e-BrIM

OCTUBRE 2026



e-BrIM

SUMARIO

INTEGRACIÓN DEL DISEÑO PARAMÉTRICO, BRIM Y EL ANÁLISIS MEF EN EL PROYECTO DEL INTERCAMBIO DE RAV-HAMECHER — página 8
Yoni Pestes, ingeniero jefe de diseño de puentes, Via Bridges

DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO BASADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS PARA PRESERVAR LA INTEGRIDAD DE LOS PUENTES ATIRANTADOS — página 20
Yangzi LIN, DEng, FHKIHT, RSE, Director general y director técnico, Cable Bridge Technology

ENTREVISTA A FRANCISCO MILLANES MATO, CATEDRÁTICO DE ESTRUCTURAS Y PUENTES METÁLICOS Y MIXTOS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, ESPAÑA — página 25
Magdaléna Sobotková

MODELADO DE UN PASO SUPERIOR URBANO CURVO Y MIXTO, SOBRE UNA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD — página 35
Nikolai Kozak, PhD, BIM Manager del proyecto; Dmitry Yaroshutin, director general de la empresa; Oleg Utenkov, director de proyecto; Centre of Competence Bridges; Nikolai Daliaev, ingeniero jefe, empresa constructora Baltiysky Bereg

DE LOS PLANOS 2D A LA OBRA DIGITAL: QUÉ DATOS PUEDE PREPARAR UN PROYECTISTA PARA LA EJECUCIÓN DE PUENTES Y OBRAS LINEALES — página 44
Ing. Pavel Vlasák, Hyperon Advisory; Ing. David Novák, Ing. Magdalena Křečková, AFRY CZ

SISMICA S&G 2026: UNA FUSIÓN ENTRE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y LA INGENIERÍA GEOTÉCNICA EN EL MUNDO REAL — página 50
Edinson Guanchez, CEO, Sismica Institute

Portada: *Proyecto del intercambiador de Rav-Hamecher* ***Créditos:*** *Via Bridges*

Contraportada: *Inspección de cables mediante un robot* ***Créditos:*** *Yangzi LIN*

REVISTA INTERNACIONAL INTERACTIVA REVISADA SOBRE MODELADO DE INFORMACIÓN DE PUENTES

Se publica en www.e-brim.com en inglés y en www.e-brim.com/es en español. Acceso abierto.

Fecha de publicación:
20 de febrero, 20 de mayo y 20 de octubre.

Número: 03/2026, octubre. Año: V.

Editora jefa: Magdaléna Sobotková, MSc.

Contacto: magda@e-mosty.cz

Consejo editorial

Editor: BRIDGES ONLINE, s.r.o. (Ltd.)
Velká Hraštice 112, 262 03 República Checa
Número de identificación fiscal: CZ02577933

ISSN: 3029-8555

©Todos los derechos reservados. Por favor, respete los derechos de autor. Cuando haga referencia a cualquier información contenida en este documento, utilice el título de la revista «e-BrIM», el volumen, el autor y la página. En caso de duda, póngase en contacto con nosotros. Gracias.

Estimados lectores,

En el primer artículo, los autores presentan el diseño del **intercambiador Rav-Hamecher**. *Se centran en los puentes BR-01 y BR-02, que sirvieron de base para un flujo de trabajo paramétrico-analítico integrado en un entorno de diseño único y coordinado.*

El segundo artículo explora las posibilidades que ofrecen las **inspecciones especializadas de cables**, *que normalmente incluyen inspecciones superficiales de las cubiertas de polietileno, ensayos no destructivos para detectar cables rotos y corrosión en el interior de las cubiertas, pruebas de resistencia de los cables e inspecciones detalladas de componentes estructurales como cabezales de anclaje y conductos de cables.*

En mi entrevista con el **profesor Francisco Millanes Mato**, *hablamos sobre su trayectoria profesional, los proyectos que le resultan más satisfactorios a nivel personal y su visión sobre el futuro del sector de la construcción de puentes, incluido el uso de BIM y de tecnologías emergentes como la IA.*

El siguiente artículo se centra en la **construcción de un paso elevado** *que, a pesar de su longitud relativamente corta y su anchura estándar (dos carriles de circulación, senderos peatonales y un carril bici de uso compartido), desempeña un papel importante en la conexión de dos zonas residenciales separadas por una línea de ferrocarril de alta velocidad.*

El último artículo de este número explora **los avances actuales en BIM para el diseño**, *basándose en la experiencia profesional de los autores. Mediante ejemplos de infraestructuras de transporte, muestra cómo los datos de diseño pueden respaldar los cálculos de volumen de movimiento de tierras utilizando modelos IFC, la guía de maquinaria a través de superficies de juntas de cimentación proporcionadas en formato LandXML y la generación dinámica de secciones transversales en cualquier estación sin necesidad de generar numerosos planos manualmente.*

Finalmente, recordamos la **SISMICA S&G 2026 — Conferencia Internacional sobre Ingeniería Estructural y Geotécnica**, *un evento internacional en línea que reúne dos disciplinas que a menudo se discuten por separado, pero que están estrechamente relacionadas en la práctica de la ingeniería: la ingeniería estructural y la geotécnica. Esta conferencia también marca el inicio de un* **nuevo evento anual** *organizado por el Instituto SISMICA.*

Me gustaría **agradecer a todas las personas y empresas** *que han colaborado en este tema y me han ayudado a elaborarlo; muchas gracias a los miembros del* **Consejo Editorial**, *y a* **Sandra Komar Frimpong, Borja Balbastre Camarena, Carla Ody Julian** *y* **David Herrero Mediavilla** *por su ayuda con las revisiones lingüísticas.*

También **agradecemos a nuestros socios su apoyo**.

El próximo número de e-BrIM, en inglés y español, se publicará el 20 de febrero de 2027.

Aceptamos artículos para la revista e-BrIM, tanto en inglés como en español. Si desea enviar un artículo, póngase en contacto conmigo en **magda@e-mosty.cz**. *Las* **instrucciones para los autores** *están disponibles en nuestros sitios web:* **www.e-brim.com** *y* **www.e-brim.com/es** .

Magdaléna Sobotková, MSc.

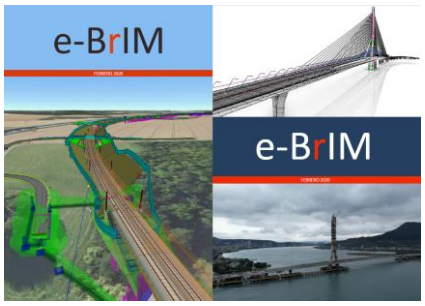
Editora jefa

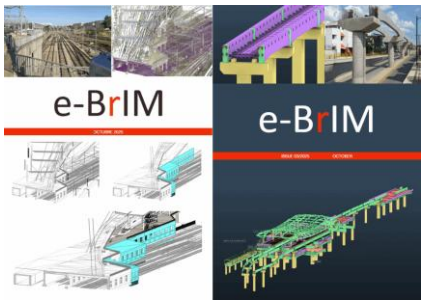
e-BrIM

SUBSCRIBIRSE

NUESTRAS ÚLTIMAS EDICIONES









La revista **e-BrIM** es una publicación internacional, interactiva, revisada por expertos independientes sobre modelado de información de puentes.

Se publica en www.e-brim.com en inglés y en www.e-brim.com/es en español, y se puede leer de forma gratuita (acceso abierto), con posibilidad de suscribirse.

Generalmente, se publica tres veces al año: el 20 de febrero, el 20 de mayo y el 20 de octubre.

Las revistas permanecen disponibles **en línea en nuestro sitio web** en formato PDF.

La revista ofrece **artículos originales** sobre **tecnología digital aplicada a puentes**, desde la planificación inicial hasta la operación y el mantenimiento, **innovaciones teóricas y prácticas, estudios de casos** y muchos otros contenidos internacionales.

Su formato electrónico permite publicar fotos, vídeos, planos, modelos 3D, enlaces y otros contenidos en alta calidad.

Nuestro objetivo es incluir toda la información **importante y técnica**, compartir la **teoría y la práctica**, **conocimientos y experiencia** y, al mismo tiempo, mostrar la elegancia y la belleza de las estructuras.

Nos complace ofrecer apoyo mediático a conferencias relevantes sobre BIM y puentes, así como a actividades educativas, proyectos benéficos, publicaciones, etc.

Nuestro Consejo Editorial está compuesto por especialistas en BIM y puentes e ingenieros del ámbito académico, de la investigación y empresarial, así como de la industria de los puentes.

La revista está dirigida principalmente a ingenieros especializados en puentes, diseñadores, promotores, contratistas, especialistas en BIM, docentes universitarios, estudiantes o simplemente cualquier persona apasionada por los puentes.

ISSN 3029-8555

e-BrIM

NUESTROS SOCIOS

ALLPLAN
A NEMETSCHEK COMPANY

ARUP

BRIDGE DRAINAGE

BRUGG Fatzer

BSR | BPR
Dr. Schäpertöns Consult

DIAMANT
POLYMER SOLUTIONS

Dlubal

MAURER

Pipenbaher Consulting Engineers
PIPENBAHER INŽENIRJI d.o.o., Slovenia

ponting
bridges

RÚBRICA® BRIDGES

SISMICA
INSTITUTE

SPECIÁLTERV

TSC innovation.

TYLin

COOPERAMOS CON

structurae

e-mosty

SUBSCRIBIRSE

La revista **e-mosty** (“e-puentes”) es una publicación internacional, interactiva, revisada por expertos independientes sobre puentes.

Se publica en www.e-mosty.cz y se puede leer de forma gratuita (acceso abierto), con posibilidad de suscribirse.

Se publica trimestralmente: el 20 de marzo, el 20 de junio, el 20 de septiembre y el 20 de diciembre.

Las revistas permanecen disponibles **en línea en nuestro sitio web** en formato PDF.

La revista ofrece **artículos originales sobre puentes e ingenieros de puentes** y muchos otros contenidos internacionales.

Su formato electrónico permite publicar fotos, vídeos, planos, modelos 3D, enlaces y otros contenidos en alta calidad.

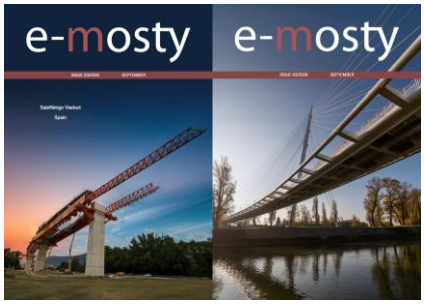
Nuestro objetivo es incluir toda la información **importante y técnica** y, al mismo tiempo, mostrar la elegancia y la belleza de las estructuras.

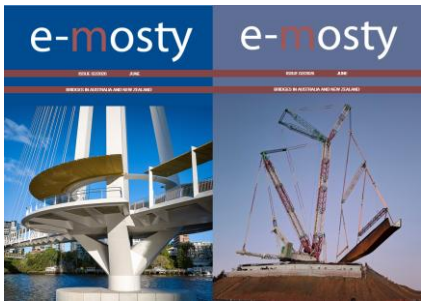
Nos complace ofrecer apoyo mediático a importantes conferencias de puentes, actividades educativas, proyectos benéficos, libros, etc.

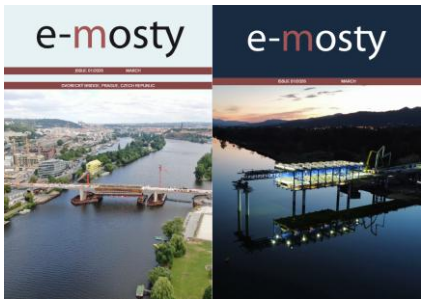
Nuestro Consejo Editorial está compuesto por ingenieros de puentes y expertos principalmente del Reino Unido, Estados Unidos y Australia.

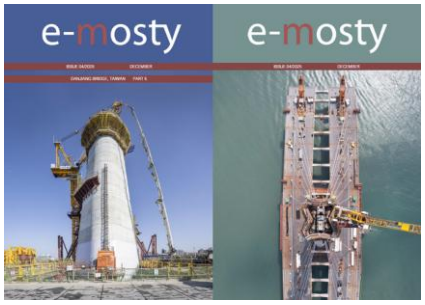
La revista está dirigida principalmente a ingenieros especializados en puentes, diseñadores, promotores, contratistas, especialistas en BIM, docentes universitarios, estudiantes o simplemente cualquier persona apasionada por los puentes.

NUESTRAS ÚLTIMAS EDICIONES (EN INGLÉS)









ISSN: E-MOSTY 2336-8179

e-mosty

NUESTROS SOCIOS

ALLPLAN
A NEMETSCHEK COMPANY

ARENAS
& ASOCIADOS

ARUP

BERD®
ONE BRIDGE, ONE SOLUTION

BMD

BRIDGE DRAINAGE

BSR | BPR
Dr. Schäpertöns Consult

BRUGG
Fatzer

DIAMANT
POLYMER SOLUTIONS

DYWIDAG

Dlubal

MAURER

Leonhardt, Andrä und Partner

PERI

Pipenbaher
Consulting Engineers
PIPENBAHER INŽENIRJI d.o.o., Slovenia

pitt&sherry

ponting
bridges

RÚBRICA®
BRIDGES

SISMICA
INSTITUTE

SPECIÁLTERV

STRUKTURAS

TECOZAM
GRUPO EMPRESARIAL

TYLin

COOPERAMOS CON

structurae

INTEGRACIÓN DEL DISEÑO PARAMÉTRICO, BRIM Y EL ANÁLISIS MEF EN EL PROYECTO DEL INTERCAMBIO DE RAV-HAMECHER

Yoni Pestes, ingeniero jefe de diseño de puentes
Via Bridges



Figura 1: Representación 3D de la vista lateral del puente BR-01

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Los proyectos de infraestructura modernos son cada vez más complejos, lo que exige a los ingenieros de puentes adoptar enfoques de diseño que vayan más allá de los métodos convencionales de dibujo técnico y documentación.

Esto es especialmente cierto en proyectos en los que hay que abordar la geometría compleja, la coordinación multidisciplinar y la planificación de las fases de construcción desde las primeras etapas de diseño.

El proyecto del intercambiador de Rav-Hamecher se ubica en una importante vía de acceso norte al área metropolitana de Tel Aviv. Se prevé que el desarrollo residencial y comercial en curso en los alrededores aumente significativamente la demanda de tráfico en los próximos años.

Por lo tanto, el nuevo intercambiador se está construyendo para mejorar la conectividad, aumentar la capacidad y optimizar el flujo de tráfico a lo largo de uno de los principales corredores de acceso a Tel Aviv.

El proyecto comprende una variada familia de puentes, cada uno de ellos diseñado de acuerdo con distintos requisitos estructurales, limitaciones constructivas y consideraciones arquitectónicas. Entre ellos se incluyen tres puentes de vigas de hormigón prefabricado, dos puentes de hormigón in situ postensado y el emblemático puente BR-01, concebido no solo como un enlace de transporte esencial, sino también como una estructura emblemática que marca una de las principales puertas de entrada a la ciudad.

Este artículo se centra en los puentes BR-01 y BR-02, que sirvieron de base para un flujo de trabajo paramétrico-BrIM-analítico integrado dentro de un único entorno de diseño coordinado. Utilizando Rhino Grasshopper, Tekla Structures y SOFiSTiK, el equipo del proyecto estableció un flujo de trabajo en el que la geometría, el análisis estructural y la documentación de producción se desarrollaron como partes interconectadas del mismo proceso de diseño para dos puentes estructuralmente distintos: un puente de arco atado con red de acero y un puente de hormigón in situ postensado.

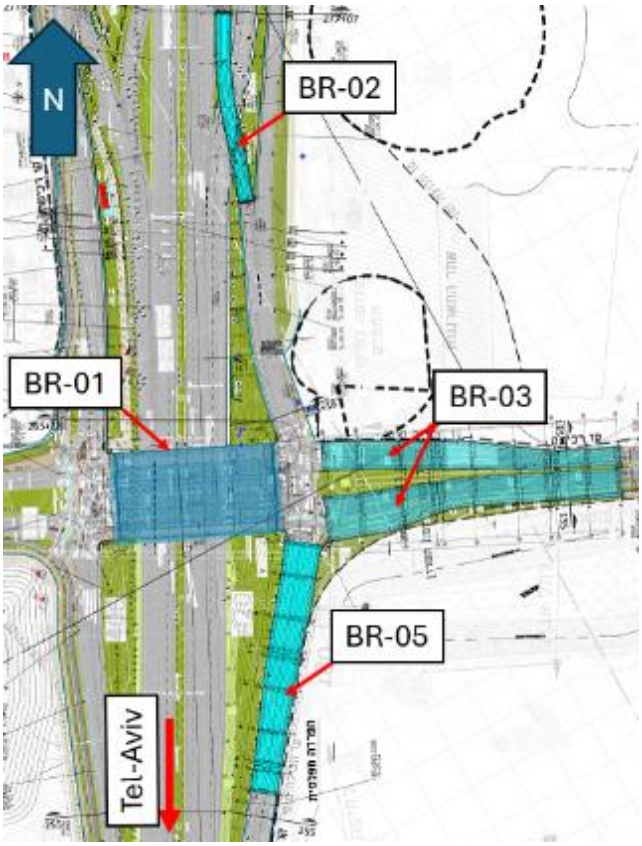


Figura 3: Proyecto del intercambiador de Rav-Hamecher, trazado del puente



Figura 2: Ubicación del puente
Haga clic en la imagen para abrir Google Maps

DATOS DEL PROYECTO

Elemento	Descripción
Proyecto	Proyecto del intercambiador de Rav-Hamecher
Ubicación	Área metropolitana de Tel Aviv, Israel
Cliente	Ayalon Highways Co. Ltd.
Gestión del proyecto	Epstein Project Management
Diseño geométrico y viario	Levy & Shtark Zilberstein
Architectura	Yael Architects
Diseño de puentes y modelo BrIM	Via Bridges
BR-01	Puente de arco atado con red de acero, 84,0 m de luz, 48,0 m de anchura
BR-02	Puente de hormigón in situ pretensado de tres vanos: 27,5 + 50,0 + 27,5 m; longitud total: 105,0 m; anchura: 13,0 m
Flujo de trabajo digital	Flujo de trabajo integrado paramétrico-BrIM-analítico
Entorno de software	Rhino Grasshopper, Tekla Structures, SOFiSTiK
Renderización BR-01	IN3D

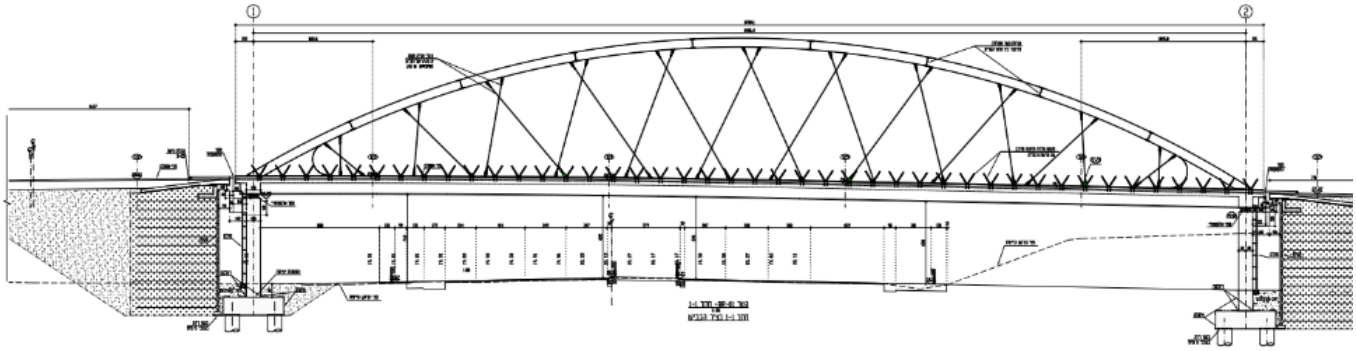


Figura 4: Sección longitudinal del BR-01

PUENTE BR-01: UN PUENTE ARCO TIPO NETWORK EMBLEMÁTICO

Entre los puentes incluidos en el proyecto del intercambiador de Rav-Hamecher, el puente BR-01 fue designado como la estructura emblemática. El puente cruza la carretera n.º 2 en dirección este-oeste y cuenta con ocho carriles de tráfico, cuatro en cada sentido, además de dos aceras que también incorporan carriles bici. Se han previsto marquesinas de sombra a lo largo de ambas aceras, lo que refuerza el papel del puente no solo como enlace de transporte, sino también como elemento urbano y arquitectónico visible.

La solución estructural elegida para el BR-01 es un puente arco tipo network, con un vano único de 84,0 m y una anchura total de 48,0 m. El puente consta de seis arcos inclinados dispuestos simétricamente a lo ancho del tablero.

Cuatro arcos se sitúan sobre las zonas de las aceras, dos a cada lado del puente, mientras que otros dos arcos se ubican en la parte central de la sección transversal. Esta disposición confiere al puente una composición arquitectónica equilibrada, al tiempo que mantiene un sistema estructural claro y eficiente.



Figura 5: Vista 3D del puente

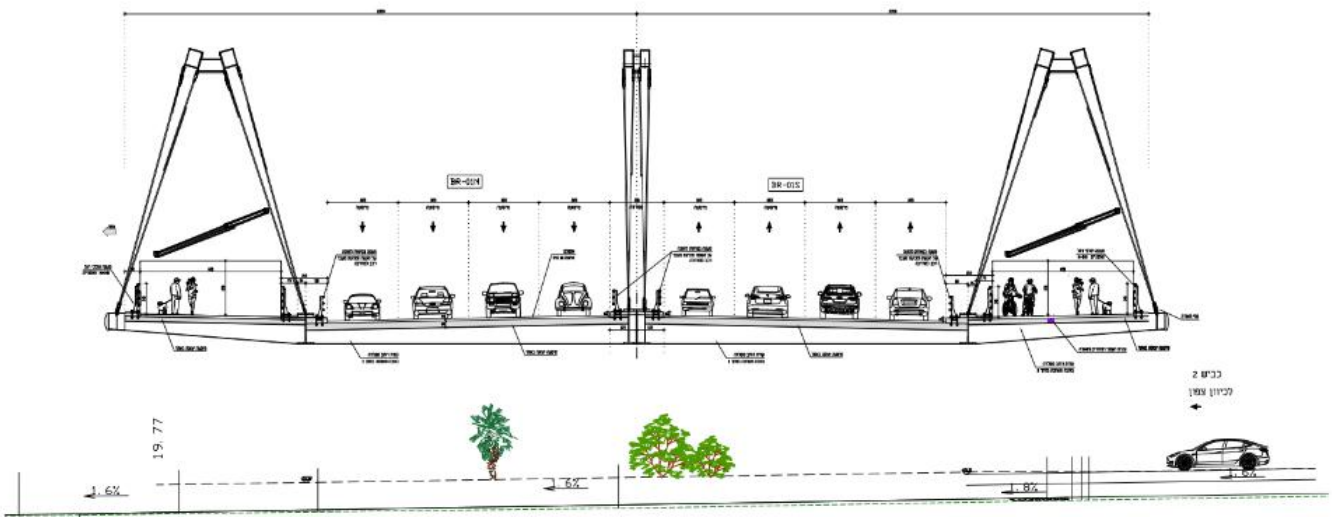


Figura 6: Vista en sección del BR-01

En la configuración de puente arco tipo network adoptada, el empuje horizontal generado por los arcos es contrarrestado por vigas de unión longitudinales, mientras que un sistema de vigas transversales de acero y una losa de hormigón ejecutada in situ forman un tablero compuesto.

Unos tirantes inclinados dispuestos en forma de red conectan los arcos con las vigas de unión, creando un sistema estructural eficiente que mejora la distribución de fuerzas a lo largo del vano y contribuye al mismo tiempo al aspecto arquitectónico distintivo del puente.

La metodología de construcción se vio fuertemente influenciada por la geometría del puente y por la necesidad de mantener el tráfico en la carretera n.º 2, una de las principales arterias de tráfico de Israel.

