dipl.-Ing. Structural Engineering. [Peter.Walser@lap-consult.com](mailto:Peter.Walser@lap-consult.com)  
 Stephan Hamm. Hochtief Solutions AG. Head of Bridges and Civil Structures. Dipl.-Ing. Civil Engineering. [stephan.hamm@hochtief.de](mailto:stephan.hamm@hochtief.de)

Queensferry Crossing, puente atirantado, cables cruzados.

Queensferry Crossing, cable stayed, crossing cables.

El Nuevo Queensferry Crossing es un puente atirantado, diseñado para complementar los existentes Forth Road Bridge y el histórico Forth Rail Bridge del siglo XIX. Junto con estas dos icónicas estructuras, el nuevo puente formará un escenario único de tres puentes de talla mundial, cada uno de ellos exponente del estado del arte de la técnica de puentes en los últimos tres siglos. Tras su finalización, será el puente atirantado de tres torres con mayor luz del mundo, así como la mayor luz con tablero mixto.

El puente tiene 2.637,5 m entre estribos y consta de un tramo atirantado con tres torres y la característica única de tirantes que se soportan en el centro de los vanos, que tienen 650 m de luz cada uno. La



Puente durante la construcción

aproximación sur se realiza por medio de un puente continuo de aproximadamente 0,5 km de longitud.

Tras un detallado proceso de estudio de soluciones y diseño preliminar llevado a cabo por el cliente (Transport Scotland), se abrió un proceso de oferta y diálogo, durante el cual el consorcio ganador, junto con su ingeniería, desarrollaron el diseño final.

### 355. NUEVO QUEENSFERRY CROSSING. LANZAMIENTO DEL VIADUCTO DE ACCESO SUR

#### NEW QUEENSFERRY CROSSING. SOUTH APPROACH VIADUCT LAUNCHING

Héctor Bernardo Gutiérrez. DRAGADOS. Dirección Técnica. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [hbernardog@dragados.com](mailto:hbernardog@dragados.com)  
 Antonio Vázquez Salgueiro. DRAGADOS. Engineering Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [avazquez@dragados.com](mailto:avazquez@dragados.com)  
 José Manuel González Barcina. ALEPH Consultores. Director. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jmgba@alephconsultores.com](mailto:jmgba@alephconsultores.com)  
 Francisco Niño Tejedor. ALEPH Consultores. Director. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fnino@alephconsultores.com](mailto:fnino@alephconsultores.com)  
 Steve Thompson. Ramboll UK. Director Bridges. EurIng, BEgn (Hons), CEng, MICE. [steve.thompson@ramboll.co.uk](mailto:steve.thompson@ramboll.co.uk)

Queensferry Crossing, viaducto de acceso, lanzamiento, puente mixto.

Queensferry Crossing, approach viaduct, launching, composite deck.

Los viaductos de acceso sur y norte del nuevo Queensferry Crossing consisten en dos tableros mixtos paralelos sobre pilas en forma de V.



Vista aérea tras el empuje



Torres de atirantamiento

El viaducto sur (AVS) tiene una longitud total de 545,25 m y se sustenta sobre 6 pilas, estando las tres últimas cimentadas en el agua. Las luces son  $64 + 80 + 90 + 3 \times 87$  m además de un voladizo final de 48 m que más tarde es conectado con el tablero de la parte atirantada, que se construye por avance en voladizo sobre el agua. El perfil longitudinal es un acuerdo curvo de 45.000 m de radio y una pendiente media del 1,26%.

La metodología de construcción escogida ha sido el empuje incremental de la parte metálica, con un hormigonado de la losa en fase posterior. El peso de acero es de 2.600 t por tablero. Teniendo en cuenta una previsión de 500 t para el hormigón de la doble acción mixta y 100 t de la torre de atirantamiento provisional, el peso total a empujar era de unas 3.200 t por tablero.

Una vez completado el lanzamiento, el tablero se frenó longitudinalmente y fue descendido a los apoyos permanentes. En ese momento se comenzó la construcción de la losa de hormigón, realizada en dos fases. La primera correspondiente a la parte entre almas, con los voladizos en una segunda fase.

### 359. DISEÑO DE LA PASARELA DE RAOS SOBRE LA A-67, SANTANDER

#### DESIGN OF RAOS FOOTBRIDGE, OVER THE A-67 MOTORWAY IN SANTANDER

Guillermo Capellán Miguel. Arenas & Asociados. Director Técnico.  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gcapellan@arenasing.com](mailto:gcapellan@arenasing.com)

Miguel Sacristán Montesinos. Arenas & Asociados. Coordinador Oficina de Santander. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [msacristan@arenasing.com](mailto:msacristan@arenasing.com)  
Alejandro Godoy Ansótegui. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [agodoy@arenasing.com](mailto:agodoy@arenasing.com)  
Marianela García Pérez. Arenas & Asociados. Ingeniera de Proyecto. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [mgarcia@arenasing.com](mailto:mgarcia@arenasing.com)

Pasarela, senda ciclable, tetrápodo, estructura mixta, gálibo reducido.

*Footbridge, cycle path, tetrapod, composite structure, reduced clearance.*

Enmarcado en el proyecto de Senda Ciclable del Arco de la Bahía de Santander, la Demarcación de Carreteras del Estado en Cantabria, encargó a Arenas & Asociados el diseño de una pasarela peatonal y ciclable que permitiese conectar los barrios de Nueva Montaña y Raos, en Santander.

Se trata de una pasarela de 210 m de longitud, con un tramo central de estructura metálica de 106 m y dos rampas en forma de losas de hormigón armado de 43 y 61 m al Norte y Sur respectivamente, con un 6% de pendiente. Las rampas y pasarela poseen una planta ligeramente curva para adaptarse al cruce, y producir la mínima afección a las infraestructuras existentes manteniendo las distancias y gálibos libres necesarios máximos posibles en el emplazamiento.



Vista general de la pasarela



Vista aérea. Integración en el entorno

El tramo principal, de sección mixta en forma de U y canto 1,20 m, permite cruzar sobre la autovía A-67 y sobre las vías de ADIF y FEVE con dos vanos principales de 36 m. La rasante de la estructura resalta los gálibos verticales libres de 5,50 m sobre la autovía y de 7,0 m y 6,5 m respectivamente sobre las vías del ADIF y FEVE.

El signo de identidad de la pasarela, lo conforma el apoyo principal central, en forma de V en dos direcciones, formando un tetrápodo que da apoyo a ambos nervios de borde del tablero. La V tiene una abertura de 15 m de tal forma que, la luz efectiva de dichos vanos principales se ve reducida a aproximadamente 29 m, permitiendo reducir canto y esfuerzos en el tablero. Una losa de hormigón de canto hasta 13 cm, descansa sobre la estructura metálica de la pasarela en diafragmas metálicos de 27 cm dispuestos cada 2,40 m.

### 361. PUENTE DE VELAS DE BARRA VIEJA, MÉXICO

#### BARRA VIEJA BRIDGE, MÉXICO

Leonardo Fernández Troyano. Carlos Fernández Casado, S.L. Director General. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cfcs@cfcs.com](mailto:cfcs@cfcs.com)  
Guillermo Ayuso Calle. Carlos Fernández Casado S.L. Ingeniero de Caminos. [gayuso@cfcs.com](mailto:gayuso@cfcs.com)  
Lucía Fernández Muñoz. Carlos Fernández Casado S.L. Ingeniera de Caminos. [luciafm@cfcs.com](mailto:luciafm@cfcs.com)  
Alberto Muñoz Tarilonte. Carlos Fernández Casado S.L. Ingeniero de Caminos. [amt@cfcs.com](mailto:amt@cfcs.com)  
Raúl González Aguilar. Carlos Fernández Casado S.L. Ingeniero de Caminos. [rgonzalez@cfcs.com](mailto:rgonzalez@cfcs.com)

Puente de velas, hormigón, empujado, atirantado, dispositivos de aislamiento.

*Sail concrete bridge, launch, stayed cabled bridge, isolated devices.*

El puente de Barra Vieja está situado en Lomas de Chapultepec, al sur de Acapulco, en la desembocadura del río Papagayo, en el estado de Guerrero, México. Originariamente existía otro puente que fue destruido por las riadas ocurridas en septiembre de 2013, ocasionadas por las lluvias de la tormenta tropical "Manuel".

La estructura proyectada es un puente de velas de hormigón con una luz principal de 220 m. La longitud total del puente es de 470 m y cinco vanos de luces 30 + 40 + 90 + 220 + 90 m. La estructura se proyectó sin pilas en el medio del cauce dado que la cimentación es inviable debido a fenómenos de licuefacción de los terrenos bajo la acción sísmica, que en esta zona es muy elevada.

El tablero está formado por dos vigas cajón longitudinales conectadas por costillas cada 5 m. Tiene un ancho de 15,05 m, con canto constante de 3,10 m. La losa superior tiene un espesor de 0,28 m.

El sistema de atirantamiento está formado por 28 cables que luego se quedan embebidos en la vela de hormigón. En estos cables se emplea tecnología de pretensado en lugar de tirante, con el consiguiente ahorro económico.

La vela tiene forma triangular y es de espesor variable entre 1,48 m en la torre a 0,36 m en el tablero. La vela comienza a 30 m de la torre y continúa durante 56,3 m más. La altura de las torres es de 17 m.

Uno de los aspectos más singulares de este proyecto es el proceso de construcción empleado. Al existir mucha prisa para la construcción del puente, se decidió empujar el tablero, posteriormente construir la parte superior de las torres y disponer los tirantes, que en una fase final se hormigonan. Este proceso obliga a disponer cinco pilas provisionales metálicas, dando lugar a vanos del orden de 55 m.

Uno de los temas que más se estudió en este proyecto es como resistir los efectos sísmicos, que son importantes debido en gran parte



Figura 1. Vista general del puente



Figura 2. Empuje del tablero

al terreno existente. En este caso se dispusieron dos amortiguadores longitudinales en el estribo 1, y amortiguadores transversales en estribos, pilas y torres.

Los desplazamientos máximos para los que se diseñaron estos amortiguadores son de  $\pm 290$  mm en dirección longitudinal y  $\pm 370$  mm en transversal. Dado que los amortiguadores dispuestos no tenían recen-trado, se dispuso apoyos pendulares en todos los apoyos, salvo en el estribo 6 donde se dispusieron apoyos de neopreno-teflón.

### 362. PUENTE ROTONDA DE ENGORDANY EN ESCALDES, ANDORRA

#### ENGORDANY'S ROUNDABOUT, ANDORRA

Leonardo Fernández Troyano. Carlos Fernández Casado, S.L. Director General. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cfcs@cfcs.com](mailto:cfcs@cfcs.com)  
Guillermo Ayuso Calle. Carlos Fernández Casado S.L. Ingeniero de Caminos. [gayuso@cfcs.com](mailto:gayuso@cfcs.com)  
Lucía Fernández Muñoz. Carlos Fernández Casado S.L. Ingeniera de Caminos. [luciafm@cfcs.com](mailto:luciafm@cfcs.com)

Rotonda, estructura mixta.

*Roundabout, composite structure.*

La rotonda de Engordany se encuentra a la salida del pueblo de Escaldes en Andorra, en la antigua carretera hacia La Massana. Tiene 2 carriles de circulación y un ramal.

Es una estructura situada sobre un desfiladero del río, lo que obligó a apoyarse en ambas orillas y en la pared del desfiladero mediante un elemento de hormigón anclado en la roca. De él parten cuatro pilares circulares de 1 m de diámetro que se abren radialmente en planta para sostener el borde interior de la rotonda.

La rotonda tiene un diámetro exterior de 44,6 m y un diámetro interior de 18 m.

El tablero está formado por un cajón metálico multicelular cuyo canto exterior en la rotonda y en el ramal es de 1,2 m. En la zona interior de la rotonda el cajón se amplía con una célula triangular cuyo canto máximo es de 2,3 m. La losa, de 0,20 m de espesor, conectada a la estructura metálica mediante pernos, se hormigonó sobre una chapa grecada.

La estructura está empotrada en el lado de la carretera actual mediante una viga de hormigón con anclajes al terreno.

Para su construcción se montó primero la viga anclada al terreno y a partir de este borde se montó la estructura metálica de la rotonda en voladizo mediante una grúa. Cuando el voladizo llegaba a los puntos de apoyo de los pilares, se montaban éstos. Una vez cerrado el círculo se hormigonó la losa para poder situar sobre ella otra grúa y montar el ramal que termina en el estribo de la otra margen. Una vez apoyado éste en el estribo se completó la losa de hormigón.



Figura 1. Vista inferior del puente



Figura 2. Puente en construcción

### 363. VIADUCTOS EN LA LÍNEA DE FERROCARRIL DE ALTA VELOCIDAD DE AL-HARAMAIN (ARABIA SAUDITA)

#### VIADUCTS IN AL-HARAMAIN HIGH SPEED RAILWAY LINE (SAUDI ARABIA)

Manuel Biedma García. ACCIONA Ingeniería. Director Técnico División Ingeniería Estructural. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [manuel.biedma.garcia@acciona.com](mailto:manuel.biedma.garcia@acciona.com)

Mayra Toledo Serrano. ACCIONA Ingeniería. Jefa de Proyectos División Ingeniería Estructural. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [maira.toledo.serrano@acciona.com](mailto:maira.toledo.serrano@acciona.com)

Línea de ferrocarril de Alta Velocidad, viaducto, tablero cajón de hormigón postensado, vigas en U prefabricadas postensadas.

High Speed Railway Line, viaducts, post-tensioned concrete box girder, post-tensioned precast U-beams.

Acciona Ingeniería desarrolló el proyecto de construcción de seis viaductos para la Línea de ferrocarril de Alta Velocidad de Al-Haramain (HSR), situada entre las ciudades de Medina, Jeddah y La Meca, en el Reino de Arabia Saudita. La longitud total de los viaductos es de 3.090 m. El proyecto comprende más de 400 km de HSR.

Cuatro de los seis viaductos fueron diseñados con tablero tipo cajón de hormigón postensado con proceso constructivo vano a vano. El tablero de los otros dos puentes consta de dos vigas en U biapoyadas, prefabricadas postensadas.

El cliente del contrato y la autoridad a cargo de la línea fue Saudi Railways Organization (SRO).

Esta línea de ferrocarril supuso un reto para el diseño de HSR debido a los desafíos del clima y a los picos de uso previstos. Su objetivo principal era mejorar el acceso a La Meca, por lo que su construcción significa la puerta de entrada a la Meca para millones de peregrinos, una vía de conexión entre las tres ciudades sagradas del Islam (Medina, Yeda y La Meca), y el primer hito para desarrollar un HSR transnacional en la región del Consejo de Cooperación del Golfo (CCG).

Además, la importancia del proyecto también radica en la gran inversión realizada y en el hecho de ser el primer proyecto de esta naturaleza que se abrió al mercado internacional de ingeniería en el Reino de Arabia Saudita.

Los trabajos desarrollados supusieron dos fases:

- Primera fase, se desarrollaron el Proyecto Básico y de Construcción. Esta fase duró casi dos años.



Figura 1. Vista del Viaducto 175 + 302 en construcción



**Figura 2.** Vista del Viaducto 184 + 193 ya finalizado

- Segunda fase, actualmente en curso, realiza la asistencia técnica a obra. Cada cambio en obra en el proyecto original, supone la aprobación de los diseñadores.

El cálculo de los viaductos incorporó los aspectos comunes relacionados con este tipo de estructuras: fatiga y análisis dinámico, interacción vía-estructura, confort de los pasajeros, análisis de tensiones de tableros, descarrilamiento, etc. Pero además, se tuvo en cuenta las siguientes singularidades:

- Condiciones extremas de temperatura en Arabia Saudí.
- Análisis sísmico específico debido a la proximidad de la Falla Mar Rojo. Los cálculos se desarrollaron según parámetros sísmicos incluidos en Saudi Geological Survey (SGS), Norma Sísmica Nacional y Eurocódigo 1998.
- Uso de criterios de diseño específicos detallados en el proyecto: Terms of Reference (TOR).
- Debido a la ausencia de regulación local en materia de HSR, los cálculos se realizaron utilizando normas internacionales: Eurocódigos, AASHTO.

### 366. EL SISTEMA DE LANZAMIENTO DE VANOS COMPLETOS APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO SHEIKH JABER AL-AHMED AL-SABAH

#### THE PRECAST FULLSPAN SYSTEM APPLIED TO THE SHEIKH JABER AL-AHMED AL-SABAH CAUSEWAY

Aquilino Raimundo. *Strukturas AS. Marketing and Sales Manager. Civil Engineer.* [ar@strukturas.no](mailto:ar@strukturas.no)

José Antonio Becerra Mosquera. *Avensi Ingeniería y Construcción. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.* [j.a.becerra@avensi.es](mailto:j.a.becerra@avensi.es)  
 Daniel Rodríguez Pereiras. *Avensi Ingeniería y Construcción. Gerente. Ingeniero Técnico Industrial.* [daniel.rodriguez@avensi.es](mailto:daniel.rodriguez@avensi.es)

Lanzadera, vanos completos prefabricados, hormigón prefabricado.

*Launching girder, precast fullspan system, precast concrete.*

El proyecto Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah es uno de los mayores proyectos de construcción de infraestructuras que se construirá en la región del golfo pérsico con una inversión total estimada de 3 billones de dólares, aproximadamente.

El proyecto ha sido promovido por el ministerio de trabajos públicos de Kuwait (MPW). Esta nueva carretera generará una nueva ruta es-

tratégica que facilitará el desarrollo urbanístico al norte de la ciudad de Kuwait.

La nueva carretera discurrirá a través de la bahía de Kuwait, uniendo el área del puerto de Shuwaikh, en la parte sur de la bahía, con la nueva ciudad de Subiyah, al norte. La longitud total de la calzada principal es 36 km, de los cuales, 27 km corresponden a puentes en un entorno marítimo.

La parte marítima del proyecto, que tiene una longitud total de 27 km, consta de 3 puentes; el Subiyah Bridge en la aproximación norte, de 7,9 km de longitud, el Shuwaikh Bridge en la aproximación sur, de 6,5 km de longitud, y el puente principal, de 13,5 km de longitud. Entre los tres conectan las dos masas de terreno a través de dos islas artificiales, cada una de un tamaño de 30 ha y en las que se han incorporado infraestructuras de mantenimiento y refugios de emergencia.

El puente principal, une las dos islas, e incluye un vano para la navegación de 120 m de luz y 23 m de altura libre sobre el mar para facilitar el paso de barcos. Este vano es una estructura atirantada con una torre de soporte icónica con estela de vela.

Los segmentos prefabricados del puente principal se colocarán utilizando una grúa flotante con una capacidad de 2.000 t, pero para los puentes Subiyah y Shuwaikh, no existe suficiente calado para que pueda operar la grúa flotante, además de estar condicionado por las restricciones ambientales. Debido a estas limitaciones, para estos puentes, se ha decidido usar una lanzadera de vanos completos para colocar los segmentos de puente.

Los elementos del puente principal y del puente Subiyah son todos tableros prefabricados de hormigón pretensado estándar de 60 m de luz y un peso aproximado de 1.725 t. Sin embargo, el puente Shuwaikh incluye secciones en curva y rampas para los enlaces. En este caso, los tableros son de 40 m de longitud máxima, siendo estos de longitud variable, y teniendo un peso máximo de 1.050 t.



Canal de navegación en el viaducto principal



Lanzadera de vanos en el viaducto Subiyah

### 368. NUEVO PUENTE DE GOLBARDO SOBRE EL RÍO SAJA, CANTABRIA

#### NEW GOLBARDO BRIDGE OVER RIVER SAJA, CANTABRIA

Guillermo Capellán Miguel. Arenas & Asociados. Director Técnico. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gcapellan@arenasing.com](mailto:gcapellan@arenasing.com)  
 Emilio Merino Rasillo. Arenas & Asociados. Coordinador Oficina de Madrid. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [emerino@arenasing.com](mailto:emerino@arenasing.com)  
 Alejandro Godoy Ansótegui. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [agodoy@arenasing.com](mailto:agodoy@arenasing.com)  
 Marianela García Pérez. Arenas & Asociados. Ingeniera de Proyecto. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [mgarcia@arenasing.com](mailto:mgarcia@arenasing.com)  
 Santiago Guerra Soto. Arenas & Asociados. Coordinador de Calidad. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [sguerra@arenasing.com](mailto:sguerra@arenasing.com)

Viga Vierendell, bñácena, Puente de Golbarado, José Eugenio Ribera, río Saja.

Vierendell truss, double box girder, Golbarado Bridge, José Eugenio Ribera, River Saja.

El acceso a Golbarado, localidad situada en las terrazas del río Saja, se realiza desde 1902 a través de un puente arco de José Eugenio Ribera, y que es reconocida como una de las primeras obras materializadas en hormigón armado en España. El nuevo puente, actualmente en construcción, surge de la necesidad de liberar de tráfico a la actual estructura.

El diseño adoptado, realizado por Arenas & Asociados, responde al objetivo de no competir con el Puente de Ribera, sino de convertirse en un tributo al mismo, y a la vez establecer un diálogo común entre las dos estructuras, modernas ambas para su época. El puente propuesto está constituido por un tramo singular en doble viga Vierendell metálica con vanos laterales de sección bñácena, que descansan sobre pilas que respetan el cauce del río Saja.

La luz principal alcanza los 60 m, con una distribución de vanos 30 + 60 + 36 + 30 + 30 + 24 m, siendo los 126 m iniciales los pertenecientes al tramo singular. La longitud del puente, 210 m, viene motivada por condicionantes hidráulicos, ya que el Estudio realizado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria condicionaba la construcción

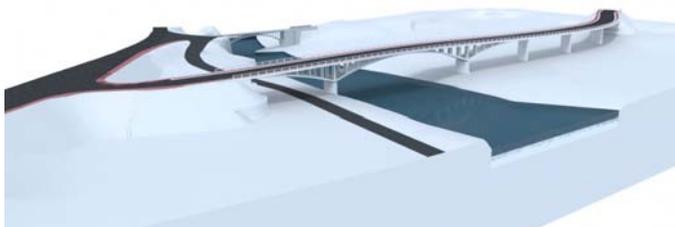


Imagen aérea de ambos puentes



Puente de J.E. Ribera enmarcado por la nueva estructura

de un nuevo puente sobre el río Saja a liberar la terraza fluvial de éste, y a situarse 100 m aguas abajo del puente de Ribera.

La esbeltez del tablero y el cuidado diseño de pilas, con su canto decreciente a medida que se acercan a la cimentación, proporcionan al viaducto un aspecto elegante y sobrio, en perfecta armonía con la estructura metálica superior.

### 369. CIERRES DEL TABLERO EN EL NUEVO QUEENSFERRY CROSSING

#### DECK CLOSURES IN THE NEW QUEENSFERRY CROSSING

Héctor Bernardo Gutiérrez. DRAGADOS. Dirección Técnica. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [hbernardog@dragados.com](mailto:hbernardog@dragados.com)  
 Antonio Vázquez Salgueiro. DRAGADOS. Engineering Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [avazquez@dragados.com](mailto:avazquez@dragados.com)  
 Antonio Martínez Cutillas. Carlos Fernández Casado S.L. TW Checker & Designer. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [amartinez@cfcs.com](mailto:amartinez@cfcs.com)  
 Martin Romberg. Leonhard, Andrä & Partners. PW Designer. Dipl.-Ing. Structural Engineering. [Martin.Romberg@lap-consult.com](mailto:Martin.Romberg@lap-consult.com)  
 Felipe Tarquis Alfonso. DRAGADOS. Dirección Técnica. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ftarquisa@dragados.com](mailto:ftarquisa@dragados.com)

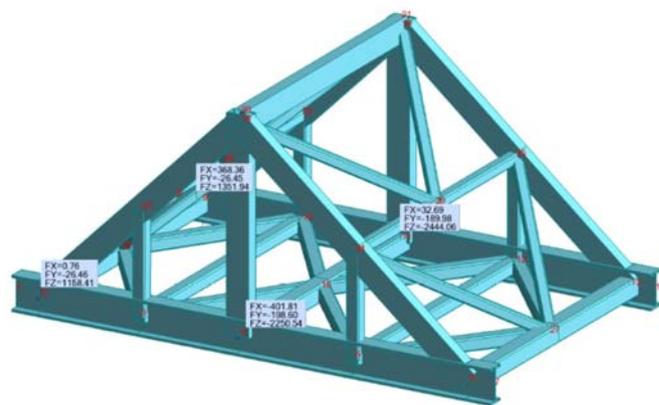
Queensferry Crossing, cierres, estructuras temporales de bloqueo.

Queensferry Crossing, closures, temporary locking structures.

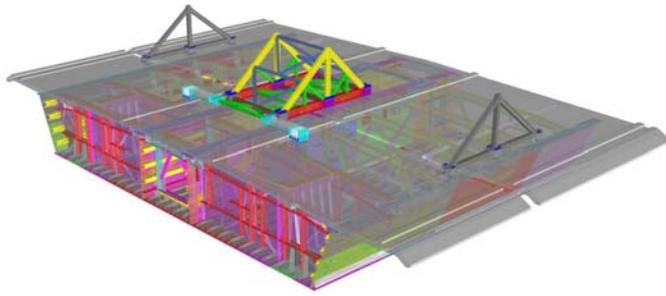
La construcción del tramo atirantado del nuevo Queensferry Crossing se ha llevado a cabo por el método de avance en voladizo. Tras alcanzar su máxima longitud, cada uno de estos voladizos debe unirse con el de la torre sucesiva para formar un tablero continuo. Dada su longitud, el puente presenta 6 puntos donde debe realizarse una unión, cada uno con sus particularidades.

Las operaciones requeridas para dar continuidad al tablero se denominan cierres, y abarcan todos los métodos y elementos auxiliares necesarios para enfrentar, bloquear y unir ambos voladizos. Dada la magnitud de la estructura, los esfuerzos que las estructuras auxiliares han de soportar son de una gran entidad, por lo que su diseño debe realizarse en coordinación con un cuidado método de ejecución que asegure las hipótesis de cálculo.

El método de cierre elegido ha sido el mismo para 5 de los cierres, compartiendo estructuras auxiliares. El sexto corresponde al viaducto de acceso sur, que por su tipología requiere a su vez de dos cierres.



Modelo de cálculo de la estructura de cierre



Vista conceptual de los elementos de cierre

### 371. ARCO DE TABLERO INTERMEDIO SOBRE EL BARRANCO DE ERQUES. CONSTRUCCIÓN

#### THROUGH ARCH BRIDGE OVER ERQUES RAVINE. CONSTRUCTION

Santiago Pérez-Fadón Martínez. Ferrovial-Agroman S.A. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [sp.fadon@ferrovial.com](mailto:sp.fadon@ferrovial.com)

José Emilio Herrero Beneitez. Ferrovial-Agroman S.A. Jefe de Área de Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.e.herrero@ferrovial.com](mailto:j.e.herrero@ferrovial.com)

Juan José Sánchez Ramírez. Ferrovial-Agroman S.A. Jefe de Departamento Estructuras Obra Civil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jj.sanchez@ferrovial.com](mailto:jj.sanchez@ferrovial.com)

Pablo Loscos Areoso. Ferrovial-Agroman S.A. Jefe de Proyecto Estructuras Obra Civil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ploscos@ferrovial.com](mailto:ploscos@ferrovial.com)

Arco, montaje, grúa, rótulas, regulación.

Arch, installation, crane, pin connections, regulation.

