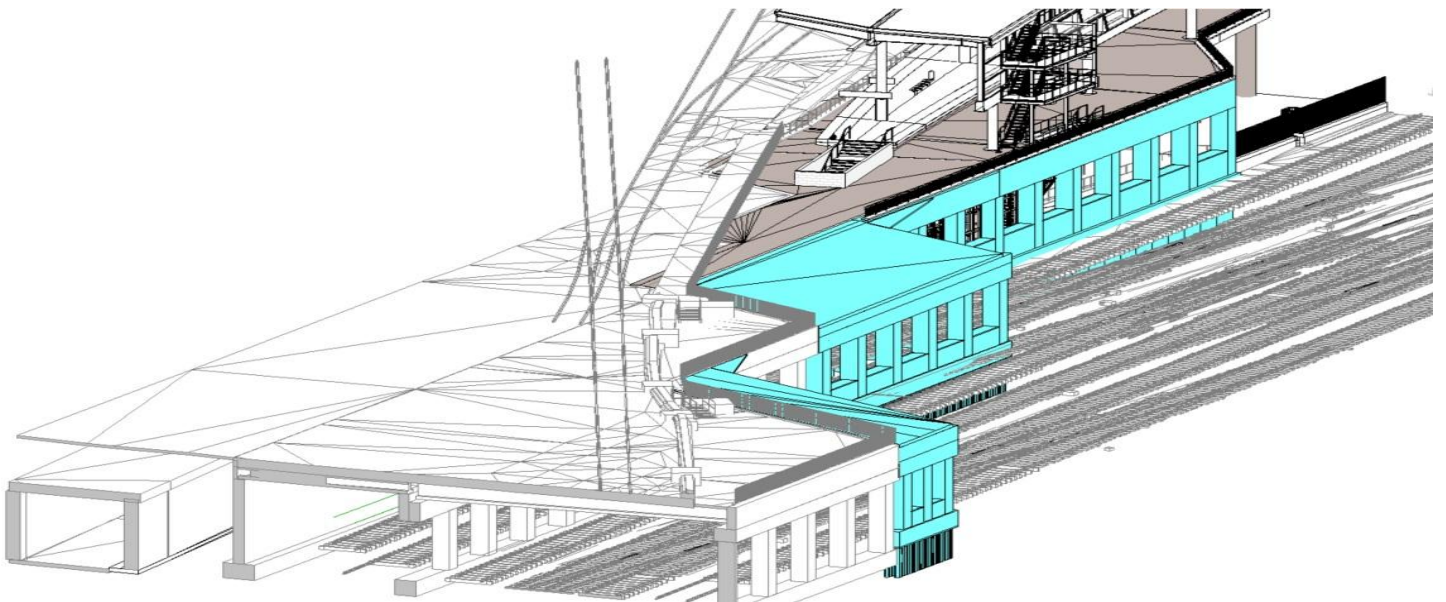
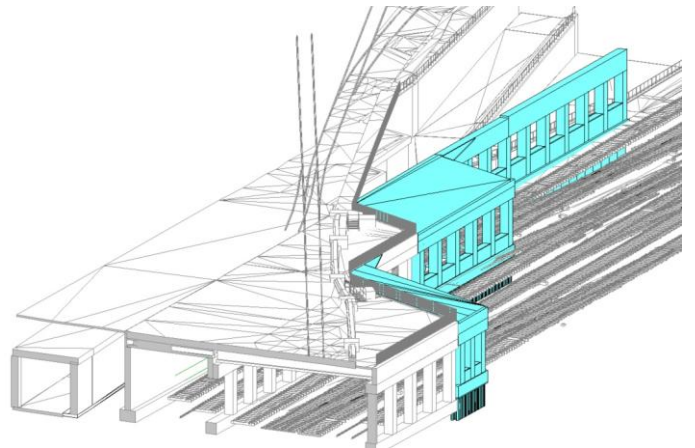
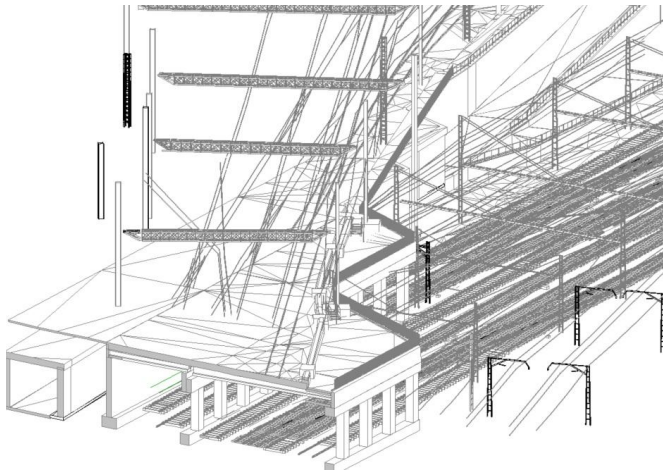