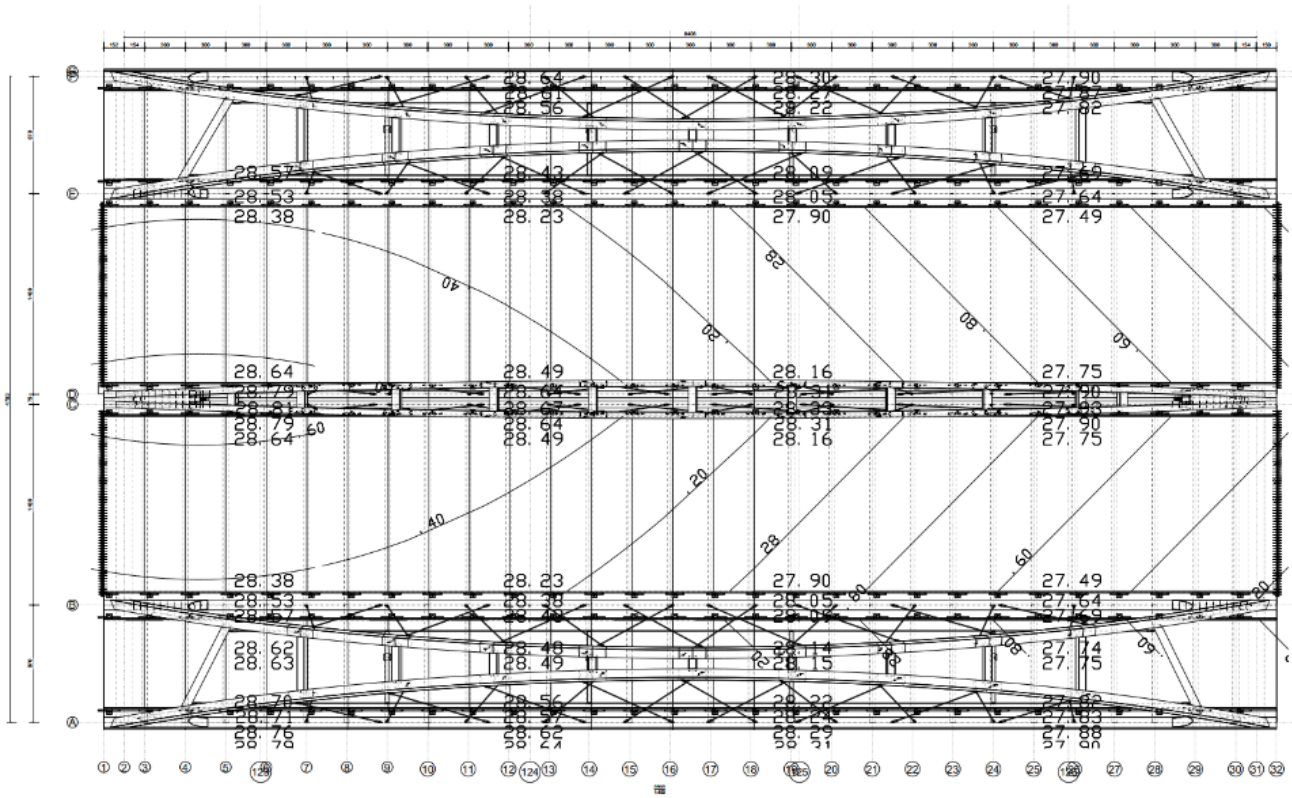


Figura 7: Vista en planta con cotas de la calzada del BR-01

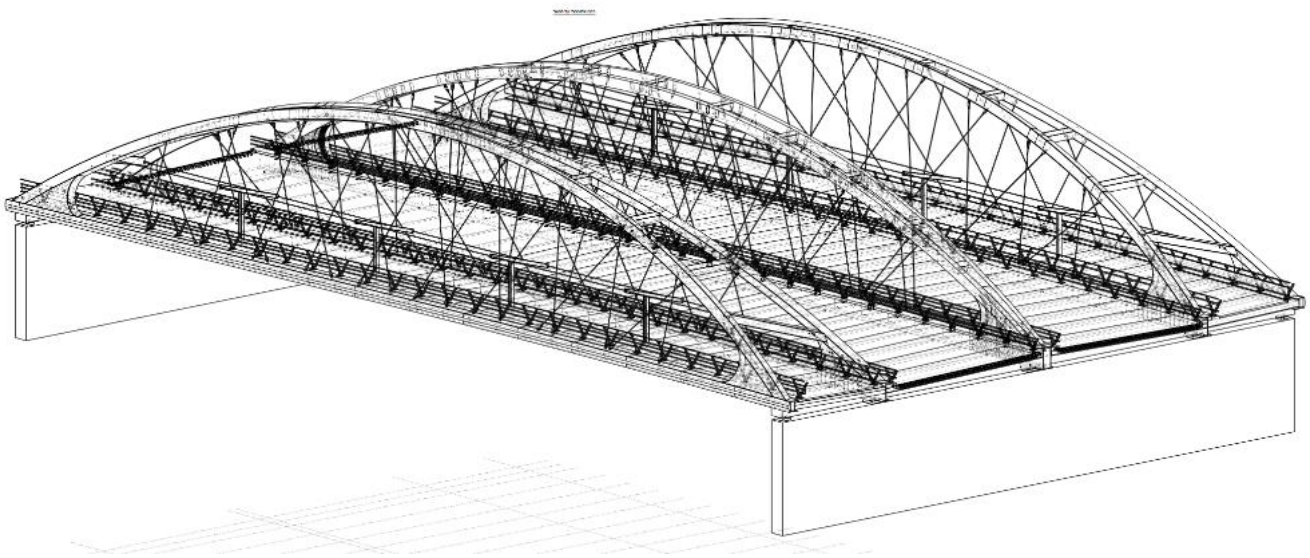


Figura 8: Vista del modelo 3D del BR-01

Dado que no era posible colocar apoyos temporales dentro del corredor de tráfico activo, el puente se diseñó para ser ensamblado en una zona habilitada junto a la carretera y transportado a su posición definitiva durante los trabajos nocturnos utilizando transportadores modulares auto-propulsados (SPMT).

Debido a la excepcional anchura de la superestructura, el puente se dividió en dos estructuras simétricas de media anchura, que se transportaron por separado y se unieron posteriormente in situ.

PUENTE BR-02: PUENTE DE HORMIGÓN POSTESADO EJECUTADO IN SITU

El puente BR-02 representa una tipología estructural diferente dentro del proyecto del intercambiador de Rav-Hamecher.



Fases de construcción		Fases de construcción	
0	Situación actual	10	Instalación de los colgadores de la red y retirada de los soportes temporales
1	Desvío del tráfico y establecimiento del área de trabajo del contratista	11	Posicionamiento de los SPMT debajo del puente para su transporte
2-8	Montaje del puente sobre soportes temporales	12-13	Transporte del puente a su posición final durante los trabajos nocturnos
9	Instalación de los soportes de la cubierta y tensado de los cables de la cubierta	14	Finalización del vertido del tablero y apertura del puente al tráfico

Figura 9: Fases de construcción del BR-01

A diferencia de la emblemática solución de arco tipo network adoptada para el BR-01, el BR-02 es un puente de hormigón postesado ejecutado in situ de tres vanos con longitudes de 27,5 m, 50,0 m y 27,5 m, lo que da una longitud total de 105,0 m. El puente tiene una anchura total de 13,0 m y una profundidad de superestructura de 2,0 m.

El puente BR-02 cruza por encima de una rampa de salida de un intercambiador en el que las carreteras se cruzan con un esviaje pronunciado, al tiempo que sigue la curvatura horizontal del trazado de la carretera. Por este motivo, se optó por una solución de hormigón postesado ejecutado in situ. Este sistema estructural proporciona una relación eficiente entre luz y profundidad y permite adaptar la geometría de la superestructura al trazado curvo y a la geometría del cruce. Aunque una solución de hormigón in situ requiere andamios y encofrados temporales, este método de construcción resultaba adecuado para el BR-02, ya que el puente está situado junto a la carretera principal, lo que permite montar las obras temporales sin interferir con el tráfico en circulación.

El puente se diseñó como una superestructura continua de hormigón, conectada rígidamente a los pilares intermedios y apoyada sobre apoyos elastoméricos en los estribos, lo que permite los movimientos necesarios derivados de las variaciones de temperatura, la fluencia, la contracción y las acciones sísmicas.

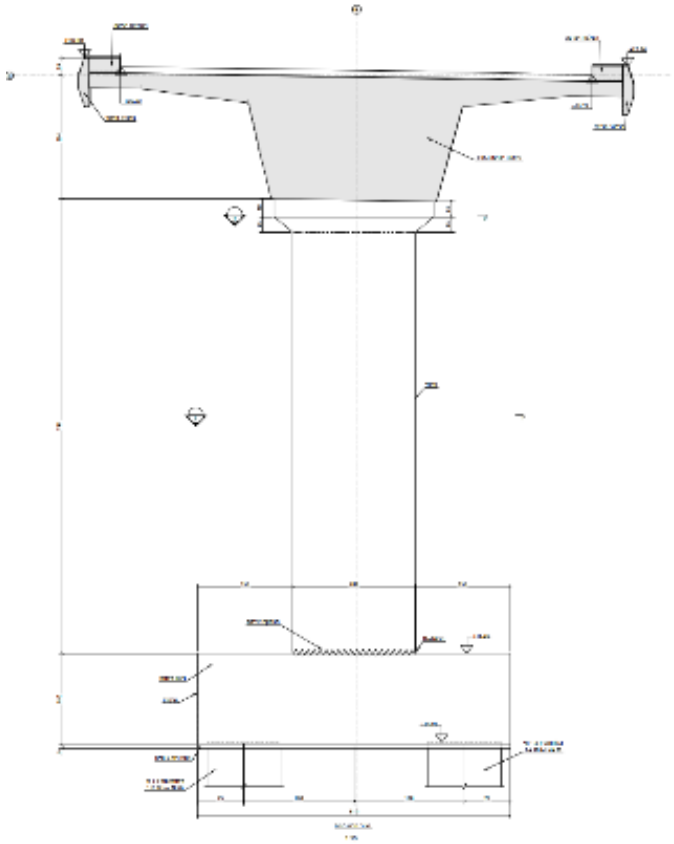


Figura 10: Sección de un pilar del BR-02

Su sistema de postesado se diseñó para satisfacer los requisitos de aptitud para el servicio y proporcionar la capacidad longitudinal necesaria de la superestructura.

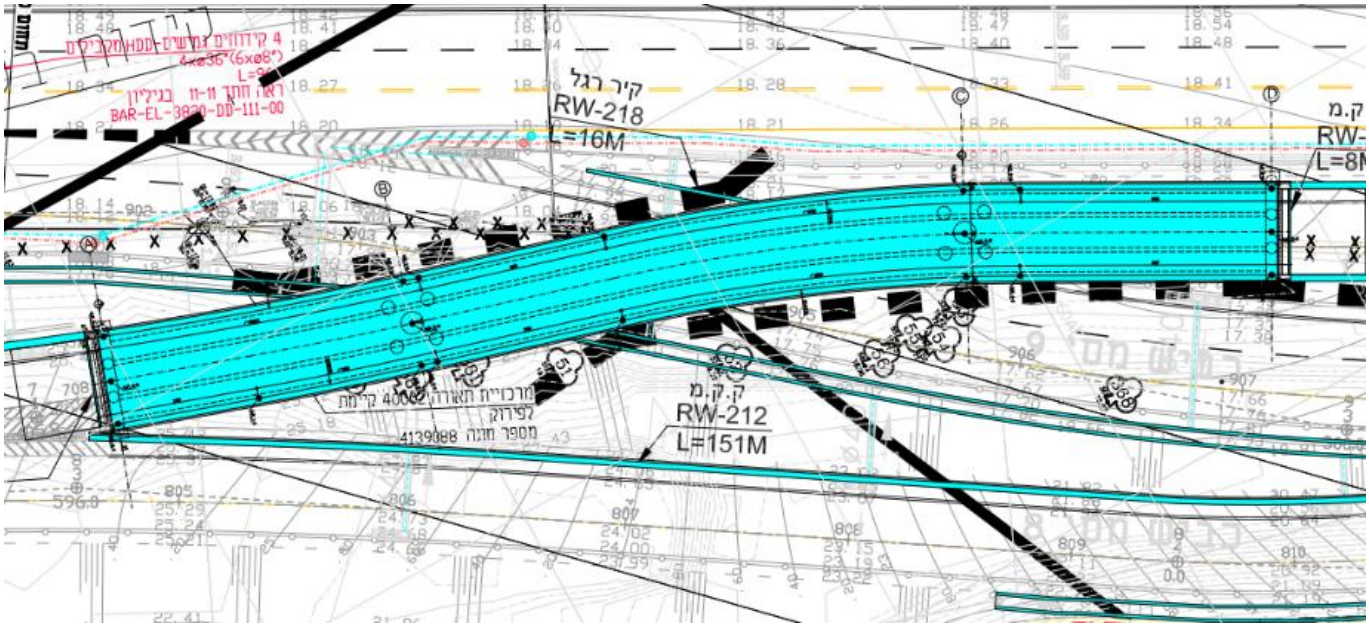


Figura 11: Vista en planta del BR-02 que muestra la curvatura de la carretera

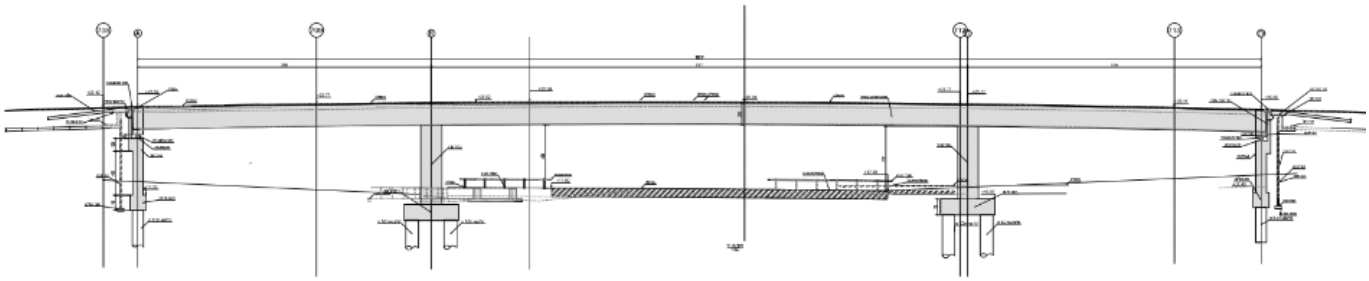


Figura 12: Sección longitudinal del BR-02

A efectos de este artículo, el BR-02 reviste especial importancia porque demuestra que el flujo de trabajo integrado paramétrico-BrIM-analítico no se limitó al emblemático puente arco tipo network.

En conjunto, el BR-01 y el BR-02 proporcionaron dos campos de prueba diferentes para la misma metodología digital: uno que implicaba una geometría compleja de acero, expresión arquitectónica y montaje por etapas, y el otro que implicaba un puente curvo y esviado de hormigón postesado ejecutado in situ. Esta combinación permitió al equipo de diseño examinar cómo un único flujo de trabajo integrado podía dar soporte a diferentes tipologías de puentes dentro del mismo proyecto de infraestructura.

Esto quedó especialmente patente en el BR-02, en la conexión entre el modelo analítico y el modelo de producción de Tekla para el postesado y la armadura. Una vez definida y verificada la geometría de los tendones en el entorno analítico, se recreó en Grasshopper y se transfirió a Tekla Structures, donde pudo incorporarse al modelo BrIM junto con la disposición de la armadura.

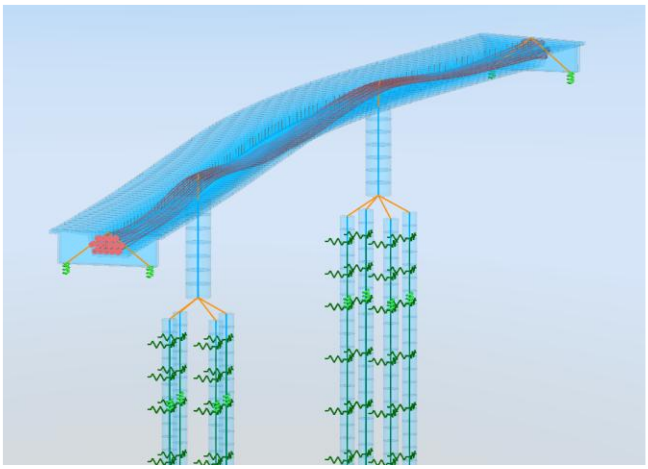


Figura 13: BR-02 – Modelo FEM de SOFiSTiK con la geometría calculada de los tendones

Esto permitió mantener una relación más estrecha entre la definición analítica del puente y el modelo de producción utilizado para desarrollar los detalles constructivos y generar los planos de producción. También permitió que las actualizaciones del diseño, como los cambios en la disposición de los tendones, se implementaran de forma más rápida y coherente en los distintos entornos de modelado.

LA COMPLEJIDAD DE LA INGENIERÍA Y LA NECESIDAD DE UN FLUJO DE TRABAJO DIGITAL INTEGRADO

Los dos puentes presentados anteriormente planteaban distintos tipos de complejidad desde el punto de vista de la ingeniería. En el BR-01, el reto radicaba en la geometría espacial de los arcos, la interacción entre los arcos, las vigas de unión, los tirantes inclinados y el tablero compuesto, así como en la necesidad de modelar una estructura de acero compleja junto con sus uniones. En el BR-02, los principales retos estaban relacionados con el trazado curvo, la disposición del pretensado, el comportamiento de una superestructura continua de hormigón ejecutado in situ y la necesidad de modelar la geometría del hormigón junto con la disposición del armadura y los componentes del sistema de postesado.

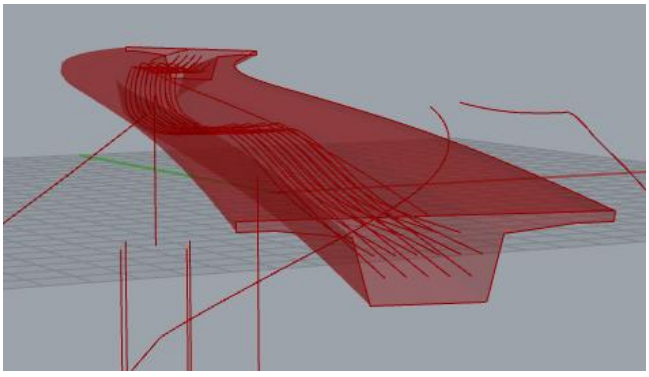


Figura 14: La geometría de los tendones importada a Grasshopper desde SOFiSTiK

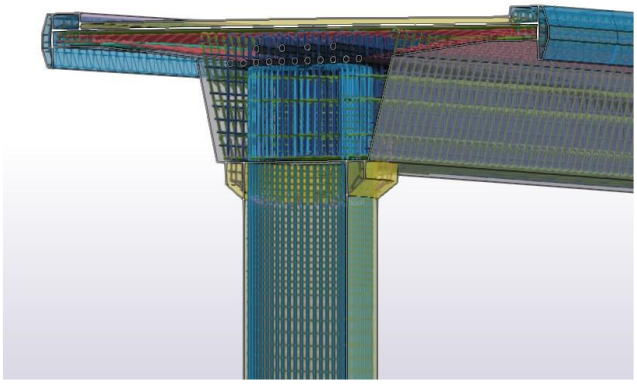


Figura 15: Geometría de los tendones y de la armadura incorporada en Tekla Structures

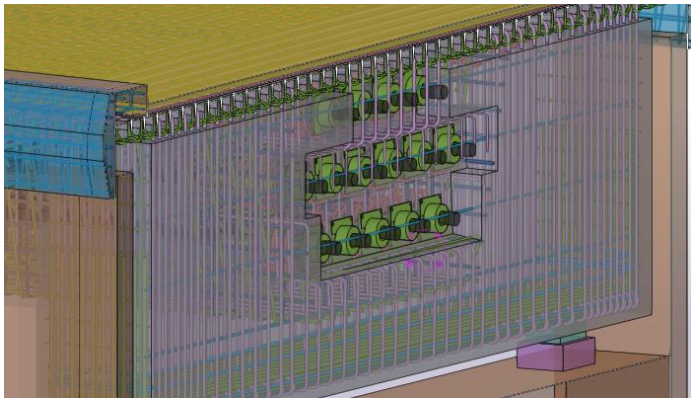


Figura 16: Diafragma extremo del BR-02 que muestra el anclaje de postensado

Estas condiciones exigían un proceso de diseño en el que la geometría, el análisis estructural y la documentación de producción pudieran desarrollarse de forma más coordinada. Por lo tanto, se adoptó el flujo de trabajo integrado con el fin de mejorar la coordinación entre el modelo analítico, el modelo BrIM y los planos finales, especialmente cuando se introducían alternativas de diseño o refinamientos geométricos.

Para hacer frente a estos retos, el equipo del proyecto adoptó un flujo de trabajo integrado paramétrico-BrIM-analítico que comenzaba con la creación de un modelo paramétrico del esqueleto del puente.

INICIO DEL FLUJO DE TRABAJO: DE LOS DATOS DE LA CARRETERA AL MODELO GEOMETRICO BASE DEL PUENTE

El diseño de puentes es un proceso multidisciplinar. El ingeniero de puentes no trabaja de forma aislada, sino como parte de un equipo de diseño más amplio que suele incluir a diseñadores de carreteras, ingenieros de drenaje, coordinadores de servicios públicos, arquitectos y otros especialistas en infraestructuras.

Dado que los flujos de trabajo BIM y BrIM aún no se han implementado plenamente en todas las disciplinas, a menudo se requiere una fase inicial de preparación de datos antes de poder crear un modelo paramétrico fiable del puente.

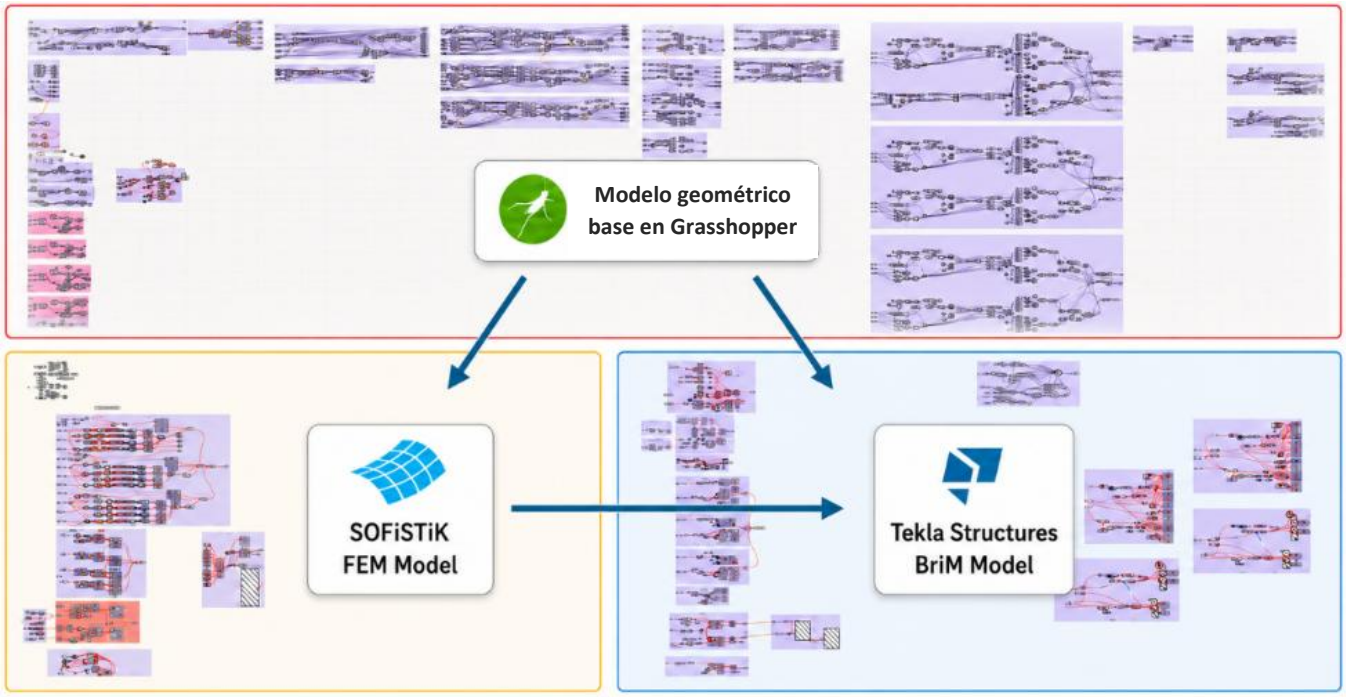


Figura 17: Flujo de trabajo integrado que vincula el modelo esquelético de Grasshopper con el modelo FEM de SOFiSTiK y el modelo BrIM de Tekla Structures

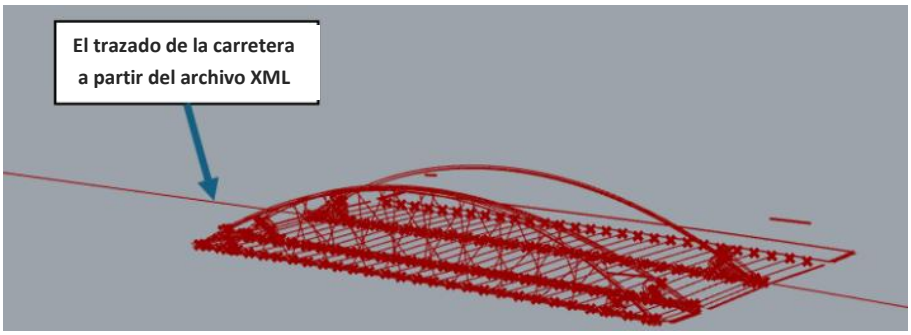


Figura 18: Modelo geométrico base BR-01 de Grasshopper generado a partir de datos XML de trazado de carreteras

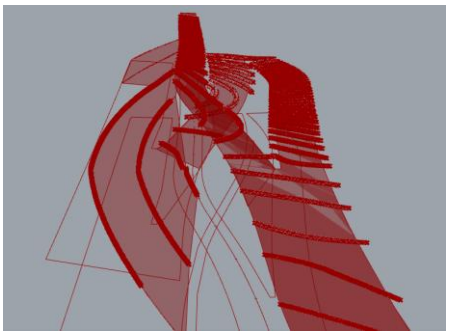


Figura 19: BR-02 Superficies viales en Grasshopper generadas a partir de curvas de nivel en formato DWG

La primera información esencial para el diseñador de puentes es la geometría de la carretera que cruza el puente. A efectos del modelado de puentes, esta geometría no siempre puede entenderse únicamente como una línea central, sino más bien como un conjunto de características geométricas de control que definen la forma tridimensional del tablero.

Mientras que los puentes sencillos pueden describirse utilizando solo un número limitado de líneas de control, los puentes más complejos suelen requerir información geométrica adicional para definir los cambios de anchura, la pendiente transversal, los bordes del tablero y otras características que influyen en la forma final del puente.

En la práctica, esta información puede recibirse de diversas formas, desde líneas de características tridimensionales completas hasta datos más limitados de línea central o cota. Además de la geometría de la carretera que soporta el puente, el diseñador también debe tener en cuenta las restricciones situadas debajo y alrededor del puente, incluidas las carreteras existentes, las rampas, los espacios libres, los servicios públicos, los elementos de drenaje y otros obstáculos que influyen en la ubicación y la cota de los pilares, los estribos y los cimientos.

Cuando esta información es incompleta o indirecta, se requiere un procesamiento adicional antes de que pueda utilizarse de forma fiable para el modelado de puentes.

En tales casos, Grasshopper proporciona un entorno eficaz para reconstruir la geometría de control tridimensional necesaria y prepararla para su incorporación al modelo esquelético. Más recientemente, también se han comenzado a explorar herramientas basadas en la inteligencia artificial como medio complementario para facilitar el procesamiento y la estructuración de datos de entrada multidisciplinares antes de su incorporación al flujo de trabajo de modelado paramétrico.

Una vez procesadas la geometría de la carretera y las restricciones circundantes pertinentes, se combinan en el entorno de Grasshopper para formar el modelo geométrico base del puente.

Este modelo se convierte en la definición geométrica central del puente. No se trata del modelo BrIM detallado definitivo, sino del marco geométrico de control a partir del cual se generan los elementos principales del puente.