El diseño de un arco de tablero intermedio y la colocación de todos los elementos con grúa desde un estribo implican excavaciones de reducido impacto sobre las laderas y un buen encaje estético y estructural, de manera que laafección al barranco protegido queda minimizada. Para el montaje de los arcos se empleó una gran grúa de 600 toneladas de capacidad máxima que colocó cada uno de ellos, de 110 toneladas de peso, desde el borde de un estribo, a una distancia aproximada de 60 metros. El tablero metálico se colocó de la misma manera, para lo cual fue necesario dividirlo en cuatro tramos que se cuelgan de las péndolas correspondientes con la ayuda de la mencionada grúa. Para estos procesos se diseñó un conjunto de sistemas auxiliares que dotaban a la estructura de la capacidad de regulación necesaria, tanto en geometría como en cargas, con idea de realizar el montaje de una forma eficaz y segura. Un sistema de eslingas con botellas hidráulicas se encargó de la colocación de los arcos y tramos de tablero, un grupo de barras activas y gatos hidráulicos permitió ajustar la posición horizontal de los tramos de tablero para instalar en segunda fase los largueros de continuidad entre tramos.

Los macizos de cimentación de los arcos se hormigonan en dos fases para poder alojar las cunas, una fija y otra deslizante, que reciben las rótulas para el montaje. Tras el descenso completo del arco y una vez fijados sus extremos a sus rótulas correspondientes, el anclaje definitivo a las cimentaciones se realiza mediante barras activas tesadas contra una placa base doble que solidariza los dos tubos.

El sistema de cuelgue está formado por péndolas de cable cerrado que se anclan en arco y tablero mediante un sistema de orejeta y pa-



Fase de colocación de los arcos



Fase de colocación del tablero

sador. Todos los terminales inferiores son regulables, con el doble propósito de absorber errores de fabricación y ajustar las cargas que recibe cada péndola. Los errores de fabricación que pudiesen presentar las propias péndolas y los elementos metálicos de arco y tablero se corrigen en campa con las péndolas descargadas situando la rosca que une el terminal inferior con el cable en la posición adecuada. Las cargas que soporta cada péndola una vez se ha concluido el montaje se ajustan mediante un sistema diseñado ex profeso compuesto de barras activas, orejetas y gatos, que liberan las roscas de carga para permitir su regulación.

### 372. NUEVO QUEENSFERRY CROSSING. LANZAMIENTO DEL VIADUCTO DE ACCESO NORTE

#### NEW QUEENSFERRY CROSSING. NORTH APPROACH VIADUCT LAUNCHING

Héctor Bernardo Gutiérrez. DRAGADOS. Dirección Técnica. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [hbernardog@dragados.com](mailto:hbernardog@dragados.com)

Antonio Vázquez Salgueiro. DRAGADOS. Design Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [avazquez@dragados.com](mailto:avazquez@dragados.com)

Gabriel Menéndez-Pidal Sendrail. DRAGADOS. Head of Section. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[gmenendezp1@dragados-usa.com](mailto:gmenendezp1@dragados-usa.com)

Steve Thompson. Ramboll UK. Director Bridges. EurIng, BEgn (Hons), CEng, MICE. [steve.thompson@ramboll.co.uk](mailto:steve.thompson@ramboll.co.uk)  
 Alan Ward. Ramboll UK. Design Engineer. MEng, CEgn, MICE. [alan.ward@ramboll.co.uk](mailto:alan.ward@ramboll.co.uk)

Queensferry Crossing, viaducto de acceso, lanzamiento, puente mixto.

*Queensferry Crossing, approach viaduct, launching, composite deck.*

El viaducto de acceso norte del nuevo Queensferry Crossing tablero con dos luces de 101,5 m y 104 m. La sección transversal es mixta con una configuración particular. Los primero 74,50 m consisten en dos tableros paralelos situados a 21,75 m entre ellos. El resto de la longitud es una sección cajón única.

Debido a los condicionantes de acceso, el método constructivo elegido ha sido el empuje de tablero metálico con parte de la losa, hormigonando la parte restante a posteriori siguiendo una secuencia dada por la construcción de la parte atirantada.

Dadas las características particulares y el gran peso de 6.200 toneladas, el proceso de empuje no ha sido convencional y se han debido adoptar y combinar soluciones muy particulares para poder cumplir con las estrictas exigencias del diseño. El proceso de ensamblaje tampoco ha sido convencional dadas las restricciones de espacio, así como el tamaño y peso de las piezas.

Los diseñadores del puente y de las estructuras auxiliares han trabajado coordinadamente con el contratista para desarrollar un proce-



Vista general



Tablero durante el empuje

so de empuje adecuado para la estructura y compatible con los requerimientos de plazo y coste. La exitosa finalización del lanzamiento ha demostrado que el método de empuje es también una opción interesante en el caso de tableros de geometría no uniforme y longitudes no especialmente grandes.

### 373. ARCO DE TABLERO INTERMEDIO SOBRE EL BARRANCO DE ERQUES. DISEÑO

#### THROUGH ARCH BRIDGE OVER ERQUES RAVINE. DESIGN

Santiago Pérez-Fadón Martínez. Ferrovial-Agroman S.A. Director Técnico. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [sp.fadon@ferrovial.com](mailto:sp.fadon@ferrovial.com)

José Emilio Herrero Beneitez. Ferrovial-Agroman S.A. Jefe de Área de Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.e.herrero@ferrovial.com](mailto:j.e.herrero@ferrovial.com)

Juan José Sánchez Ramírez. Ferrovial-Agroman S.A. Jefe de Departamento Estructuras Obra Civil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.j.sanchez@ferrovial.com](mailto:j.j.sanchez@ferrovial.com)

Pablo Loscos Areoso. Ferrovial-Agroman S.A. Jefe de Proyecto Estructuras Obra Civil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ploscos@ferrovial.com](mailto:ploscos@ferrovial.com)

José Manuel Simón-Talero Muñoz. Torroja Ingeniería S.L. CEO. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jsimontalero@torroja.es](mailto:jsimontalero@torroja.es)

Alejandro Hernández Gayo. Torroja Ingeniería S.L. Projectista de Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ahernandez@torroja.es](mailto:ahernandez@torroja.es)

Ramón María Merino Martínez. Torroja Ingeniería S.L. Projectista de Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rmerino@torroja.es](mailto:rmerino@torroja.es)

Arco, sección mixta, hormigón expansivo, emparrillado, péndolas.

*Arch, composite cross section, expansive concrete, grillage, hangers.*

Los condicionantes medioambientales condujeron al diseño de una estructura cuya tipología y procedimiento constructivo minimizasen la afección sobre el valle al mismo tiempo que encajasen adecuadamente en el entorno. El arco de tablero intermedio resultaba idóneo para este propósito desde los puntos de vista estético y estructural. Se ha diseñado un único tablero de 23,20 metros de ancho total recogiendo dos calzadas, con mediana rígida en el centro, suspendido de dos planos de arcos colocados exteriormente.

La distancia entre apoyos del tablero es de 110,0 metros. Los arcos presentan la misma luz, directriz parabólica de segundo grado y una flecha en el centro de 15 metros respecto al tablero.

La distancia entre apoyos del tablero es de 110,0 metros. Los arcos presentan la misma luz, directriz parabólica de segundo grado y una flecha en el centro de 15 metros respecto al tablero.

La distancia entre apoyos del tablero es de 110,0 metros. Los arcos presentan la misma luz, directriz parabólica de segundo grado y una flecha en el centro de 15 metros respecto al tablero.

Arco, sección mixta, hormigón expansivo, emparrillado, péndolas.

*Arch, composite cross section, expansive concrete, grillage, hangers.*

Los condicionantes medioambientales condujeron al diseño de una estructura cuya tipología y procedimiento constructivo minimizasen la afección sobre el valle al mismo tiempo que encajasen adecuadamente en el entorno. El arco de tablero intermedio resultaba idóneo para este propósito desde los puntos de vista estético y estructural. Se ha diseñado un único tablero de 23,20 metros de ancho total recogiendo dos calzadas, con mediana rígida en el centro, suspendido de dos planos de arcos colocados exteriormente.

La distancia entre apoyos del tablero es de 110,0 metros. Los arcos presentan la misma luz, directriz parabólica de segundo grado y una flecha en el centro de 15 metros respecto al tablero.



Vista de la estructura recién terminada



Vista de una de las fases de la prueba de carga

El tablero es un emparrillado de nudos rígidos con travesaños y largueros metálicos sobre los que se conecta una losa de hormigón armado de 25 cm de espesor mínimo a la que se dota de bombeo transversal. Se disponen dos traviesas en los extremos del tablero para facilitar el apoyo del emparrillado metálico sobre los estribos. Los travesaños intermedios son vigas doble-te de canto variable entre 1,50 y 0,50 m, con espesores comprendidos entre 12 y 35 milímetros. Sus extremos son exclusivamente metálicos y sobre ellos se dispone un sistema de orejetas dobles en los que se engancharán las péndolas. Los largueros son vigas doble-te de 0,65 metros de canto constante y espesores de 12 a 15 milímetros.

Cada plano de arcos presenta doble tubo de sección mixta hormigón-acero con geometría circular de 1,02 m de diámetro y 13 mm de espesor. Los tubos, de acero S355, están separados 1,50 m entre ejes y presentan refuerzos en los arranques.

El anclaje a las cimentaciones se realiza mediante barras activas tesadas contra una placa base doble que solidariza los dos tubos.

El sistema de cuelgue está formado por dos planos de 24 péndolas de cable cerrado de acero de calidad 1570 dispuestas según un esquema Nielsen, ancladas en arco y tablero mediante un sistema de orejeta y pasador formando nudos separados 8 metros según la horizontal.

El empleo de hormigón expansivo para el relleno de los tubos de acero permite prescindir de conectores en el interior de los mismos, quedando garantizada la transmisión del esfuerzo rasante entre acero y hormigón mediante rozamiento. Este mecanismo surge de la compresión que la expansividad del hormigón produce en la superficie de contacto entre materiales y permite el trabajo conjunto de hormigón y acero.

### 375. CIMENTACIONES TABLESTACADAS EN EL NUEVO QUEENSFERRY CROSSING

#### SHEET PILED FOUNDATIONS IN THE NEW QUEENSFERRY CROSSING

Antonio Vázquez Salgueiro. DRAGADOS. Design Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [avazquezs@dragados.com](mailto:avazquezs@dragados.com)  
 Nicolás Burbano Pita. GEOCISA. Dirección Técnica. Ingeniero de Minas. [nburbanop@geocisa.com](mailto:nburbanop@geocisa.com)  
 Manuel Pita Olalla. DRAGADOS. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mpitao@dragados.com](mailto:mpitao@dragados.com)  
 Stephan Hamm. Hochtief Solutions AG. Head of Bridges and Civil Structures. Dipl.-Ing. Civil Engineering. [stephan.hamm@hochtief.de](mailto:stephan.hamm@hochtief.de)  
 Raimundo Saiz Pérez. DRAGADOS. Head of Section. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rsaizp@dragados.com](mailto:rsaizp@dragados.com)

Queensferry Crossing, tablestacas, recintos estancos.

Queensferry Crossing, sheet piles, cofferdams.



Recinto con pozos de achique

El nuevo Queensferry Crossing tendrá una longitud de 2.637,5 m, con dos vanos principales de 650 m cada uno, sustentados por tirantes a tres torres de 210 m. La cimentación de dos de las torres principales y de una de las pilas de acceso, la S1, se realizó mediante cajones circulares metálicos prefabricados, que se hincaban en el terreno. La torre central se apoyó directamente sobre la isla de "Beamer Rock". La cimentación del resto de pilas situadas en el estuario (S5, S4, S3, S2 y N1) se ha realizado por medio de "cofferdams" o recintos metálicos formados por tablestacas, que permitían excavar hasta el sustrato rocoso, conteniendo el agua y las tierras situadas por encima del mismo.

La tipología de estos recintos se podría dividir en dos grupos:

- Pilas S5, S4 y N1: recintos metálicos prefabricados en tierra, con dos niveles de apuntalamiento, transportados con grúa flotante y fondeados directamente sobre el sustrato rocoso (previo dragado hasta la roca).



Recinto cercano a tierra

- Pilas S3 y S2: recintos de tablestacas hincadas hasta la roca a través de entre 7 y 13 m de material sedimentario, con tres niveles de apuntalamiento. Excavación y vaciado en fase posterior.

### 376. CONSTRUCCIÓN DE LAS TORRES ATIRANTADAS DEL NUEVO QUEENSFERRY CROSSING

#### TOWER CONSTRUCTION IN THE NEW QUEENSFERRY CROSSING

Antonio Vázquez Salgueiro. DRAGADOS. Design Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [avazquez@dragados.com](mailto:avazquez@dragados.com)  
 Stephan Hamm. Hochtief Solutions AG. Head of Bridges and Civil Structures. Dipl.-Ing. Civil Engineering. [stephan.hamm@hochtief.de](mailto:stephan.hamm@hochtief.de)  
 Peter Walser. Leonhardt, Andrä & Partners. Director of Projects. Dipl.-Ing. Structural Engineering. [peter.walser@lap-consult.com](mailto:peter.walser@lap-consult.com)  
 Martin Romberg. Leonhardt, Andrä & Partners. Design Engineer. Dipl.-Ing. Structural Engineering. [martin.romberg@lap-consult.com](mailto:martin.romberg@lap-consult.com)  
 Felipe Tarquis Alfonso. DRAGADOS. Dirección Técnica. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ftarquisa@dragados.com](mailto:ftarquisa@dragados.com)

Queensferry Crossing, torre atirantada, encofrado trepante.

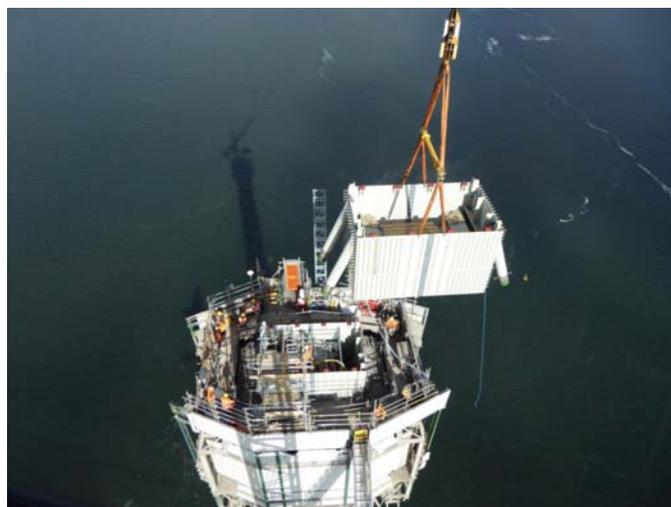
*Queensferry Crossing, stay tower, climbing formwork.*

El nuevo Queensferry Crossing es un puente atirantado continuo con dos vanos de 650 m. Cuenta con 3 torres principales de atirantamiento de hasta 210,7 m de altura. Durante las fases de construcción, las torres crecen en voladizo desde el nivel de cimentación, resultando en alturas totales de 215,7 m para la torre central y 216,37 m para las torres norte y sur. El pináculo de la torre central será el punto más alto del puente situado a 210,7 metros sobre el nivel del mar, comparado con los 202,3 m de las torres laterales, norte y sur respectivamente.

Cada torre es una estructura hueca de hormigón armado de dimensiones variables tanto transversal como longitudinalmente. En la base, la torre tiene unas medidas exteriores de 14 m en longitudinal y 16 m en transversal. El esquema estructural del puente ha requerido que la torre central tenga paredes más gruesas comparadas con las torres laterales. Se ha utilizado un total de 7.100 t de acero en armaduras y 24.780 m<sup>3</sup> de hormigón para levantar estas torres.



Vista de las tres torres en construcción



Colocación de un armario metálico

La construcción de unas estructuras tan altas y complejas es un reto en si misma, complicado más aún debido a las numerosas interacciones con otras actividades y elementos, tales como medios marítimos, de logística, accesos, tablero y armarios metálicos para los tirantes.

### 388. ESTRUCTURAS DE LA VARIANTE SUR DE ERMUA

#### STRUCTURES OF THE SOUTH ERMUA BYPASS

Guillermo Capellán Miguel. Arenas & Asociados. Director Técnico. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gcapellan@arenasing.com](mailto:gcapellan@arenasing.com)  
 Alejandro Godoy Ansótegui. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [agodoy@arenasing.com](mailto:agodoy@arenasing.com)  
 Marianela García Pérez. Arenas & Asociados. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mgarcia@arenasing.com](mailto:mgarcia@arenasing.com)  
 Pablo Alfonso Domínguez. Arenas & Asociados. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [palfonso@arenasing.com](mailto:palfonso@arenasing.com)  
 Sara Urdinguio Vega. Arenas & Asociados. Ingeniera de Proyecto. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [surdinguio@arenasing.com](mailto:surdinguio@arenasing.com)



Contrapicado de la estructura E-4



Imagen aérea de las estructuras E-4 y E-5

Tablero mixto, variante, autovía A-8, Ermua, jабalcón.

Composite deck, bypass road, A-8 motorway, Ermua, strut.

La Variante Sur de Ermua, es una nueva infraestructura promovida por la Diputación Foral de Vizcaya a través de INTERBIAK. El proyecto comienza en el término municipal de Zaldívar, cruza el Arroyo Beko, y continúa hacia el túnel de Uretamendi, conectando la autovía del Cantábrico (A-8) con la carretera N-634, hasta terminar en la rotonda del Barrio ermuarra de San Lorenzo.

Los condicionantes orográficos, el Arroyo Beko y la alta densidad de infraestructuras (A-8, ff.cc. actual, futuro trazado del ff.cc. Zaldivar-Ermua, carretera a Eitzaga, etc.), conllevan un difícil trabajo de encaje de las estructuras.

Arenas & Asociados ha participado en el proyecto por encargo de la UTE BEKO-ERREKA (Sobrino + Cycasa + Vicons + Geotunel), encargada de la construcción, realizando el proyecto modificado de las estructuras y actuando como asistencia técnica durante la ejecución de las obras.

La variante contiene cinco estructuras, todas ellas mixtas, siendo el conjunto de la E-4, E-5 y Muro M-4-5 el de mayor singularidad. En estas estructuras la sección transversal posee un ancho de 14,70 m, albergando tres carriles de circulación. El tablero, compuesto por un cajón metálico de 5,00 m de ancho y 2,20 m de canto, dispone de jабalcones cada 2,00 m. Se ha dedicado gran esfuerzo en el diseño de los jабalcones, de sección triangular y muy esbeltos. Las pilas son de fuste único con sección variable en sentido transversal, decreciendo de arriba abajo con una pendiente 1:30 para minimizar su anchura en la base.

La estructura E-4, cruza sobre el ferrocarril Zaldívar-Ermua y la carretera de acceso a Eitzaga. Su longitud es de 190,00 m, distribuidos en cinco vanos, con una luz máxima de 50 m.

La estructura E-5, de 100 m de longitud, cruza con gran esviaje sobre la carretera de acceso a Eitzaga y sobre una bóveda enterrada por la que discurre el arroyo Beko, obligando a disponer dos vanos de 50 m. Para mantener la misma sección que la E-4 se dispone un acartelamiento inferior de doble acción mixta en la pila central. La ubicación de la estructura hace imposible el uso de apeos de montaje o cimbra, por lo que se coloca en primer lugar el tramo central, diseñado para autoportar el encofrado, mediante puntales provisionales a la pila.

El muro M-4-5 conecta ambas estructuras, aprovechando un morro de roca existente, dando continuidad visual al conjunto mediante una sección cajón con jабalcones.

### 389. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS EN EL TRAMO ATIRANTADO DEL NUEVO QUEENSFERRY CROSSING

#### TEMPORARY WORKS FOR THE CABLE STAYED DECK IN THE NEW QUEENSFERRY CROSSING

Antonio Vázquez Salgueiro. DRAGADOS. Engineering Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [avazquez@dragados.com](mailto:avazquez@dragados.com)  
 Dan J. Raynor. American Bridge International. Director of Business Development. M.S. Structural Engineering. [draynor@americanbridge.net](mailto:draynor@americanbridge.net)  
 Martin Romberg. Leonhard, Andrä & Partners. Desing Engineer. Dipl.-Ing. Structural Engineering. [Martin.Romberg@lap-consult.com](mailto:Martin.Romberg@lap-consult.com)  
 Peter Walser. Leonhard, Andrä & Partners. Director Projects. Dipl.-Ing. Structural Engineering. [Peter.Walser@lap-consult.com](mailto:Peter.Walser@lap-consult.com)  
 Felipe Tarquis Alfonso. DRAGADOS. Dirección Técnica. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ftarquisa@dragados.com](mailto:ftarquisa@dragados.com)

Queensferry Crossing, dovela, control geométrico, medios auxiliares.

Queensferry Crossing, deck segment, geometry control, temporary works.

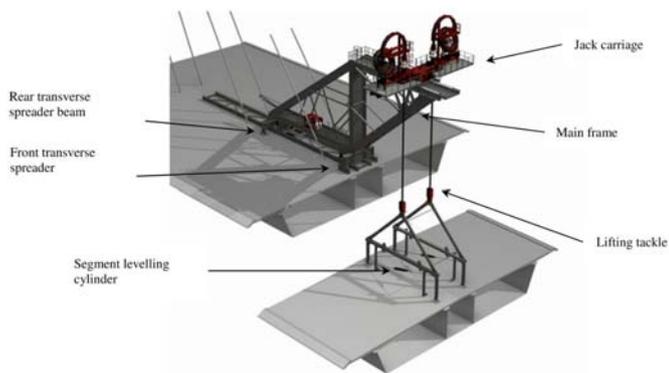
El nuevo Queensferry Crossing es un puente atirantado con luces de 104 m-223 m-650 m-650 m-223 m-104 m. El tablero es una sección cajón de 40 m de anchura y 4,9 m de canto, con una sección inferior abierta de acero y una losa superior de hormigón con dos voladizos. Los tirantes descienden desde las torres en dos planos situados a aproximadamente 5 m entre ellos hasta anclarse en las almas de tirantes (SAW) situadas a ambos lados del eje central. Las esbeltas torres atirantadas son posibles solo gracias al efecto del cruce de los cables en el centro de vano de ambas luces, sur y norte.

Las dovelas de acero han sido fabricadas y montadas en Shanghai (China), y transportadas hasta el cercano puerto de Rosyth en la orilla norte del estuario del Forth. Las 110 dovelas han sido izadas y soldadas in situ para crear un tablero continuo, labor que ha requerido de un extenso trabajo de ingeniería.

La ponencia describe los trabajos de construcción así como los medios auxiliares empleados y el control realizado.



Colocación de dovela inicial sobre cimbra



Carro de izado



Vista general del puente

## 408. TRADICIÓN E INNOVACIÓN PARA EL PUENTE DE SAN IGNACIO EN LA NUEVA ISLA DE ZORROTZAURRE EN BILBAO

### TRADITION AND INNOVATION IN SAN IGNACIO'S BRIDGE ON THE NEW ISLAND OF ZORROTZAURRE, IN BILBAO

Ana Lorea Arnal. INGZERO Ingeniería Zero S.L. Directora de Proyectos. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [alorea@ingzero.com](mailto:alorea@ingzero.com)

Sergio Saiz García. INGZERO Ingeniería Zero S.L. Director Técnico y Gerente. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [info@ingzero.com](mailto:info@ingzero.com)

Arcos mixtos, hormigón de alta resistencia HAR100, tablero mixto, esbeltez, acero inoxidable.

*Symmetric composite arches, high performance self-compacting concrete HPC100, composite deck, stainless steel.*

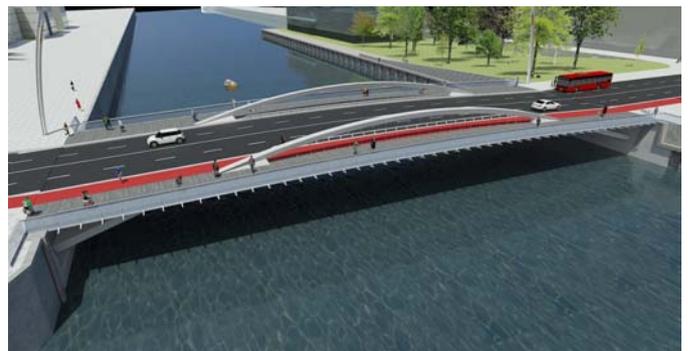
Las comunicaciones por carretera al norte de la futura isla de Zorrotzaurre son cruciales ya que conectan la isla con la ciudad de Bilbao. El Puente de San Ignacio se concibe como la arteria principal que organiza el tráfico, los peatones y las redes de servicios sobre el río Nervión.

Los condicionantes de diseño del puente son muy rígidos: se han de cruzar los 75 m de anchura del canal sin apoyo intermedio, respetar el régimen de avenidas del río Nervión, la cimentación ha de ser profunda debido a la profundidad a la que aparece la roca, el material ha de ser acero siguiendo la tradición industrial de Bilbao y la alta exigencia estética derivada de la realización por Zaha Hadid del Master Plan de Zorrotzaurre.

Estos condicionantes definen el esquema conceptual del puente, un doble arco simétrico mixto, esbelto y tecnológico.

Una estructura de 75 m en el que los arcos arrancan del cauce y se elevan en el tablero en sus 51 m centrales. Es un bowstring atirantado por el tablero. La plataforma es de 28 metros de ancho, los arcos segregan la carretera de las aceras. Transversalmente una segunda familia estructural cuelga la cubierta de los arcos, son vigas mixtas en la zona interior y voladizos en los exteriores. Las péndoles son de acero inoxidable que minimiza su diámetro y los hace menos perceptible.

Siguiendo la tradición de la industria de Bilbao es un puente de acero, pero los materiales se han optimizado y se utiliza con sus últimas innovaciones constructivas con el fin de diseñar un puente arco esbelto y de mínimo impacto. Con el fin de reducir el tamaño de la sección transversal de los elementos de puente, los arcos son mixtos utilizando hormigón de alta resistencia de 100 MPa en el interior y en



Vista detallada del puente

el exterior: acero inoxidable en los arranques que se encuentran en la zona de las mareas, de acero S460 en la parte bajo el tablero y S355 en la zona sobre el tablero. El puente está fijo en los estribos, por ello los efectos reológicos y térmicos han sido cuidadosamente estudiados.

La barandilla de cristal hace que la línea del puente invisible que le da la permeabilidad visual máxima y formal de integración en el entorno urbano.

## 420. EMPUJE DE PASARELA EN EL DUBAI MALL (EMIRATOS ÁRABES UNIDOS)

### FOOTBRIDGE LAUNCHING IN THE DUBAI MALL (UNITED ARAB EMIRATES)

Sergio Couto Wörner. k2 Estudio de Ingeniería SL. ICCP. [scouto@k2ingenieria.es](mailto:scouto@k2ingenieria.es)

Jorge Cascales Fernández. k2 Estudio de Ingeniería SL. ICCP. [jcascales@k2ingenieria.es](mailto:jcascales@k2ingenieria.es)

Ricardo Rico Rubio. k2 Estudio de Ingeniería SL. ICCP. [rrico@k2ingenieria.es](mailto:rrico@k2ingenieria.es)

Puente empujado, pasarela, acero, apoyo esviado.

*Launched bridge, footbridge, steel, skewed bearing.*

Dentro del proyecto de la expansión Za'abell sobre el Dubai Mall (centro comercial más grande del mundo y sexto en superficie alquilable) se engloba el empuje de una pasarela para unir dos edificios e incrementar el área del centro un 40% y crear plazas de garaje, tiendas y oferta gastronómica a la ya existente. El centro comercial se encuentra



Balancín de empuje

a los pies del Burj Khalifa, que con sus 828 metros es el edificio más alto del mundo en la actualidad.

La pasarela está formada por una celosía metálica de luces 59 + 54 + 19 metros sobre la Financial Centre Road, una de los viales con más tráfico del emirato, hecho que obligó a plantear una estructura empujada obligatoriamente. La altura de la misma hacía inviable una colocación con grúas.

