



Torre de hormigón armado con tirantes oblicuos tensionados y calzada suspendida durante la fase de construcción.

Allplan en la práctica

TRES SIGLOS DE CONSTRUCCIÓN DE PUENTES SOBRE EL ESTUARIO DE FORTH

El Queensferry Crossing, en las proximidades de Edimburgo (Escocia), es un puente atirantado con tres torres de más de 200 m de altura cada una. Está considerado uno de los proyectos de infraestructura más grandes de Europa y gracias a los ingenieros de Leonhardt, Andrä und Partner (LAP) y Allplan Engineering, se proyectó con una planificación de armados en 3D de última tecnología.

Debido a sus características, el estuario de Forth, al sur de Escocia, requiere de unas infraestructuras con necesidades especiales. Aquí, muy próximos entre sí, tres puentes cruzan un brazo de mar que penetra hasta 80 kilómetros en tierra. En este punto, el puente de Forth, un puente de acero

construido en 1890, acoge desde entonces el tráfico ferroviario. Desde el verano de 2017, el puente colgante de Forth Road, construido en 1964, está destinado exclusivamente al tránsito de autobuses, bicicletas y peatones. A partir de ahora, el nuevo puente de Queensferry Crossing se usará para el tráfico rodado, complementando así a los dos anteriores. Este puente cuenta con dos carriles, más otro adicional para emergencias en cada sentido. Mientras que el puente de Forth fue diseñado y ejecutado mediante dibujos a mano sobre papel, los planos de armadura y ejecución del Queensferry Crossing se han realizado de manera tridimensional en Allplan Engineering.



El Queensferry Crossing es uno de los proyectos de infraestructura más grandes de Europa.

EL RETO

Para los diseñadores de Jacobs Arup Joint Venture no resultó tarea fácil desarrollar un concepto para este nuevo puente. Éste no sólo debía funcionar de manera impecable, sino también presentar un diseño al nivel del «puente de Forth», declarado patrimonio de la Humanidad. El estudio de ingeniería Leonhardt, Andrä und Partner, se encargó de la licitación, la planificación de la ejecución y los cálculos de la instalación (junto con Rambøll, Gifford y Grontmij). El resultado del proceso de diseño fue un puente atirantado de 2.094,5 metros de longitud con tres torres sobre el agua.

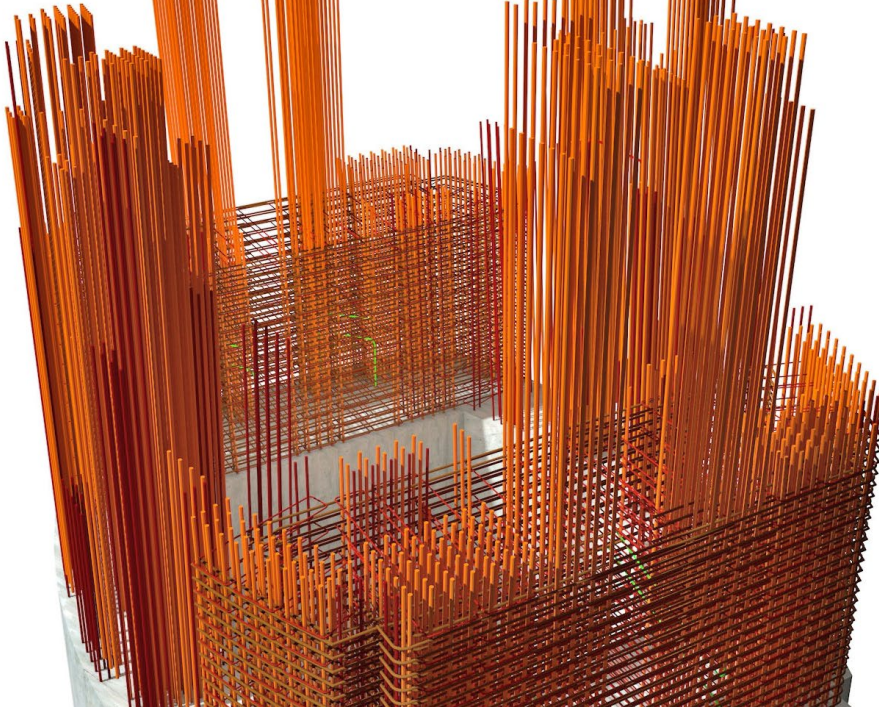
Entre cada una de estas tres torres de hormigón armado, de hasta 210 metros de altura, se extiende un tramo principal de 650 metros. Esta medida resulta de la anchura de los canales navegables que pasan por debajo. La envergadura de las secciones laterales es de 223 metros, y la de los puentes de acceso desde tierra de 104 metros. La torre central fue la más complicada a nivel constructivo. En los puentes atirantados clásicos, la torre central se ancla a unas secciones laterales de soporte con una estructura rígida situadas en el margen. Sin embargo, debido a los elevados momentos flectores, este procedimiento no puede utilizarse en un puente de tres torres. A esta limitación, se suma el hecho de que el puente no debía destacar excesivamente entre las dos construcciones existentes.

LA SOLUCIÓN

Para el anclaje de la torre central, los planificadores recurrieron a un solapamiento de los tirantes de 146 metros en el centro de cada sección. Esta particularidad constructiva de la obra permitió alcanzar la estabilización necesaria y, al mismo tiempo, obtener un puente de diseño sofisticado y visualmente atractivo.