A partir de este punto, el flujo de trabajo se divide en dos ramificaciones paralelas, ambas impulsadas por el mismo modelo geométrico base de Grasshopper. La información geométrica se transfiere a Tekla Structures a través del Tekla

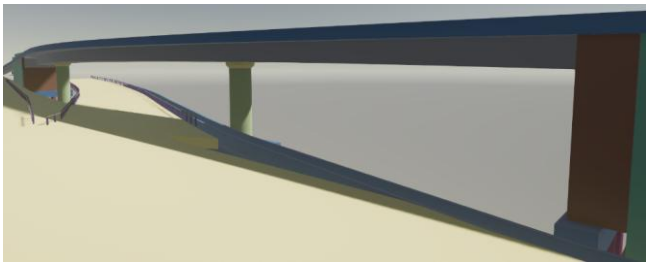


Figura 20: Modelo 3D del BR-02, incluidas las carreteras y los servicios públicos situados bajo el puente

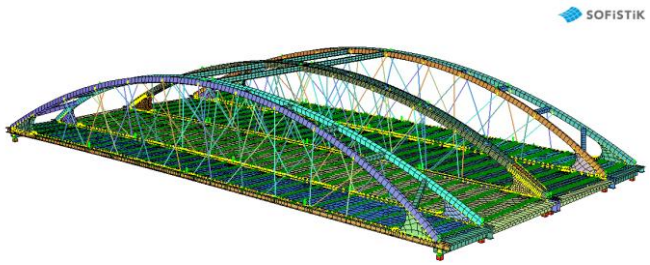


Figura 21: Modelo FEM de SOFiSTiK del BR-01

Structures Grasshopper Live Link, donde se crean los elementos BrIM tridimensionales para el detallado y la documentación.

Paralelamente, el mismo modelo geométrico base se transfiere a SOFiSTiK a través de la interfaz SOFiSTiK Grasshopper, donde se genera el modelo de elementos finitos para el análisis estructural.

Como resultado, las modificaciones introducidas en el modelo geométrico base de Grasshopper pueden reflejarse tanto en el modelo de producción de Tekla Structures como en el modelo analítico de SOFiSTiK, lo que permite mantener una relación coherente entre la geometría del puente, el modelo BrIM y el modelo de análisis estructural, al tiempo que se reduce la necesidad de realizar repetidamente el modelado manual en diferentes entornos de software. A pesar de esta base geométrica compartida, los requisitos de un modelo de producción BrIM y de un modelo analítico de elementos finitos no son idénticos.

El modelo esquelético es principalmente un modelo geométrico basado en líneas, y pueden ser necesarias idealizaciones analíticas adicionales a la hora de generar el modelo de elementos finitos. Por ejemplo, pueden ser necesarios enlaces rígidos, uniones excéntricas u otros elementos analíticos

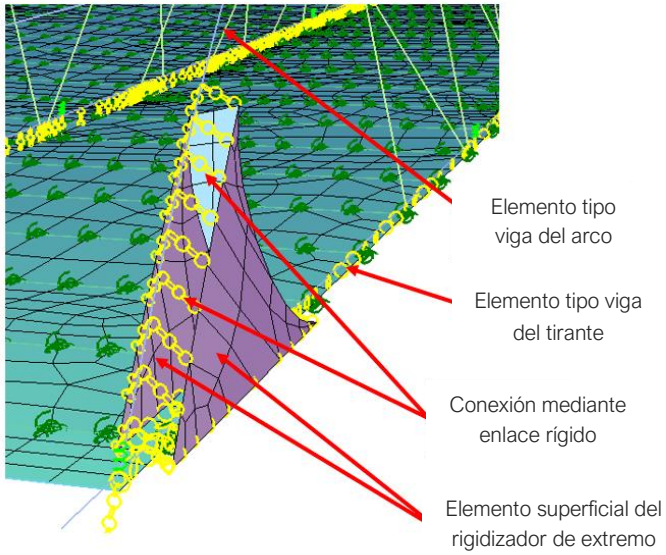


Figura 22: Refuerzo del extremo del arco BR-01 y uniones de enlace rígido en el modelo de elementos finitos de SOFiSTiK

para garantizar una transferencia correcta de fuerzas entre los elementos estructurales. Estos elementos forman parte de la idealización analítica y no son necesariamente componentes físicos del puente. Por lo tanto, el objetivo no es que el modelo BrIM y el modelo FEM sean idénticos, sino garantizar que ambos se generen a partir de la misma fuente geométrica controlada y se mantengan coherentes a lo largo de todo el proceso de diseño.

RETOS PRÁCTICOS Y LECCIONES APRENDIDAS

Aunque el flujo de trabajo integrado de BrIM aportó ventajas significativas en términos de control geométrico, coherencia del modelo y coordinación entre el análisis y la documentación, su implementación también puso de manifiesto varios retos prácticos.

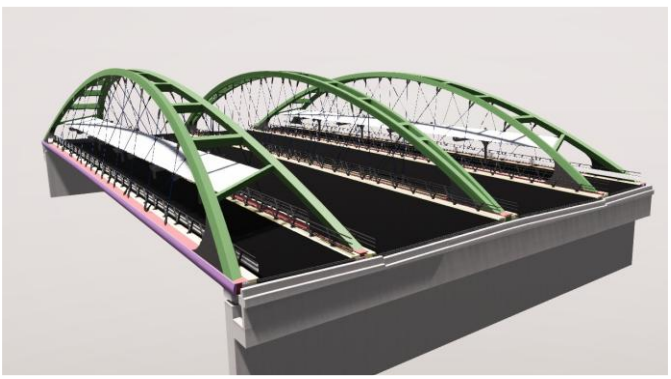


Figura 23: Vista renderizada del BR-01 utilizando Tekla Structures

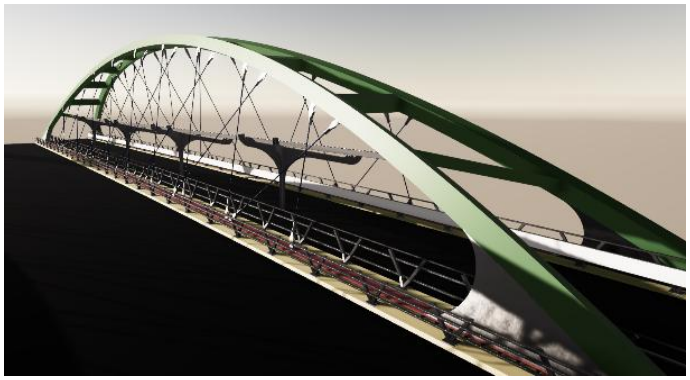


Figura 24: Vista renderizada de los arcos laterales y la marquesina del BR-01 utilizando Tekla Structures

Las principales lecciones aprendidas pueden resumirse de la siguiente manera:

- **Preparación de los datos de entrada:** el establecimiento de un modelo geométrico base fiable requiere información precisa procedente de otras disciplinas, en particular del diseño de carreteras y la arquitectura. En la práctica, esta información no siempre se entrega en un formato que pueda utilizarse directamente para el modelado paramétrico, y puede ser necesario un procesamiento, una comprobación y una reconstrucción adicional antes de que pueda servir como base fiable para el modelo del puente.
- **Nivel actual de adopción de BIM/BrIM:** dado que no todos los consultores trabajan con flujos de trabajo totalmente basados en modelos, es posible que el ingeniero de puentes tenga que convertir planos bidimensionales, información tridimensional parcial o archivos no estándar a un entorno paramétrico estructurado. Esta fase de preparación puede requerir mucho tiempo, especialmente al inicio del proyecto.
- **Nivel adecuado de detalle:** en los planos bidimensionales convencionales, se puede presentar un concepto de diseño inicial sin resolver por completo todas las interfaces o los detalles locales.
  En un modelo BrIM tridimensional, por el contrario, la geometría es mucho más explícita y se espera que los elementos se conecten de forma coherente. Por lo tanto, la elaboración de un modelo totalmente resuelto en la fase conceptual puede requerir un esfuerzo significativo que no siempre es necesario, especialmente cuando aún se están barajando múltiples alternativas.
- **Decisiones de modelización basadas en el valor:** el enfoque de modelización tridimensional paramétrica resulta especialmente eficaz para controlar la geometría global, los elementos estructurales largos y los componentes repetitivos, en los que puede mejorar la coherencia y ahorrar tiempo. Sin embargo, no es necesario modelizar siempre al completo cada detalle individual. En el caso de tornillos sueltos, herrajes locales, detalles de conexión aislados u otros elementos puntuales, la modelización tridimensional completa puede requerir un esfuerzo que no siempre está justificado.
- **Límites del modelado digital:** incluso con un flujo de trabajo BrIM avanzado, no todos los retos de la construcción pueden resolverse por completo en el entorno digital. Ciertas cuestiones relacionadas con las condiciones de la obra, las tolerancias de ejecución, los trabajos provisionales y los métodos de construcción específicos de cada contratista pueden hacerse evidentes únicamente durante la propia construcción.
- **Consideraciones económicas y valor del ciclo de vida:** Según nuestra experiencia, el coste del software y de la implementación no supone una limitación fundamental para la adopción de flujos de trabajo basados en BrIM, pero sí es un factor importante a la hora de compararlos con métodos de diseño más convencionales. La inversión va más allá de las licencias de software y puede incluir una mayor capacidad informática, paquetes de software especializados, formación y certificación, conocimientos técnicos especializados y el tiempo necesario para desarrollar, implementar y estandarizar nuevos flujos de trabajo dentro de la oficina de diseño.
  Al mismo tiempo, el valor de un modelo BrIM puede extenderse mucho más allá de las fases de diseño y construcción. Si se mantiene adecuadamente y se transfiere al propietario del activo, puede servir de apoyo para futuras inspecciones, mantenimiento, reparaciones y obras de rehabilitación. En algunos proyectos, este valor a lo largo del ciclo de vida puede superar significativamente el coste adicional que supone la creación del modelo. Por lo tanto, los propietarios de los activos pueden desempeñar un papel importante a la hora de promover la adopción de BrIM, definiendo requisitos claros para los entregables digitales y reconociendo el esfuerzo adicional de diseño mediante una compensación adecuada o incentivos económicos.
  No existe un tamaño mínimo claro de proyecto o estructura a partir del cual este flujo de trabajo resulte económicamente justificado. Flujos de trabajo similares basados en BrIM también pueden aplicarse de forma eficaz a estructuras relativamente sencillas, como pórticos de señalización, alcantarillas y muros de contención. Incluso las estructuras más pequeñas pueden presentar complejidad geométrica, requisitos de coordinación o tareas

de diseño repetitivas que pueden beneficiarse de un enfoque paramétrico basado en BrIM. Por lo tanto, la justificación económica no depende únicamente del tamaño del proyecto, sino también de la complejidad, la repetición, los requisitos de coordinación, las iteraciones de diseño previstas y el potencial de mejora de la eficiencia a lo largo de todo el proceso de diseño.

Estos retos no restan valor al flujo de trabajo integrado, pero ponen de relieve la necesidad de una implementación cuidadosa. El uso satisfactorio de un flujo de trabajo integrado paramétrico-BrIM-analítico requiere datos de entrada fiables, objetivos de modelización claros, un nivel adecuado de detalle para cada fase del diseño y una estrecha coordinación entre todas las disciplinas implicadas en el proyecto.

CONCLUSIÓN

El proyecto del intercambiador de Rav-Hamecher demuestra que BrIM puede utilizarse no solo como herramienta de modelización tridimensional, sino como parte de un flujo de trabajo de ingeniería integrado que conecta la geometría, el análisis estructural y la documentación de producción. La aplicación en los puentes BR-01 y BR-02 demostró que una única fuente paramétrica, desarrollada en Rhino Grasshopper y vinculada en paralelo a Tekla Structures y SOFiSTiK, puede dar soporte a dos tipologías de puentes muy diferentes: un puente emblemático de arco tipo network y un puente curvo y esviado de hormigón postesado ejecutado in situ.

Esto resultó especialmente importante en los casos en que los cambios en la alineación, la geometría del tablero, la configuración del arco o la disposición de los tendones podían influir simultáneamente en varias partes del proceso de diseño. Al mantener una relación coherente entre la definición geométrica de los puentes, los modelos analíticos de elementos finitos y los modelos de producción de BrIM, el flujo de trabajo facilitó un proceso de desarrollo más coordinado en ambas tipologías de puentes. El flujo de trabajo también puede facilitar la evaluación y comparación de alternativas estructurales al proporcionar información geométrica, estructural y cuantitativa adicional.

Sin embargo, la selección de la tipología del puente en sí misma depende de una gama más amplia de consideraciones, entre las que se incluyen las limitaciones del emplazamiento, la geometría del puente, el coste, los requisitos arquitectónicos, la metodología de construcción y el equipamiento y las capacidades de que dispone el contratista.

En esta fase conceptual inicial, la experiencia y el criterio de los ingenieros siguen siendo la base principal para seleccionar el concepto estructural adecuado. Las herramientas paramétricas y BrIM pueden, por lo tanto, reforzar y respaldar este proceso de toma de decisiones, pero deben complementar, y no sustituir, el criterio de ingeniería.

El proyecto también confirmó que el éxito de este tipo de flujo de trabajo depende en gran medida de la calidad y la estructura de los datos de entrada. La geometría de la carretera, los requisitos arquitectónicos, los espacios libres, los obstáculos, los servicios públicos y otras restricciones multidisciplinares deben prepararse y comprobarse cuidadosamente antes de que puedan servir como base fiable para el modelado paramétrico. Por lo tanto, el flujo de trabajo requiere no solo herramientas de software avanzadas, sino también una metodología clara para el intercambio de información entre disciplinas.

Al mismo tiempo, el desarrollo tecnológico está haciendo que los flujos de trabajo basados en BrIM sean más accesibles que en años anteriores. Paralelamente, la inteligencia artificial está empezando a respaldar partes del proceso de diseño, lo que contribuye a reducir algunas de las barreras que antes hacían que la adopción de este tipo de metodologías resultara más exigente para las empresas de diseño.

En general, el proyecto demostró que la verdadera fortaleza de un flujo de trabajo integrado paramétrico-BrIM-analítico reside en su capacidad para conectar la intención de diseño, el análisis estructural y el modelado de producción dentro de un único proceso coordinado.

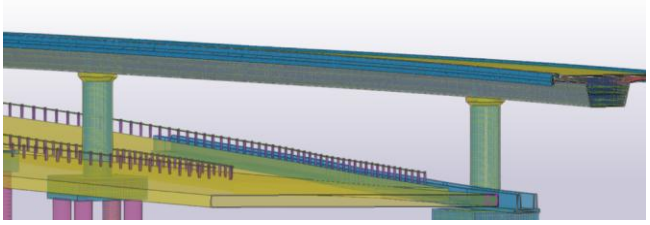


Figura 25: BR-02, vista del puente con renderización del armadura

DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO BASADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS PARA PRESERVAR LA INTEGRIDAD DE LOS PUENTES ATIRANTADOS

Yangzi LIN, DEng, FHKIHT, RSE

Director general y director técnico
Cable Bridge Technology

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cables se han utilizado ampliamente en puentes de gran envergadura, incluidos los cables principales y los cables de suspensión de los puentes colgantes, los cables de atirantamiento de los puentes atirantados y los cables de suspensión de los puentes de arco.

Como componentes principales de la superestructura, los sistemas de cables desempeñan un papel fundamental para garantizar la seguridad estructural y la funcionalidad. Los daños en el sistema de cables pueden reducir significativamente la durabilidad y el rendimiento funcional de un puente y, en casos graves, pueden provocar un fallo catastrófico, con graves consecuencias sociales y cuantiosas pérdidas económicas.

Para mejorar la seguridad y el rendimiento a largo plazo de los puentes atirantados, el equipo de investigación ha dedicado más de una década al desarrollo de tecnologías integrales de inspección, evaluación y mantenimiento para los sistemas de cables de puentes. Este trabajo ha incluido inspecciones profesionales detalladas y evaluaciones exhaustivas del estado de las estructuras, así como un mantenimiento y una rehabilitación específicos mediante el uso de materiales de protección de alto rendimiento.

INSPECCIÓN ESPECIALIZADA DE SISTEMAS DE CABLEADO

La inspección especializada de los cables de puentes generalmente incluye la inspección de la superficie de las cubiertas de polietileno, la inspección no destructiva para verificar la presencia de cables rotos internos y corrosión, pruebas de resistencia del cable e inspección especial de estructuras como cabezales de anclaje y conductos de cables.

INSPECCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA CUBIERTA DE PE DE LOS CABLES

La inspección superficial de la cubierta de polietileno del cable mediante un robot trepador permite localizar con precisión los defectos, evaluar su estado y determinar su gravedad utilizando la escala de evaluación aplicable.

Para garantizar una inspección exhaustiva del cable del puente, la tecnología principal del robot trepador debe cumplir los siguientes requisitos:

- Debe ser fácil de instalar en cables de diferentes diámetros y poder pasar por encima de las líneas espirales antilluvia sin causar daños.
- Un sistema de alimentación de tamaño adecuado y con suficiente autonomía debería permitir que el robot se mueva hacia adelante y hacia atrás, y que se mantenga suspendido en el aire libremente, todo ello bajo control inalámbrico.
- Deberá transmitir vídeo en tiempo real, de forma inalámbrica, a una estación receptora terrestre, con la opción de guardar las grabaciones.
- El robot debería ser capaz de capturar vídeo con una distorsión mínima en diversas condiciones ambientales, como por ejemplo, con contraluz.
- Se debe registrar con precisión la ubicación exacta de cualquier daño en el cable.

El robot consta de 5 sistemas: un sistema de estructura mecánica, un sistema de alimentación, un sistema de inspección visual y posicionamiento, un sistema de control y operación, y un sistema de seguridad.

Para capturar con precisión el estado de la cubierta de polietileno, el sistema de inspección visual cuenta con cuatro cámaras, un controlador principal y una unidad de almacenamiento de datos.

A medida que el robot asciende por el cable, el controlador transfiere las imágenes de las cámaras a la unidad de almacenamiento, creando así un registro completo de la superficie protectora del cable. Un sintetizador de vídeo combina las señales de las cuatro cámaras para su monitorización simultánea.

Al mismo tiempo, los datos de posicionamiento se integran y transmiten al sistema de monitorización terrestre mediante el subsistema de transmisión inalámbrica.

<u>Detección y verificación no destructiva de la fractura y corrosión interna de los alambres en cables estructurales.</u>

El ensayo de ondas guiadas magnetostrictivas se basa en los efectos magnetostrictivos e inversos de la magnetoestricción en materiales ferro-magnéticos. El efecto magnetostrictivo provoca que un material ferromagnético cambie de forma al ser sometido a un campo magnético y, por lo tanto, puede utilizarse para generar ondas guiadas.

El efecto magnetostrictivo inverso provoca que el campo magnético de un material ferromagnético cambie al deformarse, lo que permite la recepción de ondas guiadas. Basándose en este principio, se desarrolló un sistema de prueba de ondas guiadas magnetostrictivas. Un ordenador genera un pulso y lo envía mediante una conexión USB a un amplificador de potencia. El pulso amplificado excita la bobina transmisora, generando una onda elástica que se propaga a lo largo del cable gracias al efecto magnetostrictivo. Defectos como cables rotos o corrosión reflejan parte de esta onda.

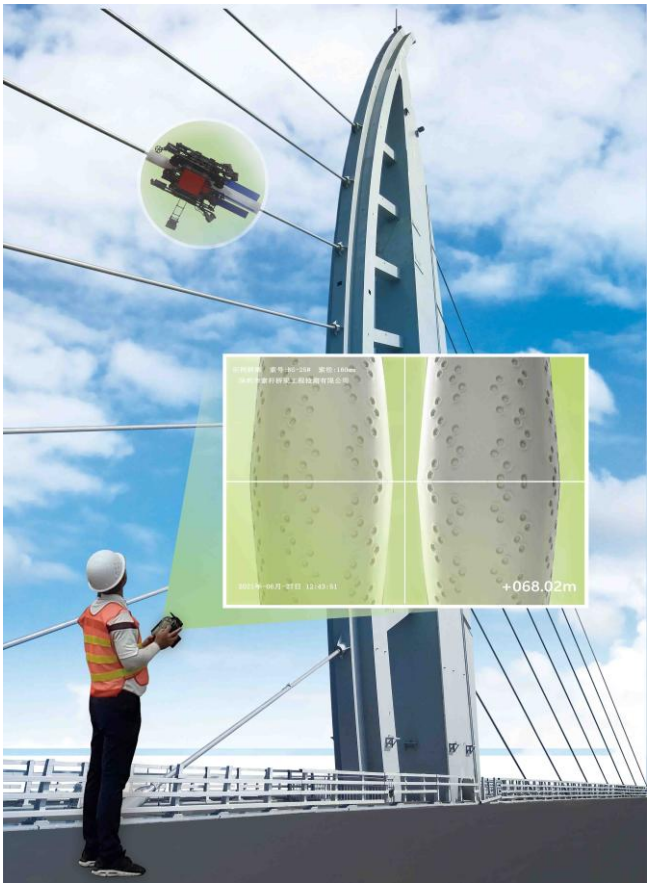


Figura 1: Inspección superficial de la cubierta de PE mediante un robot trepador de cables



Figura 2: Detección de corrosión interna y rotura de hilos en cables

La bobina receptora detecta la onda elástica reflejada mediante el efecto magnetostrictivo inverso y la convierte en una señal electrónica. Esta señal se amplifica, filtra y digitaliza mediante el preprocesador de señales antes de ser introducida en el ordenador a través del puerto USB.

El software de análisis procesa la señal y evalúa el estado del cable. El magnetizador aplica un campo magnético de polarización para mantener lineal el efecto magnetostrictivo.

Esta técnica permite la identificación y localización tempranas del deterioro causado por la corrosión y de los cables fracturados en los cables de los puentes. Las ventajas de esta técnica incluyen las siguientes:

- Eficientes y avanzados: basta con instalar sensores en las secciones de cable cercanas al tablero del puente para detectar daños internos a lo largo de toda la longitud del cable, incluso dentro del anclaje.
- Exacto y de alta precisión: se puede detectar una pérdida de metal en la sección transversal de tan solo el 2%, en relación con las condiciones ideales.
- No interrumpe el tráfico: el óxido y los cables rotos dentro de los cables del puente se pueden detectar sin interrumpir el tráfico.

INSPECCIÓN DE CABLES MEDIANTE FUERZA

Las pruebas de fuerza en cables se utilizan para determinar el estado de fuerza actual de los cables y, de este modo, evaluar si las fuerzas internas de la estructura se desvían de las condiciones de diseño. La prueba de extracción permite medir la fuerza absoluta del cable con mayor precisión.

Hay tres métodos que se usan generalmente en las pruebas de fuerza de cables para puentes en servicio:

- método de frecuencia;
- método de tensión;
- método del sensor de presión.

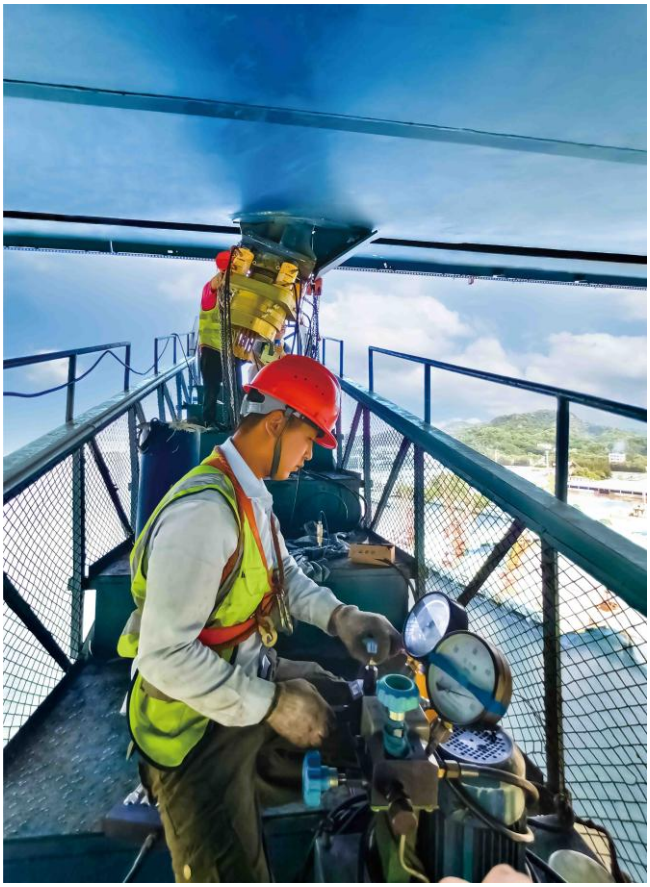


Figura 3: Sistema de detección de fuerza absoluta en cables de puente



Figura 4: Inspección y reapriete sincronizado de las abrazaderas de cable

El método de frecuencia de vibración es el más utilizado para medir la fuerza en los cables de puentes en servicio debido a su tamaño compacto y a los sencillos requisitos de equipo. Sin embargo, el cálculo de la fuerza en los cables mediante este método presenta varias dificultades técnicas, entre ellas:

- La longitud efectiva del cable es difícil de determinar.
- La influencia de la rigidez en la fuerza calculada no puede ignorarse en cables cortos.
- La mayoría de los cables están equipados con un amortiguador, lo que introduce un error en la fuerza del cable medida mediante el método de vibración.
- Otros factores influyentes, como la vaina exterior y la distribución no uniforme de la tensión dentro de los cables de acero, también afectan al resultado.

Para medir de forma precisa e intuitiva la fuerza de los cables de un puente en servicio, especialmente en proyectos de sustitución de cables, es necesario determinar dicha fuerza con exactitud.

El método de tensión resulta idóneo para este fin y es particularmente adecuado para ensayar cables de acero trenzado y cables cortos en puentes en servicio.

INSPECCIÓN ESPECIAL DE CABEZALES DE ANCLAJE, CONDUCTOS DE CABLES, ETC.

Los cabezales de anclaje, los conductos de cables y los componentes relacionados pueden inspeccionarse visualmente y evaluarse para detectar defectos, como la falta de tapas de anclaje y pernos de fijación sueltos, de modo que cualquier problema detectado pueda solucionarse con prontitud.

INSPECCIÓN ESPECIAL Y RETENCIÓN SINCRÓNICA DE LA ABRAZADERA DEL CABLE

La fuerza de sujeción de los pernos de la abrazadera del cable del puente colgante disminuye gradualmente a lo largo de la vida útil del puente.