La estructura principal tiene un canto de 8,7 metros y un ancho de 16,5 metros con apoyos esviados sobre la calzada. La nariz tiene una longitud de 41 metros y el peso total a lanzar es del orden de 2.000 toneladas.

La estructura se lanza en varias fases debido al reducido espacio existente en la parte trasera. El lanzamiento se realiza desde un estribo por medio de cables de arrastre en la parte posterior de la estructura en cada fase. Los apoyos intermedios están formados por balancines de hasta 750 toneladas de capacidad y en las fases finales la nariz se deberá desmontar para no interferir con la estructura existente, por lo que su diseño debía ser modular.



Gato delantero

El trabajo de k2 Ingeniería consiste en diseñar la maniobra de empuje, los elementos auxiliares (nariz de lanzamiento, vigas de tiro, apoyos temporales, retenidas...) y coordinar la estructura principal con las auxiliares.

El empuje de la estructura está previsto realizarlo en el primer trimestre del año 2017.

#### 424. A26. AUTOESTRADA DO BAIXO ALENTEJO. TRAMOS A, B, C, D2 Y E

##### A26. BAIXO ALENTEJO HIGHWAY. SECTIONS A, B, C, D2 AND E

Jorge Cascales Fernández. K2 Ingeniería. ICCP. ICCP.

[jcascales@k2ingenieria.es](mailto:jcascales@k2ingenieria.es)

Sergio Couto Wörner. K2 Ingeniería. ICCP. ICCP. [scouto@k2ingenieria.es](mailto:scouto@k2ingenieria.es)

Ricardo Rico Rubio. K2 Ingeniería. ICCP. ICCP. [rrico@k2ingenieria.es](mailto:rrico@k2ingenieria.es)

Pablo Grandío Noche. K2 Ingeniería. ICCP. ICCP. [pgrandio@k2ingenieria.es](mailto:pgrandio@k2ingenieria.es)

Prefabricados, canto variable, hiperestáticos, postesado de losa, continuidad.

*Precast, variable depth, hyperstatic, slab prestress, continuity.*

Dentro del proyecto de construcción de la Autoestrada do Baixo Alentejo se ha llevado a cabo el diseño de un total de 20 estructuras; 2 pasos inferiores, 13 pasos superiores, 4 viaductos y un puente.

La tipología común a todas las estructuras es la de tablero continuo mediante vigas prefabricadas y losa superior postesada en zona de momentos negativos. Las luces de los pasos superiores, inferiores y los viaductos van desde los 20 hasta los 40 metros, con secciones transversales de anchos variables entre 6,8 y 18,5 m que dan lugar a la disposición de una, dos y hasta tres vigas prefabricadas para cada tablero.

La estructura más notable del tramo es el puente sobre el río Sado, un tablero doble de 13,35 m de ancho y 899 m de longitud distribuidos en vanos de 29 y 36 m para los tramos de acceso y de 42,5 m y 64 m para el viaducto principal. El tablero es de canto constante para los tramos de acceso, con vigas de 1,90 m de canto y losa in situ de 0,30 m. Para el vano principal que cruza el río Sado se dispone una solución con vigas martillo dispuestas sobre las pilas y sobre cuyos extremos se conecta una viga prefabricada de canto constante que permite completar la luz total del vano. Los martillos son elementos de 28 m de longitud y canto variable entre 3,50 m sobre apoyos y 1,90 m en los extremos.

La continuidad del tablero se garantiza a través de la disposición de varias familias de pretensado; pretensado de continuidad entre elementos prefabricados para el cosido de las juntas en fase de montaje, pretensado exterior y pretensado de losa superior in situ sobre las secciones de pilas.



A26. Autoestrada do Baixo Alentejo. Puente sobre el río Sado, vano principal



A26. Autoestrada do Baixo Alentejo. Puente sobre el río Sado



Estructura M-19 en construcción

### 437. 74 NUEVAS ESTRUCTURAS EN LA AMPLIACIÓN DE LA AUTOPISTA ETR407 (TORONTO, CANADÁ)

#### 74 NEW STRUCTURES IN THE EXTENSION OF HIGHWAY ETR407 (TORONTO, CANADA)

Ángel Carriazo Lara. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Proyectista.  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [acarriazo@torroja.es](mailto:acarriazo@torroja.es)  
Javier Gamino Palomo. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Proyectista.  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jgamino@torroja.es](mailto:jgamino@torroja.es)  
Vega Laguna Díaz. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniera Proyectista.  
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [vlaguna@torroja.es](mailto:vlaguna@torroja.es)  
Alberto Fernández Álvarez. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Proyectista.  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [afernandez@torroja.es](mailto:afernandez@torroja.es)

Vigas NU, integral, semi-integral, mixto, pérgola.

NU beams, integral, expansion, composite, pergola.

La extensión Este de la autopista de peaje ETR407 consta de 2 fases, contando cada una con una extensión de 25 km del tronco, y un enlace con la autopista HWY-401, localizándose al nordeste del área metropolitana de Toronto.

Torroja Ingeniería realiza el diseño de 74 estructuras pertenecientes al tronco de la autopista y a un enlace, incluyendo 30 viaductos, 25 pasos superiores, 5 pasos inferiores, marcos de drenaje, y una pérgola.

Entre los requerimientos del proyecto se encuentran las provisiones para futuras ampliaciones de carriles, que exigen en ocasiones pilas y estribos más anchos para permitir la futura ampliación, condicionando las luces de algunos pasos superiores.

La tipología dominante es el tablero de vigas NU prefabricadas de hormigón preteso con losa superior hormigonada sobre prelosas. Los cantos de estas vigas van desde 1,20 a 2,40 m, y permiten luces de hasta 48,0 m. Las vigas propias de Ontario son las vigas CPCI, siendo estos proyectos pioneros en la introducción de las vigas NU en la provincia, cuyas cabezas más anchas permiten más cordones de pretensado que las CPCI y mayores luces. Torroja Ingeniería elaboró el estudio sobre vigas NU que permitió obtener la aprobación del Ministerio de Transporte de Ontario (MTO) para su utilización.

En cuanto al esquema estructural de estos puentes, se han seguido las tipologías típicas de Ontario. Destacan las tipologías de puente integral y semi-integral, muy exitosas debido a que suprimen las juntas de calzada en estribos, lo que es beneficioso de cara a la durabilidad al encontrarse los puentes en un ambiente agresivo por las sales fundentes empleadas en invierno.



Paso superior de tablero mixto

En los estribos integrales, el muro queda unido monolíticamente al tablero mediante un diafragma, quedando así los apoyos embebidos en el mismo, suprimiendo su mantenimiento. En los estribos semi-integrales los apoyos quedan descubiertos, como en los estribos convencionales.

Existen dos estructuras que presentan tipologías distintas a las anteriores. La primera es un paso superior que debido a la gran luz de uno de sus vanos se construyó con vigas metálicas en I, constituyendo un tablero mixto con losa superior de hormigón.

La segunda es también pionera en la zona. Se trata de una pérgola para solucionar un cruce muy esviado entre dos carreteras. Inicialmente, dicha solución no tuvo muy buena acogida en el MTO, al estar totalmente fuera de sus estándares, pero numerosos análisis demostraron su viabilidad, lo que permitió su construcción.

### 438. PUENTE FERROVIARIO METÁLICO DE BRAEHEAD SOBRE LA AUTOPISTA M8 (GLASGOW, ESCOCIA)

#### STEEL RAILWAY BRIDGE IN BRAEHEAD OVER THE M8 MOTORWAY (GLASGOW, SCOTLAND)

Ramón María Merino Martínez. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Proyectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rmerino@torroja.es](mailto:rmerino@torroja.es)  
José Manuel Simón-Talero Muñoz. Torroja Ingeniería S.L.P. CEO, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jsimontalero@torroja.es](mailto:jsimontalero@torroja.es)  
Juan José Sánchez Ramírez. Ferrovial-Agroman S.A. Jefe de Departamento de Estructuras de Obra Civil II. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.j.sanchez@ferrovial.com](mailto:j.j.sanchez@ferrovial.com)  
Francisco José Palacios Climent. Ferrovial-Agroman S.A. Ingeniero de Estructuras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fjpalacios@ferrovial.com](mailto:fjpalacios@ferrovial.com)

Metálico, mixto, ripado, puente ferrocarril, heavy lifting.

*Steel, composite, transportation, railway bridge, heavy lifting.*

La estructura S105 es un puente ferroviario de 126 m de longitud que soporta las dos vías de la línea Rutherglen-Coatbridge sobre la autopista M8 en Braehead, Glasgow. El puente acomoda la línea ferroviaria en su emplazamiento original.

El puente se divide en 3 vanos de 43 + 46 + 37 m. Cruza la M8 con un fuerte esviaje de 45°, respetando un gálibo mínimo de 5,7 m sobre la autovía. La anchura del tablero es de 13,20 m.

El tablero consta de dos vigas longitudinales de acero estructural y sección cajón cerrada (vigas principales), y un tablero mixto entre ellas. Se disponen vigas transversales doble T, ortogonales a las longitudinales (travesaños), equiespaciadas a lo largo del tablero cada 0,95 m. Sobre estas vigas, y conectada a ellas, se construye una losa de hormigón armado que completa la sección mixta. Estas vigas se conectan a las vigas principales con dos articulaciones.

Entre las vigas principales, bajo la losa, se disponen nueve vigas transversales de sección cerrada (riostras), distribuidas a lo largo del tablero, biempotradas en las vigas principales. Hay una riostra en cada estribo (alineadas con ejes de apoyos), y siete más, perpendiculares al eje de la estructura, en centro de vano (tres) y en pilas (cuatro riostras).

Por tanto, se definen tres elementos estructurales de acero:

- Vigas principales: situadas a ambos lados de la sección, son los elementos estructurales longitudinales principales, y transmiten los esfuerzos del tablero a la subestructura.
- Travesaños: son elementos estructurales transversales, situados entre las vigas principales. Están biarticulados a estas por medio de tornillos pretensados, por tanto trabajan como vigas isostáticas de aproximadamente 10,0 m de luz. Transmiten esfuerzos entre la losa y las vigas principales, funcionando como elementos estructurales secundarios.
- Riostras: son elementos estructurales transversales. Están biempotrados a las vigas principales, para evitar los giros por torsión de éstas. El punto fijo del tablero frente a esfuerzos longitudinales se materializa en las pilas.

## PROCESO CONSTRUCTIVO

El tablero mixto, con un peso total de 16.500 kN, se construyó en las proximidades de su emplazamiento final y fue transportado mediante carretones SPMT hasta su posición definitiva.



Vista aérea durante el proceso constructivo

La construcción del puente y su puesta en funcionamiento únicamente requirió 4 interrupciones puntuales del tráfico ferroviario, de 54h en fin de semana, para la construcción de cimentaciones, y de una interrupción final de 14 días para la construcción de pilas, estribos, cuñas de transición, accesos, el ripado del tablero y la construcción de la superestructura ferroviaria.

## 439. CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO NARCEA

### BRIDGE CONSTRUCTION OVER THE NARCEA RIVER

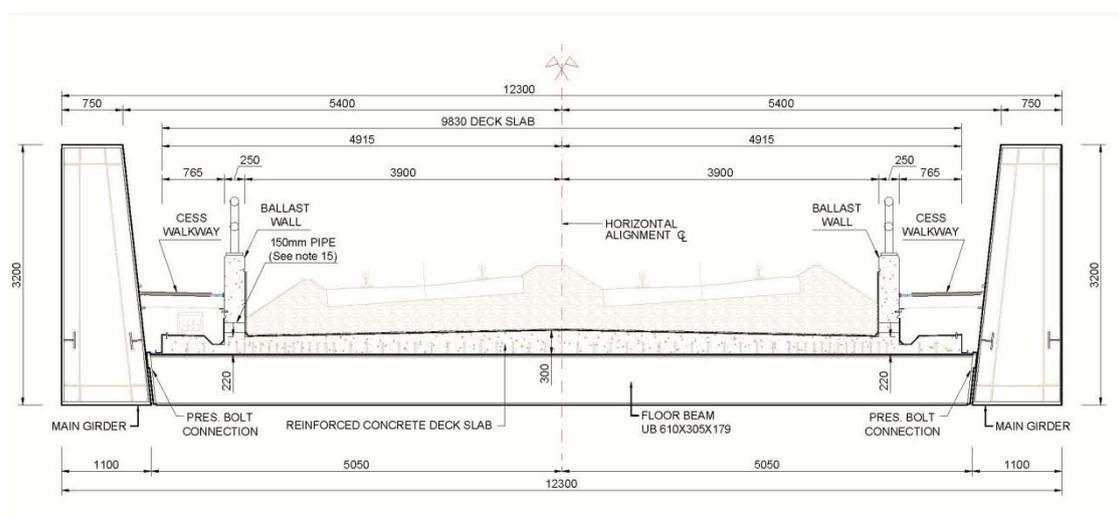
Eduardo Montes de Frutos. Acciona Infraestructuras. Jefe de Departamento. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [emontes@acciona.com](mailto:emontes@acciona.com)

Laura Valdizán Arcera. Acciona Infraestructuras. Jefa de Obra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [laura.valdizan.arcera@acciona.com](mailto:laura.valdizan.arcera@acciona.com)

Pablo González Pereda. Acciona Infraestructuras. Jefe de Oficina Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablo.gonzalez.pereda@acciona.com](mailto:pablo.gonzalez.pereda@acciona.com)

Viaducto singular, voladizos sucesivos, cajón monocelular, sección completa, río Narcea.

*Singular bridge, consecutive cantilevers, single box cross section, entire section, Narcea River.*



Sección tipo del puente



Vista general durante la construcción del Viaducto sobre río Narcea

El elemento constructivo más importante del tramo de Autovía A-63 Oviedo-La Espina que está ejecutando la empresa ACCIONA Infraestructuras S.A. como adjudicataria de las mismas para el Ministerio de Fomento, es el viaducto sobre el río Narcea, con una longitud de 875 m distribuidos en siete vanos con un vano central de 175 metros.

El viaducto consta de 6 pilas con alturas comprendidas entre 44 y 63 metros. Las mismas son de sección rectangular hueca, excepto en la parte superior del capitel en la que es maciza.

La cimentación de las pilas P2 a P6 es profunda con pilotes de diámetro 2.000 mm y longitud comprendida entre 10 metros (Pila 6) y 39,60 metros (Pila 2). La Pila 1 se resolvió mediante cimentación superficial. La construcción de los fustes se ha realizado mediante encofrado trepante.

De las 6 pilas, tres de ellas (P1, P-5 y P6) llevan apoyos tipo POT mientras que el resto (P2, P3 y P4) van empotradas directamente al tablero. Durante la fase de ejecución, las tres primeras pilas se empotran mediante un tesado vertical y el apoyo con elementos elastoméricos.

La sección del viaducto es un cajón monocelular de canto variable, adoptando como sistema constructivo el de avance mediante voladizos sucesivos. Durante la construcción se están empleando dos parejas de carros, una en cada margen del río, ejecutándose de manera simultánea 4 dovelas de una longitud de 5 metros cada una.

Una de las peculiaridades de este viaducto es que la anchura total del tablero (23,20 metros) se ejecuta a sección completa con los carros.

Asimismo, se han ejecutado dos pilas provisionales para el apoyo del voladizo de los extremos durante la fase de ejecución del puente, de



Detalle de construcción mediante carros de avance de voladizos sucesivos en Pila 6

altura variable entre 8 y 15 metros y cimentadas mediante pilotes de diámetro 1.500 mm y longitud comprendida entre 17 y 22 metros.

#### 445. PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE EJECUCIÓN DE PUENTES DE VOLADIZOS EN BRASIL

##### DESIGN, CONSTRUCTION AND CONTROL DURING CONSTRUCTION OF SEVERAL CANTILEVER BRIDGES IN BRAZIL

Ángel Carriazo Lara. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [acarriazo@torroja.es](mailto:acarriazo@torroja.es)  
Francisco José Ponce Cordero. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fponce@torroja.es](mailto:fponce@torroja.es)  
Álvaro Mazariegos Borobio. Torroja Ingeniería S.L.P. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [amazariegos@torroja.es](mailto:amazariegos@torroja.es)

Brasil, viaducto, voladizos sucesivos, construcción, control de la ejecución.

Brazil, viaduct, balanced cantilever, construction, execution control.

El fuerte crecimiento económico de Brasil ha traído consigo la inversión y realización de importantes infraestructuras viarias en este país. Esto ha permitido a las empresas españolas la intervención en múltiples estructuras, tanto a nivel de proyecto, como de ejecución y control de obras.

Se presenta a continuación algunas intervenciones estructurales en Brasil:

#### PROYECTO EJECUTIVO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO PIRACICABA

Este puente, situado en el pk 149+390 de la Rodovia SP191 Geraldo de Barros, en el tramo Santa Maria da Serra – São Manuel, resuelve el cruce sobre dicho río, mediante un viaducto de tres vanos (67 + 130 + 67), construido por el método de los voladizos sucesivos. El tablero, de hormigón pretensado, está compuesto de 28 dovelas sobre cada pila y tiene canto variable, pasando de 6,70 m en pilas a 2,70 m en centro de vano.

Debido a la gran rigidez de las pilas, para la construcción del tablero se utilizan pilares provisionales, quedando el tablero a tiempo final, simplemente apoyado en las pilas y estribos.

La cimentación de las pilas está compuesta por un encepado formado por 8 pilotes de 2,0 m de diámetro. Por su parte, la cimentación de los estribos se resuelve con 3 pilotes de 1,50 m de diámetro.

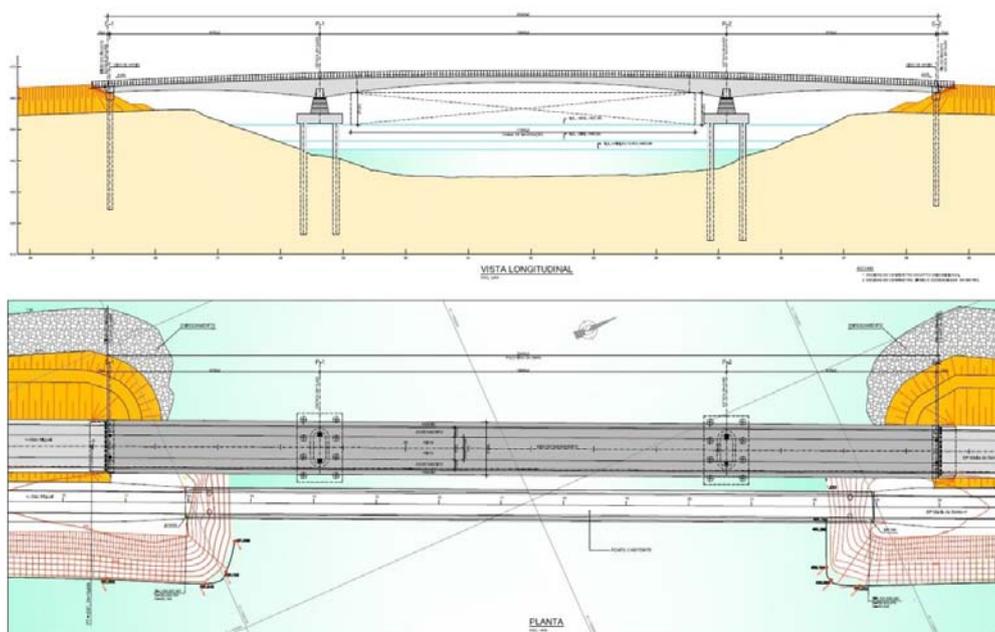
#### CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS 30 Y 34 PARA LA DUPLICACIÓN DE LA SIERRA DEL CAFEZAL

Ambas obras pertenecen a la Rodovia BR-116 Régis Bittencourt en el tramo São paulo-Curitiba.

La Obra 30 está construida por dos tramos separados por una junta de dilatación. Cada tramo está compuesto de 7 vanos continuos de luces 40,80-68,00-68,00-68,00-68,00-68,00-40,65 y 40,65-68,00-68,00-68,00-68,00-40,80 respectivamente. Ambas estructuras comparten una pila-estribo.

Por su parte, la Obra 34 está compuesto por 6 vanos continuos de luces 42,15 + 69,00 + 69,00 + 69,00 + 69,00 + 41,50 metros.

Ambos viaductos fueron construidos por el método de los voladizos sucesivos, a partir sus pilas. Cada T está formada por 6 parejas de



Planta y alzado del puente sobre el río Piracicaba



Fase del proceso constructivo de avance en voladizos (Obra 30)

dovelas y la dovela sobre la cabeza de pila. El canto de las dovelas es constante e igual a 4,00 m.

El tablero está empotrado en las cabezas de pilas y apoyado en los estribos.

Durante la construcción de los voladizos, se realizó, diariamente, un control geométrico de flechas, así como un control de la ejecución de todos los elementos estructurales de los puentes, dando solución a los diferentes problemas que surgieron a pie de obra.

#### 448. AMPLIACIÓN DE LA AVENIDA JAMAL ABDUL NASSER EN KUWAIT

##### UPGRADE OF JAMAL ABDUL NASSER STREET IN KUWAIT CITY

José Manuel Martínez García. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jmmartinez@louisberger.com](mailto:jmmartinez@louisberger.com)

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Javier Fernández-Dívar Sánchez. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jfernandezdivar@louisberger.com](mailto:jfernandezdivar@louisberger.com)

Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Technical Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)

Dovelas prefabricadas, avance en voladizo, vano a vano, viga lanzadora, parque de dovelas.

Precast segments, balanced-cantilever erection, span-by-span erection, launching gantry, precast yard.

APIA XXI, como parte de Louis Berger, ha colaborado con la UTE de Louis Berger y Pan Arab Consulting Engineers en el Proyecto y la Asistencia Técnica a la Dirección de Obra de la Avenida Jamal Abdul Nasser en Kuwait. Este proyecto, con un presupuesto de 855 millones de dólares, tiene una duración prevista de 5 años y medio, siendo la constructora responsable el Consorcio ROBT (Rizzani, OHL, Boodai y Trevi), y el cliente el Ministerio de Obras Publicas de Kuwait (MPW).

Los trabajos consisten en la construcción de un total de 13,7 kilómetros de puentes de dovelas prefabricadas, 7,2 km correspondientes



Construcción del viaducto principal con viga lanzadora, vano a vano



Construcción de una de las rampas por avance en voladizo

al viaducto principal de la avenida Jamal Abdul Nasser, 1,2 km de viaductos elevados de avenidas transversales y 5,3 km de rampas de conexión; además de 1 túnel artificial descubierto, 2 glorietas elevadas y 8 pasarelas peatonales.

Las pilas de los viaductos y rampas son en general de tipo martillo con formas suaves, disponiéndose en cabeza aparatos de apoyo deslizantes tipo POT y llaves de cortante para recoger las fuerzas transversales, siendo algunas pilas integrales para recoger las fuerzas horizontales longitudinales.

Los viaductos principales consisten en unidades estructurales independientes, separadas por las juntas de calzada, con una longitud típica de unos 300 m y entre 5 y 9 vanos de 45 m de luz típica. El tablero consiste generalmente en dos cajones paralelos de hormigón con pretensado interior y exterior, siendo las zonas en las que confluyen las rampas singulares.

El proyecto incluye en total 16 rampas, entre las que destacan las 6 que materializan el enlace de Ghazali, símbolo del proyecto. Se materializan mediante cajones de hormigón de dovelas prefabricadas con pretensado interior y exterior, de geometría curva y canto variable en los vanos de mayor luz, de hasta 108 m. Las dovelas se colocan en obra mediante un proceso constructivo de avance en voladizo.

El contratista decidió rediseñar el viaducto principal para cambiar el método constructivo de avance en voladizo a vano-a-vano, para el que ha utilizado dos vigas lanzadoras.

APIA XXI ha desarrollado servicios de revisión de las estructuras existentes en el proyecto, de diseño completo desde cero de algunas rampas que se habían modificado por petición del cliente, y de rediseño de elementos críticos en el resto de las rampas. Además, ha supervisado el rediseño de los viaductos principales de acuerdo con el nuevo método constructivo propuesto por el contratista, vano a vano.

## 455. NEW QUEENSFERRY CROSSING. SISTEMA DE ATIRANTAMIENTO

### NEW QUEENSFERRY CROSSING. CABLE STAY SYSTEM

Antonio Vázquez Salgueiro. DRAGADOS. Engineering Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [avazquez@dragados.com](mailto:avazquez@dragados.com)  
Miguel González Olivares. DRACE Infraestructuras. Special Projects Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mgonzalez@drace.com](mailto:mgonzalez@drace.com)

Martin Romberg. Leonhardt, Andrä und Partner. Design Engineer. Dipl.-Ing. Structural Engineering. [Martin.Romberg@lap-consult.com](mailto:Martin.Romberg@lap-consult.com)  
Peter Walser. Leonhardt, Andrä und Partner. Director Projects. Dipl.-Ing. Structural Engineering. [Peter.Walser@lap-consult.com](mailto:Peter.Walser@lap-consult.com)  
Rachid Annan. VSL International. Head Stay Cable Engineering. Civil Engineer. [rachid.annan@vsl.com](mailto:rachid.annan@vsl.com)

Queensferry Crossing, tirante.

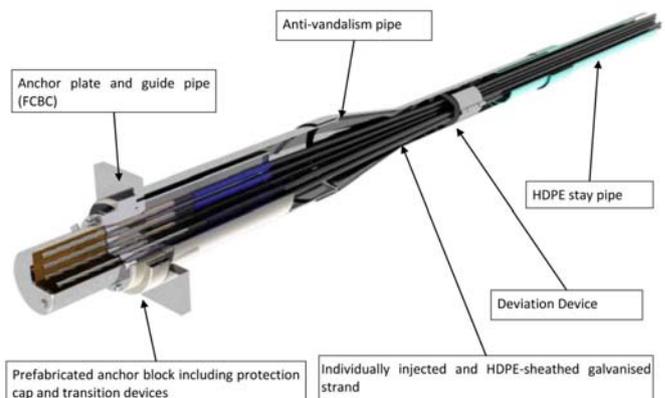
Queensferry Crossing, cable stay.

El nuevo Queensferry Crossing tiene un total de 1.954 m de tablero atirantado. Con dos luces continuas de 650 m, ostenta el récord mundial de luz en tablero atirantado continuo y en luz de puente atirantado de sección transversal mixta. El sistema de tirantes elegido resulta por tanto un elemento clave en el diseño del puente, a fin de garantizar su correcto funcionamiento y las condiciones de durabilidad.

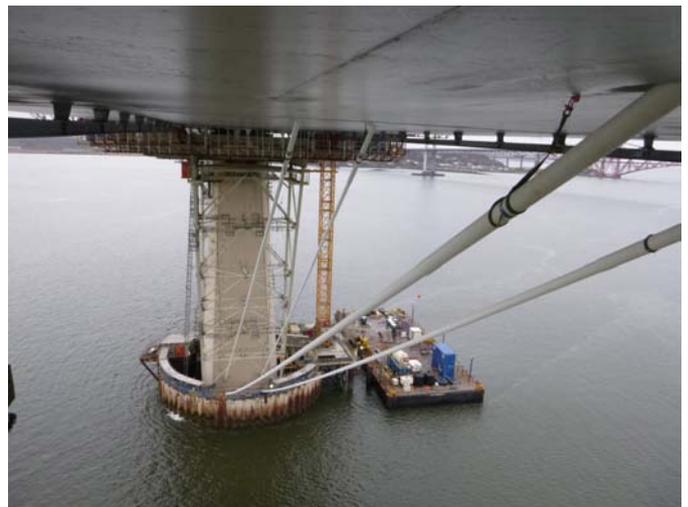
Debido a la particular configuración del puente, los 9 últimos tirantes de cada pila se cruzan con los de la contigua. De esta manera se moviliza parte del peso del vano contiguo a la hora de resistir cargas en vanos alternados. Es la primera vez que se utiliza este sistema en puentes atirantados.