Las tres sólidas torres de hormigón armado se van estrechando desde el borde superior de los cimientos hasta la punta, pasando de 14 x 16 metros a tan solo 7,50 x 5 metros. Para la planificación de las torres, LAP generó un modelo de armaduras 3D completo con Allplan Engineering. Es la primera vez que se utiliza este procedimiento en un puente de este calibre, y el trabajo resultó especialmente complicado. Debido al estrechamiento vertical de las secciones, era necesario colocar la armadura de cada uno de los segmentos de las torres con gran precisión. Este procedimiento impuso unos elevados requisitos al software CAD utilizado. Ese fue otro de los motivos que llevó a los planificadores de LAP a realizar los planos de armadura y ejecución con Allplan Engineering y apostar por la experiencia de la empresa subcontratista CHP.

De manera similar a las torres, la superestructura, en la que se encuentran los carriles de ambos lados, también presenta un aspecto sofisticado. En la zona de las torres y de los cables la superestructura



Infografía de una de las torres de 210 metros de altura del Queensferry Crossing.

tiene tres partes. Mientras que la superestructura en la torre central tiene una conexión monolítica, las dos torres exteriores se introducen en ella, donde quedan alojadas por medio de un tope transversal. Este esquema de apoyo evita que se generen grandes tensiones entre las torres.

Cimientos y montaje

La torre central del puente atirantado se cimentó sobre la isla de Beamer Rock con la ayuda de una estructura metálica prefabricada. La cimentación de las torres laterales penetra hasta 40 metros en el terreno mediante cajones circulares metálicos prefabricados. El hormigonado de las torres se realizó en un encofrado trepante interior y exterior. Para poder llevar el hormigón hasta la punta de las torres, se necesitaba un conducto ascendente con una presión de 200 bar. Teniendo en cuenta que la obra se estaba realizando principalmente en las aguas abiertas del estuario de Forth, se trabajó con grúas flotantes y pontones de transporte. La mayor parte de la armadura se prefabricó en el puerto vecino de Rosyth y posteriormente se tuvo que elevar in situ con la grúa torre.

El Queensferry Crossing es el puente más grande para el que se ha realizado una planificación de armado en 3D íntegramente con ayuda de Allplan Engineering. Gracias a la planificación precisa y sin colisiones, pudieron respetarse tanto los plazos como los costes.

El 4 de septiembre de 2017, la reina Isabel II inauguró oficialmente el Queensferry Crossing. Los días 2 y 3 de septiembre de 2017, 50.000 invitados tuvieron la oportunidad única de cruzar el puente a pie.

> **Planificación de armados precisa y sin colisiones gracias a Allplan Engineering**

> **Tramitación descentralizada del proyecto gracias a las posibilidades de intercambio de datos de Allplan Engineering.**

> **Cumplimiento de los plazos de entrega gracias a Allplan Engineering**

Constructor: Transport Scotland

Empresas constructoras: Forth Crossing Bridge Constructors (HOCHTIEF, American Bridge International, Dragados y Morrison Construction)

Planificación: Leonhardt, Andrä und Partner, Rambøll, Gifford y Grontmij



«Con su módulo de armados 3D, Allplan ha supuesto una ayuda inestimable a la hora de planificar la ejecución, lo que nos ha permitido cumplir todos los plazos y entregar una planificación del armado precisa y sin conflictos».

Andreas Hartung, jefe del equipo de armado de las torres y subcontratado de LAP-Consult/Alemania

EL CLIENTE

La empresa multinacional de ingeniería Leonhardt, Andrä und Partner (LAP) se especializó desde sus inicios en la ingeniería estructural a las órdenes de Fritz Leonhardt. De ahí es de donde surgió el enfoque de LAP. Uno de los puntos fuertes de la empresa era, y sigue siendo, la construcción de puentes y edificios de acero y hormigón armado.

A raíz de ahí, surgieron numerosos y excelentes proyectos de ingeniería, como la torre de televisión de Stuttgart (1955), la cubierta del Estadio Olímpico de Múnich (1971), el puente de Gálata en Estambul (1985), la Gläserne Manufaktur en Dresde (1999) y, ahora, el puente de Queensferry Crossing (2017).

ACERCA DE ALLPLAN

ALLPLAN es un proveedor global de software de diseño BIM para el sector AEC. Fieles a nuestro lema "Design to build", cubrimos todo el proceso: desde el concepto inicial hasta el diseño detallado final para la obra y la prefabricación. Los usuarios de Allplan crean entregables de la más alta calidad y nivel de detalle gracias a los flujos de trabajo ágiles. ALLPLAN ofrece una potente tecnología

integrada en la nube para respaldar la colaboración interdisciplinar en proyectos de construcción e ingeniería civil. En todo el mundo, más de 500 empleados dedicados continúan escribiendo la historia de éxito de ALLPLAN. Con sede en Munich, Alemania, ALLPLAN forma parte del Grupo Nemetschek, pionero en la transformación digital del sector de la construcción.

ALLPLAN Systems España S.A.

Calle Raimundo Fernández Villaverde , 30
Esc.3, 1º Of.314
28003 Madrid
Tel: +34 915 71 48 77
info.es@allplan.com
allplan.com