Para facilitar las operaciones de inspección y mantenimiento, generalmente se pueden diseñar y fabricar plataformas de trabajo específicas que se



Figura 5: Mantenimiento especial del sistema de cables

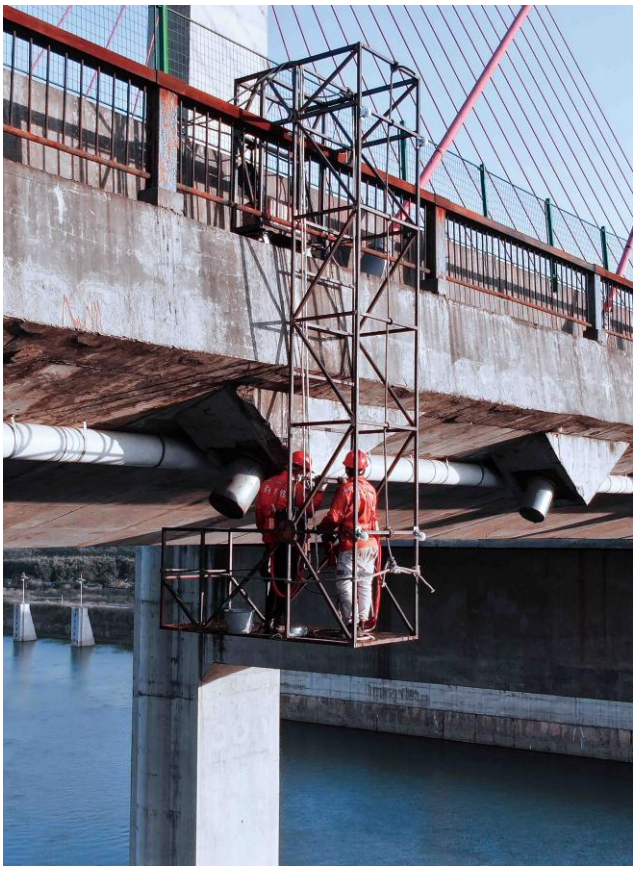


Figura 6: Mantenimiento profesional de los cabezales de anclaje de cables

desplacen a lo largo de los cables principales del puente, adaptadas a su configuración estructural específica.

De acuerdo con las especificaciones aplicables, la fuerza de tensión de los pernos de sujeción de los cables debe medirse periódicamente utilizando equipos calibrados después de la finalización del puente y durante toda su vida útil.

Si la tensión medida se desvía del valor de diseño, los pernos deberán reapretarse simultáneamente para restablecer la fuerza de sujeción requerida y garantizar que las abrazaderas de los cables mantengan el factor de seguridad antideslizante prescrito.

TOMA DE DECISIONES CIENTÍFICAS PARA EL MANTENIMIENTO Y EL REFUERZO

La clasificación del estado del sistema de cables se determina a partir de los resultados de la inspección y los datos históricos relevantes de operación y mantenimiento. Las fuerzas medidas en los cables se incorporan a un modelo de elementos finitos, y la capacidad de carga del cable se evalúa mediante un análisis iterativo de acuerdo con las especificaciones de diseño, ensayo y evaluación aplicables. Cada cable debe evaluarse individualmente para respaldar una valoración precisa de la capacidad de carga total del puente.

La evaluación de la capacidad de carga de los cables proporciona a los propietarios de puentes y al personal de mantenimiento una base objetiva para tomar decisiones sobre la reparación, el refuerzo o la sustitución de los cables. Si se requiere la sustitución, se debe elaborar un diseño específico para el proyecto.

Las labores de mantenimiento y refuerzo incluyen principalmente la reparación de los cables de los puentes, su recubrimiento con cintas de PVF, la reparación de los cabezales de anclaje de los cables, la reparación y deshumidificación de los cables principales de los puentes colgantes y la sustitución de los cables de los puentes cuando sea necesario.

Mantenimiento y protección antienvejecimiento de las fundas de PE para cables

Debido a que la cubierta de PE está expuesta al aire y a la radiación ultravioleta durante largos periodos, puede dañarse por el envejecimiento del material o por medidas de protección inadecuadas durante la construcción. Antes de reparar una zona dañada, es necesario limpiarla a fondo, preparar tiras de PE del mismo color, realizar una reparación con adhesivo termofusible utilizando herramientas especializadas y, a continuación, lijar la reparación para restaurar el espesor original de la capa de PE.

Para ralentizar el envejecimiento continuo de la cubierta de HDPE, su superficie debe cubrirse según sea necesario. Envolverla con cinta antienvejecimiento de PVF evita la exposición directa a la radiación ultravioleta y la lluvia ácida, lo que ralentiza el envejecimiento de la cubierta, prolonga su vida útil y retrasa la necesidad de reemplazar el cable.

Mantenimiento de cabezales de anclaje, tapas de sellado y tuberías de cables.

La oxidación de los cabezales de anclaje y la acumulación de agua en los conductos de cables también son problemas comunes. Los cabezales de anclaje se pueden proteger eliminando la corrosión, aplicando cera de sellado e instalando membranas protectoras. Los defectos en los conductos se pueden solucionar eliminando el agua acumulada, inyectando cera de sellado y reemplazando el anillo de sellado.

CONCLUSIÓN

Tras una inspección de un puente, no es apropiado dar por sentado que la seguridad estructural sin pruebas suficientes ni declarar prematuramente que el sistema de cables se encuentra en estado crítico.

En su lugar, el sistema de cables debe someterse a una evaluación integral y sistemática, respaldada por resultados de inspección detallados, tecnologías avanzadas de diagnóstico y análisis estructurales cuantitativos.

Cualquier conclusión sobre el estado de un cable debe basarse en evidencia objetiva, y las estrategias de mantenimiento deben establecerse mediante una consideración racional y equilibrada del desempeño estructural, los mecanismos de deterioro y los riesgos asociados.

A partir de este proceso, se pueden implementar medidas de intervención específicas y diseñadas por profesionales para garantizar la seguridad, la confiabilidad y la funcionalidad a largo plazo de los puentes atirantados.

ENTREVISTA
A FRANCISCO MILLANES MATO
CATEDRÁTICO DE ESTRUCTURAS Y PUENTES METÁLICOS Y MIXTOS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, ESPAÑA

Magdaléna Sobotková

En primer lugar, gracias por dedicarle su tiempo a esta entrevista.

Nuestras dos revistas, e-mosty y e-BrIM, giran en torno a los puentes. ¿Podría contarnos cuál es su relación con los puentes y cómo empezó todo?

Yo cursé los estudios de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos en la Universidad Politécnica de Madrid entre 1968 y 1973.

Una vez concluidos mis estudios comencé a trabajar inmediatamente en el ámbito de las estructuras de edificación y puentes y posteriormente, entre 1977 y 1979, me desplacé a cursar estudios de doctorado en París, donde obtuve el título de Docteur-Ingénieur por la Ècole Nationale des Ponts et Chaussées, con una tesis sobre "los anclajes de los cables de hormigón postesado en los puentes construidos por voladizos sucesivos".

A mi vuelta a España seguí estrechamente vinculado al ámbito de los puentes:

En el ámbito académico, como Profesor de Puentes en la Universidad Politécnica de Valencia, entre 1979 y 1981 y posteriormente, desde 1981 hasta mi jubilación docente en 2021, como Catedrático de Estructuras y Puentes Metálicos y Mixtos en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid.

En el ámbito profesional, asociado a dos de los más ilustres e internacionalmente reconocidos profesores e ingenieros proyectistas de puentes españoles de la segunda mitad del siglo XX: José Antonio Fernández Ordóñez y Julio Martinez Calzón, con los que trabajé entre 1981 y 1990 y posteriormente, como Presidente y CEO de la Consultora de Ingeniería IDEAM, especializada en todo tipo de proyectos de puentes y estructuras, tanto de hormigón pretensado, como metálicos y mixtos, hasta mi jubilación en 2023, coincidiendo con la integración de dicha empresa en la reconocida firma californiana TYLIN.

O sea, han sido prácticamente unos 50 años estrechamente vinculado a la docencia, proyecto y construcción de todo tipo de puentes de las más variadas tipologías y siempre poniendo la máxima atención en los aspectos estéticos y formales de su diseño, así como al desarrollo y aplicación de las



tecnologías más avanzadas, tanto en el ámbito del acero y del hormigón como, especialmente, en su integración en la tecnología del proyecto y construcción de estructuras y puentes mixtos.

¿Quién ha influido más en su carrera, su misión y su forma de pensar?

Como ya cité anteriormente, toda mi carrera profesional, mi formación teórica y mi concepción del diseño y construccion de puentes sólo puede entenderse desde la influencia, tanto personal como profesional, de dos de los más valiosos ingenieros españoles del fin del siglo XX: José Antonio Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón, ambos también profesores de la Universidad Politécnica de Madrid, que desde los años 70 introdujeron y desarrollaron, al más alto nivel y de forma internacionalmente reconocida, la construccion mixta hormigón-acero en nuestro país, cuando apenas era conocida y aplicada en todo el mundo salvo en Alemania y Suiza, y con los que colaboré muy estrechamente desde mis inicios profesionales en 1973.

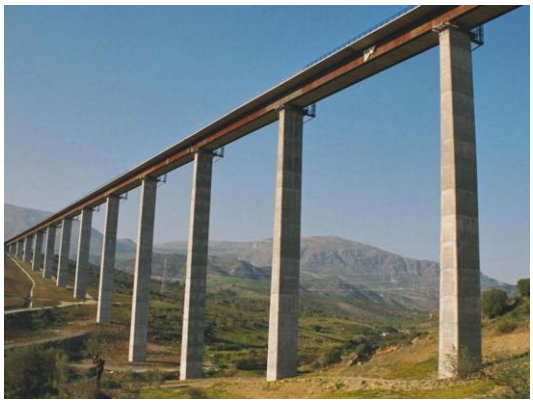
A ellos debo la inmensa suerte de haberme formado y especializado en el ámbito de los puentes y estructuras desde la visión integral que proporciona la construcción mixta acero-hormigón, con el trabajo conjunto de ambos materiales y las enormes sinergias que se derivan de la potencia y consistencia de sus conceptos teóricos y de diseño, permitiendo un tránsito fluido y coherente entre las tecnologías del hormigón armado, del hormigón pretensado y de las estructuras metálicas como continuidad con los sistemas mixtos cuando uno de sus componentes se elimina o disminuye significativamente su presencia.

Mi dilatada experiencia en los ámbitos docente, teórico y de proyectos me ha permitido confirmar la enorme riqueza y potencialidad de este planteamiento.

¿Cuál es el proyecto en el que ha trabajado que le ha proporcionado mayor satisfacción personal y por qué?

No me resulta posible elegir solamente uno pero, como luego detallaré, hay quizás seis que podría seleccionar que, de alguna forma, me vienen inmediatamente a la cabeza cuando reflexiono sobre mi trayectoria profesional:

- el viaducto Arroyo de las Piedras, en Málaga, primer viaducto en estructura mixta en las líneas de Alta Velocidad españolas, y el de mayor longitud de vano (63,5 m) que hasta entonces se había construido en esta tipología para la alta velocidad ferroviaria;
- el viaducto de Archidona, viaducto en estructura mixta también en Málaga, que con sus 3150 m. de distancia entre estribos constituyó la estructura de mayor longitud hasta entonces construida con continuidad estructural y ausencia de juntas intermedias entre los dos únicos aparatos de dilatación de vía ubicados en ambos extremos del viaducto;
- el puente arco laminar del Infante don Enrique, sobre el río Douro en Porto, con 280 m. de luz, que supuso no solamente un arriesgado reto tecnológico por la enorme esbeltez del arco, de sólo 1,5m. de canto, y un máximo rebajamiento para la magnitud de la estructura, sino también por el reto paisajístico y estético que supuso su ubicación en el centro histórico de Porto, Patrimonio de la Humanidad y entre los impresionantes arcos metálicos de Eiffel y Zeidig, referentes insuperables de nuestra profesión;
- la pasarela de Abandoibarra, en Bilbao, en un entorno urbano también privilegiado, entre la Universidad de Deusto y el Museo Guggenheim de Frank Gehry. La solución que proyectamos y construimos resultó ganadora de un Concurso de Ideas que potenciaba la valoración de la innovación tecnológica y estética de las propuestas. La estructura, con formas innovadoras en lámina plegada de 140 m. de luz, recurrió por primera vez en puentes de gran luz al uso de acero inoxidable tipo dúplex de elevadas prestaciones mecánicas, en contraste con el titanio de la fachada del museo. La zona interior de la estructura, donde alojaba la circulación de los peatones, iba recubierta de madera de lapacho de los bosques tropicales de Brasil;
- el viaducto sobre el río Ulla, ubicado en un entorno paisajístico único, en el eje Atlántico de Alta Velocidad de Galicia. Se trataba de una celosía en estructura mixta que con 260 m. de luz superó en 40 m. el hasta entonces récord




El Viaducto Arroyo de las Piedras, Málaga, España





El viaducto de Archidona, Málaga, España





El puente arco laminar del Infante don Enrique, Porto, Portugal





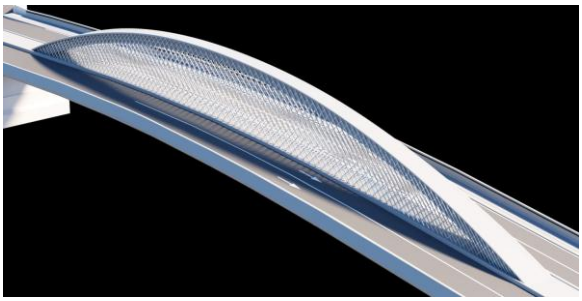
La pasarela de Abandoibarra, Bilbao, España

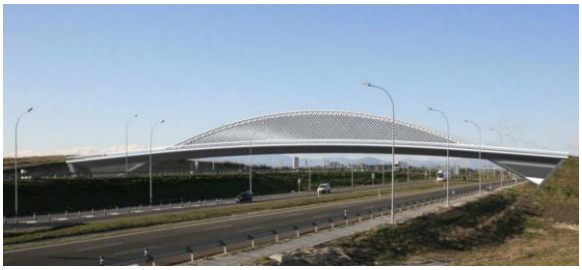




El viaducto sobre el río Ulla, España







El Puente de la Concordia, Madrid, España

mundial de esta tipología, el viaducto de Nantenbach, del insigne ingeniero alemán Leonhardt;

- el Puente de la Concordia, el último que proyecté y construí antes de jubilarme, un arco mixto de 150m. de luz, ubicado en la entrada a Madrid desde la Terminal 4 del aeropuerto de Barajas, con un potente y novedoso diseño, tanto desde el punto de vista técnico como, especialmente, formal y estético, que resultó ganador de un Concurso de Ideas convocado al efecto dada la singularidad y relevancia que se le quería dotar a la actuación.

¿Se acuerda aproximadamente en cuántos proyectos de puentes ha participado y qué funciones desempeñó?

Durante los aproximadamente 40 años en los que desarrollé mi actividad profesional en el ámbito de los puentes, primero como asociado de los ingenieros Fernández Ordóñez y Martínez Calzón y, a partir de 1990, en la dirección de la Consultora IDEAM, proyecté más de 600 puentes de las más diversas tipologías, tanto de hormigón pretensado y estructura metálica como de tipología mixta hormigón - acero, tecnología con la que sin duda me siento más identificado.

Mi actividad profesional no se ha limitado a las fases de diseño y concepción, sino que en gran parte de los casos, sobre todo en los más singulares, me responsabilicé del apoyo y asistencia técnica a la construcción, así como del control y seguimiento de su ejecución, ya sea por parte de la empresa constructora o del lado de la propiedad o de la administración.

En los últimos 20 años de mi ejercicio profesional también desarrollé e impulsé en IDEAM un departamento especializado en la inspección, diagnostico, rehabilitación y refuerzo de puentes con patologías, una actividad que me ha resultado muy atractiva profesionalmente y que me ha aportado, como consecuencia de las conclusiones que se derivaban del análisis de patologías en puentes existentes, un acerbo inestimable de enseñanzas para aplicar en los detalles y conceptos del proyecto de nuevos puentes, con las consiguientes mejoras que esas novedades permitían repercutir en su durabilidad.

También quisiera resaltar mi participación en varios casos de evaluación y revisión de proyectos ajenos, así como en el peritaje de accidentes e incidencias en puentes en servicio o en fase constructiva.

¿Hay algún proyecto que sea especialmente significativo para usted o que destaque como uno de sus favoritos?

Sin duda los seis que cité y describí anteriormente, ya que en todos ellos tuve que abordar, no gratuitamente sino de forma obligada para poder dar respuesta a los condicionantes y necesidades de cada caso, unos retos tecnológicos que superaban lo proyectado y construido hasta la fecha.

Y, lo que me resultó sin duda más estimulante y gratificante personal y profesionalmente, es que dichos retos técnicos iban acompañados de unas severas exigencias de carácter estético y formal por sus especiales ubicaciones en entornos urbanos o paisajísticos con muy estrictos requisitos de integración ambiental.

Como ya comenté anteriormente, en todos ellos mi participación no se limitó a las fases conceptual y de diseño sino que, lo que me resultó más gratificante y me marcó de forma indeleble tanto personal como profesionalmente, fue mi estrecha participación durante la fase de construcción como apoyo técnico y responsable del control y seguimiento de la calidad de ejecución.

A lo largo de su carrera, ¿qué cambios importantes ha observado en la tecnología de los puentes? ¿Qué avance técnico considera el más significativo?

Desde el punto de vista de las tipologías estructurales entiendo que ha habido pocos cambios y novedades relevantes, dado que las grandes realizaciones en el ámbito de los puentes metálicos ya se desarrollaron en la segunda mitad del siglo XIX y las primeras décadas del XX.

El hormigón pretensado experimentó un importante impulso con el desarrollo de la obra pública tras la Segunda Guerra Mundial, pero la mayor parte de los avances tipológicos y tecnológicos se produjeron en los años 60 y 70.

Posteriormente a dichos años, quizás podríamos destacar la consolidación y desarrollo de todo tipo

de variantes de las soluciones atirantadas, prácticamente consolidadas hoy día para luces por encima de los 200 m.

En cambio, sí resaltaría dos cambios que he observado y que me parecen muy relevantes, por su novedad, interés y potencialidad en el futuro inmediato, y en los que me he visto implicado a lo largo de mi trayectoria profesional:

- la aparición y desarrollo, en el que España ha sido pionera y puntera en el ámbito internacional, del concepto y realizaciones de la "prefabricación abierta", que permitió superar los estrictos limites de las tradicionales soluciones prefabricadas isostáticas en vigas doble T y que, con el recurso de las técnicas del postesado en segunda fase y, sobre todo, del postesado exterior, han extendido el campo de la prefabricación a prácticamente todas las tipologías hasta entonces exclusivas de la construccion in situ: puentes de luces medias, incluso próximas o superiores a los 100m., con dinteles continuos de canto constante, variable, curvos o esviados y, para mayores luces, soluciones prefabricadas extradosadas y atirantadas. Hoy día prácticamente puede plantearse competitivamente la prefabricación de cualquier solución tipológicamente válida para construirse in situ;
- el desarrollo, prácticamente universal, de las tipologías mixtas que hasta los años 70 estaban prácticamente limitadas a algunas realizaciones en Alemania y Suiza. Como ya he destacado anteriormente, he tenido la inmensa suerte de coincidir y participar en su introducción en España en los inicios de los 70, justo cuando iniciaba mi carrera profesional, y el privilegio de poder colaborar en su desarrollo tecnológico y conceptual, en los más variados proyectos de puentes de carretera y ferrocarril durante estos 50 años, que han situado a España en la vanguardia mundial de esta tecnología, impulsando su desarrollo y competitividad en el ámbito internacional, de manera muy notable en Latinoamérica, Estados Unidos y Canadá. La elaboración y aprobación del Eurocódigo 4, en la que IDEAM ha tenido la ocasión de participar, ha colocado a la construccion mixta al mismo nivel que las tecnologías del Hormigón (Eurocódigo 2) y Acero (Eurocódigo 3), no sólo desde el punto de vista de los proyectos sino también en la investigación, desarrollos teóricos y docencia en las Universidades Politécnicas, algo impensable cuando terminé mis estudios en los años 70, cuando las tecnologías del acero y del hormigón constituían dos mundos paralelos, aislados y sin apenas interrelaciones, ni en el ámbito académico, ni en las consultoras de proyectos, ni en las empresas constructoras.

¿Cómo ve el desarrollo de la utilización del BIM en el sector de los puentes?

Inevitable y muy beneficiosa, aunque necesariamente gradual y progresiva de forma que se garantice la viabilidad y consistencia de su implantación en la ingeniería del proyecto, construcción y rehabilitación de puentes, como veremos seguidamente.

La implementación de la metodología BIM en los procesos ingenieriles vigentes en consultoras y constructoras hasta hace poco plantea muchos retos y aspectos a resolver para asegurar que la innegable potencialidad de esta nueva metodología se integre sin afectar negativamente a la calidad y futuros desarrollos de la ingeniería actual, a la que la incorporación del BIM no debería nunca afectar negativamente.

¿De qué manera ha cambiado su propio trabajo la introducción del BIM?

A mi no me afectó directamente ya que en los últimos años estaba poco implicado en las tareas directas de producción, pero lógicamente ya entonces estábamos, y cada vez estamos más intensamente, implementando progresivamente la metodología BIM en todos nuestros departamentos de IDEAM, incorporando nuevos coordinadores de BIM y BIM managers, además de modeladores, al mismo tiempo que ya exigimos BIM a los nuevos delineantes que incorporamos y que apoyamos la formación de los ingenieros jóvenes en esta técnica, indispensable cada vez más con vistas al futuro.

En España, y cada vez más en Latinoamérica, donde trabajamos más asiduamente, es ya muy frecuente que se exija BIM en todos los nuevos proyectos, sobre todo en los grandes proyectos o en los que, además de los ingenieros de estructuras, intervienen más profesionales (autovías, líneas de ferrocarril, arquitectura pública y privada, túneles, estaciones, etc.), especialmente

en LOD 300 (level of detail), es decir sólo geometrías, sin incluir todavía el detalle completo y preciso de las uniones y conexiones entre elementos.

La exigencia de incorporar armados y despieces se está asimismo extendiendo más lenta y progresivamente, ya que en muchos casos resulta todavía poco manejable y su exigencia afectaría de manera inasumible a los procesos y sobre todo a los costes y plazos que han regido el mercado de la ingeniería hasta ahora.

En su opinión, ¿cuál es el nivel actual de aceptación del BIM en el sector de la construcción y qué retos quedan por superar para su plena implantación?

Es evidente que existe ya un consenso generalizado en el sector sobre lo inevitable de la incorporación de la metodología BIM, cada vez más exigente y con LODs más elevados, en el sector de la construcción, tanto de la edificación como de los puentes y estructuras, y que la viabilidad de nuestras empresas de ingeniería y constructoras está directa e intrínsecamente asociada a la implementación completa de esta metodología en sus procesos.

Existe también un consenso generalizado sobre sus potenciales ahorros en tiempos, plazos y ausencia de imprevistos, así como en sus favorables consecuencias en cuanto a calidad, sostenibilidad, y la posterior durabilidad y seguimiento de las obras.

El reto que está todavía pendiente de resolver es cómo proceder a esta implementación con la estructura de costes y productividad de las empresas anteriores al BIM, por lo que su implementación debe necesariamente hacerse de forma gradual, consistente y progresiva si se quiere asegurar la viabilidad del proceso.

Y esto debe ser asimismo entendido por las administraciones y la propiedad, y reflejado adecuadamente, sin voluntarismos abocados al fracaso, en los contratos, en sus pliegos, costes y plazos, para que pueda posteriormente ser viable su implementación y exigencia.

En este sentido, entiendo que el proceso de implantación hasta su completo desarrollo puede ser muy variable dependiendo del tipo de contrato.

En mi opinión, sus ventajas pueden resultar más evidentes, y su implementación completa, por tanto, sería más rápida en algunos tipos de contratos, como por ejemplo:

- aquellos procesos, como la prefabricación de hormigón o la ejecución de estructuras metálicas, en los que la ejecución se halle más industrializada;
- los contratos de grandes edificios, estadios, hospitales, aeropuertos, etc., en lo que cada vez resulta más necesario integrar, coordinar y evitar interferencias e imprevistos entre los profesionales de las distintas disciplinas involucradas: arquitectura, estructura, instalaciones (eléctricas, mecánicas, climáticas, etc.);
- los contratos de autovías, metro, túneles o líneas de alta velocidad en los que intervengan además de los ingenieros de estructuras otros tipos de ingenieros especialistas en trazado, instalaciones, geotecnia, etc.;
- los contratos de inspecciones, seguimiento, refuerzo, mantenimiento y conservación de estructuras en los que, además de la información detallada “as built” de la obra ejecutada, y de las eventuales incidencias o patologias durante la construccion, se precise conocer y registrar todas las posibles actuaciones de inspección, diagnósticos, ensayos, patologias, rehabilitación y refuerzos acometidos para asegurar la gestión de la durabilidad a lo largo de la vida útil de la estructura.

Hoy en día, vemos cómo muchas tecnologías emergentes —IA, RA, vehículos autónomos, IoT— están dando forma a la construcción. ¿Cuál de ellas cree que influirá más en el futuro del BIM y de qué manera?

Probablemente, como en otros muchos ámbitos, la AI revolucionará drásticamente el mundo actual tal como lo conocemos y, asociada y combinada con la metodología BIM, llevará la digitalización de la ingeniería hasta unos extremos que difícilmente podemos hoy mismo imaginar.

El intenso impulso del desarrollo actual de la AI no nos ha permitido todavía implementarla más que mínimamente en nuestra práctica actual, por lo que solo podemos intuir más que muy ligeramente los

drásticos cambios que pueden atisbarse de lo que será un futuro más próximo que lejano de la ingeniería, como por ejemplo:

- en las fases de diseño y proyecto, los algoritmos de AI interactuando con los programas de elementos finitos para el análisis estructural de la información 3D recogida en los modelos BIM permitirá sin duda multiplicar la optimización de miles de variables para alcanzar geometrías, diseños y procesos constructivos más eficientes y seguros, y más acordes con los condicionantes ambientales, geotécnicos, topográficos, hidráulicos, etc. del entorno. La AI podrá asimismo aplicarse muy eficazmente a la detección de errores, conflictos e interferencias, carencias o indefiniciones de la documentación en la fase de proyecto, minimizando los riesgos e incertidumbres previamente a iniciarse las obras;
- en la fase de ejecución, los algoritmos de AI serán sin duda muy eficientes para el control y seguimiento, en comportamiento, costes y plazos, del avance físico versus el diseño digitalizado, planteando correcciones o previniendo riesgos de fallos antes de que se produzcan;
- en la fase de mantenimiento durante la vida en servicio de los puentes, la AI puede potenciar enormemente la utilidad de la información recogida en los registros históricos de BIM de todas las patologías, datos de inspecciones y tareas de refuerzo o rehabilitación llevadas a cabo, permitiendo estimar la vida útil remanente de cada elemento.

  La integración automática de la información recogida por sensores IoT en el puente (niveles de fatiga, corrosión, amplitud de fisuras, vibración, etc.) en Gemelos Digitales, así como del registro fotográfico con alta definición mediante drones, permitirán el monitoreo continuo e instantáneo del puente real, y el proceso de dicha información por algoritmos de la AI revolucionará y potenciará enormemente la ingeniería de gestión, conservación y mantenimiento preventivo de puentes y estructuras críticas.