e-BrIM

OCTUBRE 2025



SUMARIO

- INDUSTRIALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS FERROVIARIAS:
REDISEÑO CON BIM DE ESTRUCTURAS TIPO PÉRGOLAS PREFABRICADAS
EN MADRID-ATOCHA** página 10
David Herrero Mediavilla, Ingeniero / Jefe de Oficina Técnica y Topografía / BIM manager
- BIM EN MONORRAÍLES: ENTREGABLES BASADOS EN LA GEOMETRÍA
Y CONTROL DE LA PRECISIÓN** página 22
*Diego Nunez M.Sc., Daniel Konevsky M.Sc. P.E., Khaled Riad PhD.,
Rajan Aryal, M.Sc., Deise Brown, Especialista BIM*
INNOVA Transportation, Las Vegas, Nevada, USA; TEBR Consulting, Cairo, Egipto
- DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA. HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO
DE VIDA EN PUENTES E INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE** página 28
Hellen Christodoulou Ph.D., Eng., B.C.L., LL.B., M.B.A.
- ROMPIENDO BARRERAS: AFRONTANDO LOS DESAFÍOS QUE PLANTEAN LOS
VIADUCTOS Y CRUCES FLUVIALES EN CROACIA** página 36
Zeljka Moldovan, ALLPLAN
- ENTREVISTA A DIOGO RIBEIRO, PROFESOR, POLITÉCNICO DE OPORTO,
PORTUGAL; PRESIDENTE DEL GRUPO DE TRABAJO 5.9 DE LA IABSE** página 42
Magdaléna Sobotková, Vanja Samec
- SOLUCIÓN DE ENCOFRADO PERSONALIZADA PARA EL TABLERO IN SITU DEL
PUENTE ATIRANTADO DE CEBÚ-CORDOVA, FILIPINAS** página 49
Juan Novoa Tabarés, Rúbrica Bridges

Portada: Pérgolas Prefabricadas en Madrid-Atocha, España

Contraportada: BIM en Monorraíles

Créditos: David Herrero Mediavilla

Créditos: Diego Nunez

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: 03/2025, octubre. Año: IV.

Editora jefa: Magdaléna Sobotková, MSc.

Contacto: magda@e-mosty.cz

Consejo editorial

Editor: BRIDGES ONLINE, s.r.o. (Ltd.)

Velká Hraštica 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 esta edición presentamos cinco artículos y una entrevista. Nos centramos en la implementación de la metodología BIM, las herramientas de evaluación del ciclo de vida y el diseño de un puente en Croacia. También puede leer sobre la contribución del uso de la inteligencia artificial, que tiene un gran potencial en el diseño de puentes. El artículo sobre el Puente Atirantado de Cebú-Cordova se publicó originalmente en inglés en la [revista e-mosty](#).

Esta edición de la revista e-BrIM es especial porque, por primera vez, también se publica en español como una edición independiente en www.e-brim.com/es.