El tablero está sustentado por un total de 144 parejas de tirantes formados por haces de cordones paralelos autoprotectidos en vaina de polietileno. El más largo de ellos tiene una longitud de 420,86 m, y el mayor posee 109 cordones. El cordón tiene una sección transversal de 150 mm<sup>2</sup> y una tensión garantizada de rotura de 1.860 MPa.

La vida útil de diseño es de 60 años y los cordones deben ser reemplazables individualmente. Además, se ha previsto una capacidad de desviación angular de 50 mrad para acomodar los movimientos previstos.



Esquema del sistema de tirantes



Tirante tie down

## 461. PUENTE ATIRANTADO TRENG TRENG-KAY KAY EN TEMUCO, CHILE

### TRENG TRENG - KAY KAY CABLE-STAYED BRIDGE IN TEMUCHO (CHILE)

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI. Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Ricardo Rafael Pereira da Sousa. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rpereira@louisberger.com](mailto:rpereira@louisberger.com)

Guillermo Ortega Carreras. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gortega@louisberger.com](mailto:gortega@louisberger.com)  
Frank Schanack. Universidad Austral de Chile. Director Instituto Obras Civiles. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [frank.schanack@uach.cl](mailto:frank.schanack@uach.cl)

Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI. Universidad de Cantabria. Director Técnico. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)

Juan Peña Lasso. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero Industrial. [jupena@louisberger.com](mailto:jupena@louisberger.com)

Puente atirantado, diseño sísmico, mástil quebrado, hormigón pretensado, cajón bi-celular.

*Cable-stayed bridge, seismic design, broken line pylon, prestressed concrete, bi-cellular box girder.*

El TrengTreng KayKay es un puente atirantado que cruza el Río Cautín en las afueras de la ciudad de Temuco, en Chile. El diseño de la forma del mástil está basado en una leyenda local y simula las dos serpientes, del bien y del mal, luchando entre ellas. La estructura, de 240 m de longitud total, está compuesta por cuatro vanos menores y el principal de 140 m, siendo la distribución de luces resultante 23 + 27 + 140 + 27 + 23 m. Debido a la intensa actividad sísmica que se produce en el lugar de emplazamiento del puente (en esta región de Chile la aceleración básica del sismo es de 0,3 g) se ha llevado a cabo un meticuloso estudio sísmico de la estructura.

En esta estructura hay diferentes aspectos que merecen una mención especial. En primer lugar es un puente atirantado asimétrico de considerable longitud: 140 m. El mástil, de 70 m de altura, presenta un inusual quiebro en su forma, que introduce la dificultad



Infografía del viaducto



Vista general de la construcción del viaducto

de dirigir la resultante de las fuerzas de los cables hacia la línea central del pilono. Por esta razón, el pilono tiene que ser pretensado para contrarrestar el momento flector causado por las fuerzas de los tirantes.

El tablero, con un ancho de 27 m, consta de dos carriles por cada sentido de circulación, sus correspondientes aceras y un carril bici. Su sección consiste en un cajón bicelular de 2 m de canto y 16,5 m de ancho y dos losas en voladizo laterales de 5,25 m de longitud.

El sistema de atirantamiento frontal está compuesto por 2 planos de 12 tirantes, distribuidos según una disposición en abanico. Los anclajes de los cables frontales están situados sobre los bordes del tablero y por ello son necesarios diafragmas transversales de hormigón pretensado para transferir correctamente las fuerzas del cable hacia el cajón bicelular. Para estudiar correctamente la transmisión de las fuerzas de los tirantes al tablero se realizó un modelo de elementos finitos, con elementos tipo lámina.

En cuanto al sistema de atirantamiento trasero, este se compone de dos pares de cuatro cables paralelos anclados al estribo de retenida. La estabilidad global de este estribo fue estudiada cuidadosamente, realizándose un MEF con elementos tipo lámina para analizar la transmisión de la fuerza de tensión de los tirantes traseros y la fuerza de compresión del tablero.

## 462. PUENTE DE VIGAS DE LONGITUD MEDIA SIN JUNTAS DE DILATACIÓN INTERMEDIAS: VIADUCTO DE CASTILBLANCO SOBRE EL EMBALSE DE GARCÍA SOLA

### MEDIUM LENGTH GIRDERS BRIDGE WITHOUT EXPANSION JOINTS: CASTILBLANCO VIADUCT OVER THE GARCIA SOLA RESERVOIR

Cristina Gaité González. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [cgaite@louisberger.com](mailto:cgaite@louisberger.com)

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI. Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Manuel Tomás Moreno. Ferroviario. Jefe de Obra. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mtomas@ferroviario.com](mailto:mtomas@ferroviario.com)

Enrique Carrera Carrero. Cemosá. Jefe de Unidad. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [enrique.carrero@cemosa.es](mailto:enrique.carrero@cemosa.es)

Fernando Pedraza Majárrez. Ministerio de Fomento. Director de Obra. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fpedraza@fomento.es](mailto:fpedraza@fomento.es)

Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI. Universidad de Cantabria. Director Técnico. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)

Javier Fernández-Dívar Sánchez. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jfernandezdivar@louisberger.com](mailto:jfernandezdivar@louisberger.com)

Roberto Escalona de la Fuente. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rescalona@louisberger.com](mailto:rescalona@louisberger.com)

Junta de dilatación, apoyos deslizantes, pretensado, vigas, losa de continuidad.

*Expansion joint, slide bearing pads, prestressing, beams, continuity slab.*

El nuevo viaducto de Castilblanco sobre el Embalse de García Sola surge ante la necesidad de buscar una solución al mal estado del puente existente. Tras sucesivas inspecciones y valorar las alternativas de reparación o de construcción de uno nuevo paralelo al existente, se optó por la segunda, presentando mayor garantía, un coste similar y nula inferencia en la circulación.

El nuevo puente está constituido por 10 vanos de 43,75 m de luz. La superestructura consiste en dos vigas artesas pretensadas prefabricadas colocadas mediante lanzador y simplemente apoyadas conformando vanos isostáticos. Cada par de vigas se apoya en un dintel de hormigón armado de 3,00 m de longitud, 11,50 m de anchura y 1,80 m de canto. La subestructura consiste en dos pila-pilotes sobre las que se apoya cada dintel.

Con el objetivo de minimizar las labores de conservación futuras de este puente, y toda vez que está situado sobre un embalse, se ha optado por disponer únicamente juntas de dilatación en los estribos. A tal fin, y para acomodar los movimientos en cabeza de pilas y optimizar el diseño de estos elementos, el puente presenta neoprenos zunchados deslizantes en las pilas laterales, y neoprenos zunchados estándar en las tres pilas centrales, encargadas de absorber los esfuerzos horizontales.

Para la ejecución de la infraestructura se ha utilizado en todo momento una pontona flotante evitando así la necesidad de ejecutar rellenos en el embalse.

Los dinteles se han ejecutado en dos fases. En una primera, y con las pilas terminadas, se ha colocado sobre ellas de una prelosa prefabricada de 30 cm de espesor, con los cercos de cortante y torsión del dintel en espera y dos ventanas para permitir el paso del pretensado y la armadura pasiva de pilas. Y en una segunda, se han hormigonado las ventanas de la prelosa y resto del dintel hasta canto 1,8 m. La conexión pila-dintel es pretensada mediante 12 barras 40 de alta resistencia.



*Descenso de prelosa de dintel y pretensado de cabeza de pilas en espera*

Se ha realizado un análisis de optimización de la longitud de desconexión de la losa de continuidad, y su influencia en la respuesta de las pilas-pilote, habida cuenta de la considerable flexibilidad de estos elementos.

### 463. ANTEPROYECTO DE VIADUCTO DE 14 KM SOBRE EL MAR ENTRE ARABIA SAUDÍ Y BARÉIN

#### FEASIBILITY/ENGINEERING STUDY OF A 14 KM OFFSHORE VIADUCT BETWEEN SAUDI ARABIA AND BAHRAIN

Ignacio Abad González. INTECSA-INARSA. Jefe de Departamento de Túneles y Estructuras. Ingeniero de Caminos. [ignacio.abad@intecsa-inarsa.es](mailto:ignacio.abad@intecsa-inarsa.es)

Guillermo Santamaría Caballero. INTECSA-INARSA. Jefe de Proyecto de Estructuras. Ingeniero de Caminos. [guillermo.santamaria@intecsa-inarsa.es](mailto:guillermo.santamaria@intecsa-inarsa.es)

Prefabricación pesada, construcción industrializada, extradorado, puente marino, internacional.

*Heavy prefabrication, industrialized construction, extradosed, offshore bridge, international.*



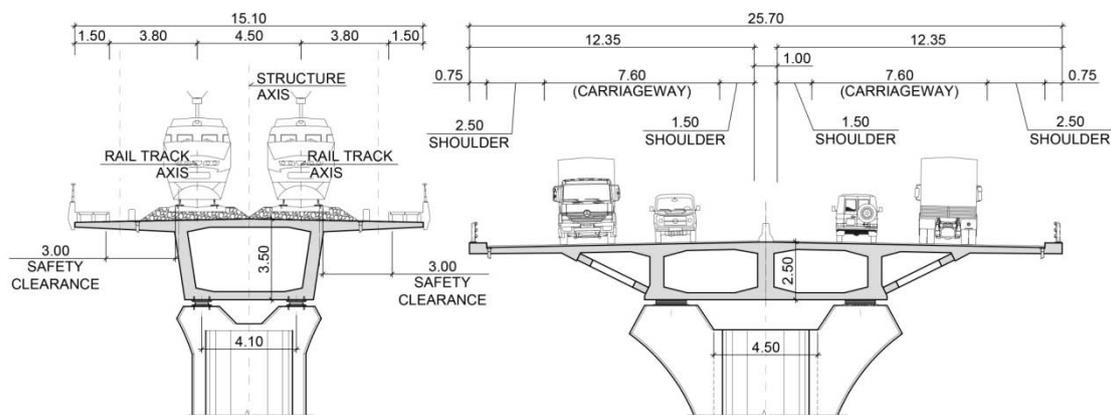
*Panorámica del nuevo viaducto al frente y del existente al fondo, con el lanzador en funcionamiento*

Arabia Saudí se encuentra unida a la isla de Baréin por una conexión de carretera de 25 km. Esta conexión se configura con una sucesión de viaductos sobre el mar y varios tramos en tierras (King Fahd Causeway).

La línea ferroviaria internacional prevista por el Gulf Cooperation Council (GCC) incluye una nueva conexión entre estos países. Además, el interés por ampliar la conexión por carretera existente, actualmente saturada, amplió el alcance previsto por el GCC.

INTECSA-INARSA, durante su pertenencia al grupo SNC-Lavalin, lideró un equipo multidisciplinar y multinacional para realizar los estudios de viabilidad técnica y económica e ingeniería básica de esta nueva conexión, que incluye un puente de más de 14 km sobre el mar para carretera y ferrocarril. Este puente tiene un vano principal de 150m.

El cliente fue la "King Fahd Causeway Authority" (KFCA), propiedad del actual puente, participada por los dos estados que une. En el



Vano típico. Puentes en viga-cajón de hormigón postesado. Secciones

proyecto colaboraron distintos organismos de ambos países, de forma que quedaran representados los distintos intereses de cada organización.

Los rangos de luces considerados para los vanos típicos variaron desde los 35 m para vigas prefabricadas postesadas al entorno de los 100 m para estructuras de doble tablero en celosía (ferrocarril y carretera), concluyendo que la luz óptima sería la del puente existente (50 m), tanto por adecuación formal como por criterios técnicos y económicos.

Las estructuras para vanos típicos finalmente elegidas fueron tableros independientes para ferrocarril y carretera en cajón de hormigón postesado, completamente prefabricados y colocados mediante pontona. El primero de los tableros, convencional, sirve para dar servicio a dos líneas ferroviarias y el segundo proporciona 4 nuevos carriles de carretera. El importante ancho de este último tablero (25,70 m) sugirió el uso de un cajón bicelular con jabalcones.

Respecto al vano principal, la luz de 150 m está condicionada por el vano de navegación del puente existente. Se barajaron varias opciones, eligiendo finalmente un tablero extradado conjunto para ferrocarril y carretera (luces 80 m-150 m-80 m) con un ancho singular (47 m).

El proceso de ejecución de puentes de gran longitud en entorno marino tiene gran repercusión en el proyecto, imponiéndose la prefabricación de grandes piezas de gran tonelaje que en tierra sería insumible. Por ello se contó con la asistencia de Boskalis, empresa especialista en transportes marinos. La comunicación, aunque centrada en los criterios técnicos, económicos, sociales, estéticos... que se han seguido en la evaluación de las alternativas, analiza también estos procesos constructivos.



Vano principal. Imagen 3D (Causeway existente en segundo plano)

## 465. EMPUJE DEL VIADUCTO EN ARCO TRIANGULADO DE TABLERO INFERIOR PARA FERROCARRIL DE ALTA VELOCIDAD SOBRE LA AUTOVÍA A-45

### LAUNCHING OF HIGH SPEED RAILWAY BOWSTRING ARCH TRUSS BRIDGE OVER A-45 HIGHWAY

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Juan Peña Lasso. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero Industrial. [jupena@louisberger.com](mailto:jupena@louisberger.com)

Ricardo Rafael Pereira da Sousa. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rpereira@louisberger.com](mailto:rpereira@louisberger.com)

Manuel Ángel Díaz García. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero Industrial. [mdiaz@louisberger.com](mailto:mdiaz@louisberger.com)

Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Technical Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)

Arco, empuje, lanzamiento, alta velocidad, patch loading.

Arch, launching, high-speed-railway bridge, patch-loading, viaduct.

El viaducto sobre la A-45 es una estructura mixta de 3 vanos (30 + 70 + 30 m), constituida por dos vigas metálicas de sección cajón, paralelas entre sí y separadas 15,50 m, que se apoyan en dos pilas pórtico esviadas respecto al eje longitudinal del puente. El vano principal se salva mediante dos arcos triangulados gemelos que sustentan a las vigas principales longitudinales y que en el vano principal funcionan como tirantes del arco. La plataforma se materializa mediante una losa de hormigón que se apoya sobre los travesaños transversales metálicos de sección doble T, que están unidos a las vigas principales longitudinales. La construcción del viaducto se realiza mediante el montaje del tablero en el trasdós de uno de los estribos y su posterior lanzamiento sobre los apoyos situados en pilas temporales. Debido a que el diseño original contemplaba la construcción en su emplazamiento final sobre torres de apoyo provisionales, se plantean una serie de dificultades técnicas que determinan el estudio pormenorizado del empuje y las respectivas particularidades durante la ejecución.

El reto de empujar un puente sobre una autopista existente y en servicio conlleva la dificultad geométrica de la colocación de los apoyos temporales y que se traduce en luces importantes entre ellos. Es-



Viaducto sobre la A45, antes del empuje



Viaducto de A45 durante el proceso de empuje

to provoca que durante las maniobras de empuje el arco trabaje en ocasiones como un voladizo de longitud de hasta 50 m. El empuje en estas condiciones es posible gracias a la configuración de arco triangular de la estructura, que permite que trabaje como una viga de gran canto, lo que no sería viable con una solución común de arcos con péndolas a no ser que se utilizaran elementos temporales de diagonalización posiblemente muy costosos.

La modificación del proceso constructivo llevó a la necesidad de reforzar el alma de las vigas longitudinales mediante una célula de refuerzo con el objetivo de impedir la abolladura local de las chapas del alma. Debido a que la curvatura del puente en planta se traduciría en una poligonal, esta célula de refuerzo ha tenido que calcularse para diferentes posiciones excéntricas de la carga concentrada de apoyo. Se ha estudiado intensivamente el fenómeno de la introducción de carga concentrada o patch loading mediante elementos finitos puesto que es el condicionante principal para el empuje. Por ello, antes del empuje se realizó una prueba de carga simulando la peor situación para el apoyo de las vigas longitudinales durante la maniobra.

#### 466. REHABILITACIÓN DE TABLEROS MIXTOS REALIZADOS EN ACERO CON RESISTENCIA MEJORADA FRENTE A LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA

##### REHABILITATION OF COMPOSITE BOX GIRDERS BUILT WITH WEATHERING STEEL

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Department. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Haritz García Coca. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [hagarcia@louisberger.com](mailto:hagarcia@louisberger.com)

Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Technical Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)

Alberto Esteban Castrillejo. TEMHA. Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [esteban@temha.com](mailto:esteban@temha.com)

Cajón metálico, corrosión, acero corten, patologías, impermeabilización.

Steel box girder, corrosion, weathering steel, pathologies, waterproofing.

Se expone a continuación la problemática asociada a la corrosión de cajones realizados en acero corten mediante los ejemplos de las patologías observadas en los viaductos de Navia y As Nogais (Lugo) y las medidas tomadas para paliar sus efectos.

Los cajones de los puentes de Navia y As Nogais están realizados en acero autopatinable (también conocido como acero corten), que, al oxidarse, posee la propiedad de generar en su superficie una película densa, adherente y regenerante que impide el desarrollo del proceso de corrosión. Sin embargo, si esta capa se pierde la acción corrosiva puede seguir progresando.

En 2009, ocho años después de la puesta en servicio de estas estructuras, se realizó una primera inspección observando en elementos puntuales de las mismas un grado de corrosión severa aunque sin síntomas de debilitamiento generalizado de su capacidad portante. En 2013 se realizó una segunda inspección constatando una evolución considerable de la corrosión y una pérdida importante de espesor en algunas chapas.

Esta patología viene originada por la infiltración de agua proveniente del tablero en el interior del cajón, previsiblemente causada por defectos en la capa de impermeabilización junto con la fisuración de la losa en las juntas de hormigonado. Este hecho se ve agravado en estas estructuras debido a dos factores:

- La losa superior está realizada con paneles prefabricados solidarizados mediante nervios hormigonados in situ. Esto provoca la aparición de numerosas juntas frías que facilitan la infiltración del agua.
- La ubicación de las estructuras en zona de montaña conduce al uso habitual de sales fundentes empleadas en las campañas invernales, que además de favorecer la penetración del agua incrementa los efectos de la corrosión.

Medidas tomadas al efecto:

Reparación de la impermeabilización.



Antes y durante la aplicación de una capa de pintura en interior del cajón metálico



Inyección y sellado de las fisuras en la cara superior de la losa

- Fresado del firme hasta dejar vista la capa superior de la losa de hormigón y ejecución de un nuevo sistema de sumideros.
- Limpieza de la superficie con chorro de agua con el fin de decapar los restos de emulsión bituminosa empleada en la impermeabilización del tablero.
- Inyección y sellado de fisuras tanto desde el paramento superior como el inferior.
- Disposición de una nueva capa de impermeabilización y reposición del firme.  
Acondicionamiento del cajón metálico.
- Limpieza del interior del cajón mediante chorreado de agua a alta presión.
- Colocación y soldadura de perfiles IPE a modo de rigidizadores en las zonas más dañadas.
- Aplicación de una capa de imprimación epoxi.

#### 468. VIADUCTO DEL CORTIJO DE ROPEROS. PILA DELTA COMO SOLUCIÓN PARA EL PUNTO FIJO EN VIADUCTOS EN ZONAS DE SISMICIDAD MEDIA

##### CORTIJO DE ROPEROS VIADUCT. DELTA PIER AS FIXED POINT TYPE SOLUTION FOR VIADUCTS IN MEDIUM RISK SEISMIC AREAS

Guillermo Ortega Carreras. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [gortega@louisberger.com](mailto:gortega@louisberger.com)  
 Jorge Eloy de Vena Retuerto. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jdvena@louisberger.com](mailto:jdvena@louisberger.com)

Cristina Gaité González. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [cgaite@louisberger.com](mailto:cgaite@louisberger.com)

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Technical Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)

Ángela Martín Ochoa. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [angmartin@louisberger.com](mailto:angmartin@louisberger.com)

Punto fijo, pila delta, sismo, ferrocarril, sección cajón.

Fixed point, delta- pier, earthquake, railway, box girder.

El viaducto del Cortijo de Roperos es un puente de 606 m de longitud situado en el tramo Antequera-Peña de los Enamorados, de la Línea Ferroviaria de Alta Velocidad entre Antequera y Granada.

El viaducto se plantea como un dintel continuo de hormigón pos-tesado de sección cajón monocelular de canto constante con vanos tipo de 39 m de luz, soportados por pilas de hormigón armado de sección elíptica con un cabezal superior, de alturas comprendidas entre 10 y 30 m. Se trata pues de la tipología habitualmente empleada para los viaductos de ferrocarril de luces medias-altas.

Para hacer frente a las acciones longitudinales la solución clásica en este tipo de viaductos consiste en establecer el punto fijo en uno de los estribos. Ahora bien, el viaducto se encuentra en una zona de sismicidad media, siendo la aceleración sísmica básica de 0,11 g, por lo que a la hora de dimensionar el punto fijo se debe contar, además de con la acción del frenado y del rozamiento de los aparatos de apoyo, con la fuerza transmitida por la acción sísmica. Para un viaducto de 600 m de longitud en una zona de sismicidad media la magnitud de la acción sísmica sobre el punto fijo es considerable y se hace complicado asumirla con un estribo de dimensiones razonables. Una solución alternativa consiste en establecer el punto fijo en una pila delta. En el caso del Viaducto del Cortijo de Roperos se aprovechó un pequeño collado existente hacia la mitad del puente para diseñar una pila de 16 m de altura.

Finalmente, se presenta un estudio paramétrico para la obtención del rango óptimo de utilización de la pila delta como punto fijo en viaductos de ferrocarril. El estudio considera la variación de tres pa-



Vista aérea de la construcción del viaducto



Vista general mostrando la pila delta

rámetros: el ángulo de apertura en clave, la altura de la pila delta y la longitud del viaducto. Igualmente, las acciones consideradas en el estudio han sido el peso propio de la pila, la reacción vertical proveniente del tablero, el rozamiento de los aparatos de apoyo deslizantes, la fuerza de frenado y la acción sísmica.

## 469. VIADUCTOS DE SAN FELIPE Y LAS TINAJAS EN ZONAS DE ALTO RIESGO SÍSMICO (RUTA 60, CHILE)

### SAN FELIPE AND LAS TINAJAS VIADUCTS IN A HIGH SEISMIC RISK AREA (RUTA 60, CHILE)

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)  
 Iván Campo Rumoroso. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [icampo@louisberger.com](mailto:icampo@louisberger.com)  
 Luis García Vega. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [lvgarcia@louisberger.com](mailto:lvgarcia@louisberger.com)  
 Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Technical Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)  
 Javier Fernández-Dívar Sánchez. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jfernandezdivar@louisberger.com](mailto:jfernandezdivar@louisberger.com)  
 Roberto Escalona de la Fuente. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rescalona@louisberger.com](mailto:rescalona@louisberger.com)

Chile, actividad sísmica, cajones mixtos, aparatos de alto amortiguamiento, socavación.

Chile, seismic activity, composite box girders, high damping rubber bearings, scour.

Los viaductos de Las Tinajas y San Felipe son las dos estructuras singulares del proyecto de Variante de Panquehue, en la Ruta 60 chilena. El tramo de autovía discurre sensiblemente paralelo al Río Aconcagua, cruzando dicho cauce mediante el Viaducto de Las Tinajas. Al tratarse de un río anastomosado, ha sido necesario tomar medidas de prevención y protección en la concepción de los puentes. Además, los viaductos se encuentran en la zona de mayor sismicidad de Chile, lo cual, sumado a la reciente experiencia del Sismo del Bio-Bio en el año 2010 ha obligado a disponer una serie de medidas antisísmicas con el fin de garantizar su correcto comportamiento sísmico.

El Viaducto de San Felipe se encuentra a la entrada de la ciudad de nombre homónimo. Debido a su ubicación, se optó por una solución poco convencional en Chile consistente en tres cajones mixtos de 300 m de longitud, dividido en vanos de  $51 + 3 \times 66 + 51$  m de luz y ancho total 22,33 m. Los tres cajones se apoyan en cuatro pilas en T. La estrategia antisísmica del puente consistió en aislar el puente mediante neoprenos convencionales en longitudinal, y topar el puente en transversal, disponiendo topes sísmicos intermedios. Debido a la erosión del cauce, ha sido necesario pilotar el estribo salida puente y la pila adyacente para asegurarlos frente al riesgo de socavación.

El viaducto de las Tinajas cruza sobre el Río Aconcagua con un esviaje de  $27,5^\circ$ . Se trata de un viaducto compuesto de 5 vigas doble T pretensadas. La longitud del puente es 320 m divididos en 8 vanos iguales de 40 m y 11,23 m de ancho. Las pilas son pilas pilote compuestas de 3 columnas de 1,5 m de diámetro. Debido a la variabilidad



Cajón metálico en el taller



Viaducto de Las Tinajas. Construcción de pilas-pilote

de la socavación en el cauce, se han dispuesto todas las caras superiores de las vigas de atado de los pilotes y las caras superiores de los encepados de los estribos a la misma altura, siendo ésta la cota de socavación general. Respecto a la estrategia antisísmica, para permitir la utilización de pilas-pilote, se han dispuesto aparatos de apoyo de alto amortiguamiento HDBR. Además, al tratarse de un puente con un esviaje significativo, se ha optado por hacer cada vano independiente para evitar el colapso por rotación, el más frecuente durante el sismo de 2010. Adicionalmente, se han dispuesto topes sísmicos intermedios y laterales y barras de anclaje verticales como medida de seguridad pasiva.

## 470. CONCEPTO Y OBRA EN LA REHABILITACIÓN DE UN PUENTE METÁLICO DISEÑADO EN EL SIGLO XIX: PUENTE DE TRETO

### CONCEPT AND WORKS IN THE REHABILITATION OF A STEEL BRIDGE DESIGNED IN 19TH CENTURY: TRETO BRIDGE

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)  
 David García Sánchez. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ddgarsan@gmail.com](mailto:ddgarsan@gmail.com)  
 Iván Toribio Sánchez. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [itoribio@louisberger.com](mailto:itoribio@louisberger.com)  
 Manuel Ángel Díaz García. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero Industrial. [mdiaz@louisberger.com](mailto:mdiaz@louisberger.com)

Juan Peña Lasso. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero Industrial. [jupena@louisberger.com](mailto:jupena@louisberger.com)  
 Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Director Técnico. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)

Rehabilitación, puente arco, puente móvil, acero, corrosión.

*Rehabilitation, arch bridge, movable bridge, steel, corrosion.*

La versión original del conocido como “puente de hierro” en Treto (Cantabria) data del año 1882. En el año 1890 se redacta una nueva versión del proyecto (la definitiva), introduciendo un tramo giratorio entre el estribo derecho y lo que originariamente era la pila primera (con distancia entre paramentos de 37 metros), y se amplían las luces entre las pilas 1 y 2 a 59 metros (los mismos que entre la pila 2 y el estribo izquierdo). Los tramos fijos, con configuración en celosía de cordón superior curvo (a modo de arco bowstring) son, por tanto, de mayor luz y el tramo giratorio es hiperestático apoyándose en una nueva pila de sección circular situada en el punto medio entre el estribo derecho y la pila 1. La capacidad de giro horizontal convertiría a este puente en uno de los pocos de Europa con esta característica.

Desde su apertura, en 1905, hasta la actualidad el puente ha mantenido su funcionalidad para el tráfico carretero, dentro ahora de la N-634 San Sebastián-Santiago de Compostela.

A finales de los años sesenta se realizó un proyecto de sustitución del firme y del forjado del tablero. Desde entonces no se volvió a afrontar ningún tipo de trabajo de especial de rehabilitación en el puente.

El proyecto de rehabilitación del puente de Treto afrontado en el año 2016 sigue la misma filosofía de un proyecto de rehabilitación previo firmado por Jesús Páez Martínez en 1996, que ya definió tres tipos de actuaciones: reparaciones, refuerzos y sustituciones.