¿Cómo se puede utilizar el BIM en la explotación, el mantenimiento y la conservación a largo plazo de los puentes?

Es quizás en el ámbito del seguimiento, mantenimiento y conservación de puentes en los que la incorporación de la metodología BIM va a suponer una drástica mejora en un futuro cercano.

En IDEAM hemos potenciado desde hace más de 20 años un departamento específico de Conservación de Puentes y Estructuras que ha llevado a cabo cientos de inspecciones, diagnosis de patologías y proyectos de refuerzo y reparación de puentes de carretera y de ferrocarril, tanto en España como en Latinoamérica.

Nuestra experiencia en este campo es que la mayor dificultad a la hora de detectar el origen de patologías, así como de evaluar su incidencia sobre la seguridad de la estructura, y la necesidad por tanto de refuerzo o reparación, es la ausencia de información fiable, y especialmente de su trazabilidad, entre las fases de ejecución, y sus eventuales incidencias, el momento de recepción de la estructura terminada y las posteriores inspecciones, pruebas, ensayos, refuerzos o reparaciones a lo largo de la vida de la estructura, informaciones que en la mayor parte de los casos han sido recabadas por diferentes empresas y almacenadas de forma aislada e inconexa con el resto de la documentación.

El recurso del BIM, sobre todo en los puentes que ya se han contratado con esta metodología, tanto en la fase de proyecto como en la de ejecución (con registro detallado de posibles incidencias, despieces de armado y especificaciones de los materiales utilizados) y de recepción (con registro final de la geometría, movimiento en los apoyos, pruebas de carga, etc.), puede suponer un drástico cambio, en positivo, en las operaciones de mantenimiento y conservación.

El BIM no sólo va a permitir asegurar la trazabilidad de toda la información recogida y almacenada, entre el momento de la recepción de la obra y las posteriores y sucesivas inspecciones y actuaciones de reparación de patologías y eventuales refuerzos, sino que además puede incorporar el registro continuo actualizado de cualquier posible sensor de auscultación incorporado para el monitoreo de la

estructura (medidores de corrosión, movimientos, vibraciones, apertura de fisuras, deformaciones, etc.).

¿Qué tareas y retos prevé para la próxima generación de ingenieros y para el sector de los puentes en su conjunto?

Yo cursé mis estudios de ingeniería con ayuda todavía únicamente de las reglas de cálculo. Mis primeros años como ingeniero coincidieron con la aparición de los primeros mini ordenadores HP en los que las oficinas de proyectos implementamos personalmente nuestra primeras aplicaciones de cálculo automático y modelos de elementos finitos.

Para mi tesis doctoral en la ENPC de París tuve que desarrollar los modelos de elementos finitos no lineales en hormigón con un ordenador de 20K (!!).

En aquella época, la todavía relativa precariedad y limitaciones de los métodos de cálculo automático de estructuras, y más aún de puentes, obligaban a los ingenieros a formarse y profundizar en la consistencia de los conceptos estructurales para poder proyectar y construir los numerosos y cada vez más espectaculares desarrollos en el ámbito de los puentes tras la 2ª guerra mundial.

Y todavía resulta más relevante reflexionar sobre los increíbles avances de la construcción de puentes metálicos en el siglo XIX, desde los 30,50 m. del puente de Coakbrookdale en 1779 hasta los 487 m. de Brooklyn en 1883, apoyados fundamentalmente en unos cálculos manuales de modelos estructurales necesariamente muy simplificados, lo que obligaba necesariamente a basar los diseños y dimensionamientos en conceptos estructurales de enorme consistencia y solidez.

En estos últimos 50 años el desarrollo del software de análisis de modelos estructurales, a partir de la técnica de elementos finitos, ha sido realmente espectacular.

Como lo ha sido paralelamente el de los modelos y módulos gráficos para la geometrización y el diseño 3D de prácticamente cualquier puente y estructura, a lo que habría que añadir los cambios que se avecinan en un futuro inmediato con el desarrollo de las aplicaciones del BIM y de la IA en el ámbito del proyecto, construcción y seguimiento de puentes.

Hoy día prácticamente todo se puede calcular, y prácticamente todo se puede diseñar y geometrizar en 3D, con formas y tipologías hasta ahora inabordables y quizás también insospechadas.

Todo ello puede empujar, sobre todo a los nuevos ingenieros formados en este entorno digital, a una ingeniería virtual, cada vez más basada en modelos y, al mismo tiempo, alejada de los conceptos en que se basaron los espectaculares desarrollos de los dos últimos siglos.

Este es a mi entender el reto al que debe enfrentarse la ingeniería en un futuro inmediato que cada vez más es un presente que nos obliga a afrontar.

¿Qué consejo daría a los jóvenes ingenieros que comienzan hoy su carrera?

En España es muy improbable que tengan la ocasión de vivir una época dorada tan intensa en el ámbito de los puentes y la obra civil como los 25 años que disfrutamos entre la entrada en Europa, en los años 80, y la gran crisis de 2010.

Tampoco es previsible que en la Europa occidental se vuelvan a producir grandes inversiones en autovías y líneas de alta velocidad en unas infraestructuras en cierto modo saturadas para las moderadas necesidades de crecimiento que se esperan.

El futuro de la ingeniería de puentes se sitúa especialmente en Latinoamérica, con todo un impresionante desarrollo por hacer y, asimismo, en Estados Unidos, Canadá y Asia, aunque en estos casos las grandes ingenierías y constructoras americanas y asiáticas no harán fácil la competencia de los ingenieros y las ingenierías europeas.

En todo caso, los grandes proyectos y obras se ubicarán muy lejos de nuestro entorno, lo que, unido al enorme desarrollo de los sistemas automáticos de cálculo y diseño, a la IA y al fomento casi imparable del teletrabajo, tenderán inevitablemente a alejar a los jovenes ingenieros, y a las compañías de ingeniería en general, de la realidad del terreno y de la presencia directa en los procesos constructivos de las grandes obras, lo

que a mi entender está indisolublemente unido a lo que es, y hasta hoy ha sido, el fundamento de la ingeniería y de la formación en esta disciplina.

Los jóvenes ingenieros se enfrentarán en su proceso de formación profesional al riesgo de la "ingeniería virtual", que puede tender a convertirlos en "operadores" de sistemas y de algoritmos de cálculo y diseño, lo cual puede resultar muy alejado de lo que realmente es la ingeniería y puede dejarles en una situación de precariedad para afrontar su desarrollo y progresión profesional frente al desarrollo de aplicaciones informáticas cada vez más potentes y a la competencia de nuevas generaciones de jovenes ingenieros seguramente más adaptados a los nuevos entornos.

En este contexto, ciertamente difícil y diferente del que hemos vivido los que hemos tenido la ocasión de desarrollar nuestra actividad profesional en estas ultimas décadas, entiendo aconsejable para la formación de los nuevos ingenieros el aprovechar cualquier oportunidad para salir de su "zona de confort" delante de una pantalla de ordenador a cientos de kilómetros de donde se van a ejecutar los futuros proyectos u obras de ingeniería, y apoyen su formación en la toma en contacto directo con la ingeniería allí donde se vaya a desarrollar.

Por último, ¿cuáles son sus planes para el futuro?

Hace ya tres años que me jubilé tanto en el ámbito académico como profesional, por lo que ya no me corresponde un futuro activo en el mundo de la ingeniería como el que he tenido durante casi 50 años.

A cambio, he ganado un control del tiempo y de mi agenda que me permite reflexionar sobre los muchos proyectos que he vivido, los puentes cuya construcción he acompañado y la dirección de los equipos de magníficos ingenieros que he dirigido.

Y debo estar agradecido de lo irrepetible de la época de la ingeniería de puentes que me ha tocado vivir y de lo mucho que me ha permitido desarrollar profesionalmente y aportado personalmente.

RESUMEN PROFESIONAL



Trayectoria Docente

1968-1973: ICCyP. ETS de Ingenieros de Caminos de Madrid. Univ. Politécnica de Madrid (UPM)
1976-1979: Stagiaire CEBTP Saint Remy lès Chevreuse. Paris
1979. Docteur-Ingénieur por la École Nationale Ponts en Chaussées. Paris
1979-1982: Profesor Agregado Interino Puentes. ETS Ing. Caminos. Valencia
1982-1993: Profesor Adjunto De Estructuras Metálicas. ETS Ing. Caminos. Madrid
1993-2021: Catedrático de Estructuras y Puentes Metálicos y Mixtos. ETSICCyP. UPM

Trayectoria profesional

1973-1976: MC2 (Consultoría Puentes y Estructuras de Julio Martínez Calzón)
1981-1990: Mart-2 (Consultoría Puentes y Estructuras. Asociado con J.M. Calzón)
1990-2008: IDEAM. Director General
2008-2021: IDEAM. Presidente y CEO
2022: IDEAM. Presidente Honorífico

Premios / Otros

2006: FIB Awards for Outstanding Structures (Arco Infante Don Henrique. Porto)
2008: ECCS Awards for Outstanding Steel & Composite Bridges (Viaducto Arroyo de Piedras. AVE Málaga)
2015: Premio CONSTRUMAT (Viaducto Río Ulla. Eje Atlántico AVE)
2015: Premio Ingeniería Demarcación Madrid. Colegio ICCP
2016: IABSE Awards for Outstanding Structures (Viaducto Río Ulla. Eje Atlántico AVE)
2016: Medalla al Mérito Profesional. Colegio ICCP
2017: Premio Sto. Domingo de la Calzada. Colegio ICCP
2014 y 2017: Premios Ingeniería Estructural ACHE (Viaductos Archidona y Ulla)

Aproximadamente 100 publicaciones técnicas y 600 proyectos de puentes y estructuras

MODELADO DE UN PASO SUPERIOR URBANO CURVO Y MIXTO, SOBRE UNA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD

Nikolai Kozak, PhD, BIM Manager del proyecto,
Dmitry Yaroshutin, director general de la empresa; Oleg Utenkov, director de proyecto; Centre of Competence Bridges
Nikolai Daliaev, ingeniero jefe, empresa constructora Baltiysky Bereg

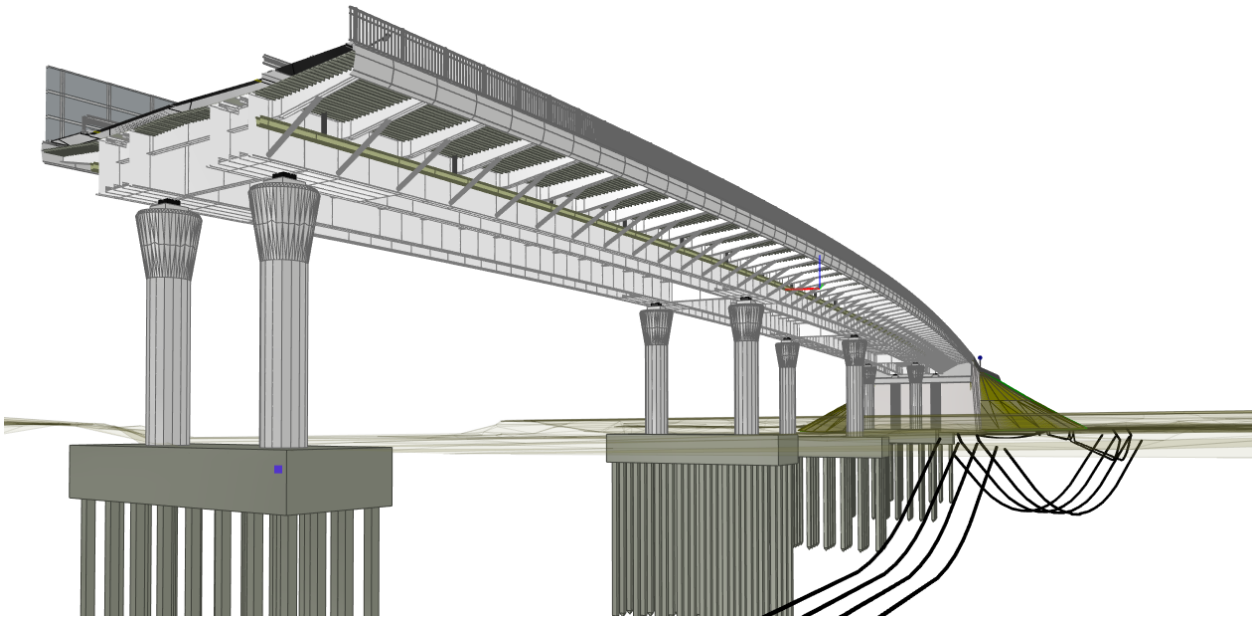


Figura 1: Vista general del modelo del paso superior.

DATOS DEL PROYECTO

Este artículo está dedicado al proyecto de construcción de un paso superior que, a pesar de su longitud total relativamente reducida y de su anchura estándar (solo dos carriles de circulación, aceras y un carril bici compartido), tiene un valor considerable, ya que conecta dos partes de zonas residenciales separadas por una línea ferroviaria de alta velocidad.

Los trabajos de este complejo proyecto, que incluye dos nuevos tramos de calle y el propio paso superior, comenzaron en 2022.

Los requisitos clave que determinaron las características de diseño del proyecto fueron los siguientes:

- Trazado en planta de la calle proyectada con una curva sobre la zona de cruce con las vías férreas;
- Limitaciones en los procedimientos constructivos del tablero del vano principal del paso superior, derivadas de las restricciones destinadas a minimizar la afección al tráfico ferroviario (por la línea circulan trenes de alta velocidad con intervalos de 2 horas en hora punta);

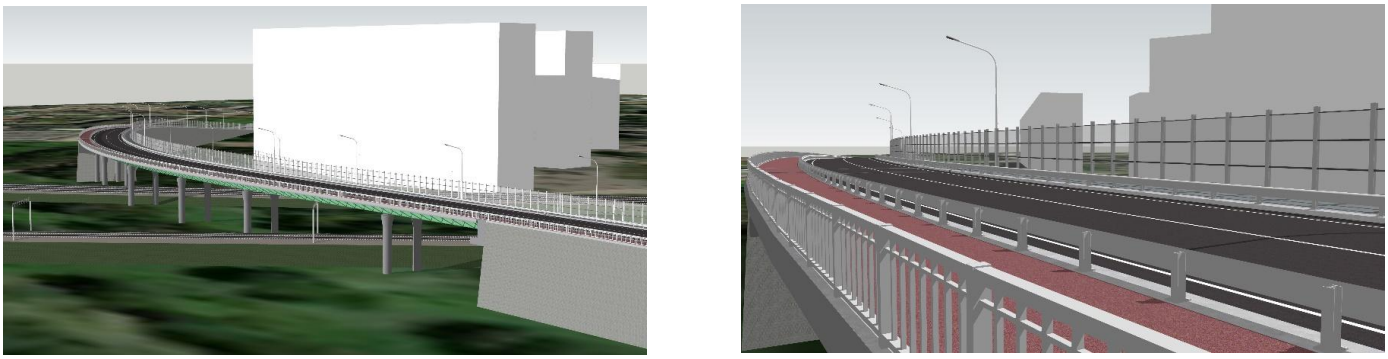


Figura 2: Visualización del proyecto para la consulta pública.

- Espacio reducido en la zona de obra;
- Gran número de servicios afectados en superficie y subterráneos (líneas eléctricas de alta tensión de 110 kV, gasoductos de alta presión) situados bajo la zona de obra y en sus inmediaciones;
- Consideración de los itinerarios peatonales consolidados de la zona por parte de los vecinos, así como la garantía de su comodidad durante la obra y tras su finalización.

La visualización del proyecto para la consulta pública, celebrada con los vecinos de la zona al inicio de la ejecución del proyecto, se muestra en la Figura 2. Para ello se elaboró en SketchUp un modelo geométrico simplificado en un plazo de dos días.

Un aspecto significativo del proyecto fueron los plazos extremadamente ajustados, tanto para el diseño como para la construcción. La primera versión de la documentación del proyecto del paso superior estuvo lista en la primavera de 2023 y los trabajos en obra comenzaron en el otoño de 2023.

La colocación del tablero en su posición definitiva se completó en abril de 2024. La inspección previa a la puesta en servicio y la prueba de carga del paso superior se realizaron en junio de 2024, y la estructura entró en pleno servicio un mes después.

MOTIVOS PARA EL USO DE BIM

La documentación de proyecto en formato BIM fue obligatoria para todos los edificios y estructuras financiados con presupuesto público.

Antes de ello, el uso de herramientas BIM no estaba regulado, y las empleaban principalmente las grandes empresas de ingeniería, que reconocían sus ventajas para optimizar la gestión de grandes.

Actualmente, la elaboración de un modelo BIM durante la fase de diseño es obligatoria para todos los proyectos y todas las empresas, con independencia de su tamaño.

PARÁMETROS PRINCIPALES DEL PASO SUPERIOR PROYECTADO

Longitud total del paso superior	246.11 m
Anchura del tablero	17.5 m
Radio de curvatura en planta	hasta 410 m
Elementos de la calle	2 carriles Acera y senda ciclopeatonal compartida
Tipo de tablero	Tablero mixto acero-hormigón; 2 vigas continuas en sección transversal (de sección cajón sobre las pilas y en el vano principal, y abierta en los vanos laterales) unidas mediante vigas transversales y losa
Distribución de vanos	33,00+42,00x2+36,00+54,00+ 33,00 m

Lamentablemente, en el caso de las infraestructuras (puentes, túneles y, en menor medida, carreteras), la transición al diseño con exigencia BIM fue bastante brusca, lo que no permite trasladar por completo el propio proceso de diseño a la filosofía BIM.

Hoy en día, la mayoría de los proyectistas de puentes siguen elaborando la documentación con métodos «clásicos», a base de planos y tablas. Mientras que sus compañeros de los departamentos BIM desarrollan en paralelo un modelo de información, a partir de las partes ya terminadas de la documentación «clásica».

Los dos principales objetivos que se resolvieron en este proyecto mediante la elaboración de un modelo BIM fueron:

- Cumplimiento de los requisitos formales del cliente, que consistían en entregar el modelo BIM de la obra proyectada, en ficheros en formato *.ifc (objetivo externo);
- Control interno de las soluciones de diseño desarrolladas: detección de colisiones, verificación de cotas y seguimiento de las mediciones de materiales del proyecto (objetivo interno).

ESTRUCTURA DEL MODELO BIM

En el momento de la ejecución del proyecto, ni la normativa local ni los pliegos técnicos del cliente especificaban los requisitos relativos a la composición y al nivel de contenido de atributos del modelo de información. Por ello, la empresa de ingeniería desarrolló por su cuenta un estándar interno preliminar para el modelado BIM del puente. A partir de él, se elaboró un BEP (BIM Execution Plan, plan de ejecución BIM) para este proyecto, sobre cuya base se llevó a cabo el proceso de modelado.

En consonancia con la estructura «clásica» de la documentación de proyecto, en el BEP se estableció la siguiente estructura de modelos a incluir (Entre paréntesis se indica el principal software a emplear).

- DTM – Modelo digital del terreno (Topomatic Robur);
- TKR-1 – Modelo de la carretera, incluidos el firme y el equipamiento (Topomatic Robur);
- TKR-2 – Modelo del paso superior (hasta los límites de las losas de transición) (Autodesk Revit);
- TKR-16 – Estructuras en los accesos, incluidos los muros de contención y el túnel peatonal (Autodesk Revit);
- TKR-5 – Reposición del gasoducto subterráneo (Autodesk Civil 3D);
- TKR-6 – Líneas eléctricas subterráneas de alta tensión tras su reposición (Autodesk Civil 3D);
- TKR-7 – Sistema de alumbrado público (Autodesk Revit).

En la lista anterior, «TKR» designa las partes de la documentación que contienen las soluciones de diseño tecnológicas y estructurales. De acuerdo con los requisitos del BEP, cada parte del modelo debía desarrollarse como un archivo *.ifc independiente.

Los requisitos relativos al nivel de atributos se fijaron, por iniciativa propia de los modeladores, en un nivel notablemente alto (próximo a LOD/LOI 300). El propósito de este nivel de atributos era crear una base de datos que permitiera elaborar de forma automatizada la ficha técnica del paso superior en la fase de explotación.

PROCESO DE MODELADO Y SU DISCUSIÓN

Al inicio del proyecto, la empresa ya había aplicado con éxito BIM en otros proyectos. Tanto en la fase de procesamiento de los datos durante los estudios previos, como en el diseño de la geometría de la carretera y de sus estructuras. Para ambas tareas utilizamos el software Topomatic Robur.

La situación de modelado más complicada era el modelado del paso superior. Sobre la base de la experiencia previa de nuestro equipo en tareas de ingeniería civil, se seleccionó Autodesk Revit como entorno principal de software para el desarrollo del modelo del paso superior. Desde el comienzo del modelado quedó claro que sería ventajoso contar con herramientas externas adicionales (software y scripts de terceros) para las tareas específicas de puentes. La Tabla 1 recoge las principales tareas y los problemas asociados identificados durante el modelado, junto con las soluciones que propusimos.

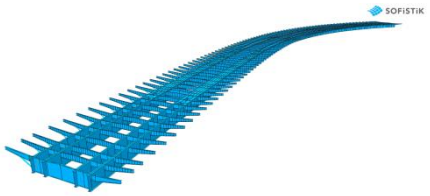
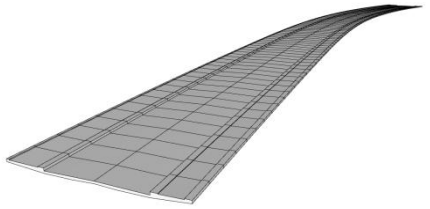
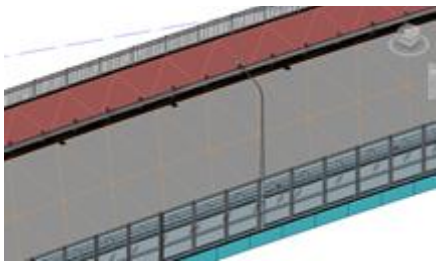
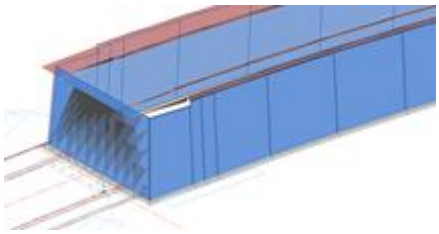
Problema (tarea)	Método de solución	Ilustración
Modelado de la geometría de un tablero metálico situado sobre una curva compleja (con curvatura variable en planta y en el perfil longitudinal).	Uso de las herramientas Computer-Aided Bridge Design de SOFiSTiK para desarrollar un modelo axial simplificado con la curvatura objetivo y su posterior exportación a Revit para el detallado.	
Modelado de la geometría de la losa de hormigón, armado del tablero sobre una curva compleja (con curvatura variable en planta y en el perfil longitudinal, así como secciones transversales variables).	Modelado poligonal directo de la geometría en SketchUp a partir del modelo de la estructura metálica importado en formato *.ifc. Posteriormente, se exportó a Revit como «modelo en contexto» (Model in context).	
Colocación de elementos individuales (puntuales) del tablero (postes de barandillas y barreras, báculos de alumbrado, tubos de drenaje, etc).	Desarrollo y posterior aplicación de scripts personalizados de Dynamo para crear matrices de elementos a lo largo de curvas complejas seleccionadas en el modelo.	
Modelado de la geometría de los muros de contención, situados en los accesos al paso superior, a partir de los datos del modelo de la carretera (TKR-1).	Exportación del modelo completo de elementos desde Topomatic Robur a SketchUp; modelado de un sólido primitivo con el contorno exterior, exportación posterior a un archivo *.dxf y uso de este en Revit como elemento generador de forma para los elementos de tipo muro.	

Tabla 1: Lista de los principales problemas y sus soluciones

Cabe señalar que, en el contexto del modelado de estructuras de puentes, dentro del entorno Revit, fue necesario redefinir el concepto de «nivel» (Level) por el concepto más adecuado de «grupo de estructuras».

Dado que el formato de salida previsto para el modelo era IFC 2x3, la redefinición de las clases de elementos IFC estándar a clases específicas de puentes (introducidas en IFC 4) no se llevó a cabo en el ámbito de este proyecto.

La descomposición del modelo de información del paso superior (parte del modelo TKR-2) se adoptó de la siguiente manera:

- Plataforma del tablero (pavimentos, barandillas y barreras, pantallas acústicas, sistema de drenaje, juntas de dilatación);
- Superestructura (losa de hormigón armado y estructura metálica);
- Pilas n.º 1 a n.º 7 (incluidas la cimentación y los aparatos de apoyo).

El modelo de las estructuras de los accesos (TKR-16) consta de dos grupos de estructuras, correspondientes al acceso n.º 1 y al acceso n.º 2, respectivamente.

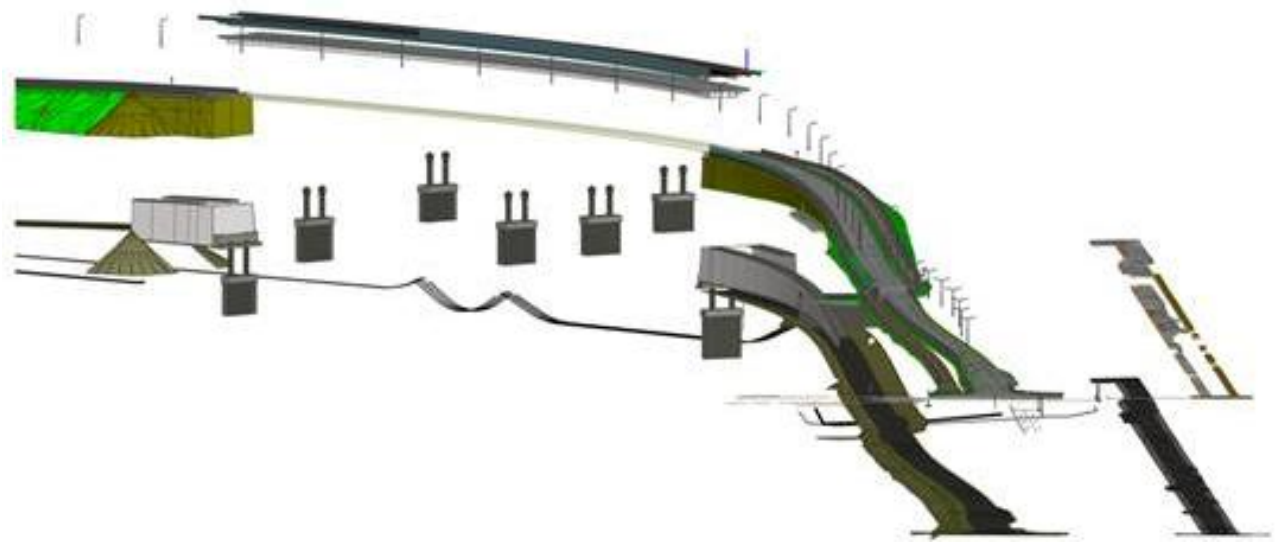


Figura 3: Descomposición del modelo del proyecto por grupos de estructuras (generada con desplazamiento de niveles en el visor IFC).

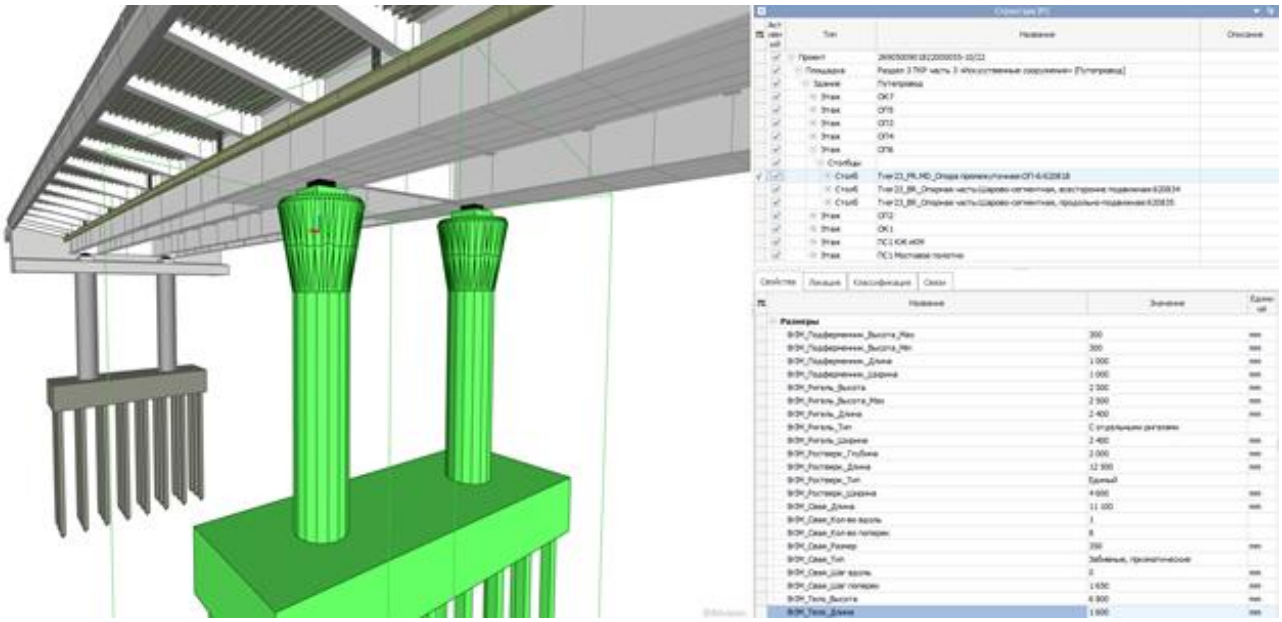


Figura 4: Contenido de atributos del modelo de información (ejemplo de la pila n.º 6).

Para el resto de los modelos (DTM y TKR 5, 6 y 7), el sistema de descomposición se adoptó sin cambios del software utilizado.

RESULTADOS DEL MODELADO

La Figura 1 ilustra una sección típica del modelo de información desarrollado. Por su parte, la Figura 3 muestra el ensamblaje final del modelo del proyecto con un desplazamiento vertical por grupos de estructuras (división aplanada por partes del modelo y por las descomposiciones locales en «grupos de estructuras» o «niveles»). La Figura 4 presenta un ejemplo del contenido de atributos del modelo para la pila intermedia n.º 6 (parámetros numéricos de su geometría).

CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DEL MODELO BIM EN LAS TAREAS DE INSPECCIÓN ANTES DE LA PUESTA EN SERVICIO

Las obras de construcción del paso superior finalizaron en la primavera de 2024, véase la Figura 5.



Figura 5: El paso superior tras la finalización de las obras.





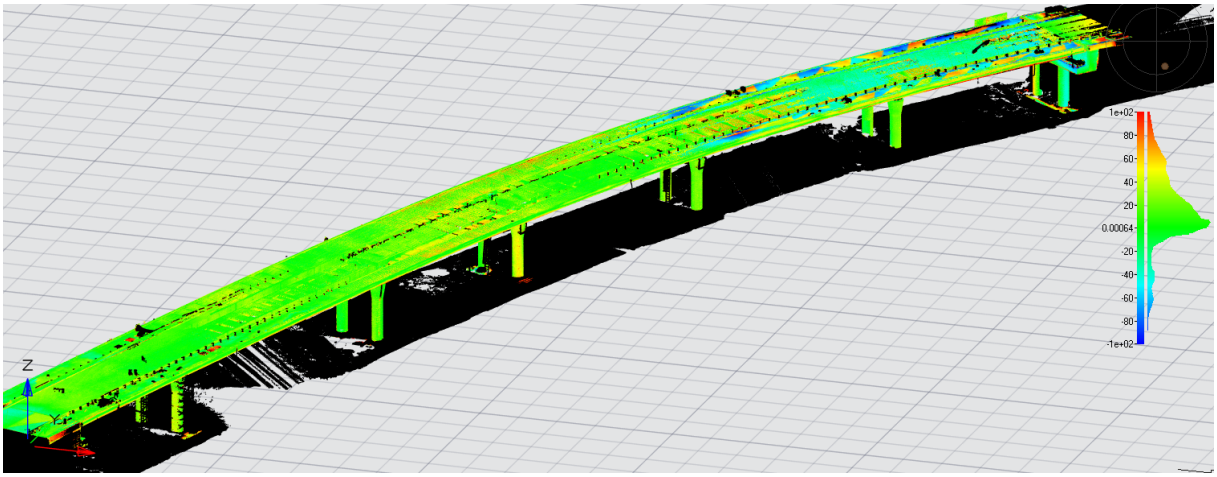
Figura 6: Proceso de escaneado láser 3D del paso superior.



Figura 7: Comparación visual de la nube de puntos con el modelo de información. Vista inferior.



Figura 8: Comparación visual de la nube de puntos con el modelo de información. Vista superior.



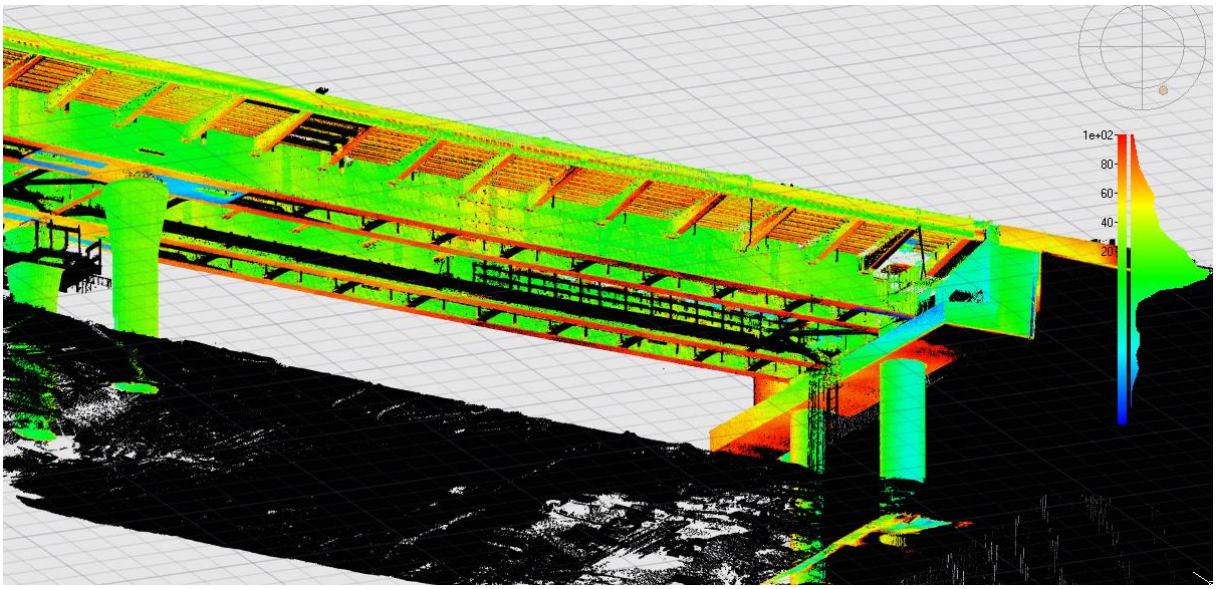
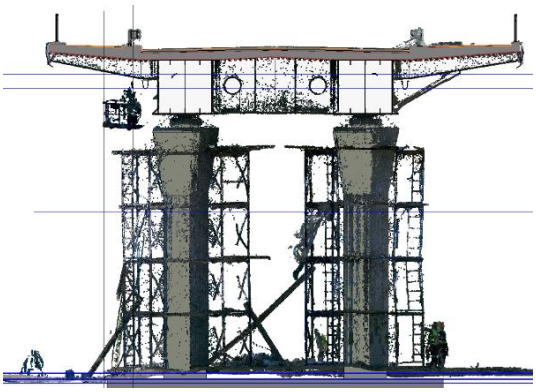


Figura 9: Comparación digital de la nube de puntos con el modelo BIM, incluyendo leyenda con las diferencias de distancia.



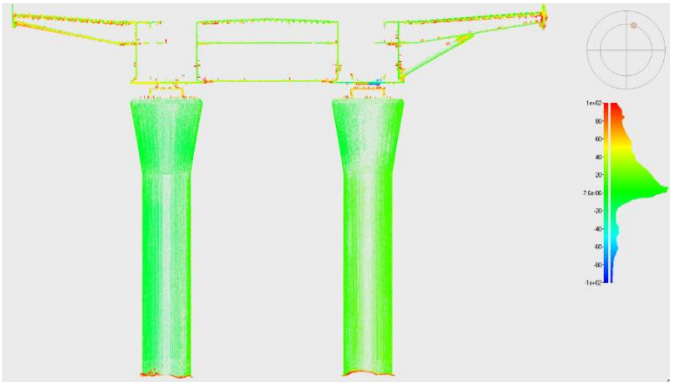


Figura 10: Control de los parámetros geométricos del tablero y de la pila, en la sección de la pila intermedia n.º 6. Los valores en verde representan desviaciones pequeñas (distancias reducidas) entre la nube y el modelo, mientras que el rojo o el azul indican diferencias grandes.

Como parte de la inspección previa a la puesta en servicio, se realizó un escaneado láser 3D de las estructuras principales. Se realizó desde más de 40 estaciones de escaneado, véase la Figura 6.

Posteriormente, para comprobar que la estructura construida se ajustaba a la proyectada, la nube de puntos ensamblada se comparó con el modelo BIM desarrollado, Figuras 7 y 8.

La nube de puntos y el modelo IFC se alinearon en modo semiautomático mediante la comparación visual iterativa de secciones de control (inicio, centro y final del paso superior), seguida de un ajuste automatizado con herramientas de software.

La nube de puntos se analizó para determinar los valores y las direcciones de las desviaciones, entre los puntos reales obtenidos y la geometría del proyecto. En la Figura 9 se muestra una interpretación gráfica de los valores obtenidos.

Se observaron desviaciones significativas en la cara inferior de la losa del tablero. Estas pueden explicarse por las distintas formas de los elementos de encofrado utilizadas, Figura 10.

También se observó, que el estribo situado en la curva compleja presentaba un ligero giro respecto al modelo BIM de proyecto. Fue debido a los ajustes introducidos en el proyecto durante su construcción.

También se realizó el control de los parámetros geométricos reales del túnel peatonal construido bajo la calzada en el acceso n.º 1, Figura 11.

A partir de la comparación entre el modelo BIM proyectado y la nube de puntos, se observaron deformaciones de la bóveda del túnel debidas a la carga del terreno (dentro de las tolerancias de proyecto).

CONCLUSIÓN

La experiencia adquirida en la ejecución de este complejo proyecto, demostró que la elaboración de un modelo BIM de un puente, además de cumplir los requisitos formales del cliente, permite a los ingenieros realizar comprobaciones de calidad adicionales y garantizar la exactitud de las soluciones de diseño.

El modelo de información también resulta útil durante la fase de inspección, antes de realizar la puesta en servicio.

Debido a que permite a los expertos realizar una comparación completa entre los parámetros geométricos de proyecto y los reales de las estructuras.

El siguiente paso a completar en el modelo durante la fase de explotación, será la introducción de las desviaciones geométricas detectadas a lo largo del tiempo.

AGRADECIMIENTOS A NUESTRO EQUIPO:

Oleg Kozlov, ingeniero – escaneado láser 3D

Maria Zobova, técnica (ingeniera asistente) – modelado de información

Ilya Gumaniuk, técnico (ingeniero asistente) – modelado de información

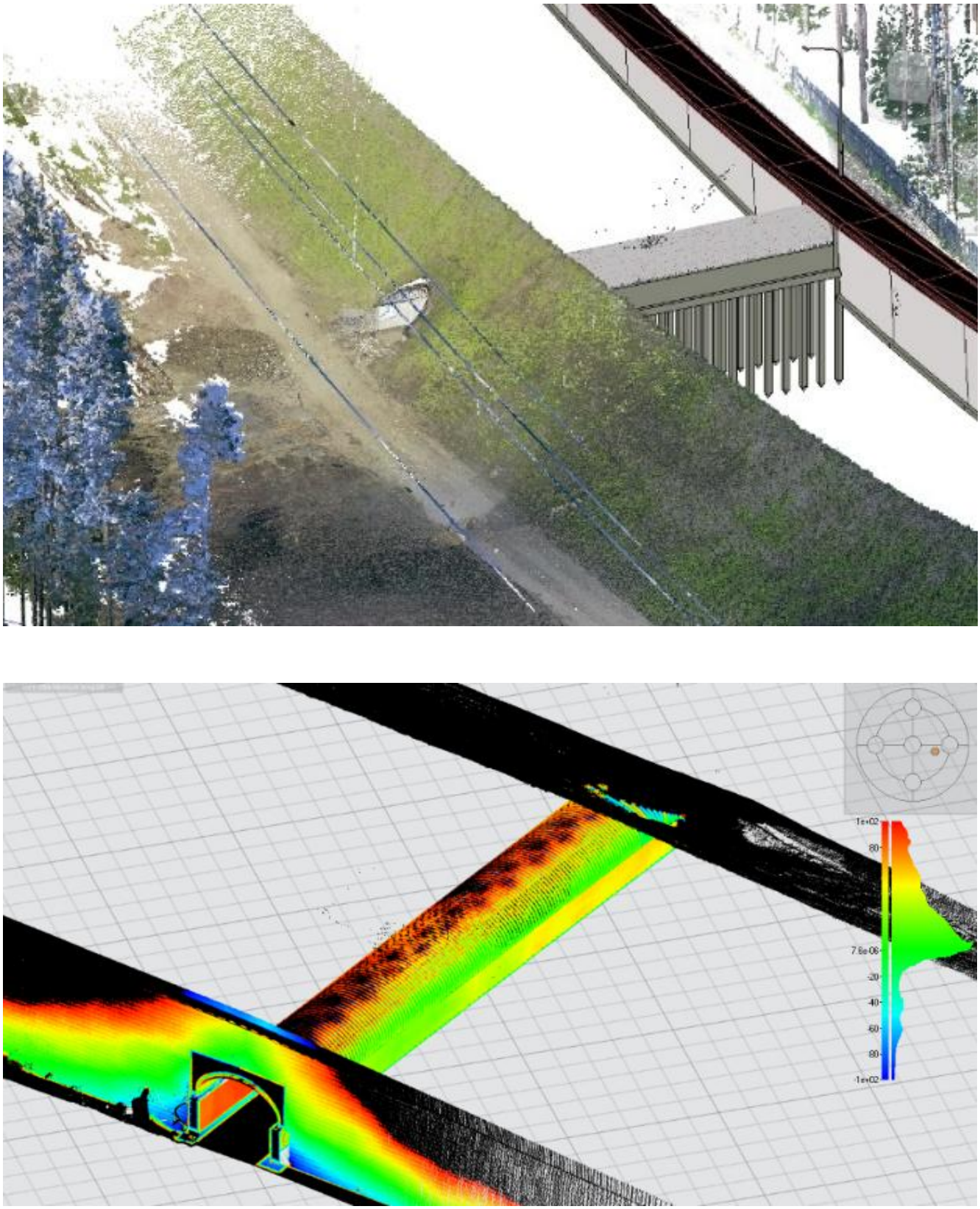


Figura 11: Control de los parámetros geométricos del túnel peatonal en el acceso n.º 1.

DE LOS PLANOS 2D A LA OBRA DIGITAL: QUÉ DATOS PUEDE PREPARAR UN PROYECTISTA PARA LA EJECUCIÓN DE PUENTES Y OBRAS LINEALES

Ing. Pavel Vlasák, Hyperon Advisory

Ing. David Novák, Ing. Magdalena Křečková
AFRY CZ

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el papel del proyectista se ha basado principalmente en la preparación y entrega de la documentación para la ejecución de la obra, predominantemente en forma planos en 2D.

La práctica actual de la ingeniería demuestra que el proyectista puede convertirse en un socio tecnológico activo del contratista, preparando datos que pueden emplearse directamente en el guiado de maquinaria, la obtención de mediciones, el replanteo y la coordinación espacial.

La clave de esta transformación es la filosofía abierta de openBIM, la integración con los sistemas de información geográfica (SIG) y la transición hacia una ejecución de obra sin planos.

A partir de ejemplos concretos de infraestructuras del transporte, los autores muestran qué datos puede ofrecer el proyectista: desde el movimiento de tierras en formato IFC para la obtención de cubicaciones y las superficies de los planos de asiento en formato LandXML para el guiado de maquinaria, hasta la generación dinámica de perfiles transversales en cualquier PK sin necesidad de elaborar manualmente decenas de planos.

Se presta especial atención a las zonas de transición de los puentes, donde la normativa de estructuras convive con los requisitos de la plataforma ferroviaria o de carreteras. Es precisamente en estas zonas donde las plataformas web actuales ofrecen una visión unificada, integrando planos 2D, modelos BIM 3D, datos geoespaciales, fotogrametría y nubes de puntos en una única visualización que permite un control claro de la obra en su contexto: mediciones, detección de interferencias y, por supuesto, el entendimiento mutuo entre todas las disciplinas.

Sin embargo, en obra esta práctica choca con una realidad muy distinta: el proyecto se desarrolla en un entorno 3D/BIM, pero se ejecuta a partir de planos 2D simplificados, lo que puede restar claridad. Por último, aunque no menos importante, el paso del diseño en 3D a la producción de planos 2D alarga considerablemente el tiempo necesario para incorporar las modificaciones surgidas en obra.

Este artículo analiza algunos aspectos de la evolución actual del BIM aplicado al proyecto, a partir de la experiencia profesional de los autores.

CONSTRUCCIÓN BASADA EN MODELOS

Este enfoque para diseñar, aprobar y ejecutar un proyecto de construcción utiliza el/los modelo(s) BIM 3D como principal soporte de todos los datos geométricos y no gráficos (propiedades, parámetros, materiales, etc.).

A diferencia del enfoque tradicional, en el que el modelo es una mera herramienta para generar la documentación 2D, en el concepto basado en el modelo este se convierte en la única fuente de información fiable y de referencia (Single Source of Truth).

La información no se transfiere a la obra de forma indirecta a través de planos, sino directamente en formato digital mediante formatos abiertos (por ejemplo, IFC para estructuras y LandXML para rutas y terreno) y el Entorno Común de Datos (CDE).

En la práctica, el concepto va mucho más allá de sustituir los planos en papel por archivos PDF en una tableta. Se trata de un cambio de paradigma: el modelo 3D pasa a ser la única base contractualmente vinculante para la fabricación y el montaje.

La elaboración manual de dibujos en 2D, que tradicionalmente ha servido como paso intermedio y puede introducir imprecisiones o errores de transcripción, puede reducirse o evitarse cuando se utiliza directamente el modelo 3D.

Los datos IFC y LandXML llegan directamente a la maquinaria, a los almacenes y a los dispositivos móviles del personal de obra, que dispone en todo momento de información actualizada procedente del modelo, en tiempo real y en el contexto del proyecto completo.

No debe entenderse como un llamamiento a eliminar los planos 2D, sino como una invitación a considerar formas de representación alternativas allí donde puedan resultar más pertinentes o eficaces.

Por supuesto, los modelos 2D pueden seguir siendo apropiados cuando su uso esté justificado por el contexto y el propósito específicos.

¿QUÉ DATOS PUEDE PROPORCIONAR UN PROYECTISTA?

La práctica tanto checa como internacional confirma que un proyectista con herramientas actuales puede preparar paquetes digitales para la obra con un valor añadido inmediato, como por ejemplo:

- Superficies y sólidos para el guiado de maquinaria (LandXML). En lugar de decenas de planos de planta con cotas y pendientes, el proyectista exporta directamente los modelos de triangulación (TIN) de las explanadas y de los planos de asiento a los sistemas de nivelación de bulldozers y excavadoras.
- Modelos de elementos estructurales (IFC). Sólidos y volúmenes precisos del tablero, elementos prefabricados y jaulas de armadura con propiedades asignadas, para la obtención automática de mediciones y de los despieces y pedidos de ferralla.
- Perfiles dinámicos en cualquier PK. Gracias al eje de trazado en LandXML y a los modelos IFC, así como a otros formatos, el proyectista ya no tiene que generar perfiles transversales estáticos cada 2 metros a petición del contratista. Cualquier miembro del equipo puede obtener un perfil del modelo en el punto deseado directamente en el navegador e incluso exportarlo en formato DXF.

PUENTES Y ZONAS DE TRANSICIÓN

Un aspecto que requiere especial atención es la zona de transición entre el estribo del puente y la estructura ferroviaria o vial adyacente. En esta zona, coexisten diferentes normativas para las estructuras del puente y las vías férreas o viales (cuñas de transición, estructuras de subrasante con traviesas, drenaje).

En la documentación 2D, esta interfaz suele definirse solo de forma esquemática o mediante perfiles transversales cada 25 metros, lo que puede dar lugar a interpretaciones distintas en obra y a discrepancias en las cubicaciones.

Cuando los modelos del puente y de la obra lineal se coordinan en un CDE neutral, el estado de proyecto queda definido con mayor claridad. A partir de él es posible comparar los cambios que se producen en obra, por ejemplo, determinar las cubicaciones en caso de sobreexcavación o de cambio de la tipología de cimentación ante unas condiciones geotécnicas diferentes.

INTEGRACIÓN DE BIM Y SIG PARA EL CONTROL EN CAMPO

Los datos preparados alcanzan su máximo rendimiento en combinación con plataformas web ligeras, como el sistema nórdico Vektor.io. Este reduce la dependencia de software CAD especializado y reúne en una única ventana del navegador el BIM (IFC), los servicios de mapas SIG (WMS/WMTS), los modelos digitales del terreno y las nubes de puntos procedentes de escaneado láser y fotogrametría.

Esto proporciona medios adicionales para respaldar el control inmediato in situ:

- Análisis de desviaciones. La comparación automática de la nube de puntos escaneada (ejecución real) con el modelo IFC del proyecto, por ejemplo, mediante un mapa de desviaciones de color, revela de inmediato, por ejemplo, desplazamientos del encofrado o de los pilotes.
- Desmonte y terraplén. Cálculo directo de los volúmenes de tierras a partir de levantamientos topográficos, para una certificación rápida y el seguimiento del avance de la obra sin esperar al procesamiento en oficina.

Los principios fundamentales de este enfoque se pueden resumir de la siguiente manera:

- Carácter contractual y jurídicamente vinculante del modelo (el modelo como documento contractual). El contrato de obra establece el modelo digital (IFC, LandXML), y no los planos, como base vinculante para la ejecución. En caso de discrepancia, prevalece el modelo.
- Nivel de detalle suficiente. El modelo debe desarrollarse con el detalle necesario para poder fabricar y montar cada elemento sin tener que hacer suposiciones en obra.
- Acceso directo a los datos en campo sin necesidad de software CAD/BIM/SIG (acceso digital en obra). El modelo puede consultarse directamente en obra mediante tabletas robustas, aplicaciones móviles o «quioscos BIM» de campo. Las dimensiones pueden medirse directamente sobre el modelo, se pueden visualizar perfiles y filtrar la vista para centrarse en los elementos que se están ejecutando en ese momento.
- Guiado de maquinaria y conexión directa con la fabricación. Los datos geométricos del modelo pueden transferirse directamente, por ejemplo, a las dobladoras de los talleres de ferralla o a los sistemas de nivelación 3D de la maquinaria de obra, reduciendo la necesidad de redibujar a mano y de transcribir coordenadas.