Se consideraron reparaciones aquellas actuaciones de saneo superficial y reposición de material por medio de forros atornillados, y protección inicial de las superficies.

Los refuerzos se realizaron en aquellos elementos, ya reparados, pero de capacidad no suficiente para la funcionalidad prevista en la rehabilitación. Estos refuerzos consisten en la conexión atornillada de nuevas platabandas o perfiles, y también la rehabilitación integral del forjado, constituyendo un nuevo forjado mixto.

Las sustituciones se referían a elementos estructurales no adecuados, que se eliminaron, y en su lugar se colocaron otros nuevos, que se unieron al resto de la estructura mediante uniones atornilladas.



*Encapsulado y medios auxiliares durante la construcción*



*Armadura y trabajos de hormigonado en nueva losa*

La no uniformidad estructural del puente y la heterogeneidad de los materiales condicionó una rehabilitación claramente diferenciada. Esta rehabilitación diferenciada exigió el desarrollo de trabajos muy específicos en un entorno de gran singularidad natural y paisajística. Este hecho obligó a desarrollar también medidas de protección ambiental específicas

#### **471. RAMPAS DE ACCESO AL VIADUCTO BICENTENARIO Y AUNORTE, AUTOPISTAS ELEVADAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

##### *FRONTAGE LANES FOR VIADUCTO BICENTENARIO AND AUNORTE, ELEVATED HIGHWAY IN MEXICO CITY*

Ricardo Rafael Pereira da Sousa. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [rpereira@louisberger.com](mailto:rpereira@louisberger.com)

Luis García Vega. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [lvgarcia@louisberger.com](mailto:lvgarcia@louisberger.com)

Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Marcos Jesús Pantaleón Prieto. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Technical Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mjpanta@louisberger.com](mailto:mjpanta@louisberger.com)

México, prefabricación, alta sismicidad, tablero mixto, cimentación tipo cálido.

*Mexico, precast, high seismicity, composite deck, precast box girder.*

El proyecto constructivo “Rampas de Acceso al Viaducto Bicentenario y Aunorte”, abarca la planificación y diseño de varios enlaces para las autopistas elevadas Viaducto Bicentenario y Aunorte, gestionadas por OHL Concesiones. Los cuatro enlaces proyectados son Metalurgistas, Gustavo Baz II, Mario Colín y Ejército Nacional y se encuentran en la Ciudad de México, una de las más pobladas y congestionadas del mundo.

En el diseño previo se han encontrado problemáticas como proyectar unos enlaces con una autopista elevada, construida y en servicio, que se encuentran en áreas urbanas con intenso tráfico y varios niveles de intersecciones que dificultan el encaje geométrico y conllevan la utilización de radios de giro extremadamente reducidos que afectan notablemente al diseño.



Planta del enlace Gustavo Baz 2

El objetivo principal ha sido prefabricar al máximo siempre que fuera posible debido a la complejidad de ejecutar los trabajos "in situ". En todos los enlaces se ha utilizado la misma tipología estructural: cajones mixtos continuos en los vanos curvos con un rango de luces que varían de 30 a 50 m y vigas cajón pretensadas, prefabricadas y biapoyadas para los vanos rectos con una luz aproximada de 30 m. Debido a la fuerte curvatura en planta de los tableros, se estudiaron los cajones mediante modelos de láminas para tener en cuenta las tensiones por alabeo de la sección.

La subestructura también se ha proyectado prefabricada donde ha sido posible. Debido a los numerosos condicionantes existentes, ha sido necesario recurrir a la utilización de varias pilas excéntricas y pórticos. Los pórticos también se han proyectado prefabricados, siendo ensamblados en obra mediante barras de pretensado. Todas las cimentaciones se han proyectado in-situ, consistentes en pilotes de hormigón de 0,8 m de diámetro, sobre los que se ha dispuesto, habitualmente, un cáliz de cimentación para poder embeber las columnas o pórticos prefabricados.

Otro de los desafíos de la zona es su alta sismicidad. Para hacer frente a los efectos sísmicos, se ha buscado una solución de aislamiento consistente en la utilización de apoyos elastoméricos de alto amortiguamiento tipo HDBR, alejando los modos de vibración principales de la meseta del espectro y reduciendo las fuerzas de la subestructura. También ha sido necesario estudiar en detalle la disposición de los aparatos de apoyo para evitar levantamientos en sismo debidos a la

curvatura en planta de la estructura y la fuerte pendiente longitudinal de las rampas, que se traduce en una gran diferencia de altura entre dos columnas consecutivas.

## 472. OPTIMIZACIÓN DE PUENTES DE VARIOS VANOS ISOSTÁTICOS EN ZONAS SISMOACTIVAS MEDIANTE LA SUPRESIÓN DE JUNTAS

### MULTI SPAN BRIDGES OPTIMIZATION AT HIGH SEISMIC ZONE AREAS BY EXPANSION JOINTS REMOVING

Antonio Madrid Ramos. Proes Consultores, S.A. Director Corp. Área Infraestructuras Terrestres. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [amadrid@proes.engineering](mailto:amadrid@proes.engineering)

Carmen Lozano Bruna. Proes Consultores, S.A. Departamento de Puentes. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [clozano@proes.engineering](mailto:clozano@proes.engineering)

Alejandro Nicolás Pazo. Proes Consultores, S.A. Jefe de Proyecto. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [anicolas@proes.engineering](mailto:anicolas@proes.engineering)

Miguel Ángel Higuera Antón. Proes Consultores, S.A. Director de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mhiguera@proes.engineering](mailto:mhiguera@proes.engineering)

David Nogueira Abal. Proes Consultores, S.A. Coordinación de Delineación. Jefe de Proyecto. Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación. [dnogueira@proes.engineering](mailto:dnogueira@proes.engineering)

Amaya Hernando Martín. Proes Consultores, S.A. Directora de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ahernando@proes.engineering](mailto:ahernando@proes.engineering)

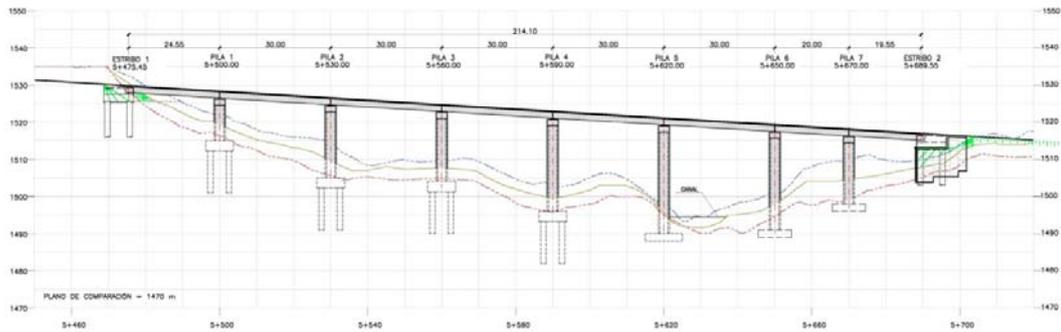
Juntas, capacidad, sismicidad.

Expansion joints, capacity, seismic design.

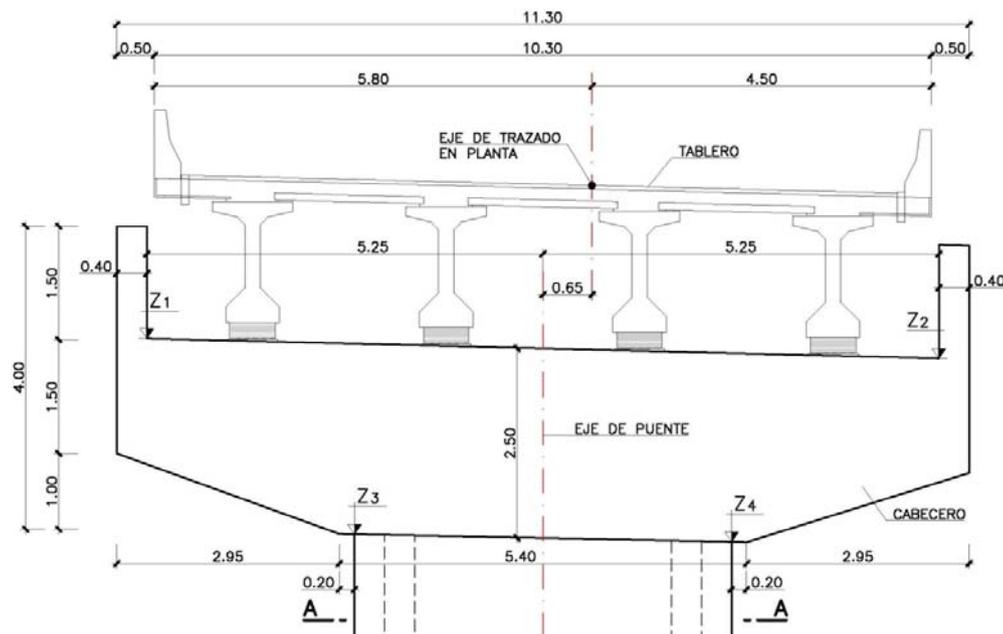


Cimentación tipo cáliz para las pilas prefabricadas

El proyecto de puentes isostáticos de gran longitud suele ir asociado a la fragmentación de los tableros por medio de juntas de dilatación, de manera que se puedan reducir en gran medida los efectos de la dilatación y del acortamiento del tablero debido a los fenómenos reológicos y térmicos que debe resistir la subestructura.



Alzado del viaducto 5 + 475



Sección transversal

Sin embargo, esta fragmentación elimina el comportamiento monolítico del tablero frente a acciones horizontales, modificando la respuesta de la subestructura frente a acciones de naturaleza sísmica, incrementando la fracción de la sollicitación que recae sobre las pilas. La disposición de estas juntas modifica los modos propios de los tableros, causando acoplamientos y permitiendo los posibles impactos entre subtramos.

Además del comportamiento puramente estructural, la multiplicación del número de juntas de dilatación en zonas con alta humedad y de difícil acceso afecta a la estrategia de durabilidad de las estructuras.

Se muestra el diseño de tres viaductos de tableros isostáticos con grandes longitudes globales: el viaducto 5 + 475, con 215 m de longitud total, el viaducto de la Espalda I, con 205 m y el viaducto de La San Juana, con 209 m. Estos tres viaductos pertenecen a la Autopista al Mar 1, en Antioquia (Colombia), proyectada por Proes Consultores.

Los tableros se resuelven con vigas postesadas con luces máximas de 40 m, sobre los que se hormigona la losa sin juntas entre vanos.

El diseño estructural de la subestructura de estos tres viaductos queda altamente condicionado por el alto valor de las acciones sísmicas horizontales que transmiten los tableros. El estudio de optimización realizado por el equipo técnico de Proes Consultores ha concluido que la ejecución de este tipo de tableros con losas de compresión continuas y apoyando las vigas sobre aparatos elastoméricos de gran altura conduce a importantes ventajas económicas en la subestructura.

## 476. INSTRUMENTACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PUENTE DE TRETO DURANTE SU REHABILITACIÓN

### MONITORING AND DATA ANALYSIS DURING REHABILITATION OF TRETO BRIDGE

David García Sánchez. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [dagarcia@louisberger.com](mailto:dagarcia@louisberger.com)  
 Vicente Puchol de Celis. Kinesia Ingeniería. Presidente. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [vpuchol@kinesia.es](mailto:vpuchol@kinesia.es)  
 Felipe Collazos Arias. Ministerio de Fomento-Universidad de Cantabria. Director de Obra. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [fcollazos@fomento.es](mailto:fcollazos@fomento.es)  
 Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Instrumentación, tensiones, pruebas, comportamiento dinámico, aceleraciones.

Monitoring, stress, tests, dynamic behaviour, accelerations.

La Demarcación de Carreteras de Cantabria afrontó la rehabilitación del puente de Treto en la N-634 a su paso por Colindres (Cantabria) en 2016.

El puente presenta una longitud total de 161,74 m distribuida en cuatro vanos: dos del tipo bow-string (tramos fijos) y otros dos que materializan un tramo hiperestático con capacidad de giro sobre la pila de apoyo (tramo giratorio). Cada tramo fijo mide 61,84 m, y el tramo giratorio 38,00 m. La anchura de la calzada es de 5,50 m y los andenes en voladizo dispuestos a cada lado para el tránsito de peatones era de 0,80 m.

Dada la importancia y profundidad de los trabajos de rehabilitación que se decidió acometer en 2015 se llevó a cabo un seguimiento de la evolución tensional de los elementos portantes principales (arco, viga principal y montante) de un arco tipo instrumentado (arco izquierdo del vano 3) mediante instrumentación. El objetivo era conocer la capacidad resistente de la estructura en todo momento y, especialmente, durante los siguientes hitos constructivos: Freado de 17 cm de firme (24 de septiembre 2015), retirada completa de losa (25 de abril a 27 de abril de 2016) y hormigonado de losa (6 de mayo de 2016). También se llevó a cabo un estudio de la evolución de las tensiones en el tiempo y su relación con la temperatura ambiente.



Banda extensométrica en montante



Prueba de carga dinámica excéntrica

## 477. CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS DE LA AUTOPISTA AL MAR 1 (COLOMBIA)

### STRUCTURES DESIGN IN MAR 1 HIGHWAY (COLOMBIA)

Antonio J. Madrid Ramos. Proes Consultores, S.A. Director Corp. Área Infraestructuras Terrestres. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [amadrid@proes.engineering](mailto:amadrid@proes.engineering)

Alejandro Nicolás Pazo. Proes Consultores, S.A. Jefe de Proyecto. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [anicolas@proes.engineering](mailto:anicolas@proes.engineering)

Miguel Ángel Higuera Antón. Proes Consultores, S.A. Director de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mhiguera@proes.engineering](mailto:mhiguera@proes.engineering)

David Nogueira Abal. Proes Consultores, S.A. Coordinación de Delineación. Jefe de Proyecto. Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación. [dnogueira@proes.engineering](mailto:dnogueira@proes.engineering)

Amaya Hernando Martín. Proes Consultores, S.A. Directora de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ahernando@proes.engineering](mailto:ahernando@proes.engineering)

Carmen Lozano Bruna. Proes Consultores, S.A. Directora de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [clozano@proes.engineering](mailto:clozano@proes.engineering)

Colombia, sismo, vigas postesadas, AASHTO, puente construido por voladizos.

Colombia, seismic design, postensioned girders, AASHTO, cantilever bridge.

La Agencia Nacional de Infraestructuras (ANI) de Colombia adjudicó al Consorcio Estructura Plural SAC 4G (Sacyr Colombia, Strabag y Concay) la construcción y gestión durante 25 años de la autopista al Mar 1, de 176 km, con una inversión prevista de 1.000 millones de dólares. La Autopista al Mar 1 une los municipios de Medellín con San Jerónimo y Santafé de Antioquia, con un ramal que llega a Bolombolo. Entre las obras a ejecutar se incluye la construcción de puentes y túneles, mejora de la calzada existente y la construcción de una segunda calzada entre el tramo Medellín- Santafé de Antioquia. Proes Consultores está desarrollando el proyecto constructivo completo de esta autopista.

La mayor parte de las estructuras se resuelven mediante tableros de vigas postesadas de luces máximas de 40 m. Las dificultades encontradas en el diseño se han concentrado en la subestructura, tanto por situarse en una zona de alta sismicidad como por la complicada orografía, dado que la traza se sitúa a media ladera.

La solución adoptada para la subestructura consiste en fustes de sección rectangular (maciza o hueca, dependiendo de la altura) rema-



Detalle del emplazamiento a media ladera



Detalle de un puente existente

tados en un dintel de canto variable para proporcionar apoyo al tablero de vigas. Las cimentaciones, dependiendo de la situación, se resuelven mediante zapatas o encepados de pilotes. La solución dada a los estribos es la de cargadero sobre muros de suelo reforzado, en algunos casos se completa la cimentación con pilotes o pozos.

Hay cinco viaductos singulares que se han resuelto mediante cajones contruidos por avance en voladizo.

La Normativa Colombiana empleada es la de Diseño de Puentes CCP-2014, desarrollada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Estas normas basan su filosofía en la Normativa Americana AASHTO.

#### 478. ACONDICIONAMIENTO DEL PASO INFERIOR DE LA A-6 BAJO LA PLAZA DEL CARDENAL CISNEROS (MADRID)

##### REFURBISHMENT OF THE A-6 HIGHWAY UNDERPASS UNDER CARDENAL CISNEROS ROUNDABOUT (MADRID)

Juan Jesús Álvarez Andrés. DRAGADOS. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjalvarez@dragados.com](mailto:jjalvarez@dragados.com)

Cristina Cobo Rodríguez. DRAGADOS. Dirección Técnica. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [ccobor@dragados.com](mailto:ccobor@dragados.com)

José Antonio Martín-Caro Álamo. Ines Ingenieros Consultores, S.L. Director Gerente. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jmc@inesingenieros.com](mailto:jmc@inesingenieros.com)

Damián J. Terrasa Díaz. Ines Ingenieros Consultores, S.L. Ingeniero de Proyecto y Responsable de D.O. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [djtd@inesingenieros.com](mailto:djtd@inesingenieros.com)

Losa pretensada, aumento de luz, deformación excesiva, recrecido de losa.

*Prestressed slab, span increased, excessive deflection, slab depth increased.*

En el ámbito del Contrato de Gestión Integral de Infraestructuras Vías de la Ciudad de Madrid, del que es adjudicatario Dragados, se ha llevado a cabo el acondicionamiento del paso inferior de la autovía A-6 bajo la plaza del Cardenal Cisneros. El Proyecto y la Dirección de las Obras han sido realizados por Ines Ingenieros Consultores.

Originalmente este paso era una losa de hormigón pretensada aligerada de 25 m de luz y 1,10 m de canto.

En 1994 se realizó una ampliación transversal de la A-6 para la introducción del carril "bus-VAO". Ello exigió alargar la estructura aumentando la luz en 4 m y sustituyendo uno de los estribos por otro nuevo situado detrás del existente. El aumento de luz de la losa se resolvió introduciendo un pretensado exterior. Además, se ensanchó la estructura construyendo nuevas losas en los bordes de la losa original, independizadas de la misma mediante juntas de dilatación.

En una inspección efectuada en 2012 se detectaron fisuras en la losa original y una gran deformación en las dos losas de ensanche del tablero. Como consecuencia, se procedió a un análisis minucioso a nivel teórico y a una revisión profunda del estado de la estructura.

Realizados los análisis estructurales de los tableros se vio que todas las losas incumplían los estados límite: ELU de flexión y ELS tensional y de deformaciones.

Tanto la fisuración como el incumplimiento de los estados límite se debían, principalmente, al exceso de carga de pavimento. La carga real era muy superior al valor teórico de cálculo, lo que había ocasionado grandes deformaciones en la losa, que por su esbeltez era muy sensible a este efecto. Con el paso del tiempo, esa deformada había ido aumentando por la fluencia y por las sucesivas repavimentaciones



Barras ancladas para recrecido superior de losa existente



Imagen del paso inferior tras los trabajos de acondicionamiento

realizadas con el fin de mitigar los problemas geométricos generados por la flecha estructural, agravándose así aún más el problema.

Adicionalmente, las calidades de los hormigones obtenidas en los ensayos eran en general algo inferiores a aquellas teóricas con las que se proyectó la estructura.

Con estos antecedentes, en 2014 se ha realizado una profunda intervención destinada a conseguir que la estructura cumpla los requisitos mínimos resistentes, funcionales y de durabilidad.

La actuación ha consistido en recrecer superiormente las losas para ganar canto, sustituyendo parte de la carga muerta por hormigón estructural y dotando así a la estructura de una mayor rigidez y capacidad resistente.

## 479. ESTRUCTURAS DEL CORREDOR VIAL BUCARAMANGA-BARRANCABERMEJA-YONDÓ

### STRUCTURES OF THE HIGHWAY BUCARAMANGA-BARRANCABERMEJA-YONDÓ

Antonio J. Madrid Ramos. Proes Consultores, S.A. Director Corp. Área de Infraestructuras Terrestres. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [amadrid@proes.engineering](mailto:amadrid@proes.engineering)

Carmen Lozano Bruna. Proes Consultores, S.A. Directora de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [clozano@proes.engineering](mailto:clozano@proes.engineering)

Alejandro Nicolás Pazo. Proes Consultores, S.A. Jefe de Proyecto. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [anicolas@proes.engineering](mailto:anicolas@proes.engineering)

Miguel Ángel Higuera Antón. Proes Consultores, S.A. Director de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mhiguera@proes.engineering](mailto:mhiguera@proes.engineering)

David Nogueira Abal. Proes Consultores, S.A. Coordinación de Delineación. Jefe de Proyecto. Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación. [dnogueira@proes.engineering](mailto:dnogueira@proes.engineering)

Amaya Hernando Martín. Proes Consultores, S.A. Directora de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ahernando@proes.engineering](mailto:ahernando@proes.engineering)

Vigas postesadas, pila-pilote, demanda, capacidad, sismicidad.

*Post-tensioned girders, multicolumn bents, seismic demands, capacity, seismic force.*

Ferrovial, a través del consorcio liderado por su filial Cintra Infraestructuras, ha sido seleccionada por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) de Colombia para el diseño, construcción, financiación, operación y mantenimiento de aproximadamente 152 kilómetros de la Autopista Bucaramanga-Barrancabermeja-Yondó (BBY).

La infraestructura mejorará las conexiones del oriente con los centros de producción petrolera más importante del país. Este proyecto mejorará la circulación en la región, potenciará las oportunidades de desarrollo económico e impulsará el empleo y la cadena de suministro local en esta zona oriental del país, con gran peso en la producción de la industria petrolera.

Proes Consultores está desarrollando el Proyecto Constructivo de las estructuras de nueva construcción de las unidades funcionales UF5 y UF7.

La mayor parte de las estructuras proyectadas son puentes con tableros de vigas postesadas de luz máxima 40 m. En cada unidad funcional hay un viaducto cuya parte central presenta una tipología diferente, con luces máximas de 120 m para salvar las quebradas de La Peligrosa y el Río Sucio. Para estos tramos se ha proyectado un cajón postesado, construido por voladizos sucesivos, de canto variable entre 2,50 m en el centro del vano y 6,00 m en el arranque del voladizo.

Para conferir la mayor flexibilidad posible a las estructuras y mejorar así su respuesta ante las acciones sísmicas, la subestructura está constituida, en su mayoría, por pila-pilotes de doble fuste, teniendo la misma tipología las pilas y los estribos. En estos últimos la contención de las tierras se realiza mediante aletas de tierra armada por detrás de los pilotes.

Como procedimiento de análisis del evento sísmico se ha propuesto un procedimiento incremental, estático y lineal, basado en desplazamientos. El puente se diseña de modo que tenga una adecuada capacidad de desplazamiento para acomodar las demandas sísmicas, frente a la consideración clásica del efecto de las fuerzas sísmicas.

## SEGUNDA OLA

## CUARTA GENERACIÓN

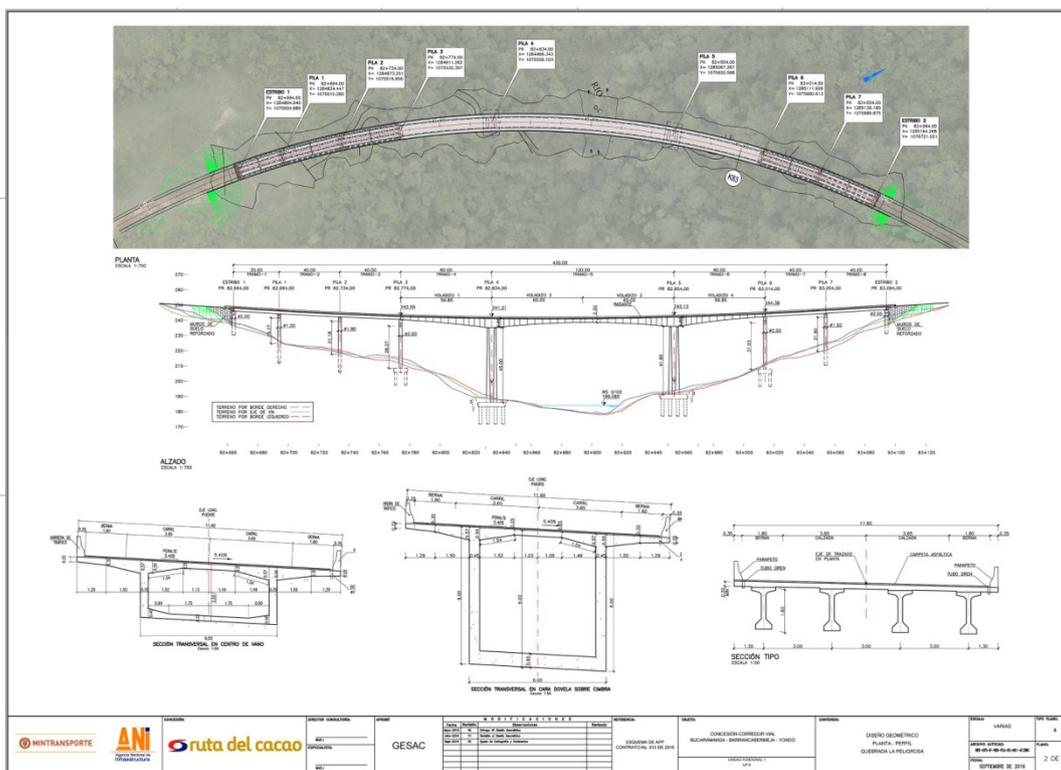
### BUCARAMANGA - BARRANCABERMEJA - YONDÓ SANTANDER

Longitud  
151,61 km

Inversión  
\$1,68 billones

Estado  
Contratado





Plano general Viaducto La Peligrosa

## 480. PUENTES DE LA CARRETERA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO, COLOMBIA

### BRIDGES AT THE BOGOTÁ-VILLAVICENCIO ROAD (COLOMBIA)

Juan Jesús Álvarez Andrés. DRAGADOS S.A. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjalvarez@dragados.com](mailto:jjalvarez@dragados.com)  
 Manuel Ferrer Orduz. DRAGADOS S.A. Jefe de Planif. Económica y Control de Costes UTE. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mferrer@dragados-concay.co](mailto:mferrer@dragados-concay.co)  
 Juan Rodríguez Fernández. DRAGADOS S.A. Director de Puentes de la UTE. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [jrodriguezfe@dragados.com](mailto:jrodriguezfe@dragados.com)

Duplicación de calzada, orografía montañosa, voladizos sucesivos, estructura mixta, recursos singulares.

Road duplication, mountainous ground, balanced cantilever, composite structure, singular solutions.

La carretera que une Bogotá con Villavicencio, ciudad situada a unos 100 km al sureste, tiene un solo carril por sentido en gran parte de su recorrido, su trazado es sinuoso y soporta una elevada intensidad de tráfico, especialmente de camiones. Actualmente se está realizando la duplicación de la calzada, para que al menos uno de los dos sentidos de circulación mejore en fluidez de tráfico y seguridad vial.

Dragados ha trabajado en tres tramos o sectores de esta duplicación de calzada, en UTE con la empresa colombiana Concay. Las obras revisten gran dificultad por la orografía montañosa, las desfavorables condiciones geotécnicas y la interferencia con la carretera actual. Todo ello ha obligado a que los puentes sean de diversos estructu-

rales y procesos constructivos. Aunque sólo hay 10 puentes entre los tres sectores, se han empleado soluciones variadas: vigas prefabricadas, vigas in situ sobre cimbra autoportante, estructura mixta multi-jácena, estructura mixta en cajón, losa aligerada, cajón por voladizos sucesivos y cajón sobre cimbra. Las circunstancias particulares de cada estructura han llevado a esta diversidad, sin ser posible unificar ni sistematizar soluciones.