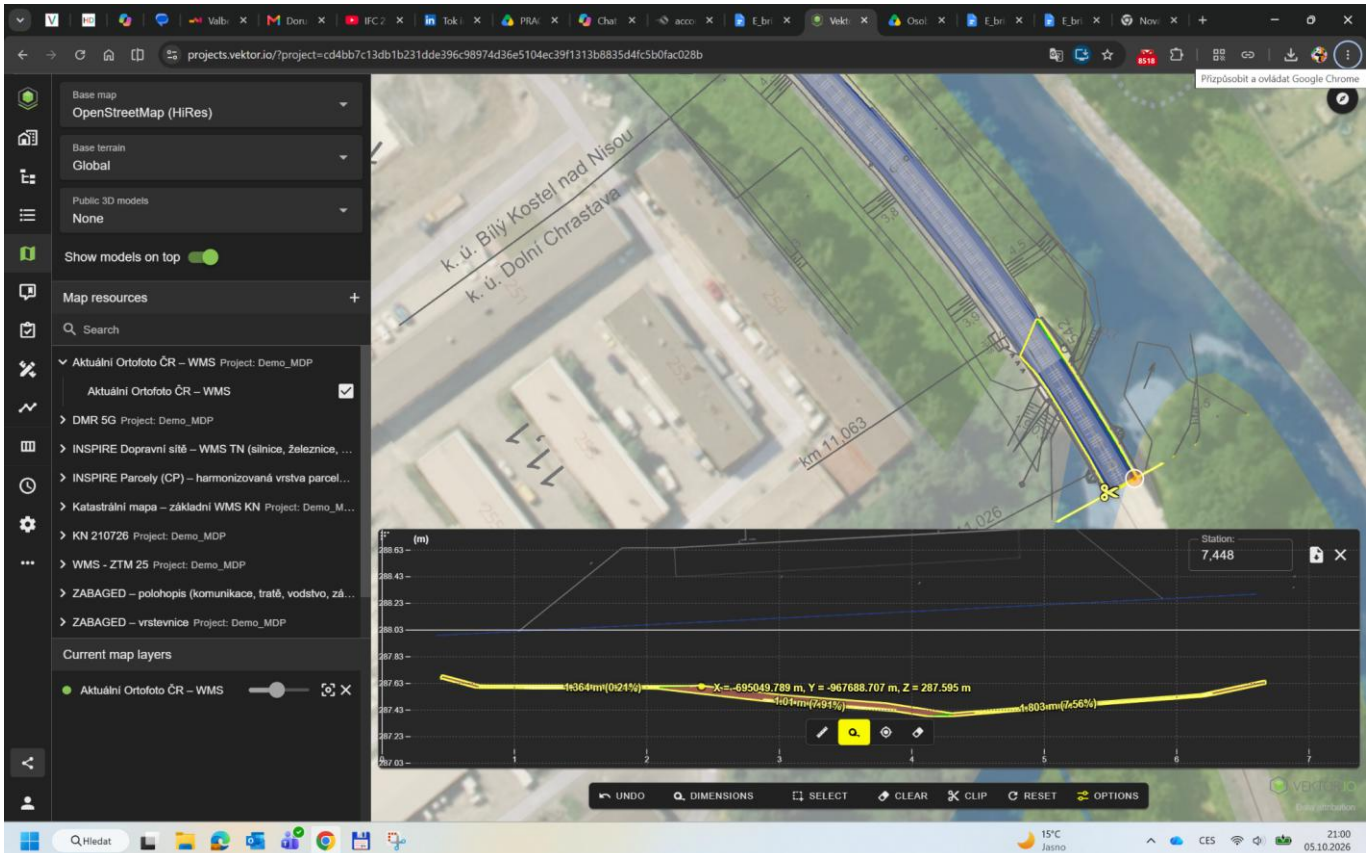


Figura 1: Integración de BIM y SIG en el navegador

- Validación continua mediante escaneado frente al modelo. El control de la obra ejecutada (as-built) se realiza mediante escaneado láser o fotogrametría periódicos, comparando la nube de puntos resultante directamente con el modelo de proyecto para evaluar las desviaciones.

Los ejemplos de la práctica profesional demuestran cómo el uso de un modelo 3D puede agilizar los procesos, ahorrar tiempo y reducir errores. Los siguientes casos prácticos ilustran algunas de estas ventajas en aplicaciones reales.

CASO PRÁCTICO 1: Andén de carga de geometría compleja; ventajas de los datos 3D frente a los planos 2D

Una de las razones más citadas para pasar a un proyecto sin planos y utilizar directamente los datos 3D es la ejecución de superficies de geometría variable.

Un ejemplo representativo de nuestra práctica es el proyecto de un andén de carga de unos 140 m de longitud situado entre vías. Las dos vías contiguas tenían un trazado espacialmente complejo; el diseño debía tener en cuenta dos rasantes y dos curvas en planta.

Esta configuración espacial exigía una pendiente transversal variable en el andén, lo que se traducía en un desplazamiento transversal continuo de la canaleta de drenaje a lo largo de toda su longitud. Una vez cerrado el diseño, la cuestión clave era cómo transmitir esa información al contratista de forma eficiente y precisa para su ejecución.

- Enfoque 2D: La entrega en 2D habría exigido elaborar una planta detallada con perfiles y puntos singulares, generar y acotar decenas de perfiles transversales y preparar un extenso listado de coordenadas para topografía. En fase de proyecto, esto supone una enorme cantidad de trabajo rutinario adicional. El problema principal surge en obra: la documentación 2D solo aporta información local y discreta en los puntos donde hay perfiles. El contratista y los topógrafos tienen que interpolar en campo los tramos intermedios de manera compleja, lo que aumenta el riesgo de errores, o bien volver a pedir al proyectista perfiles adicionales cada pocos metros.
- Enfoque 3D/basado en modelos: Para el control 3D de la maquinaria de construcción y la inspección de campo, bastó con exportar un único archivo desde el software: la triangulación de la superficie del plano de asiento en el estándar abierto LandXML.

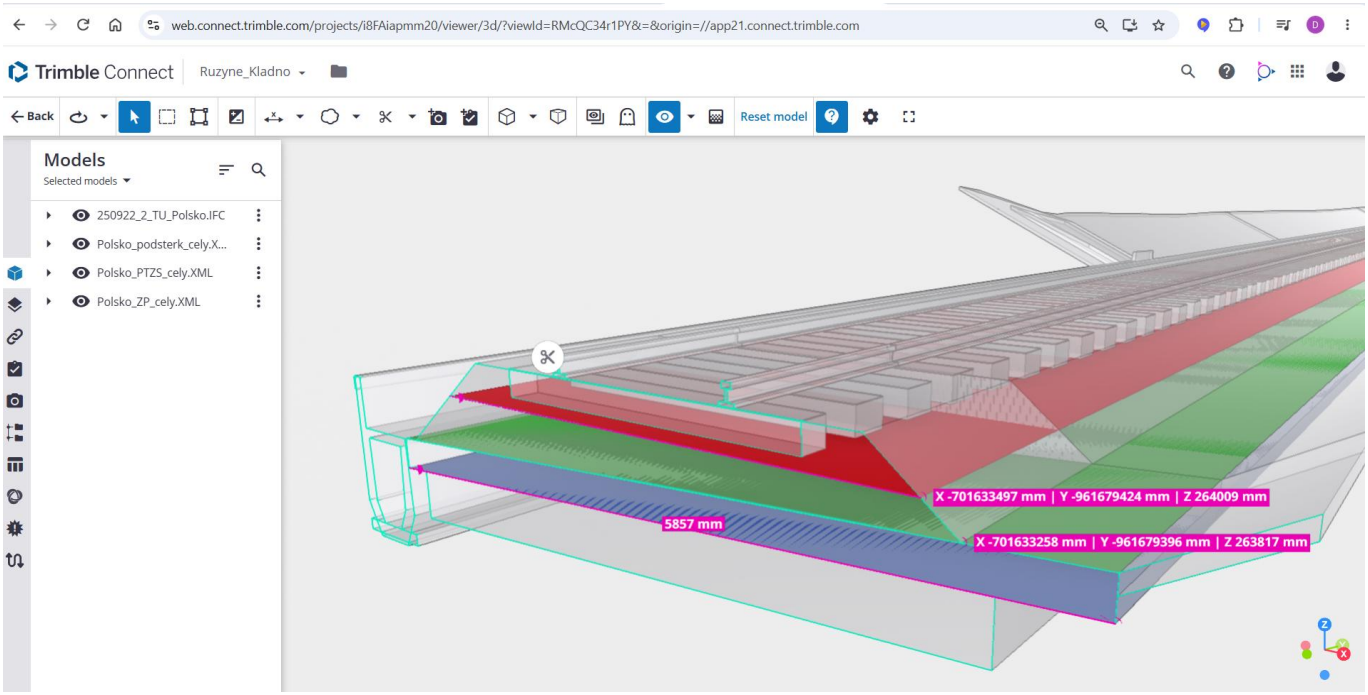


Figura 2: Materiales codificados por colores para el guiado de maquinaria. Rojo: nivel de la capa de balasto; verde: superficie de la capa del subalasto; azul: perfil del terreno

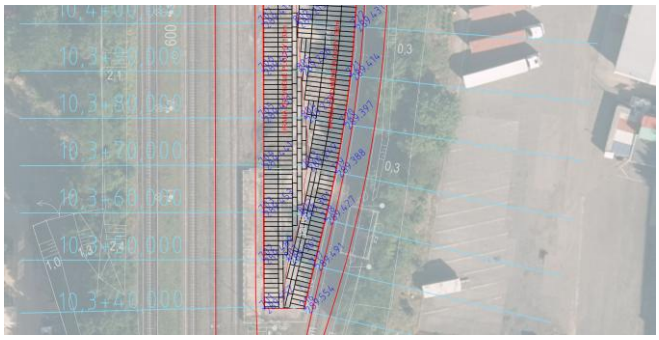


Figura 3: Planta del andén de carga con trazas de perfiles y cotas locales

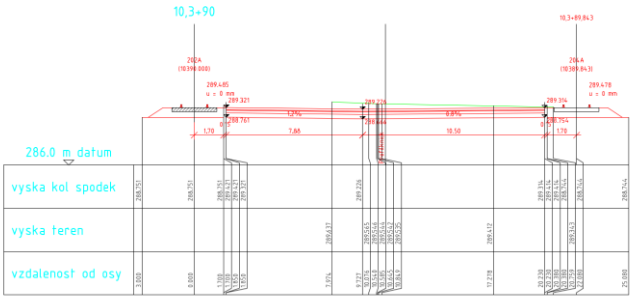


Figura 4: Uno de los muchos perfiles transversales del andén de carga, con cotas y distancias locales

- <u>Ventaja para la obra.</u> Mientras que la documentación 2D suponía horas de delineación y acotado manual, la exportación al formato abierto LandXML llevó unos minutos. El sistema de nivelación de la maquinaria dispuso así de un modelo digital continuo con precisión milimétrica, sin necesidad de interpolaciones manuales en obra. Se eliminó el riesgo de interpretar mal los planos en papel y la obra contó con una base precisa para la ejecución y el control inmediato de las cubicaciones.

<u>CASO PRÁCTICO 2: Zona de transición de un puente ferroviario; coordinación espacial sin software especializado</u>

Las zonas de transición entre un puente ferroviario y la vía contigua con plataforma de asiento convencional (zahorra 0/63, mezcla bituminosa, zahorra 0/32) son uno de los puntos más delicados de los proyectos de infraestructura desde el punto de vista de la coordinación. Es aquí donde los requisitos normativos de las estructuras se solapan con los de la plataforma ferroviaria.

En la documentación 2D, la zona de transición suele dibujarse con más detalle en el proyecto de la estructura, mientras que en el de la plataforma ferroviaria normalmente solo se describe en la memoria o se recoge en un único perfil transversal cada 25 m.

Los planos 2D ofrecen un margen limitado para comprobar si la solución estructural prevista se representa de forma coherente en las distintas disciplinas del proyecto. Esto puede provocar desacuerdos en obra y largas discusiones sobre los volúmenes reales de excavación y terraplén.

Comprobamos las ventajas prácticas de la filosofía openBIM en un proyecto concreto, en el que la infraestructura y la superestructura del puente y la vía fueron proyectadas por dos equipos distintos.

Cada disciplina trabajó con su propio software especializado: el puente se modeló en Rhino 3D y el tramo de vía en ProVI.

La exportación a formatos abiertos (IFC para los elementos del puente y LandXML para el trazado y la plataforma) y su carga en el Entorno Común de Datos (CDE) permitieron:

- Independencia de las licencias CAD especializadas. Proyectistas, promotor, contratistas y dirección facultativa pudieron consultar el modelo completo directamente en un navegador web.
- Inspección transparente de volúmenes y geometría. En el CDE se aprecia de inmediato, a lo largo de toda la longitud, cómo encajan las capas de asiento de la vía, las cuñas de transición y el trasdós del estribo, incluida su repercusión directa en los volúmenes de ambas obras.

El modelo digital aportó un contexto espacial claro para la coordinación y la toma de decisiones, facilitando una preparación eficiente y permitiendo resolver posibles problemas antes de iniciar la excavación.

<u>CASO PRÁCTICO 3: La diferencia entre la superficie prevista y la real de un puente arco</u>

El openBIM permite al proyectista, al constructor y al promotor valorar si el proyecto debe modificarse a la vista de nuevos hechos detectados en obra.

Durante la ejecución se descubrió la superficie del arco del puente existente. Era necesario comprobar que se correspondía con las hipótesis del proyecto.

Se realizó un levantamiento topográfico de sus bordes, a partir del cual se generó una superficie en el formato abierto LandXML (en rojo en la imagen). Según nuestra experiencia, un escaneado habría sido una solución aún más rápida.

Esta superficie se comparó con el diseño del nuevo tablero y con la cara inferior de la plataforma de vía.

El análisis puso de manifiesto la necesidad de elevar la rasante de la vía. La cara inferior modificada de la plataforma de vía (en azul en la figura) ya no interfería con la superficie del arco y permitía la colocación del tablero.

Gracias al modelo IFC y a las superficies LandXML, fue posible determinar con claridad las diferencias de volumen derivadas de este cambio.

En el futuro, convendría escanear la superficie real del movimiento de tierras cada vez que se modifique el trazado de la vía.

CONCLUSIÓN

La transición hacia una construcción sin planos y el apoyo digital a la ejecución no son cosa de un futuro lejano ni requieren equipos informáticos costosos.

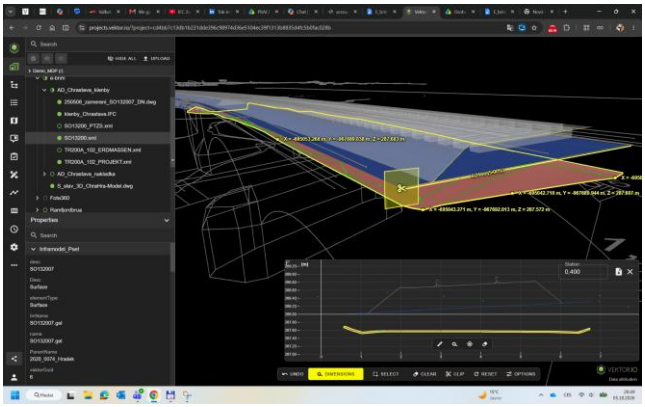
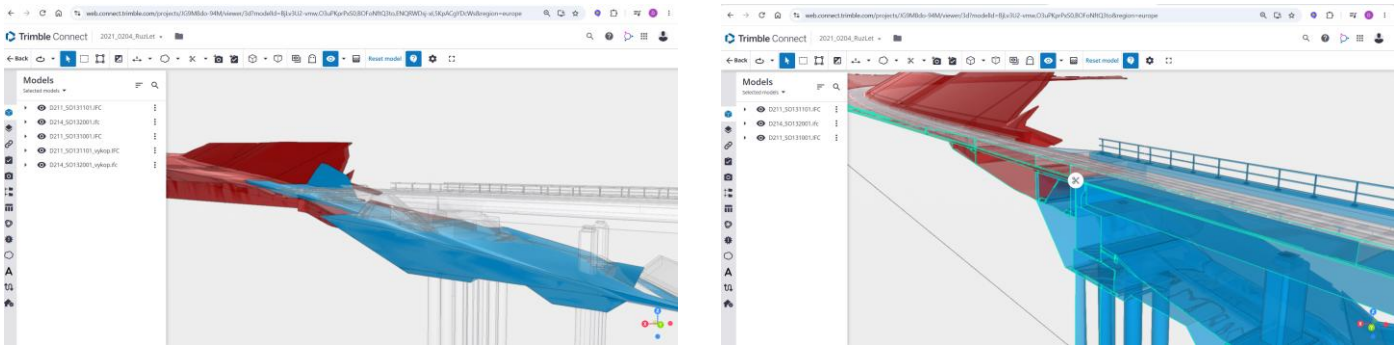


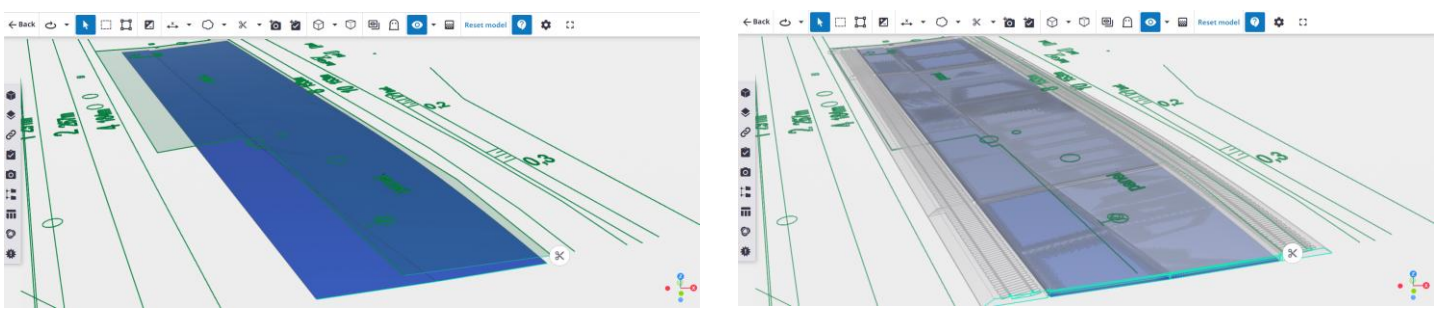
Figura 5: Comprobación de la superficie del puente arco frente a posibles interferencias con la plataforma ferroviaria

Como demuestran las implantaciones en todo el mundo y, quizá, también los modestos ejemplos de los autores, la base del éxito es una comunicación activa y el trabajo con estándares abiertos (IFC, LandXML).

Si el proyectista entrega datos listos para la maquinaria y para el control directo, se convierte en un socio imprescindible para una construcción eficaz y económica.



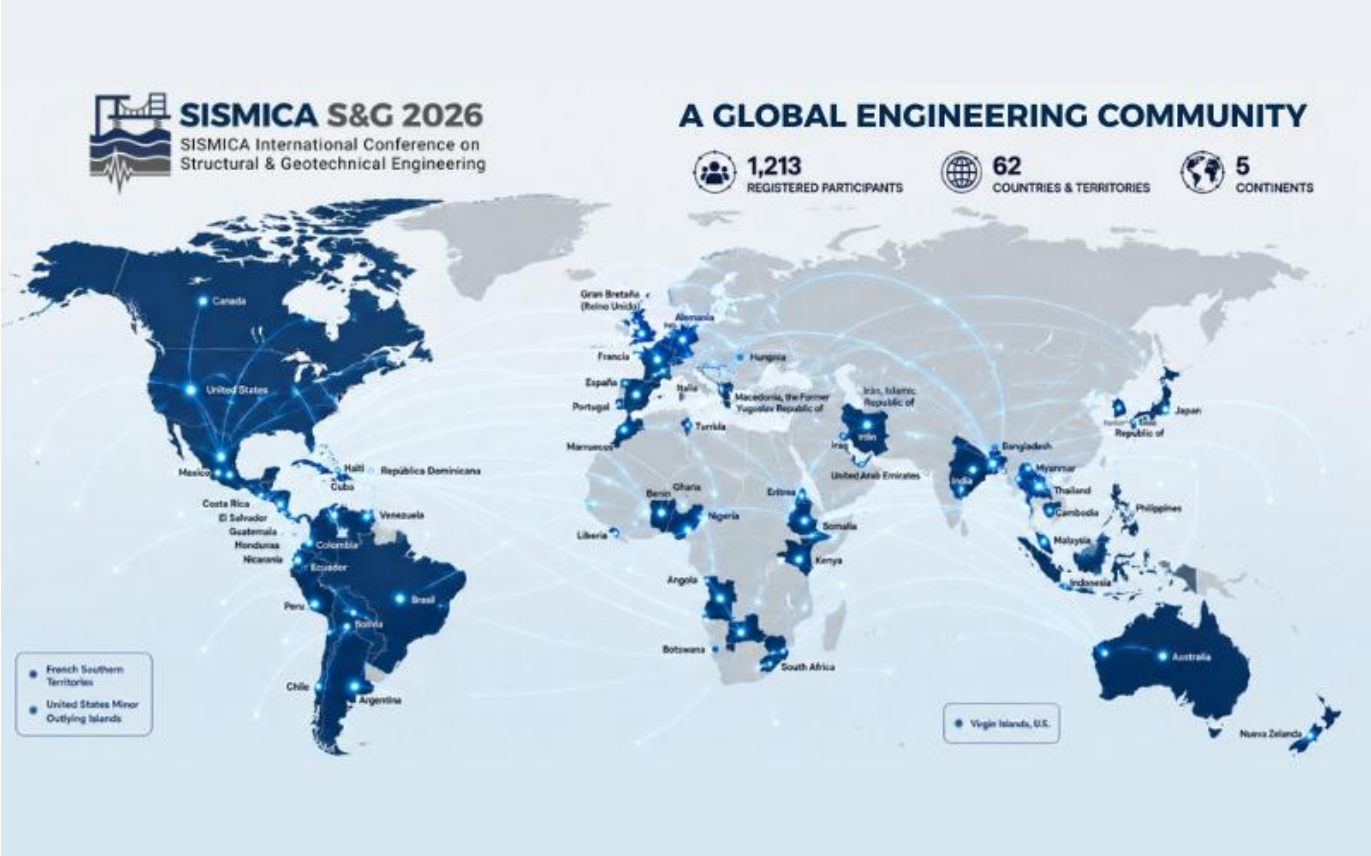
Figuras 6 y 7: Coordinación de nuevos terraplenes en la zona de transición



Figuras 8 y 9: El modelo 3D como referencia espacial común frente a los planos 2D

SISMICA S&G 2026: UNA FUSIÓN ENTRE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y LA INGENIERÍA GEOTÉCNICA EN EL MUNDO REAL

Edinson Guanchez, CEO, Sismica Institute



Del **18 al 20 de junio de 2026**, el Instituto SISMICA organizó la primera edición de **SISMICA S&G 2026 — Conferencia Internacional sobre Ingeniería Estructural y Geotécnica**, una conferencia internacional en línea creada para aunar dos disciplinas que, aunque a menudo se abordan por separado, están profundamente relacionadas en la práctica real de la ingeniería: la ingeniería estructural y la ingeniería geotécnica.

A lo largo de tres días, el evento reunió a **1.213 participantes inscritos** procedentes de 62 países y territorios de los **cinco continentes**, creando un espacio internacional para el intercambio técnico, la reflexión profesional y el intercambio de conocimientos en torno a algunos de los retos más relevantes de la ingeniería civil actual.

La conferencia se celebró en línea a través de Zoom Events y contó con un programa bilingüe en inglés y español, con la participación de 20 ponentes de diferentes países y trayectorias profesionales.

UNA COFERENCIA DISEÑADA PARA CONECTAR EL SUELO Y LA ESTRUCTURA

Uno de los principales objetivos de SISMICA S&G 2026 era crear un punto de encuentro técnico en el que se pudieran abordar las perspectivas estructurales y geotécnicas dentro del propio programa de la conferencia.

En la práctica profesional, las estructuras y el suelo no pueden entenderse como sistemas aislados. El comportamiento de un edificio, un puente, una instalación industrial, un sistema de contención, un túnel o una cimentación se ve directamente influido por la interacción entre las exigencias estructurales, las condiciones del terreno, las acciones sísmicas, la respuesta de la cimentación, las limitaciones constructivas y los requisitos de comportamiento a largo plazo.

Por este motivo, SISMICA S&G 2026 se organizó en torno a un programa de tres días diseñado para reflejar la forma en que se resuelven los problemas de ingeniería en proyectos reales: desde el comportamiento estructural y sísmico hasta el diseño de cimentaciones, la respuesta geotécnica, las instalaciones industriales, las estructuras especiales y los sistemas de infraestructura complejos.

Día 1: Ingeniería estructural y puentes

El primer día del congreso se centró en la ingeniería estructural y los puentes, abordando temas como el comportamiento estructural, el comportamiento sísmico, las infraestructuras y la vida útil.

Esta jornada incluyó ponencias magistrales y sesiones técnicas sobre infraestructuras de hormigón, presas de gravedad, comportamiento sísmico de edificios, fiabilidad estructural, túneles, obras subterráneas y edificios con sistemas de aislamiento de base.

Los ponentes abordaron temas como la prolongación de la vida útil de las infraestructuras de hormigón, el análisis sísmico y la instrumentación de presas de gravedad de hormigón, las lecciones aprendidas de los terremotos recientes, la propagación de la incertidumbre en la ingeniería estructural, las consideraciones sísmicas para las obras subterráneas y el comportamiento estructural de los edificios con aislamiento de base.

Día 2: Cimentaciones e ingeniería geotécnica

El segundo día se dedicó a las cimentaciones y la ingeniería geotécnica, con especial atención al comportamiento del suelo, los sistemas de cimentación, la respuesta sísmica y las aplicaciones geotécnicas.

Las sesiones abordaron métodos avanzados para determinar la longitud de los pilotes en proyectos de infraestructura, la estimación de los parámetros de deformación del suelo y su influencia en el diseño de cimentaciones, la respuesta al corte no drenado de las arcillas, los pilotes helicoidales como sistema alternativo de cimentación profunda, los mecanismos de levantamiento en cimentaciones superficiales y los últimos avances en pozos perforados.

Día 3: Estructuras industriales y proyectos especiales

El último día de SISMICA S&G 2026 se centró en las estructuras industriales y los proyectos especiales, situando la conferencia en el contexto de los sistemas de ingeniería complejos y de los casos prácticos de gran aplicación.

El programa incluyó ponencias sobre la estabilidad estructural de los edificios de acero, el diseño sísmico y la estabilidad de las estructuras industriales, la evaluación estructural de silos de hormigón armado, la adaptación sísmica de sistemas de torres de hormigón, el carbono incorporado en estructuras de puentes y el diseño de cimientos para instalaciones industriales, como depósitos de acero y silos. La última jornada también reflejó uno de los mensajes centrales de la conferencia: la ingeniería en el mundo real requiere coordinación entre disciplinas, criterio práctico, rigor técnico y una comprensión clara de cómo interactúan los distintos sistemas.





AGRADECIMIENTOS

El Instituto SISMICA desea expresar su más sincero agradecimiento a todos los ponentes que han participado en esta primera edición de la conferencia. Su generosidad, preparación y calidad técnica han hecho posible este evento y han dado sentido al objetivo que persigue SISMICA S&G 2026.

Asimismo, queremos expresar nuestro agradecimiento a los moderadores técnicos, a los participantes y a todo el equipo que ha trabajado entre bastidores, cuyo trabajo, compromiso y atención al detalle han contribuido al éxito del evento.

EL INICIO DE UNA CONFERENCIA ANUAL

SISMICA S&G 2026 marca **el inicio de una nueva conferencia anual organizada por el Instituto SISMICA**.

El objetivo es seguir creando un punto de encuentro donde la ingeniería estructural y geotécnica se den cita en la práctica real, permitiendo a profesionales de diferentes países compartir conocimientos técnicos, experiencias en proyectos, resultados de investigación y metodologías aplicadas.

El Instituto SISMICA anunciará próximamente las fechas y los detalles de la próxima edición de SISMICA S&G.





DIPLOMADO ESPECIALIZADO

Diseño y Construcción de Puentes de Hormigón Armado y Presforzado

- Aplicación de normativas internacionales: AASHTO, ASCE, ACI. Documentos técnicos PCI y FHWA.
- Diseño detallado de tableros, vigas presforzadas, cabezales y pilas.
- Análisis y verificación del presfuerzo: tensiones en etapas constructivas, transferencia, flechas y contraflechas.
- Diseño sismorresistente considerando métodos basados en fuerza y en desplazamiento.
- Diseño de cimentaciones y estribos de puentes.
- Incorporación de fenómenos de Interacción Suelo-Estructura (ISE) en el diseño de puentes.
- Diseño de sistemas de aislamiento sísmico y control de fenómenos de vibración y resonancia.
- Control de procesos de fabricación, construcción y montaje.



SISMICA INSTITUTE

CLASES EN VIVO + ACCESO A GRABACIONES 24/7 +
DESARROLLO DE PROYECTO FINAL

Más información:
sismica-institute.com

RÚBRICA®
BRIDGES

TU DESAFÍO ES EL NUESTRO

Equipos para diferentes tipo de puente y métodos constructivos

+ 25 PREMIOS Y RECORDS MUNDIALES
AÑOS DE EXPERIENCIA



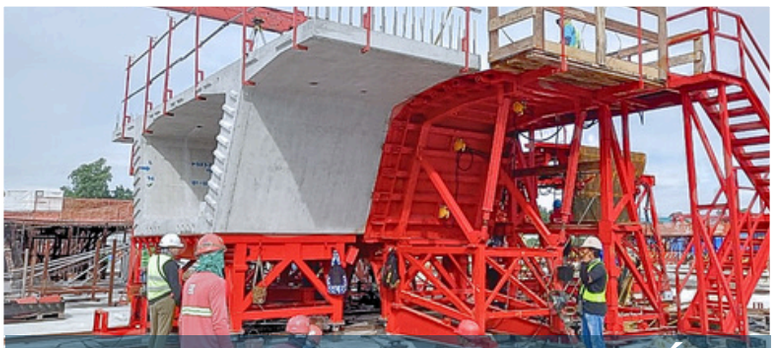
EQUIPOS PERSONALIZADOS PARA PUENTES

CARRO INFERIOR



EQUIPOS DE ELEVACIÓN DE DOVELAS Y SEGMENTOS DE PUENTE

PRECISIÓN Y SEGURIDAD EN CADA MONTAJE



SISTEMAS PARA LA REALIZACIÓN DE DOVELAS PREFABRICADAS

ADAPTABLES A CUALQUIER GEOMETRÍA



ARCOS



CARRO SUPERIOR

www.rubricaingenieria.com



Carreteras
Puentes
Túneles

Puente del valle del Schorgast

diseño · planificación · supervisión de obras

BSR | BPR Dr. Schäpertöns Consult

www.bpr-consult.com

BSR | SRP SCHNEIDER+PARTNER

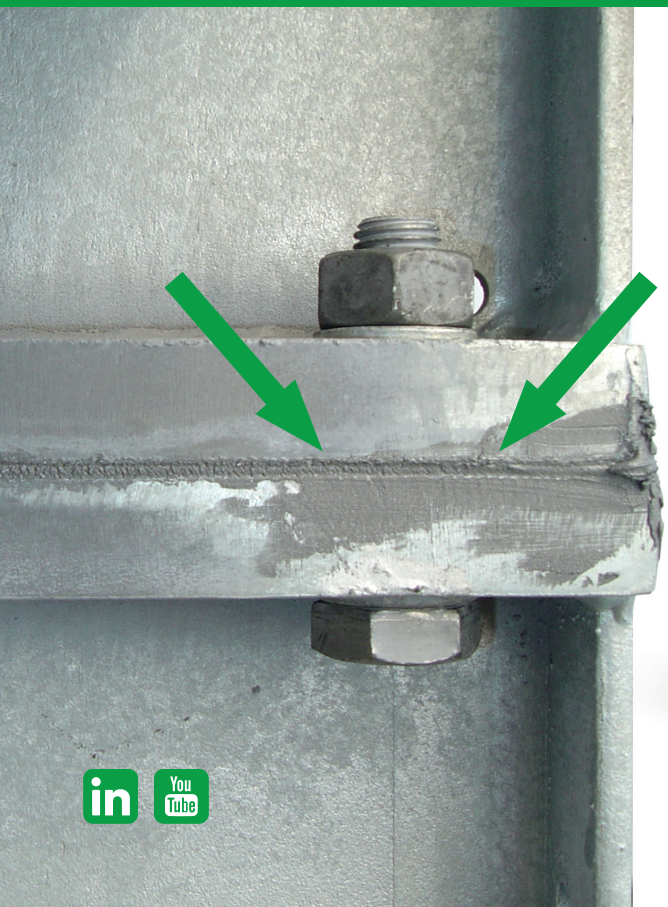
www.srp-consult.de



Para ofrecerle el mejor servicio posible, nuestro equipo está preparado para aplicar nuestros productos directamente in situ. Tal y como hicimos con éxito en proyectos como el puente Chenab (India) y el puente Yavuz-Sultan-Selim (Turquía).

COMPENSACIÓN DEL 100 % DE LA HOLGURA Y LA TOLERANCIA

CON **MM1018** – EL CALZADO LÍQUIDO



En un solo paso. Sin procesamiento mecánico. Más rápido y menos costoso que las placas de revestimiento o las placas de cuña convencionales.

¡Presentamos nuestra solución **MM1018**, reconocida mundialmente, para la compensación de holguras y tolerancias en la construcción de puentes! Aplicado en innumerables obras de construcción en todo el mundo, nuestro innovador producto garantiza una integridad estructural y una seguridad sin igual para sus puentes. Ahorre tiempo y dinero con nuestra avanzada tecnología, que permite el ajuste y la alineación precisos de los componentes del puente en un solo paso, sin costosos retrasos. Únase a nuestros clientes satisfechos y experimente la eficacia probada de nuestro **MM1018**.



Asesoramiento y ventas:
www.diamant-polymer.com/es
customerservice@diamant-polymer.com

DIAMANT
POLYMER SOLUTIONS

Dlubal

Software de análisis estructural para ingenieros estructurales

¡Software de análisis estructural que da gusto usar!

Desde 1987, hemos estado desarrollando soluciones de software intuitivas para análisis estructural, dinámica, CFD y diseño estructural. Nuestro objetivo es ser no solo el más conocido, sino también el software de análisis estructural más fácil de usar en el mundo. ¡Queremos que todos puedan decir: Usamos Dlubal porque hace que el análisis estructural sea divertido!

Productos

RFEM

- Método de elementos finitos para analizar y diseñar estructuras portantes.
- Permite la creación de modelos 3D complejos.

RSTAB

- Especializado en el análisis y diseño de estructuras de marcos y vigas.
- Compatible con materiales como acero, hormigon, madera y aluminio

RWIND

- Software CFD para simular el flujo del viento alrededor de edificios y estructuras.
- Visualización detallada de las cargas del viento y los patrones de flujo.

RSECTION

- Programa independiente para calcular propiedades de perfiles.
- Realiza análisis de tensiones en distintos tipos de secciones transversales.

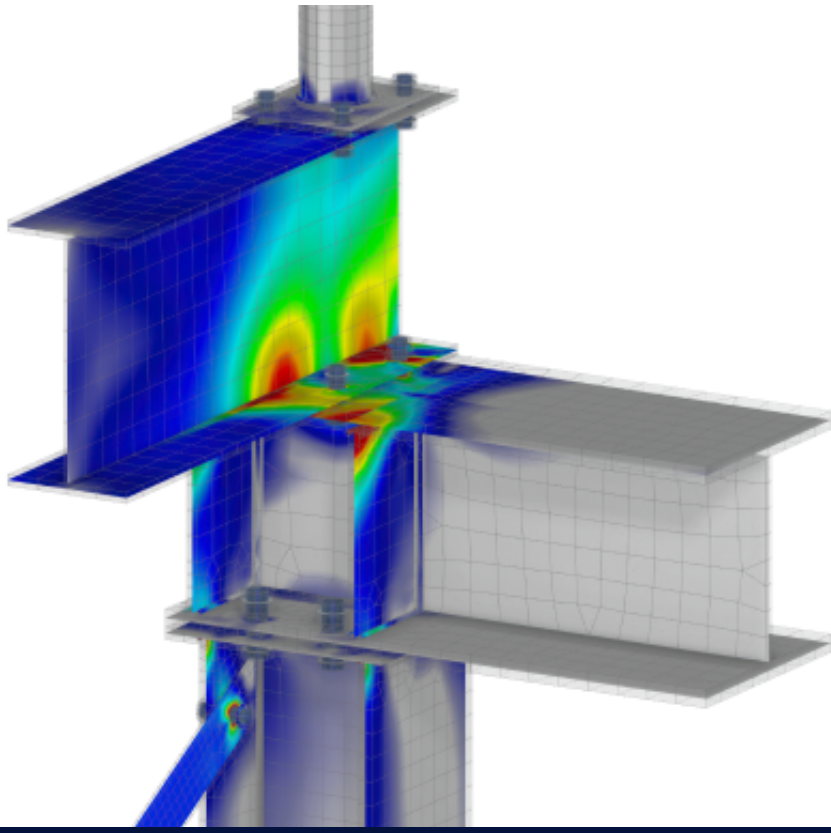
Dlubal en números

35 Años de experiencia en el desarrollo de software de análisis estructural

300 Empleados altamente motivados en todo el mundo

13.000 Empresas que trabajan con productos Dlubal en todo el mundo

130.000 Los usuarios confían en el software de Dlubal



www.dlubal.com/en

dlubal_software

Dlubal Software

BRUGG
Fatzer



Swiss Precision.

Global Trust.

Con los cables espirales de FATZER se pueden diseñar las más diversas estructuras construidas con cables de máxima calidad

Los clientes se benefician de nuestra vasta experiencia en este tipo de construcciones, de nuestros amplios conocimientos técnicos y de una atención constante a sus necesidades, abarcando desde los propios estudios de viabilidad y producción de soluciones de cable individuales hasta el montaje y monitoreo a largo plazo.

fatzer.com



Pipenbaher Consulting Engineers

PIPENBAHER INŽENIRJI d.o.o., Slovenia
www.pipenbaher-consulting.com

ALLPLAN
A NEMETSCHEK COMPANY



\ **ALLPLAN Civil 2026**

DESIGN TO BUILD
A BETTER TOMORROW

Con **ALLPLAN Civil 2026** – anteriormente conocido como Allplan Bridge – los ingenieros y profesionales de infraestructuras entran en una nueva era de modelado integrado, inteligente y automatizado. Desde carreteras y túneles hasta movimientos de tierras e intersecciones, ALLPLAN Civil 2026 ofrece una precisión, fiabilidad y eficiencia inigualables en cada etapa de tu proyecto, desde el concepto hasta la construcción.

¿Por qué elegir ALLPLAN Civil 2026?

> Herramientas diseñadas específicamente para el modelado de túneles e infraestructuras
> Control avanzado de modelos 3D complejos con máxima precisión
> Potentes funciones de edición y modelado para movimientos de tierras a gran escala
> Intersecciones de carreteras más inteligentes y precisas, con mínima necesidad de retrabajo

¿Quieres descubrir cómo ALLPLAN Civil 2026 transforma el diseño de infraestructuras?

HAZ CLIC AQUÍ PARA DESCUBRIR CÓMO



American Icon

San Francisco-Oakland Bay Bridge East Span

TYLin

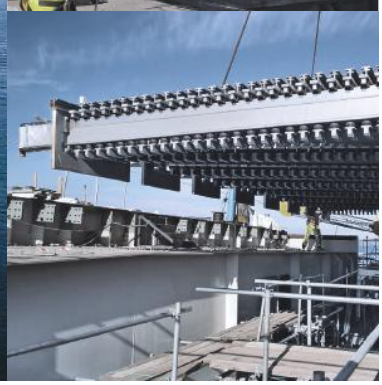
Photo Credit: Thomas Heinser

MAURER
MSM® Swivel Joist Expansion Joint

PUENTE OSMAN GAZI, IZMIT, TURQUÍA | CUARTO PUENTE COLGANTE DEL MUNDO CON ALTA CARGA SÍSMICA







Ámbito de aplicación:

La instalación de la junta de dilatación MAURER Swivel Joist permite el acceso al tablero del puente y lo protege de sobrecargas horizontales durante un evento sísmico.

Características:

- Absorción sin restricciones de movimientos específicos y transmisión simultánea de cargas de tráfico
- Funcionalidad de la estructura después del sismo
- Protección del tablero del puente frente a sobrecargas horizontales causadas por movimientos de cierre extremos durante el sismo
- Alta expectativa de vida útil gracias al uso de componentes de alto rendimiento
- Desplazamiento sísmico longitudinal de aprox. 4 m
- Velocidad de servicio de hasta 20 mm/seg (10 veces superior a la de un puente normal)
- Estanqueidad en todo el ancho del puente
- Libre de mantenimiento

References:

- Bahía de Cádiz, España
- Hochmoselübergang, Alemania
- Puente Osman Gazi, Izmit, Turquía
- Mainbrücke Randersacker, Alemania
- Viaducto de Millau, Francia
- Rheinbrücke Schierstein, Alemania
- Puente de Río-Antirio, Grecia
- Puente de la isla Russki, Rusia
- Puente Tsing Ma, China

MAURER SE | Frankfurter Ring 193 | 80807 Munich/Germany
Phone +49 89 32394–0 | Fax +49 89 32394–306 | www.maurer.eu

forces in motion

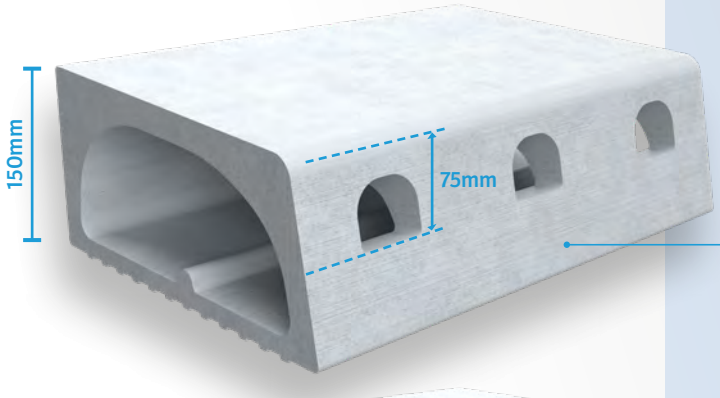


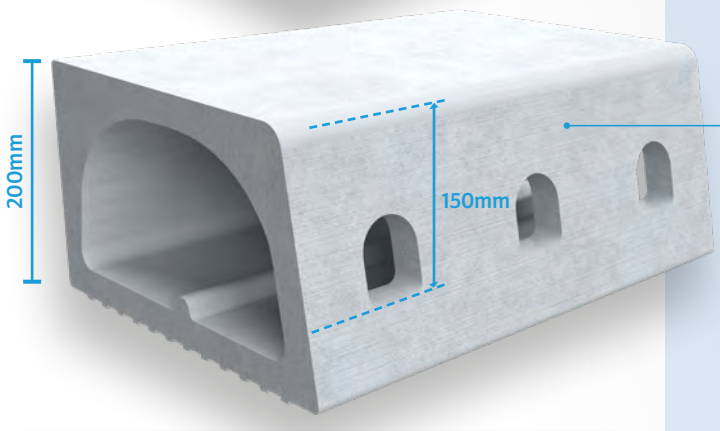
BRIDGE DRAINAGE

Suitable for 75 and 150 mm Kerb height and all heights in between

BRIDGE DRAINAGE UNIT

The bridge drainage channel Type M is designed to collect and discharge surface and structural water from bridges and elevated roads, used by all types of road vehicles.





AVAILABLE HEIGHT OPTIONS

The height of the inlet openings is milled to project-specific dimensions.

BD350x150 = 150mm high element
Top slope 4%
(according to BAST guideline Kap12)

BD350x200 = 200mm high element
Top slope 2%
(according to BAST guideline Kap12)

TECHNICAL FEATURES AND ADVANTAGES

The bridge drain elements are made of one material and are moulded monolithically. In other words, they are manufactured in one piece, which ensures a stable structure with high impact resistance.

CUSTOM SOLUTIONS

We specialize in customization. Depending on your requirements, we determine which element best fits your project. We can utilize various production locations, material types, and manufacturing methods to meet your schedule and needs.

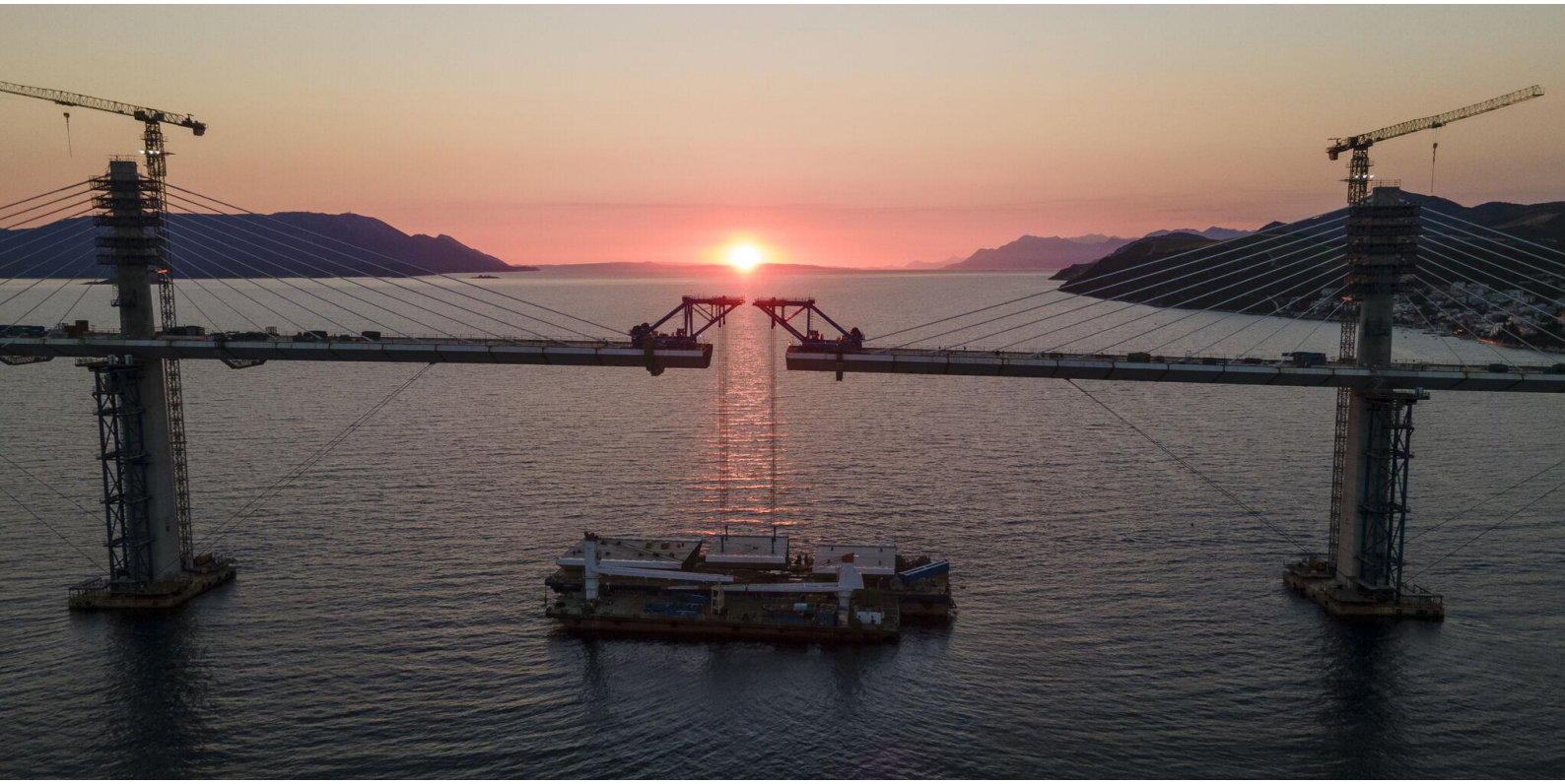
CLICK HERE
For more features, advantages and examples.

Bridge Drainage | Business Park Stein 108 | 6181 MA Elsloo | The Netherlands | T. +31-462 07 70 08 | E. info@bridge-drainage.com

www.bridge-drainage.com

We design bridges

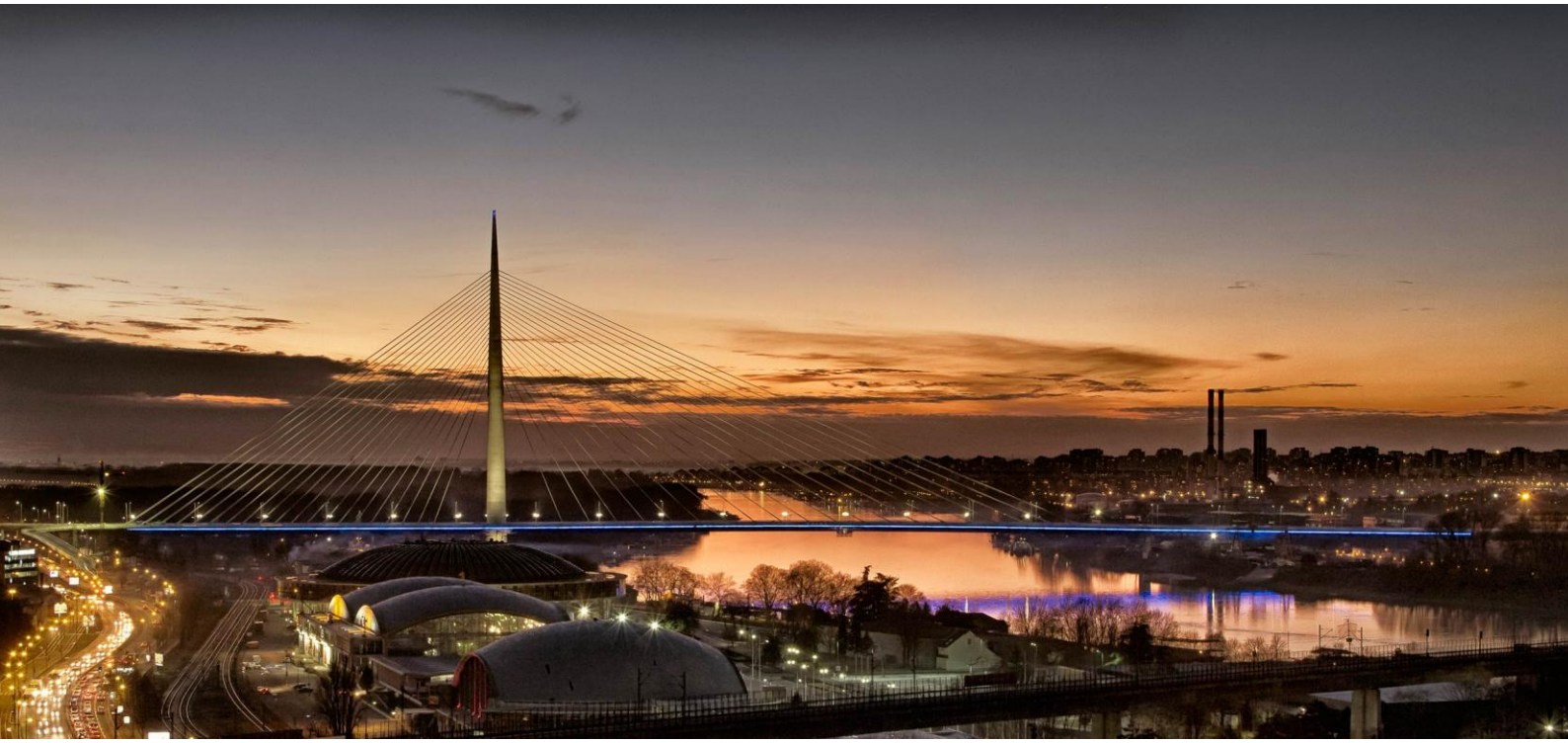
ponting
bridges



Puente de Pelješac, Croacia

Diseño conceptual/preliminar/final

Empresa conjunta: Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Zagreb; Ponting; Pipenbaher Consulting Engineers



Puente Ada sobre el río Sava en Belgrado, Serbia

Diseño ganador del concurso/Preliminar/ICE para el diseño final y detallado

Ponting inženirski biro d.o.o., Strossmayerjeva 28, 2000 Maribor, Eslovenia

Engineers in Action

Construye Puentes Conecta Comunidades Atrae el Mejor Talento

Únete a un equipo de voluntarios y construye un puente peatonal o un proyecto hidráulico transformador junto a una comunidad aislada como parte de nuestro **Programa de Voluntarios Independientes**. O trae a todo un equipo de tu empresa como parte de nuestro **Programa de La Industria**. ¿Te interesa reclutar? **Conviértete en mentor** de estudiantes en nuestro **Programa Universitario** y comparte tus habilidades mientras atraes a los mejores talentos de más de dos docenas de universidades de élite de todo el mundo. **O dona** herramientas, servicios de ingeniería o gestión de proyectos, o materiales como cables de acero.

Estamos derribando las barreras que perpetúan la pobreza mediante la construcción de infraestructura esencial, y necesitamos tu ayuda. Contáctanos hoy mismo para saber cómo tú o tu empresa pueden participar.



Piénsalo: tú, nosotros, un puente.

BOLIVIA

ECUADOR

ESWATINI

PERU

Diferentes Formas de Participar

UNETE A NOSOTROS Y CONSTRUYE PUENTES O SISTEMAS DE AGUA QUE CONECTEN A MAS PERSONAS A LA SALUD, LA EDUCACIÓN Y NUEVAS OPORTUNIDADES.

ENGINEERSINACTION.ORG





Fika

Visualizamos llegadas seguras para todos, en todas partes.

Un mundo donde más de mil millones de personas rurales actualmente desatendidas estén conectadas con servicios esenciales y oportunidades.



Nuestra misión es facilitar un acceso seguro y confiable al transporte rural, ayudando a los gobiernos y a los actores locales a planificar, financiar, diseñar, construir y mantener de manera independiente la infraestructura que sus comunidades necesitan.

Los socios nos ayudan a convertir esta visión en realidad apoyando la infraestructura rural que transforma vidas y fortalece las economías.

Juntos, estamos construyendo los sistemas que hacen que el acceso seguro sea inevitable.



BRIDGING THE GAP AFRICA

BUILDING BRIDGES & TRANSFORMING LIVES

LA NECESIDAD ES GRANDE.

LA NECESIDAD ES AHORA.

FORMA PARTE DE ESTO. **SÉ UN PUENTE.**

e-BrIM

OCTUBRE 2026