Las dificultades para construir estos puentes han requerido emplear recursos singulares; por ejemplo, el montaje y lanzamiento de la estructura metálica del puente de La Colorada desde el interior del túnel situado a continuación.

Asimismo, los férreos condicionantes medioambientales impedían en algunos casos el acceso de maquinaria pesada al tajo, siendo necesario emplear métodos rudimentarios como la excavación de pilotes por medios manuales (ver descripción del proceso en la comunicación del puente de San Miguel), o la retirada del escombro de excavación a lomos de animales de carga.



Cimbra autoportante para hormigonado de vigas



Lanzamiento de estructura metálica desde el vecino túnel

Puentes construidos por el Consorcio Dragados-Concay:

- Sector 2:
    - Puente 1 (río Sáname). Vigas hormigonadas sobre cimbra autoportante. Luces: 22,86-35,77-22,85 m.
    - Puente 2. Vigas prefabricadas (vanos 1-3); cajón hormigonado sobre cimbra (vano 4). Luces: 19,35-37,70-24,70-30,35 m.
    - Puente 3 (río Sáname). Cajón, voladizos sucesivos. Luces: 12,5-50-25 m.
    - Puente 4 (río La Colorada). Mixto multijácena. Luz: 41,50 m.
    - Pasarela. Cajón mixto. Luz: 33,12 m.
  - Sector 2A:
    - Puente 2. Losa aligerada (vano 1); vigas prefabricadas (vanos 2-5). Luces: 28,89-28,09-28,09-28,17-28,29 m.
  - Sector 4:
    - Puente Quebrada Seca. Vigas prefabricadas. Luz: 30,08 m.
    - Puente Perdices 1. Cajón, voladizos sucesivos. Luces: 40-3 × 80-40 m.
    - Puente Perdices 2. Vigas prefabricadas. Luz: 27,12 m.
    - Puente San Miguel. Cajón, voladizos sucesivos. Luces: 32-62-32 m.
- Los puentes de voladizos sucesivos se describen en otras comunicaciones. En la presente se tratan los restantes.

## 481. PUENTE SOBRE EL RÍO SÁNAME (COLOMBIA)

### SÁNAME RIVER BRIDGE (COLOMBIA)

Juan Jesús Álvarez Andrés. DRAGADOS S.A. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjalvarez@dragados.com](mailto:jjalvarez@dragados.com)

Manuel Ferrer Orduz. DRAGADOS S.A. Jefe de Planif. Económica y Control de Costes UTE. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mferrer@dragados-concay.co](mailto:mferrer@dragados-concay.co)

Juan Rodríguez Fernández. DRAGADOS S.A. Director de Puentes de la UTE. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [jrodriguezfe@dragados.com](mailto:jrodriguezfe@dragados.com)

Puente curvo, contrapeso, limitaciones medioambientales, pilotes excavados por medios manuales, avance en voladizo.

*Curved bridge, counterweight, environmental requirements, handmade piles, cantilever.*

La UTE Dragados-Concay ha construido los Sectores 2, 2A y 4 de la duplicación de calzada de la carretera Bogotá-Villavicencio; estas obras

se exponen en otra comunicación presentada en este Congreso. En el presente resumen se trata el Puente 3 del Sector 2 o Puente sobre el río Sáname, que es una de las estructuras más reseñables de la obra.

Este puente pertenece a un vial que enlaza ambas calzadas de la carretera, la existente y la nueva. Por exigencias de trazado, es curvo y tiene un radio muy pequeño, sólo 49 m al eje de la estructura. Consta de tres vanos, con luces 12,50-50-25 m. Esta distribución de vanos no es aparentemente la más adecuada, pero vino dada por el perfil del terreno y por la imposibilidad de acortar más el vano central, al no ser posible acercar más las cimentaciones de las pilas al cauce del río.

En fase de proyecto se estudió la posibilidad de construir un puente mixto de un solo vano de 50 m de luz, pero resultó más ventajosa constructivamente la solución de hormigón pretensado que finalmente se ha construido.

El tablero es un cajón de 2,65 m de canto, 5,55 m de anchura en su base, 11,05 m de anchura en la losa, y almas verticales.

El cajón está empotrado en las pilas, que tienen muy escasa altura. A su vez, el vano 1, de sólo 12,50 m y que sirve de contrapeso, tiene su otro extremo directamente empotrado al terreno por medio de 3 pilotes, sin estribo. Las pilas descansan sobre encepados parcialmente vistos cimentados sobre 4 pilotes cada uno. El estribo 2 es un cargadero con 2 pilotes. Todos los pilotes tienen 1,50 m de diámetro.

Las limitaciones medioambientales impidieron la realización de caminos provisionales del suficiente ancho como para que una pilotadora pudiera acceder al emplazamiento de las pilas, de modo que fue necesario excavar los pilotes por medios manuales, siguiendo el



Avance en voladizo



Puente terminado

proceso que se describe en otra comunicación de este Congreso (Puente de San Miguel).

Los vanos laterales se hormigonaron sobre cimbra convencional, tras lo cual se procedió a la ejecución del vano central por avance en voladizo. Se avanzó simultáneamente desde ambas pilas con dovelas de 2,50 y 2,75 m de longitud y se hormigonó la dovela de cierre empleando uno de los dos carros de avance, tras lo cual la estructura quedó terminada.

## 482. PUENTE DE SAN MIGUEL (COLOMBIA)

### SAN MIGUEL BRIDGE (COLOMBIA)

Juan Jesús Álvarez Andrés. DRAGADOS S.A. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjalvarez@dragados.com](mailto:jjalvarez@dragados.com)

Manuel Ferrer Orduz. DRAGADOS S.A. Jefe de Planif. Económica y Control de Costes UTE. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mferrer@dragados-concay.co](mailto:mferrer@dragados-concay.co)

Juan Rodríguez Fernández. DRAGADOS S.A. Director de Puentes de la UTE. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [jrodriguezfe@dragados.com](mailto:jrodriguezfe@dragados.com)

Duplicación de calzada, exigencias medioambientales, difícil acceso, pilotes excavados por medios manuales, voladizos sucesivos.

*Road duplication, environmental requirements, difficult access, handmade piles, balanced cantilever.*

Este puente se encuentra en el Sector 4 de la duplicación de calzada de la carretera Bogotá-Villavicencio y permite cruzar la Quebrada de San Miguel. Dragados ha construido los sectores o tramos 2, 2A y 4 de dicha duplicación; una presentación general de las estructuras de estos tramos puede encontrarse en otra comunicación presentada en este Congreso.

El emplazamiento del puente es complicado y de difícil acceso. Las pendientes de las laderas se acercan al 1:1, la vegetación es abundante, y las severas exigencias medioambientales condicionaron el proyecto del puente y, sobre todo, su construcción. Con estas condiciones de contorno, la solución más adecuada era la viga cajón de hormigón pretensado construido por voladizos sucesivos, dado que, superadas las dificultades -no despreciables- de acceder a la base de las pilas, el tablero se construía independientemente del terreno.

El puente es recto, sus luces son 32-62-32 m y su anchura es 11,05 m. El canto es variable entre 3 m sobre pilas y 2 m en el centro del vano central y en apoyos de estribos.

El tablero está simplemente apoyado en las pilas, cuyas alturas son 22,80 m y 18,30 m respectivamente. Las cimentaciones son profundas, con 2 pilotes por estribo y 8 por pila, todos ellos de 1,50 m de diámetro.

Los condicionantes medioambientales impedían hacer caminos para el acceso de pilotadoras a las bases de las pilas, por lo que fue necesario excavar los pilotes por medios manuales, mediante taladro, pico y pala y a veces explosivos de fabricación artesanal, al abrigo de un sostenimiento consistente en anillos troncocónicos de hormigón armado ejecutados acompasadamente con el descenso en la excavación del pilote.

El tablero se construyó por avance en voladizo. De nuevo, las dificultades de acceso a la base de las pilas hicieron muy complicado el armado de los carros, cuyos elementos se fueron llevando poco a poco mediante grúas y trácteles desde cada ladera hasta las cabezas de pilas. Debe destacarse la destreza e inventiva de los trabajadores locales que, con gran precariedad de medios, fueron capaces de realizar el montaje de los carros. El avance se realizó por dovelas de 3,50 m de longitud en ciclo semanal y finalmente la dovela de cierre de 3 m se ejecutó mediante uno de los dos carros, quedando cerrada la estructura.



Excavando pilotes a mano



Puente terminado

## 483. PUENTE DE PERDICES I (COLOMBIA)

### PERDICES I BRIDGE (COLOMBIA)

Juan Jesús Álvarez Andrés. DRAGADOS S.A. Dirección Técnica. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjalvarez@dragados.com](mailto:jjalvarez@dragados.com)

Manuel Ferrer Orduz. DRAGADOS S.A. Jefe de Planificación Económica y Control de Costes UTE. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mferrer@dragados-concay.co](mailto:mferrer@dragados-concay.co)

Juan Rodríguez Fernández. DRAGADOS S.A. Director de Puentes de la UTE. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [jrodriguezfe@dragados.com](mailto:jrodriguezfe@dragados.com)

Duplicación de calzada, orografía complicada, condicionantes medioambientales, pilotes excavados por medios manuales, avance en voladizo.

*Road duplication, mountainous area, environmental requirements, handmade piles, balanced cantilever.*

Este puente es el más destacado de los construidos por Dragados en la duplicación de calzada de la carretera Bogotá-Villavicencio. En otra comunicación presentada en este Congreso se realiza una presentación general de las estructuras de esta obra.

Situado en un terreno orográficamente muy complicado, permite el paso de la nueva calzada sobre la Quebrada Perdices y seguidamente discurre paralelo a su cauce y a la abrupta ladera izquierda del valle. El acceso al emplazamiento de la obra era difícil, y los condicionantes



Vista general del puente



Encaje del puente en un terreno extremadamente abrupto

medioambientales dificultaban más aún cualquier tipo de construcción, de modo que era indispensable hacer un puente cuyo proceso constructivo fuera lo menos dependiente posible del terreno. Además, el puente está encajado entre dos túneles, de modo que no había espacio para un hipotético parque de empuje, lo que descartaba la posibilidad del lanzamiento del tablero. Como consecuencia, la solución más favorable era la de viga cajón de hormigón pretensado, con luces relativamente grandes para reducir el número de pilas, y construida mediante avance en voladizo.

El puente es recto, sus luces son 40-80-80-80-40 m y su anchura es 11,05 m (ampliada a 12,70 m en el vano central). El canto es variable entre 4 m sobre pilas y 2 m en el centro del vano central y en apoyos de estribos.

El tablero está simplemente apoyado en las pilas, cuyas alturas varían entre 9 y 21 m. Las cimentaciones son profundas, con 2 pilotes por estribo y 8 por pila, todos ellos de 1,50 m de diámetro.

El relieve del terreno hacía prácticamente imposible el acceso de pilotadoras a las bases de las pilas, pero además, los féreos condicionantes medioambientales prohibían toda posibilidad de hacer caminos y plataformas de una mínima anchura. Por lo tanto, fue necesario excavar los pilotes por medios manuales. Las peculiaridades de este sistema de excavación se tratan en la ponencia correspondiente a otra estructura de esta misma obra, el puente de San Miguel.

El tablero se construyó por avance en voladizo con dovelas de 3,50 m de longitud en ciclo semanal, finalizando el proceso con la dovela de cierre, de 1 m de longitud, ejecutada mediante uno de los carros de avance.

#### 484. ESTRUCTURA SINGULAR EN EL RAMAL FERROVIARIO AL BAJO DE LA CABEZUELA

##### SINGULAR STRUCTURE IN THE RAILWAY LINE TO LA CABEZUELA'S BAJO

Antonio J. Madrid Ramos. Proes Consultores, S.A. Director Corp. Área de Infraestructuras Terrestres. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [amadrid@proes.engineering](mailto:amadrid@proes.engineering)

Miguel Ángel Higuera Antón. Proes Consultores, S.A. Director de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [mhiguera@proes.engineering](mailto:mhiguera@proes.engineering)

Alejandro Nicolás Pazo. Proes Consultores, S.A. Jefe de Proyecto. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [anicolas@proes.engineering](mailto:anicolas@proes.engineering)

Amaya Hernando Martín. Proes Consultores, S.A. Directora de Proyectos. Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ahernando@proes.engineering](mailto:ahernando@proes.engineering)

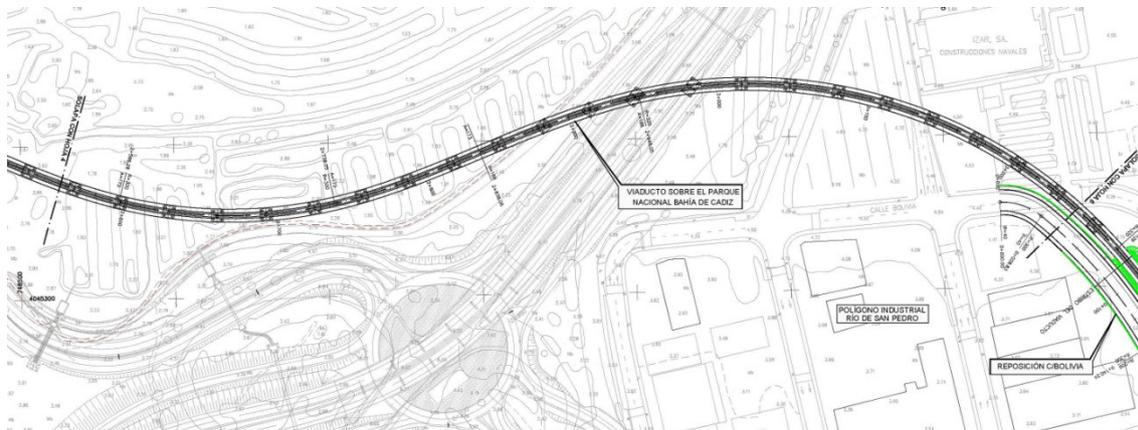
Ferrocarril, marismas, isostático, monocajón, pilotes.

Railway, salt-marshes, single span, U girders, piles.

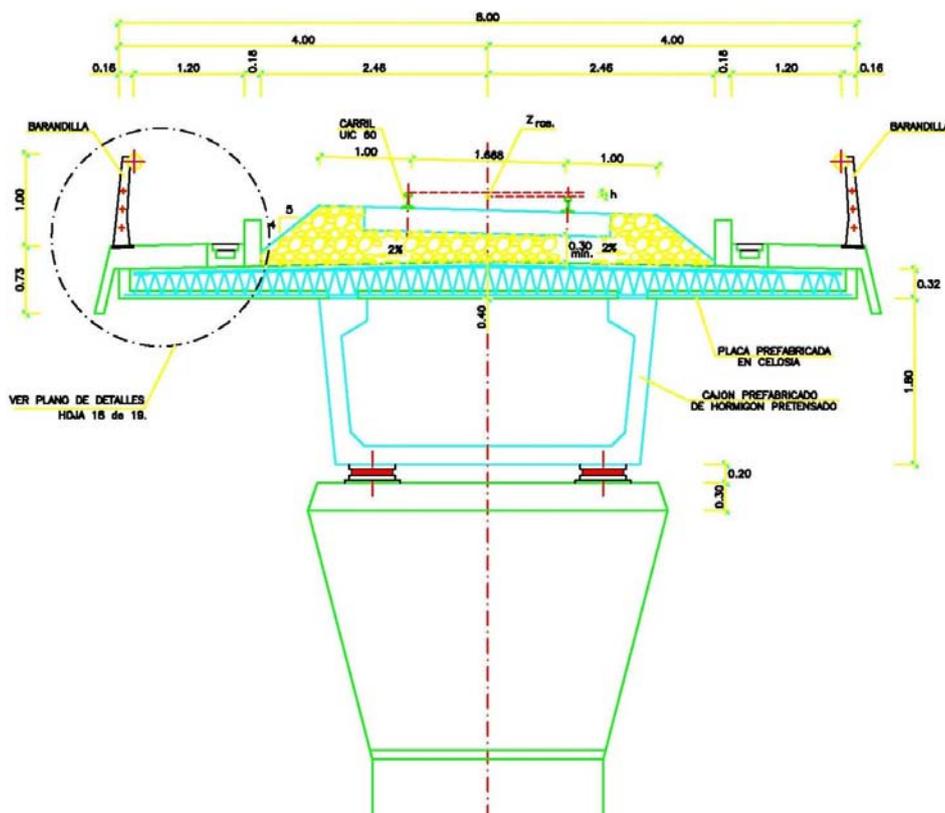
Proes Consultores ha recibido el encargo de ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) del desarrollo del proyecto constructivo del Ramal Ferroviario al Bajo de la Cabezueta, integrado en el tramo de la Estación Aeropuerto de Jerez de la Frontera a Cádiz, dentro de la línea Sevilla-Cádiz.

El viaducto, objeto de este resumen, se plantea para salvar el Parque Natural Bahía de Cádiz, la carretera nacional CA-36 y las instalaciones de Navantia en el Polígono Industrial Río de San Pedro.

La línea ferroviaria es de vía única de ancho ibérico; la estructura planteada para alojar esta infraestructura de 4,92 m de ancho se com-



Detalle de la traza por las marismas y la CA-36



Sección transversal

pleta con aceras peatonales a ambos lados de 1.20 m, disponiéndose barandillas de seguridad peatonal y muretes guardabalasto, resultando un ancho total de 8,00 m.

La longitud total del viaducto es de 1.178,20 m, resueltos mediante 36 vanos 31,70 m de luz y un vano singular de 37,00 m sobre la CA-36.

La solución propuesta consiste en una estructura de vanos isostáticos resueltos con una viga monocajón prefabricada de hormigón pretensado sobre la que se construye una losa de compresión de hormigón armado. La esbeltez del tablero considerada es de un treceavo (canto/luz = 1/13).

El Parque Natural Bahía de Cádiz es un gran humedal, donde las marismas son las grandes protagonistas y es por estas marismas por donde discurre parte de la traza de la estructura, lo que condiciona notablemente la solución adoptada para las cimentaciones, siendo todas ellas cimentaciones profundas, empleándose una solución de pila tabique sobre encepado de pilotes. Las pilas se coronan con un dintel para proporcionar la superficie de apoyo necesaria a las vigas monocajón.

Otro punto de conflicto es el paso por encima de la CA-36, que se produce con un gran esviaje. Este condicionante lleva a proyectar encepados esviados respecto a la traza, obligando en este punto a incrementar las dimensiones tanto del vano de cruce como de los encepados de las pilas adyacentes.

#### 491. DOS PASOS SUPERIORES MIXTOS ANCHOS CON DOBLE CAJÓN Y LUCES MEDIAS

##### TWO WIDE STEEL CONCRETE COMPOSITE DECK OVERPASSES WITH DOUBLE BOX GIRDER AND MEDIUM SPANS

Javier Pascual Santos. BRISSA SL. Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [javier.pascual@brissa.es](mailto:javier.pascual@brissa.es)

Diego Pajuelo Gallardo. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [diego.pajuelo@brissa.es](mailto:diego.pajuelo@brissa.es)

Borja Mendizábal del Arco. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [borja.mendizabal@brissa.es](mailto:borja.mendizabal@brissa.es)

Pablo Campos Acebo. BRISSA SL. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablo.campos@brissa.es](mailto:pablo.campos@brissa.es)

Puente mixto, viga cajón, flexión transversal, viga riostra, detalles de estructura metálica.

Steel concrete composite bridge, box girder, transverse bending, crossbeam, steel details.

El paso elevado sobre la A-62 en Arroyo de la Encomienda se materializa con tres vanos de luces 23-43-23 metros y 25 metros de anchura. Se resuelve con doble cajón metálico y losa superior conectada. El canto del cajón es variable entre un máximo de 1,70 metros en las secciones de pila y 0,95 metros en las secciones de centro de vano y estribos.

Dado que se trata de una configuración conocida la ponencia se centrará en analizar puntualmente algunas cuestiones singulares de interés en el proyecto y construcción de este puente, como son:

- Solución a las reacciones de tiro existentes en los apoyos de estribos, debido a la descompensación de vanos y el esviaje del tablero.
- Concepción de la doble acción mixta y rigidización de fondo de los cajones.
- Importancia de resolver de modo satisfactorio la estructura transversal de la plataforma en puentes de esta anchura.
- Detalles de estructura metálica del tablero.

En relación a la primera de ellas, se ha optado por mantener una disposición con doble apoyo en estribos y disponer una viga riostra entre cajones capaz de vincularlos en las hipótesis de máxima reac-



Cajones metálicos del puente sobre la A-62 durante la ejecución

ción vertical de tiro. Asimismo, se mostrarán criterios de interés para la concepción de la doble acción mixta y rigidización del fondo del cajón, y se comentará la optimización significativa del tablero obtenida de un adecuado estudio de la sección transversal resistente. Finalmente, se mostrarán algunos detalles de ejecución del tablero con gran interés.

Por último, la ponencia mostrará también el paso superior en el enlace de Manises de la ampliación de la autopista A-3 en el tramo Buñol-Valencia. Es una estructura constituida por dos vanos continuos de 38 metros de luz, y 17 metros de anchura, que se resuelve también con doble cajón metálico y losa superior conectada, en este caso con canto constante. A diferencia del anterior, cada cajón presenta apoyo único sobre las pilas centrales, con doble apoyo por cajón en estribos.



Vista inferior del puente sobre la A-3

## 497. PASARELA PEATONAL Y CICLISTA EN EL PARQUE FORESTAL DE LAS CONTIENDAS, EN VALLADOLID

### PEDESTRIAN AND CYCLIST BRIDGE AT LAS CONTIENDAS PARK, IN VALLADOLID

Javier Pascual Santos. BRISSA SL. Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [javier.pascual@brissa.es](mailto:javier.pascual@brissa.es)

Diego Pajuelo Gallardo. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [diego.pajuelo@brissa.es](mailto:diego.pajuelo@brissa.es)

Borja Mendizábal del Arco. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [borja.mendizabal@brissa.es](mailto:borja.mendizabal@brissa.es)

Pablo Campos Acebo. BRISSA SL. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablo.campos@brissa.es](mailto:pablo.campos@brissa.es)

Cristóbal de Alba Macía. Construcciones y Obras Llorente S.A. (COLLOSA). Jefe de Grupo de Obras. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. [cda@collosa.es](mailto:cda@collosa.es)

Javier Arias Madero. Arias-Garrido Arquitectos S.L. Director. Arquitecto. [entrearquitectura@hotmail.com](mailto:entrearquitectura@hotmail.com)

Estructura mixta, pasarela, pilas tubulares, respuesta dinámica, detalles de estructura metálica.

*Steel concrete composite deck, pedestrian bridge, tubular piers, dynamic response, steel structure details.*

Situada en la ciudad de Valladolid, esta pasarela establece una conexión entre el Parque Forestal Cerro de Las Contiendas y los Jardines de Villa del Prado que actualmente están divididos por sendas calzadas de la Avenida Padre José Acosta.

La solución estructural adoptada para dar respuesta a la necesidad de saltar las dos calzadas es una estructura mixta en forma de pórtico de tres vanos con una distribución de luces de 18,00 + 19,70 + 23,70 metros.

La sección estructural de la pasarela es una sección bífoca mixta compuesta por dos dobles T metálicas de 0,80 m de canto con una separación de 2,00 m y una losa superior conectada de anchura 4,00 m, compuesta por hormigón in situ y prelosas en celosía prefabricadas con un canto total variable entre 0,20 y 0,18 m. Adicionalmente, en las zonas próximas a las pilas se dispone una losa de hormigón de fondo de 0,18 m de espesor para establecer la doble acción mixta. Una vez concluida la estructura, toda ella se recubre mediante forros de chapa perimetrales de carácter arquitectónico.

Las pilas de la pasarela se materializan con fustes metálicos tubulares de sección circular  $\varnothing 323,9 \times 12$ , empotrados completamente en la zona inferior de las vigas principales. Los fustes presentan una in-



Vista general de la pasarela a falta del hormigón in situ de la losa y acabados



Detalle del montaje en obra de tramos sobre pilas tubulares

clinación transversal de  $10,69^\circ$ . La cimentación es directa mediante zapatas, si bien la profundidad de la misma ha exigido la disposición de plintos enterrados de cimentación entre la cara superior de la zapata y la base de los tubos de pilas.

Con el fin de asegurar el efecto pórtico longitudinal y transversal en la respuesta estructural de la pasarela se dispone un diafragma transversal vinculando las vigas sobre los tubos de pila que incorpora en la unión con las vigas principales casquillos circulares para proporcionar plena continuidad estructural en ambas direcciones entre el tablero y las pilas tubulares. En el caso de los estribos, la transmisión de reacciones se resuelve mediante un diafragma convencional en sección doble T rigidizado sobre los aparatos de apoyo de neopreno zunchado previstos en los estribos.

En la comunicación se desarrollarán de manera detallada los siguientes aspectos de interés en el proyecto y construcción de la pasarela:

- Alternativas formales previas analizadas.
- Solución mixta proyectada frente a posibles alternativas puramente metálicas.
- Respuesta dinámica de la pasarela.
- Respuesta transversal y longitudinal de los pórticos de apoyo.
- Detalles de estructura metálica y control de ejecución de la misma.

## 498. SUBESTRUCTURA DE 4 VIADUCTOS DE FERROCARRIL EN LA LAV MADRID-EXTREMADURA. INCIDENCIA DE LA INTERACCIÓN VÍA-ESTRUCTURA EN SU DISEÑO

### SUBSTRUCTURE OF FOUR HIGH SPEED RAILWAY VIADUCTS AT LAV MADRID-EXTREMADURA. INCIDENCE OF THE TRACK-STRUCTURE INTERACTION IN ITS DESIGN

Javier Pascual Santos. BRISSA SL. Director. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [javier.pascual@brissa.es](mailto:javier.pascual@brissa.es)

Diego Pajuelo Gallardo. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [diego.pajuelo@brissa.es](mailto:diego.pajuelo@brissa.es)

Borja Mendizábal del Arco. BRISSA SL. Jefe de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [borja.mendizabal@brissa.es](mailto:borja.mendizabal@brissa.es)

Pablo Campos Acebo. BRISSA SL. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [pablo.campos@brissa.es](mailto:pablo.campos@brissa.es)

David Arribas Mazarracín. FCC Construcción. Jefe de Departamento Puentes I. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [darribas@fcc.es](mailto:darribas@fcc.es)

José Luis del Valle Sánchez. FCC Construcción. Jefe de Grupo de Obras. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jldelvalles@fcc.es](mailto:jldelvalles@fcc.es)

Interacción vía estructura, subestructura, viaducto de ferrocarril, juntas de dilatación, acciones horizontales.

Track structure interaction, substructure, railway viaduct, expansion joint, horizontal actions.

Se expone en esta comunicación el diseño de la subestructura de cuatro viaductos de ferrocarril en la LAV Madrid-Extremadura. Los viaductos se componen de 5, 4, 8 y 10 vanos isostáticos de 35 metros de luz cada uno, con juntas de dilatación entre vanos y sin junta de dilatación de vía. Cada vano se fija en uno de sus extremos a pila o estribo mediante apoyos anclados.

Al objeto de reducir la longitud de los viaductos, y, por tanto, su coste, la altura en los estribos alcanza en algunos casos 20 metros. La altura de pilas varía entre 14 y 26 metros, con sección hueca rectangular de  $6,00 \times 4,00$  o  $6,00 \times 3,00$  metros según los requisitos de rigidez necesarios.

El diseño de la subestructura ha estado condicionado por el estudio de interacción vía-estructura. Se describe en esta comunicación el análisis realizado y las conclusiones obtenidas con incidencia en el diseño de la subestructura.

Se pone de manifiesto la incidencia de la longitud del viaducto y la gradación de alturas entre pilas sucesivas. A modo de ejemplo:

- En viaductos cortos con pilas altas se obtiene una transmisión de las acciones longitudinales del tren a los terraplenes adyacentes a través de la vía superior a la obtenida en viaductos largos. Los cálculos realizados muestran un carácter conservador en los factores de reducción previstos en las normativas.
- En viaductos con pilas extremas altas junto a los estribos, en el entorno de los 20 metros, se requieren pilas muy rígidas para verificar las condiciones de desplazamiento relativo entre tableros sucesivos. En este caso ha sido necesario disponer pilas de 4 metros de canto, que solo han podido reducirse a 3 metros en uno de los casos, con altura de pilas extremas de 15 metros.
- Pilas solo moderadamente más bajas que las adyacentes reciben acciones horizontales significativamente mayores debido a la gran rigidez de las pilas, más de lo que cabría prever en principio. En los casos más relevantes y en los estribos con vano anclado pueden obtenerse acciones superiores a las aplicadas en el propio vano. Aunque son posibles redistribuciones entre elementos de hormigón debido a su ductilidad no puede asegurarse lo mismo en los anclajes, por lo que es imprescindible un análisis detallado para un diseño seguro.



Vista aérea del viaducto sobre el Arroyo Viña de los Frailes en ejecución



Alzado de pilas en ejecución

Finalmente, se incluirán algunos aspectos de interés en el diseño de los estribos, que alcanzan 20 metros de altura como se ha visto.

## 499. REHABILITACIÓN Y ENSANCHE DE PUENTES EXISTENTES

### REHABILITATION AND PLATFORM WIDENING OF EXISTING BRIDGES

Jordi Pons Gabarrón. Pedelta. Ingeniero. Ingeniero de Caminos. [jpons@pedelta.es](mailto:jpons@pedelta.es)

Ensanche, rehabilitación, puentes, materiales, métodos.

Widening, rehabilitation, bridges, materials, methods.

La preservación de puentes es una importante tarea de ingenieros estructurales que cada vez más tienen que ingeniar mejores soluciones, que cumplan con criterios de óptimo diseño, que sean respetuosos con el medio ambiente y además sean eficientes en lo que respecta al coste económico.



Ensanche Puente Sant Quirze de Besora

Un importante número de puentes necesitan ser rehabilitados o ampliados debido a requerimientos actuales de tráfico o cargas. En este artículo se presentan diversas técnicas de ensanche y rehabilitación a través de casos reales. Uno de las realizaciones recientes más emblemáticas es el puente gótico sobre el río Llobregat en la carretera BP-1121 en Monistrol de Montserrat (Barcelona). Construido en el siglo 13, consiste en cuatro arcos de obra de fábrica, con una longitud total de 140 m y una plataforma de 7,95 m de anchura. El tablero presentaba una importante degradación en el hormigón y además por consideraciones de tráfico vehicular y peatonal, el ancho necesario era de 11,32 m. En el proceso de rehabilitación y ensanche, se construyó un nuevo tablero de prelosas prefabricadas de hormigón y losa de hormigón in situ. El uso de un método constructivo que combina elementos estructurales construidos in situ con elementos prefabricados representa una reducción en el plazo de construcción y una reducción del impacto que la ejecución de las obras trae consigo sobre el lecho del río al reducir considerablemente los medios auxiliares de construcción. También se consigue una más alta calidad del resultado final.

Otro ejemplo que se presenta es del puente sobre el río Ter en la carretera BV-5227 en Sant Quirze de Besora (Barcelona). El puente existente, de 60 m de longitud total 60 m y de 5,96 m de anchura, consiste en tres arcos de hormigón, sobre los que se conectan montantes columna sobre los que descansa la losa nervada existente. Se construyó un nuevo tablero apoyado sobre la losa existente, consistente en piezas prefabricadas de 2 m de longitud, que se colocaron mediante empuje en grupos de 6 piezas.

La rehabilitación de puentes existentes da al ingeniero estructural la oportunidad de plantear soluciones técnicas imaginativas en cuanto a materiales y métodos de construcción. El uso de un método constructivo que combina elementos estructurales construidos in situ con elementos prefabricados representa una reducción en el plazo de construcción y una reducción del impacto medioambiental al reducir considerablemente los medios auxiliares de construcción. También se consigue una más alta calidad del resultado final.

## 502. PUENTE ATIRANTADO DE HISGAURA

### HISGAURA CABLE STAYED BRIDGE

Francisco Javier Jordán García. Pedelta. Director Técnico. ICCP, PE, Peng. [jjordan@pedelta.com](mailto:jjordan@pedelta.com)

Rafael de Oliveira Cabral. Pedelta. Ingeniero Estructural. Ingeniero Civil. [rcabral@pedelta.com](mailto:rcabral@pedelta.com)

Diego Sisi Maestre. Pedelta. Ingeniero estructural. ICCP. [dsisi@pedelta.com](mailto:dsisi@pedelta.com)

Narciso Pulido Asín. Sacyr Construcción. Directo de Proyecto. ICCP. [npulido@sacyr.com](mailto:npulido@sacyr.com)

Cristian Bernal Pérez. Sacyr Construcción. Ingeniero de Diseño. ICC. [cbernalp@sacyr.com](mailto:cbernalp@sacyr.com)

Nelson Betancour Suárez. Pedelta Colombia. Director Técnico. Ingeniero Civil. [nbetancour@pedelta.com](mailto:nbetancour@pedelta.com)

Puente atirantado, amortiguador sísmico, viento.

Cable stayed bridge, seismic damper, wind analysis.

El Nuevo Puente atirantado de Hisgaura se encuentra localizado en el noreste de Colombia, cerca de la ciudad de Málaga.

Se trata de un puente de 5 vanos con vanos de 36,5 m + 36,5 m + 125,0 m + 330 m + 125 m de luz respectivamente y una longitud total de 653,0 m.

El tablero es de hormigón pretensado y tiene una sección constituida por dos nervios laterales de 1,40 m de canto en los que se anclan



Alzado de pilono en construcción

inferiormente los tirantes, con un contrapeso en el estribo 2 para anclar los tirantes de la torre más cercana. Tiene un ancho total de 13,70 m y longitudinalmente tiene tabiques transversales de 0,3 m de espesor cada 5,0 m.

La plataforma del tablero incluye dos carriles para tráfico de vehículos, dos aceras peatonales laterales, barreras, barandillas y dos zonas para anclaje de los dos planos de tirantes.

Existen dos torres en forma de Y invertida que alcanzan una altura de 140 m sobre el terreno. El tablero es continuo a lo largo de toda la longitud del puente y se une monolíticamente a la pila 2, de inicio del tramo atirantado. Esta pila se pretensa en vertical en toda su altura.

Los tirantes se disponen en dos planos anclándose cada 10 m en el tablero. En la zona superior de las torres los tirantes se anclan a una sección mixta de cajón interior metálico conectada a paredes de hormigón armado. Se han previsto unos tirantes provisionales durante construcción para atado del tablero a las cimentaciones de torres con objeto de minimizar el efecto de un sismo durante construcción.

La cimentación de las torres es mediante 4 caissons huecos de 5,00 m de diámetro y 0,70 m de espesor de pared, mientras que las pilas y estribos se cimentan en caissons macizos de 2,50 m a excepción del estribo 2, que se apoya mediante cimentación superficial en el terreno natural.

Para el diseño del puente se ha realizado una caracterización sísmica de sitio y se ha realizado un análisis dinámico temporal frente a diversos acelerogramas sintéticos generados específicamente para el puente. Con objeto de minimizar la fuerza sísmica se han dispuesto amortiguadores sísmicos entre el tablero y el estribo 2 del puente.

La acción de viento se caracterizó en base a un estadístico climatológico particularizado, mientras que el efecto del viento en la estructura y el análisis de inestabilidades se ha efectuado mediante análisis numéricos seccionales aeroelásticos y modelos estructurales globales del puente.

### 503. PUENTE CROSS RIVER ENTRE NIGERIA Y CAMERÚN

#### CROSS RIVER BRIDGE IN THE NIGERIA-CAMEROON BORDER

Francisco Javier Jordán García. Pedelta. Director Técnico. ICCP, PE, Peng. [jjordan@pedelta.com](mailto:jjordan@pedelta.com)

Rafael de Oliveira Cabral. Pedelta. Ingeniero Estructural. Ingeniero Civil. [rcabral@pedelta.com](mailto:rcabral@pedelta.com)

Juan Carlos Rosa García. Pedelta. Ingeniero Estructural. ICCP. [jcroso@pedelta.com](mailto:jcroso@pedelta.com)

Zuzanna Joanna Rzeplinska. Pedelta. Ingeniera Proyectos. Ingeniera Civil. [zreplinska@pedelta.com](mailto:zreplinska@pedelta.com)

Jordi Pons Gabarró. Pedelta. Ingeniero Estructural y de Reparaciones. ICCP. [jpons@pedelta.com](mailto:jpons@pedelta.com)

Puente voladizos, eurocódigos, comparativo normativas.

Balanced cantilever bridge, Eurocodes, LRFD-EC comparisson.

El nuevo Puente de Cross River, ubicado en la frontera entre Nigeria y Camerún, ha sido diseñado bajo financiación del African Development Bank. El contrato incluye el diseño del Nuevo puente sobre el río Cross River, las carreteras de aproximación desde ambos márgenes en ambos países, de unos 400 y 920 m de longitud aproximadamente para Nigeria y Camerún respectivamente, y el informe de evaluación del puente existente, un puente colgante construido en los años 50 del siglo pasado.

El nuevo puente es de tablero de sección cajón monocelular. Tiene una longitud total de 403,0 m con un vano de contrapeso de 35 m, un vano principal de 150,0 m, y vanos de aproximación de 80 + 50 + 50 + 31 m.

En el vano de contrapeso el tablero es de sección rectangular de 8,45 m de canto y tricolor relleno de tierras y cementado sobre pilotes en sus extremos. Su función es la de contrapesar al vano principal, construido en voladizo hasta se sección central a continuación de este contrapeso. En el vano principal el tablero es de canto variable con variación parabólica entre 8,45 m en apoyos y 3,15 m en centro de vano. El tercer vano es de sección variable en sus 75 primeros metros y de canto constante en el resto. Este canto de 3,15 m se conserva hasta el estribo 2. Los últimos tres vanos se prevén construidos sobre cimbra, vano a vano, mientras que para el vano principal se ha previsto su construcción mediante avance en voladizos sucesivos.

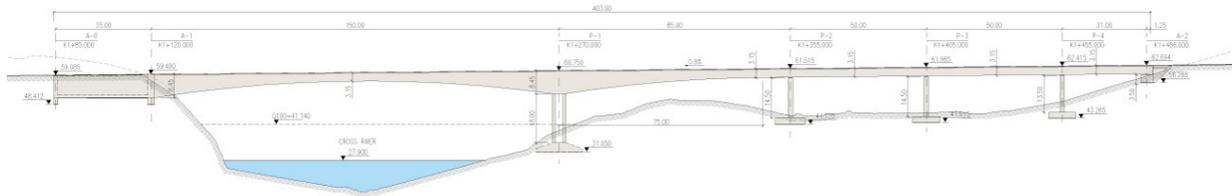
Este proyecto se integra en el corredor Bamenda (Camerún)-Enugu (nigeria), como parte del Transport Facilitation Program de la carretera trans africana Lagos-Mombasa, y ha sido financiado por el African Development Bank.

El proyecto presenta dos partes diferentes: el diseño del nuevo puente y el informe de evaluación del puente existente.

Respecto al puente existente, se han realizado inspecciones detalladas visuales, replanteos detallados y ensayos no destructivos con el



Vista del puente existente



Alzado del nuevo puente

objetivo de proporcionar al cliente la información del coste de su demolición frente a su rehabilitación.

En lo que se refiere al nuevo puente, se ha realizado un estudio de alternativas, el diseño preliminar, detallado, preparación de documentos de licitación de la construcción y participación en el proceso de evaluación de Contratista para la construcción del mismo.

El puente ha sido diseñado de acuerdo a Eurocódigos estructurales. Se mostrará en la comunicación una comparación entre el diseño mediante Eurocódigos frente al diseño mediante AASHTO LRFD para esta tipología de puentes.

### 504. DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES. EJEMPLOS RECIENTES EN COLOMBIA

#### SEISMIC DESIGN OF BRIDGES. RECENT EXAMPLES IN COLOMBIA

Francisco Javier Jordán García. Pedelta. Director Técnico. ICCP, PE, [jjordan@pedelta.com](mailto:jjordan@pedelta.com)

Nelson Betancour Suárez. Pedelta Colombia. Director Técnico. Ingeniero Civil. [nbetancour@pedelta.com](mailto:nbetancour@pedelta.com)

Puentes, sismo, LCEB, Amortiguadores sísmicos.

Bridges, earthquake, LCEB, seismic dampers.

Colombia es un país con amplias zonas con un gran riesgo sísmico especialmente en las regiones del Pacífico y Andinas donde residen más de dos terceras partes de la población. Es por ello que las principales zonas del país y sus infraestructuras de transporte están expuestas a una gran amenaza sísmica. El aislamiento sísmico es una estrategia que resulta muy adecuada para los puentes en zona sísmica. Adicionalmente, la reducción del coste de mantenimiento y reparación es una variable que debe ser adecuadamente considerada en las etapas de estudio conceptual y de alternativas del puente.

En la presente comunicación se presentan tres ejemplos distintos de estrategias de diseño sísmico de puentes incluyendo o no aisladores sísmicos. El primero es un puente de la Autopista del Sur sobre la calle 44 en la ciudad de Cali. La estructura está compuesta por un puente con trazado en planta recto en una zona y curvo en su acceso. El tablero es una losa aligerada de hormigón postensado. En el tramo recto el tablero es de canto constante de 1,6 m y 12,4 m de ancho, incluyendo tres carriles para vehículos. Su longitud total es de 120 m con cuatro vanos de 25 + 25 + 35 + 25 m. La subestructura, pilas y estribos, ha sido protegida mediante un sistema de aisladores de núcleo de plomo (LCEB), reduciéndose de ese modo la demanda sísmica en estos elementos. Esta ha sido la primera aplicación en Colombia de este tipo de aisladores.

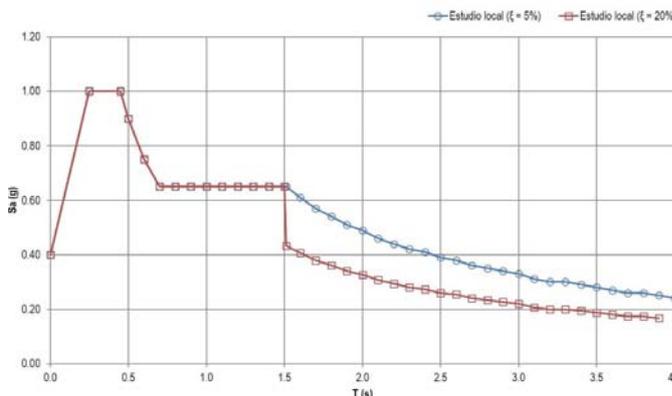
El segundo ejemplo corresponde a un puente monoviga cajón construido en voladizos sucesivos con tres vanos de 67,75 + 125,0 +

61,75 m con una longitud total de 250 m. El tablero tiene un ancho de 13,30 m. Las pilas son de 18 m de altura con cimentaciones profundas mediante caissons. Esta es una tipología muy común en Colombia y en muchos otros países. En este puente, la estrategia de diseño sísmico ha consistido en la utilización de la subestructura como elemento dúctil.

El tercer ejemplo corresponde a un puente atirantado actualmente en construcción ubicado también en Colombia. El puente tiene un vano principal de 330 m con torres de hasta 140 m de altura. Se han utilizado amortiguadores sísmicos para optimizar el diseño del puente frente a sismo.



Puente aislado sísmicamente con neoprenos de núcleo de plomo



Modificación de pseudoaceleración por uso de LCEB

## 517. VIADUCTOS URBANOS EN RIAD

### URBAN VIADUCTS. RIYADH

José Antonio Crespo Martínez. SILGA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.a.crespo@silga.es](mailto:j.a.crespo@silga.es)

Domingo Lorenzo Esperante. SILGA. Ingeniero. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [d.lorenzo@silga.es](mailto:d.lorenzo@silga.es)

José Ramón González de Cangas. SILGA. Ingeniero. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.r.g.de\\_cangas@silga.es](mailto:j.r.g.de_cangas@silga.es)

Guillermo Ferrer Gutiérrez. SILGA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [g.ferrer@silga.es](mailto:g.ferrer@silga.es)

Viaducto, Arabia Saudí, cajón.

Viaduct, Saudi Arabia, Box girder.

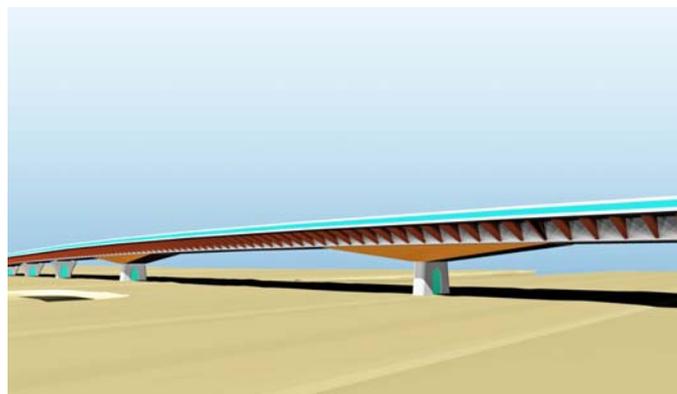
En esta ponencia se presentan dos de los viaductos diseñados por SILGA recientemente en la ciudad de Riad. Arabia Saudí.

### VIADUCTO DE TAKHASSUSI

Este viaducto se encuentra en el centro de la ciudad de Riad, y salva la calle Takhassusi por encima de la Makkah Road, que es una de las arterias principales de la ciudad. El proyecto original tuvo que modificarse debido a la existencia de unos servicios afectados. La necesidad se aprovechó para plantear al cliente, el Ayuntamiento de Riyadh, una alternativa estéticamente más adecuada que la del proyecto existente. El resultado es un viaducto de más de 500 m de longitud, 106 m de vano principal y un único tablero de 23,8 m de ancho para soportar ambos sentidos de circulación. En una primera propuesta se desarrolló una solución con cajón central y costillas laterales. Por razones de presupuesto se modificó finalmente a una sección cajón convencional con grandes voladizos laterales (5,66 m).

### VIADUCTOS DE THUMAMAH Y ANAS BIN MALIK

Estos viaductos gemelos se encuentran en los cruces de las calles del mismo nombre sobre la Abi Bakr Rd, en Riyadh. Se partió de un proyecto original realizado por Idom, al que se realizaron algunas modificaciones a requerimiento del contratista, la UTE Ferrovial-Al Fahd Co. Se trata de viaductos de 352 m de longitud y vanos principales de 80 metros, diseñados con sección cajón de hormigón pretensado. La ejecución se realiza vano a vano sobre cimbra, con un procedimiento de hormigonado simultáneo de fases con junta abierta entre ellas para acelerar los plazos de construcción.



Viaducto de Takhassusi



Viaductos de Thumamah y Anas Bin Malik

## 518. ENLACES URBANOS EN DAMMAM Y KHOBAR, ARABIA SAUDI

### URBAN INTERCHANGES IN DAMMAM AND KHOBAR, SAUDI ARABIA

José Antonio Crespo Martínez. SILGA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.a.crespo@silga.es](mailto:j.a.crespo@silga.es)

Domingo Lorenzo Esperante. SILGA. Ingeniero. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [d.lorenzo@silga.es](mailto:d.lorenzo@silga.es)

José Ramón González de Cangas. SILGA. Ingeniero. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [j.r.g.de\\_cangas@silga.es](mailto:j.r.g.de_cangas@silga.es)

Guillermo Ferrer Gutiérrez. SILGA. Ingeniero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [g.ferrer@silga.es](mailto:g.ferrer@silga.es)

Enlace, Viaducto, Paso Inferior, Arabia Saudí.

Interchange, Viaduct, Underpass, Arabia Saudi.

Los autores de esta ponencia están actualmente desarrollando los proyectos de las estructuras de 16 enlaces en las ciudades de Dammam y Khobar, en la costa Este de Arabia Saudí.

El proyecto ha sido contratado tras concurso público con el Ayuntamiento de Dammam, que busca mejorar la movilidad urbana en entornos de alta congestión a la vez que proporcionar elementos con el mejor resultado estético en su entorno.

Numerosos viaductos y pasos inferiores conforman este proyecto. Los viaductos son en general tableros de sección cajón de vanos máximos 90 m. En algunos casos ha sido necesario diseñar viaductos construidos por avance en voladizo, para las luces mayores y el los puentes que cruzan arterias de la ciudad con imposibilidad de realizar desvíos provisionales.



Enlace de Omar Rd sobre King Fahd Rd. Dammam



Acceso al monumento de Khobar desde el Paseo Marítimo

Incluido dentro de los enlaces está el proyecto de acceso a la isla en la que se encuentra unos de los elementos más reconocibles de la ciudad de Khobar. El puente ha sido diseñado para que se integre en un entorno de gran calidad, en el paseo marítimo que está actualmente en proceso de renovación.

## 521. ENSAYOS DE VIENTO PARA EL PUENTE DE LA CONSTITUCIÓN DE 1812 SOBRE LA BAHÍA DE CÁDIZ

### WIND STUDIES FOR THE CONSTITUCIÓN DE 1812 BRIDGE OVER THE CÁDIZ

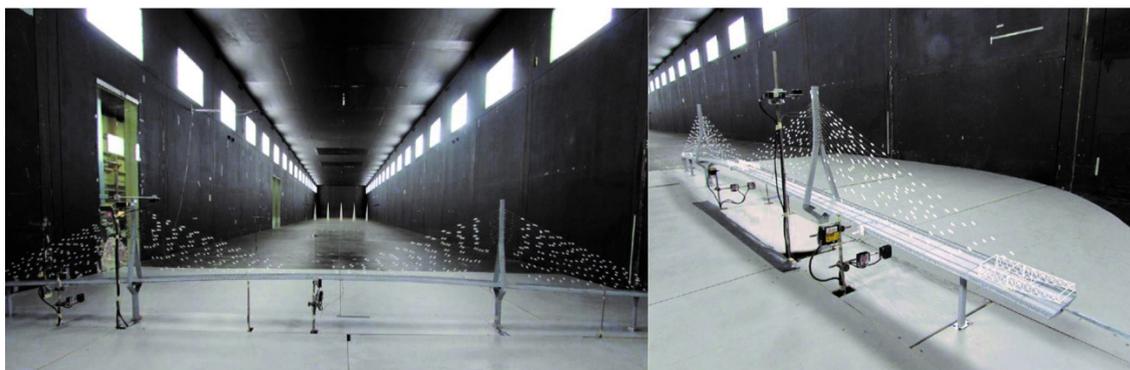
Óscar Ramón Ramos Gutiérrez. Louis Berger-APIA XXI-Universidad de Cantabria. Head of Bridges Division. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [oramos@louisberger.com](mailto:oramos@louisberger.com)

Haritz García Coca. Louis Berger-APIA XXI. Bridges Department. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [hagarcia@louisberger.com](mailto:hagarcia@louisberger.com)  
 Miguel Ángel Astiz Suárez. Universidad Politécnica de Madrid-CFCSL. Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [maastiz@cfcsl.com](mailto:maastiz@cfcsl.com)  
 Svend Ole Hansen. Svend Ole Hansen Aps. President. PhD in Wind Engineering. M.Sc. Civil Engineers. [soh@sohansen.dk](mailto:soh@sohansen.dk)  
 José María Terrés Nicolás. Oritia & Boreas. President. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [terresnicoli@oritaiyboreas.com](mailto:terresnicoli@oritaiyboreas.com)

Aeroelasticidad, túnel de viento, acción del viento sobre el tráfico, pantalla anti-viento.

Aeroelasticity, wind tunnel, wind action on traffic, windshield.

En los puentes de luces medias y grandes es frecuente que el modo de vibración de flexión lateral del tablero se sitúe como uno de los modos principales (si no el fundamental) del puente, pudiendo movilizar cargas horizontales de viento significativas. Es este uno de los primeros motivos por los que, desde una etapa temprana, la preocupación en la mejora del comportamiento dinámico es una de las tareas principales del diseño de puentes atirantados o colgantes de similar naturaleza al Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz. Así, se busca reducir el coeficiente aerodinámico de arrastre del tablero con actuaciones tales como reducir su canto efectivo, cuidar las formas de los ejes de ataque o, incluso, el detalle de los mismos. Igualmente, se persigue preservar la rigidez torsional del conjunto de la estructura, y mantener la debida separación entre las frecuencias de



Maqueta para el modelo aeroelástico integral. A) Situación de servicio. B) Situación de construcción



Maqueta de modelo seccional. Estudio de influencia de las torres en la acción del viento sobre los vehículos

torsión y flexión vertical. De esta forma se puede asegurar que la inestabilidad a flutter se alcance para velocidades de viento superiores a las de diseño para estados límites últimos.

El Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz ha sido objeto de estudios y ensayos de viento propios de un puente de esta naturaleza, según las metodologías más avanzadas entre las que comprende el estado del arte. Se han realizado ensayos aeroelásticos en túnel de viento de capa límite de modelos de puente completo y durante las fases constructivas, no observándose riesgos de inestabilidades para las velocidades de cálculo consideradas. Igualmente se realizaron ensayos seccionales estáticos y dinámicos, así como un estudio exhaustivo de la acción del viento sobre los vehículos que ha permitido, entre otros, cuantificar los efectos favorables para el tráfico de la presencia de la pantalla anti-viento.

En este artículo se realiza una descripción de los principales ensayos y estudios desarrollados tanto en la fase de proyecto como en la fase de obra con la configuración final del puente.

## 522. LA INYECCIÓN DE TENDONES EN PUENTES DE LOS EE. UU.: LA SAGA CONTINÚA

### TENDON INJECTION IN USA BRIDGES: THE SAGA CONTINUE

Juan José Goñi Baamonde. Garcia Bridge Engineers. P.A. Vicepresidente. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Ph.D. [juangoni@garciabridge.com](mailto:juangoni@garciabridge.com)

Antonio Marino GARCÍA BENÍTEZ. Garcia Bridge Engineers. P.A. Presidente. Ingeniero Civil, MSCE. [amgarcia@garciabridge.com](mailto:amgarcia@garciabridge.com)

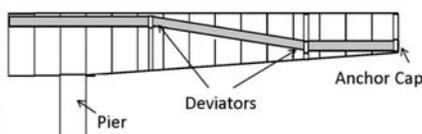
Inyección, tendón, lechada, corrosión, post-tensado.

*Injection, tendon, grout, corrosion, post-tensioning.*

En el III Congreso de ACHE (Zaragoza, 2005) los autores presentaron una comunicación titulada "Inyección de tendones: patologías, su detección y soluciones adoptadas" en la que los autores relataron los casos de rotura de tendones en estructuras post-tensadas de EEUU. debido a la corrosión del acero y las medidas adoptadas por las administraciones para mejorar la inyección de tendones. Recientemente, se han detectado casos nuevos de rotura de tendones que habían sido

### Ringling Bridge, Sarasota Florida

- Both cases due to corrosion
- Segregation of the grout
- Unreacted (putty) paste



Rotura de un tendón exterior-Florida 2011

### Ringling Bridge, Sarasota Florida

•January 28, 2011 tendon found on the floor while doing electrical inspection.

•July 11, 2011 second failed tendon found.

•Service life of ~8 years.



Rotura de un tendón exterior-Florida 2011

inyectados en base a las nuevas especificaciones adoptadas. Estos nuevos fallos han llevado al Departamento de Transporte de Florida a adoptar unas nuevas especificaciones que eliminan los productos basados en cemento en favor de unos productos basados en ceras microcristalinas (relleno flexible). Esta comunicación relatará los nuevos casos de corrosión de tendones y las nuevas especificaciones adoptadas por el Estado de Florida.

## 530. CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE UN AMORTIGUADOR DE MASA SINTONIZADA (TMD) PARA LA ATENUACIÓN DE VIBRACIONES DE LOS TIRANTES DE UN PUENTE

### EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF A TUNED MASS DAMPER (TMD) FOR ATTENUATING VIBRATIONS OF THE CABLES OF A BRIDGE

José Manuel López Collantes. Oritia & Boreas. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [lopezcollantes@oritayboreas.com](mailto:lopezcollantes@oritayboreas.com)

José María Terrés Nicoli. Universidad de Granada/Oritia & Boreas. CEO. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jterres@ugr.es](mailto:jterres@ugr.es)

Christian Mans. Oritia & Boreas. COO. PhD, Civil Engineering. [mans@oritayboreas.com](mailto:mans@oritayboreas.com)

José Martínez Salcedo. FCC Construcción, S.A. Director Servicio Obras Especiales. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jmsalcedo@fcc.es](mailto:jmsalcedo@fcc.es)

Amortiguador de masa sintonizada, vibración de cables.

*Tuned mass damper, cable vibration.*

Los elementos estructurales de baja frecuencia natural de vibración son susceptibles de presentar un comportamiento dinámico inadmisiblemente a causa de la acción del viento, pudiendo comprometer la seguridad estructural. Uno de estos elementos son los cables de atirantamiento de puentes, como los empleados de manera provisional en un Viaducto. Con objeto de atenuar su respuesta se diseñaron amortiguadores de masa sintonizada (TMD), sintonizables a las frecuencias de vibración de los distintos tirantes mediante la instalación de masa



Figura 1. Vista de prototipo y dispositivo de ensayo para caracterización

adicional. Previamente a su instalación, se procedió a determinar experimentalmente los principales parámetros dinámicos del amortiguador, como frecuencia natural de vibración y amortiguamiento.

El procedimiento de caracterización empleado se basó en el aumento de la amplitud de la respuesta de un sistema cuando la frecuencia de excitación se acerca a la natural de vibración. De esta manera, se aplicaron excitaciones de tipo armónico de distinta frecuencia sobre el amortiguador y se registró su respuesta. Para poder establecer una comparación entre los ensayos se fijó una aceleración máxima común para el forzamiento, modificándose la amplitud para obtener las distintas frecuencias de excitación. El amortiguamiento del sistema se obtuvo a partir de la frecuencia natural de vibración y la amplitud de la respuesta.

La vibración fue provocada mediante un actuador lineal eléctrico, y la respuesta del actuador y de las masas del amortiguador fue monitorizada mediante acelerómetros triaxiales conectados a un sistema de adquisición de datos (fig. 1). El sistema completo se fijó sobre una estructura metálica especialmente diseñada para tal fin, y cuyo diseño se realizó imponiendo que sus frecuencias naturales de vibración fueran dos órdenes de magnitud superior a la esperada, con el fin de evitar un acoplamiento de las respuestas.

Mediante el cálculo de la transmisibilidad entre la amplitud del forzamiento y la de la respuesta estacionaria del amortiguador se identificaron los principales parámetros de comportamiento dinámicos, corroborándose con los valores obtenidos mediante la densidad espectral de potencia y composición del vector aceleración según el plano de desplazamiento. En la figura 2 se representa la relación entre transmisibilidad y frecuencia de excitación para dos configuraciones de amortiguador de masa sintonizada estudiadas, incorporando un amortiguador de fluido viscoso adicional para incrementar el amortiguamiento y sin incorporarlo.

El desarrollo del estudio permitió por una parte efectuar una comparación entre los parámetros dinámicos reales y los hallados teóricamente, así como detectar los elementos del amortiguador cuyo comportamiento real difería del teórico y debieron corregirse.

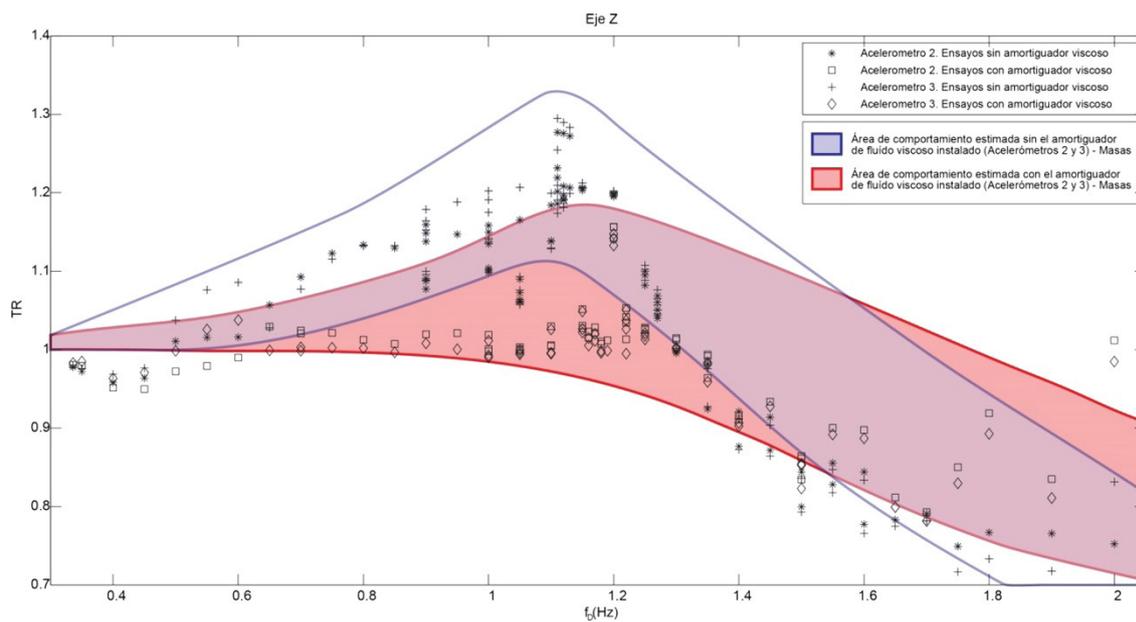


Figura 2. Dominio de respuesta de las distintas configuraciones estudiadas para el TMD

## 549. VIADUCTO SOBRE JAMAL ABDUL NASSER STREET, KUWAIT

### VIADUCT OVER JAMAL ABDUL NASSER STREET (KUWAIT)

Luis Matute Rubio. IDEAM, S.A. Director General. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [luis.matute@ideam.es](mailto:luis.matute@ideam.es)

Javier Torrico Liz. FHECOR S.A. Director de División. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jatl@fhecor.es](mailto:jatl@fhecor.es)

Daniel Martínez Agromayor. IDEAM, S.A. Director de Departamento de Puentes. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [daniel.martinez@ideam.es](mailto:daniel.martinez@ideam.es)

Javier Milián Mateos. FHECOR S.A. Jefe de Equipo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [javier.milian@fhecor.es](mailto:javier.milian@fhecor.es)

Jesús Martín Suárez. IDEAM, S.A. Director de Asistencias Técnicas. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jesus.martin@ideam.es](mailto:jesus.martin@ideam.es)

Reyes García Orduña. IDEAM, S.A. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [reyes.garcia@ideam.es](mailto:reyes.garcia@ideam.es)

Alejandro Abel Núñez. FEHOR S.A. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [aan@fhecor.es](mailto:aan@fhecor.es)

Alberto Nicolás Pazo. IDEAM, S.A. Ingeniero Projectista. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [alberto.nicolas@ideam.es](mailto:alberto.nicolas@ideam.es)

Construcción por dovelas, construcción vano a vano con viga lanzadera, Kuwait.

*Segmental construction, span-by-span erection with overhead erection girder, Kuwait.*

El viaducto sobre la calle Jamal Abdul Nasser, en Kuwait, está formado por un tronco principal de más de 7 km subdividido en 25 tramos. El ancho es variable hasta llegar a superar los 25 m en algunos tramos, aunque el ancho principalmente se encuentra en los 15,3 m. La luz tipo es de 45,00 m pero en algunos cruces llega a alcanzar los 57,00 m. La sección se compone de 2 cajones prefabricados de hormigón pretensado pero aumentan hasta a 5 cajones en las secciones de incorporación de rampas. La ejecución ha sido mediante dovelas prefabricadas de hormigón con una longitud aproximada de 3,00 m, cosidas mediante pretensado, tanto exterior como interior, y alzadas con grúas lanzaderas que salvaban la luz tipo de 45,00 m. En el caso de los vanos de mayor luz, la parte cercana a las pilas se ejecutaba en avance en



**Figura 1.** Montaje tronco principal con dovelas prefabricadas y grúa lanzadora



**Figura 2.** Montaje rampa de cruce con ejecución en voladizos con dovelas prefabricadas

voladizo para luego completar la zona central con el izado mediante las grúas lanzaderas.

Además de las unidades principales del tronco existen otras 4 unidades principales de anchos hasta 23,7 m y luz de 50 m.

El conjunto de estructuras se completa con 24 rampas de acceso y cruce del tramo principal cuya luz llega a alcanzar en algunos casos los 100,00 m. La ejecución ha sido mediante dovelas prefabricadas y avance en voladizo, las dovelas prefabricadas se cosían tanto con pretensado interior como con pretensado exterior.

Las pilas son rectangulares de ancho 4,00 m, están situadas sobre la mediana de la calle, y sobre ellas se disponen diagramas transversales ejecutados in situ que unen los distintos cajones prefabricados. La cimentación ha sido profunda con pilotes de diámetro 1.200 mm.

El proyecto original fue realizado por Louis Berger en 2008. No obstante durante 2012-2015 se realizó un proyecto modificado por Tony Gee and Partners (Hong Kong) y el Independent Checking ha sido realizado por FHEID (Ideam-Fhecor). La constructora ha sido una U.T.E de Rizzani de Eccher, OHL (Construcción), Boodai Constructions y Trevi.

## 560. PUENTE ARCO SOBRE EL RÍO WARTA EN GORZÓW WIELKOPOLSKI, POLONIA

### ARCH BRIDGE OVER RIVER WARTA IN GORZÓW WIELKOPOLSKI (POLAND)

Héctor Bernardo Gutiérrez. DRAGADOS. Dirección Técnica. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [hbernardog@dragados.com](mailto:hbernardog@dragados.com)

Conchita Lucas Serrano. DRAGADOS. Dirección Técnica. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. [clucass@dragados.com](mailto:clucass@dragados.com)

José Manuel Merayo Pérez. DRAGADOS. Project Manager. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jmmerayop@dragados.com](mailto:jmmerayop@dragados.com)

Gorzów Wielkopolski, puente arco, empuje.

*Gorzów Wielkopolski, arch bridge, launching.*

La vía rápida S3 es una carretera en Polonia que recorrerá el país desde el mar Báltico hasta llegar a la frontera con la República Checa, donde conectará con la autovía D11.



Vista del lugar de construcción

La segunda fase de la circunvalación de la ciudad de Gorzów Wielkopolski consiste en una duplicación de calzada y está siendo ejecutada por DRAGADOS. La obra incluye la ejecución de un puente sobre el río Varta, gemelo del que existe actualmente. Dicho puente consta de un vano principal sobre el río Varta, que es un arco metálico de tablero inferior de 120 m de luz, y los viaductos de aproximación que son tableros mixtos continuos con luz tipo de 60 m. La sección transversal es común a los tres tramos y está formada por dos cajones metálicos con losa superior de hormigón. El puente tiene una longitud total de 709 m y una anchura de 12,86 m.

Las pilas son fustes apantallados de hormigón y los estribos, cerrados. Toda la cimentación es profunda con pilotes de 1 m de diámetro.

El método de construcción elegido ha sido el de empuje del tablero, incluyendo el arco aunque sin las péndolas tesadas. Para ello se ha requerido una pila temporal en el río para reducir el vano principal a dos luces de 60 m. Tras finalizar el empuje, las péndolas son puestas en carga mediante descenso en la pila temporal, la cual es finalmente retirada. El peso total de estructura metálica a empujar es de 1.564 t para una longitud de 361 m.



Montaje de la estructura metálica

## 562. PUENTE ARCO IRIS: PUENTE TRANVIARIO SOBRE LA AUTOPISTA ESTE-OESTE, CONSTANTINE, ARGELIA

*RAINBOW BRIDGE: LIGHT-RAIL BRIDGE OVER THE EAST-WEST MOTORWAY, CONSTANTINE, ALGERIA*

Jorge Bernabeu Larena. Idom. Director de Proyectos. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jbl@idom.com](mailto:jbl@idom.com)

Javier Celemín Santillana. Idom. Director de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [celem@idom.com](mailto:celem@idom.com)

Diseño estructural, concepción estructural, construcción mixta, revestimiento, estética.

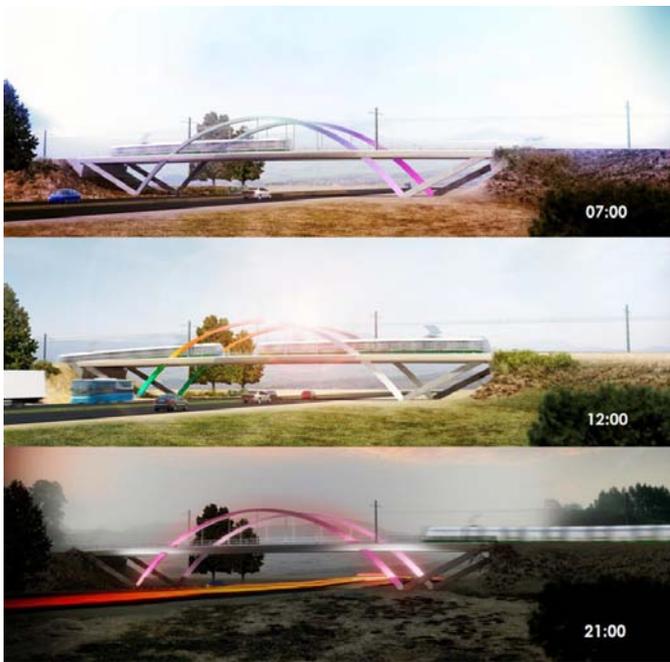
*Structural design, structural conception, composite construction, cladding, aesthetics.*

Constantine, conocida como la ciudad de los puentes, está emplazada en un privilegiado enclave natural protegido por profundos barrancos. Su conexión tranviaria entre la ciudad antigua y los nuevos desarrollos urbanos cruza sobre la principal arteria viaria del país: la autopista Este-Oeste. El puente sobre la autopista, actualmente en construcción, se plantea como un referente simbólico que da visibilidad a la actuación y conjuga el respeto a la tradición histórica de Constantine con la voluntad de modernización y su apuesta por el transporte público.

La estructura planteada retoma el arco, tipología de referencia entre el rico patrimonio construido de Constantine, actualizando su propuesta. Se plantea un doble arco metálico de 70 m de luz con un tablero mixto a media altura. Unos puntales inclinados unen los arranques del arco y los extremos del tablero en estribos. De esta forma se reduce los empujes horizontales en la cimentación pilotada de los arcos, a la vez que se plantea una estructura conjunta monolítica. Con la misma solución formal se plantean dos esquemas estructurales diferentes e igualmente oportunos. En su concepción de proyecto se plantea el empotramiento de arcos y puntales con la cimentación, asumiendo con esta parte del empuje horizontal y evitando el levantamiento en estribos. El proyecto de construcción emplaza apoyos deslizantes entre el nudo metálico de arco y puntal y el plinto de cimentación, de forma que se asegura la transmisión exclusivamente vertical a los pilotes; los esfuerzos horizontales se equilibran al actuar el tablero como tirante y precisa de apoyos que eviten el levantamiento en estribos. Se analizan, asimismo, distintas estrategias frente a las solicitaciones sísmicas.



El puente es un referente simbólico; una misma forma, diferentes esquemas estructurales



Las superficies dicróicas que recubren los arcos remiten a la imagen del arco iris

El carácter icónico de la propuesta se destaca con un recubrimiento de superficies dicróicas vidriadas en las caras laterales de arcos metálicos. Las láminas dicróicas varían de color según el ángulo de incidencia de la luz y a su vez ofrecen un color distinto de la luz atravesada. De esta forma, los arcos adoptan configuraciones cromáticas diversas con variaciones horarias, climáticas y estacionales, y el puente se convierte en un hito en el paisaje que por sus formas y colores remite a la imagen del arco iris.

### 565. PUENTE DUNA: INTERSECCIÓN VIARIA ENTRE ABI BAKR ROAD E IMAN SAUD ROAD, RIAD, ARABIA SAUDITA

*DUNE BRIDGE: INTERSECTION BETWEEN ABI BAKR ROAD AND IMAN SAUD ROAD, RIYADH (SAUDI ARABIA)*

Jorge Bernabeu Larena. Idom. Director de Proyectos. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jbl@idom.com](mailto:jbl@idom.com)

Ignacio Díaz Morcillo. Idom. Director de Proyectos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [ignacio.diaz@idom.com](mailto:ignacio.diaz@idom.com)

Diseño estructural, concepción estructural, construcción mixta, revestimiento, estética.

*Structural design, structural conception, composite construction, cladding, aesthetics.*

Riad está en proceso de transformación profunda de sus modos de movilidad, para dar respuesta a una de las ciudades de mayor crecimiento del planeta (8% anual en los últimos 40 años). El ambicioso plan de la nueva red de metro se completa con la remodelación de sus principales arterias viarias para convertirlas en autopistas urbanas. Las intersecciones se resuelven en tres niveles: un puente en el superior, el nivel intermedio a cota de calle para los giros y cambios de sentido y el nivel inferior en un falso túnel.

Algunos de estos cruces se desean destacar como elementos de referencia en el paisaje urbano, por lo que sus puentes deben asumir un valor simbólico y representativo. Es el caso de la estructura de paso de Abi Bakr Road sobre Imam Saud Road. Para liberar el falso túnel y los cruces viarios, se precisa un vano central de unos 80 m con un ancho de plataforma de 29 m para 3 carriles por sentido. Con esta luz, una solución de estructura inferior, tipo viga cajón o similar, exigiría bastante canto y una elevación de la rasante. Resulta más indicada una estructura superior que ofrece asimismo mayor visibilidad en consonancia con su carácter icónico. Entre 9 alternativas, la Arriyadh Development Authority (ADA) apostó por una solución que remitía a las geometrías onduladas de las dunas. La estructura es una doble viga continua en celosía metálica, con una longitud de 326,4 m y una distribución de vanos de 28,8 + 48 + 48 + 76,8 + 48 + 48 + 28,8. El alzado de las vigas corrige la envolvente de momentos, suavizando el pico de los momentos negativos sobre pilas para aproximarse al sinuoso perfil ondulado de las dunas de arena. El tablero se define mediante potentes vigas transversales mixtas de 28 m de luz. La estructura resistente se cubre con un recubrimiento de aluminio anodizado que oculta la celosía y ofrece la identidad visual del proyecto, tanto de día en sus formas y colores, como de noche con los juegos de perforaciones e iluminación. El puente está actualmente en servicio, con la estructura terminada, mientras se completan la disposición de recubrimientos, iluminación y acabados.



Puente Duna de día y de noche



Trabajos de montaje de la chapa de acero nervada

## 35. PUENTE SOBRE EL RÍO CHICHE EN QUITO, ECUADOR

### BRIDGE OVER CHICHE RIVER IN QUITO, ECUADOR

Juan Manuel Calvo Rodríguez. Pondio Ingenieros. Presidente. Ingeniero de Caminos. [jcalvo@pondio.com](mailto:jcalvo@pondio.com)

Joaquín Arroyo Márquez. Pondio Ingenieros. Director Unidad Obra Civil. Ingeniero de Caminos. [jarroyo@pondio.com](mailto:jarroyo@pondio.com)

Alfonso Fernández Pacheco Amor. Pondio Ingenieros. Responsable de Proyectos. Ingeniero de Caminos. [afernandez@pondio.com](mailto:afernandez@pondio.com)

Fernando Romo. Romo Consultores. Director. Ingeniero Civil. [fromo@usfq.edu.ec](mailto:fromo@usfq.edu.ec)

Puente pórtico, voladizos sucesivos, apoyos triple esféricos.

Frame bridge, cantilever method, triple friction pendulum bearings.

El puente sobre el río Chiche forma parte del proyecto vial RUTA VIVA de acceso al nuevo aeropuerto de la ciudad de Quito, en Ecuador. A continuación se hace un resumen de los aspectos más destacados de su proyecto y construcción.

La carretera tiene dos calzadas separadas de 14 metros de ancho, incluyendo carriles, arcenes y pretilas. Se han proyectado y construido dos puentes paralelos idénticos.

El valle del río presenta un perfil en forma de V con pendientes muy verticales, además la carretera atraviesa el valle con una altura aproximada de 130 metros sobre el cauce del río. Con estas condiciones se planteó un puente pórtico de tres vanos con las pilas en forma de V.

La longitud total del puente es de 315 metros, la distancia entre los arranques de las dos pilas es de 210 metros. De esta manera el puente pórtico queda constituido por tres vanos de 73 + 169 + 73 metros.

El tablero es de sección cajón de hormigón pretensado. El canto del tablero es variable en cada vano según una parábola de segundo grado. El canto en pilas es 8,20 m y en centro de vano y estribos de 4,20 m. Esto da una relación canto/luz de 1/20 en pilas y de 1/40 en centro del vano principal.

Las dos pilas, en forma de V, se encuentran empotradas al tablero. La forma de la V no es simétrica, pues presenta una inclinación mucho más tendida hacia los estribos que hacia el vano principal. La pata frontal de las pilas es hueca de dimensiones 6 × 4 m y la pata dorsal es maciza de 6 × 2 metros.

Las pilas disponen en su base de dos apoyos pendulares de fricción, los cuales proporcionan un sistema muy eficaz de aislamiento sísmico a través de la energía disipada en cada ciclo de histéresis. Al estar



Puente totalmente terminado

los apoyos en la base de las pilas se consigue aislar la totalidad de la masa del puente. Mediante el empleo de este tipo de apoyos se garantiza que el puente se comporta elásticamente frente a un sismo y estará listo para su uso después de un evento sísmico sin necesidad de hacer grandes reparaciones.

El vano central se construyó en voladizos sucesivos y los vanos laterales con una cimbra apoyada en la pata dorsal de las pilas. Los dos puentes han sido construidos por la empresa PUENTES Y CALZADAS en un plazo de un año.

## 295. TABLERO DE VIGAS PREFABRICADAS EN EL METRO DE RIAD

### PRECAST CONCRETE BEAM DECKS IN RIYADH METRO

Hugo Corres Peiretti. Grupo de Hormigón Estructural ETSICCP-UPM. Catedrático. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[hcp@he-upm.com](mailto:hcp@he-upm.com)

David Fernández-Ordoñez. FIB. Secretario General. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [secretary.general@fib-international.org](mailto:secretary.general@fib-international.org)

Jesús Fernández de Bobadilla. FHECOR Ingenieros Consultores. Jefe de Equipo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. [jjfbp@fhecor.es](mailto:jjfbp@fhecor.es)

Benjamín Domínguez Santana. FHECOR Ingenieros Consultores. Ingeniero de Proyecto. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

[bds@fhecor.es](mailto:bds@fhecor.es)

Hormigón, prefabricado, metro, Riad.

Concrete, precast, metro, Riyadh.



Pilas en V terminadas y avance en voladizo

FHECOR ha realizado para ATESVI y DELTA el proyecto de detalle de las vigas prefabricadas del Metro de Riad.

El alcance de los trabajos realizado por FHECOR ha incluido el proyecto de detalle de una serie de tableros prefabricados, formados por dos vigas con sección transversal en U, para las siguientes luces tipo: 24,69 m, 26,00 m, 28,00 m, 30,21 m, 32,00 m, 36,00 m, 36,73 m, 37,43 m, y 40,00 m.

La longitud total de estos tableros suma más de 21 km, distribuidos como sigue:

- 18 vanos de 40,00 m de longitud.
- 2 vanos de 37,43 m de longitud.
- 2 vanos de 36,70 m de longitud.

- 436 vanos de 36,00 m de longitud.
- 128 vanos de 32,00 m de longitud.
- 2 vanos de 30,21 m de longitud.
- 14 vanos de 28,00 m de longitud.
- 2 vanos de 27,92 m de longitud.
- 24 vanos de 26,00 m de longitud.
- 2 vano de 24,69 m de longitud.

La sección transversal está formada por las dos vigas en U prefabricadas y postesadas, sobre las que se tiene una losa completamente prefabricada salvo en las zonas situadas sobre las almas y en las zonas entre prelosas que se hormigonan en segunda fase para dotar a la losa de continuidad longitudinal.

El cálculo realizado ha reproducido el proceso constructivo previsto, que ha consistido en las fases que siguen:

- Postesado (etapa 1): 3 días.
- Postesado (etapa 2) - Opción a 28 días.
- Postesado (etapa 2) - Opción b 50 días.
- Colocación de losa: 60 días.
- Carga muerta 1 (GRC, aceras): 120 días.
- Carga muerta 2 (vía): 360 días.

El trabajo, desarrollado entre los años 2014 y 2016, ha supuesto una experiencia enriquecedora en la búsqueda de soluciones optimizadas y ajustadas a las necesidades de la obra en un entorno complejo.



Colocación de vigas tipo de 36 m



Viga colocada sobre pila

## S2. EDIFICACIÓN

### 10. EL CONCEPTO RESISTENTE COMO SISTEMA CONFIGURADOR DE PROYECTOS SINGULARES: LA ESTRUCTURA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO 112 REUS

#### THE RESISTANT CONCEPT AS A CONFIGURATOR SYSTEM OF SINGULAR PROJECTS: THE ENVELOPE STRUCTURE OF THE 112 REUS BUILDING

Roger Senís López. Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor e Investigador. Dr. Arquitecto. [roger.senis@upc.edu](mailto:roger.senis@upc.edu)

Edificio 112 Reus, relación arquitectura-estructura, estructura envolvente, viga de celosía, herramientas BIM.

112 Reus building, architecture-structure relationship, envelope structure, lattice girder (truss), BIM tools.

El diseño y análisis estructural del Centro de Llamadas de Urgencia 112 Catalunya en Reus constituyó un reto técnico y tecnológico, dadas las características y las dimensiones de la estructura, con un claro objetivo: obtener una buena resolución del proyecto sobre la base de que la concepción espacial de un edificio depende también de su concepción resistente. Las necesidades funcionales del edificio dieron paso a una tipología edificatoria singular e innovadora sin pilares en la caja operativa del edificio multifuncional.

En este sentido, la singularidad del proyecto reside en disponer el sistema resistente como envolvente exterior (pieles portantes), confeccionando una innovadora estructura contenedora, cuya relevancia reside en los aspectos de optimización estructural de la composición, la utilización de fachadas resistentes y la liberación del espacio interior. Para ello, se proyectaron vigas de celosía de grandes dimensiones colgadas únicamente de cuatro núcleos de hormigón para atender satisfactoriamente las cuestiones formales y necesidades arquitectónicas, funcionales y constructivas.

El desarrollo del proyecto se realizó con un equipo multidisciplinar que trabajó conjuntamente mediante el uso de herramientas BIM, bajo la coordinación del BIM Manager. El uso de este tipo de herramientas de modelado permitió la correcta y necesaria coexistencia formal entre arquitectura y estructura. Para ello, se utilizó el Revit Architecture como herramienta de trabajo conjunta, con un único modelo para introducir los distintos sistemas configuradores del proyecto (arquitectura, ingeniería, etc.). Posteriormente, mediante el módulo Revit Structures se definieron con mayor detalle las caracte-



Vista general del edificio 112 Reus desde la fachada sur (imagen cedida por Adrià Goula)