*Me gustaría dar las gracias a **todas las personas y empresas** que han colaborado en este número y me han ayudado a elaborarlo; muchas gracias a los miembros del **Consejo Editorial**, especialmente a **Antonio Caballero, Pawel Ogonowski y Vanja Samec**, por revisar los artículos y por su colaboración. Muchas gracias también a **Borja Balbastre Camarena y David Herrero Mediavilla** por su ayuda con la edición en español.*

*También queremos dar las gracias a **nuestros socios por su apoyo**.*

*Nos complace ofrecer apoyo mediático a **Bridging the Gap Africa, Bridges to Prosperity y Engineers in Action**.*

El próximo número de e-BrIM, tanto en inglés como en español, se publicará el 20 de febrero de 2026.

*Aceptamos artículos para la revista e-BrIM que se publicarán en 2026, tanto en inglés como en español. Puede encontrar las **instrucciones para autores** en nuestros sitios web, www.e-brim.com y www.e-brim.com/es.*

Magdaléna Sobotková

Editora jefa

e-BrIM



SUBSCRIBIRSE

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 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.

NUESTRAS ÚLTIMAS EDICIONES (EN INGLÉS)



e-BrIM

NUESTROS SOCIOS



COOPERAMOS CON



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.

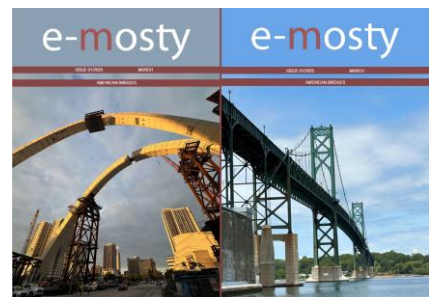
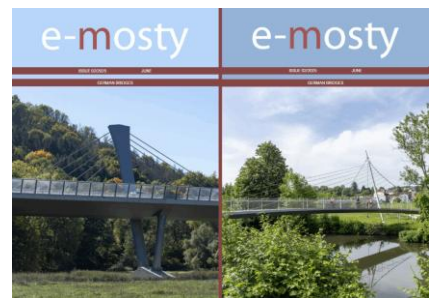
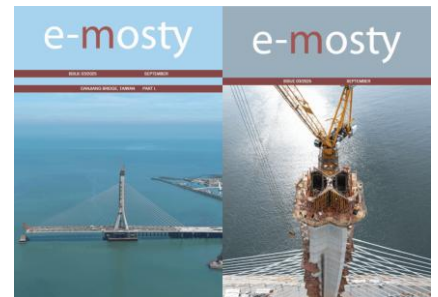
Nuestro objetivo es incluir toda la información **importante y técnica** y, al mismo tiempo, mostrar la elegancia y la belleza de las estructuras.

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)



e-mosty

NUESTROS SOCIOS



COOPERAMOS CON

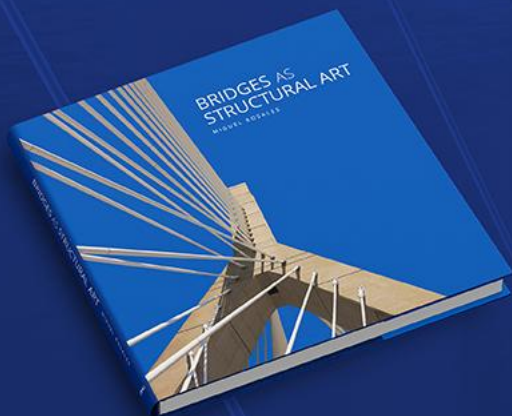


ROSALES+

BRIDGES AS STRUCTURAL ART



Rosales+ se especializa en el diseño, ingeniería, arquitectura e iluminación de puentes



Bridges as Structural Art por Miguel Rosales presenta veinticinco de sus puentes icónicos

COMPRE

rosalespartners.com





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.



INDUSTRIALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS FERROVIARIAS: REDISEÑO CON BIM DE ESTRUCTURAS TIPO PÉRGOLAS PREFABRICADAS EN MADRID-ATOCHA

David Herrero Mediavilla

Ingeniero / Jefe de Oficina Técnica y Topografía / BIM manager

INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta la experiencia de SANDO CONSTRUCCIÓN en la ampliación de dos pérgolas ferroviarias en el entorno de la estación de Madrid-Atocha, dentro del marco de las obras de construcción de un nuevo andén y dos líneas de alta velocidad.

La solución inicial, basada en construcción *in situ*, presentaba limitaciones técnicas y de planificación derivadas del entorno ferroviario activo. Ante esta situación, se optó por una transición completa hacia un sistema de prefabricación integral, apoyado en metodología BIM para el diseño, coordinación, fabricación y montaje.

Se detallan los problemas iniciales encontrados en la solución original, así como las ventajas del nuevo rediseño, la precisión alcanzada y el empleo de la metodología BIM.

Además, se realizaron pruebas en el uso de herramientas innovadoras como el modelado conversacional asistido por IA, valorando su posible incorporación al flujo de trabajo de este proyecto y de otros futuros.

El empleo de la metodología BIM representa un caso de éxito mejorando los plazos, la calidad y la replicabilidad.

EL PROYECTO

La estación de Atocha se encuentra ubicada en el corazón de Madrid; es un importante nudo ferroviario tanto para Madrid como para España.

Concentra tráfico de largo recorrido, de alta velocidad ferroviaria, así como líneas de cercanías.

Dentro de las obras de ampliación de la Estación de Atocha, la empresa constructora SANDO CONSTRUCCIÓN fue adjudicataria de la construcción de un nuevo andén y dos nuevas líneas de alta velocidad ferroviaria. El proyecto afectaba a dos pérgolas existentes (Figura 1), ubicadas en la playa de vías de cercanías (Figura 2). El proyectista analizó y optó por prolongarlas para permitir que las dos nuevas líneas de alta velocidad conectaran con la infraestructura ferroviaria existente, pasando por encima de las líneas ferroviarias de Cercanías.

SOLUCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto original contemplaba prolongar las pérgolas existentes con dos estructuras realizadas *in situ* (Figura 3). Las nuevas estructuras estarían apoyadas en cimentaciones que combinaban pilotes y micropilotes. Sobre las mismas, se elevarían pilares que sustentarían los dinteles. Estos servirían de apoyo para colocar unas vigas prefabricadas de altura 0,60 metros y sobre ellas ejecutar una losa de canto 0,25 metros.

La estructura también llevaría unas vigas de atado entre los pilares, debiendo ejecutarse también *in situ* como el resto de las dos nuevas estructuras. Estas vigas de atado (Figura 3) actuaban como barrera secundaria frente a impactos ferroviarios, dimensionadas para resistir cargas dinámicas en los escenarios previstos.

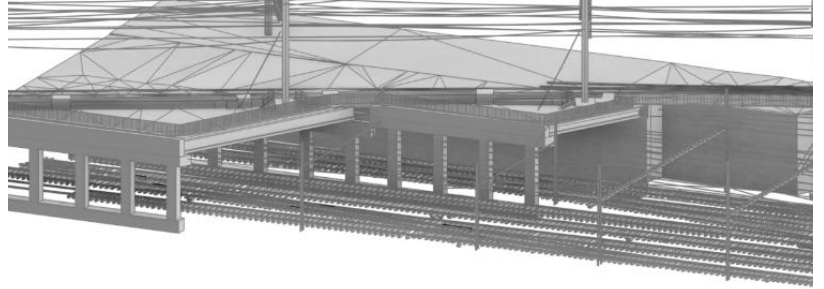


Figura 1: Vista de las dos pérgolas existentes a prolongar en la playa de vías de la Estación de Atocha (Madrid) de la red ferroviaria de Cercanías

PROBLEMÁTICA DE LA SOLUCIÓN DE PROYECTO

La prolongación de las pérgolas proyectadas planteaba varios problemas al ubicarse sobre líneas ferroviarias de cercanías en servicio y no poder reducir el tráfico ferroviario salvo en 9 cortes programados a realizar en fines de semana.

Al ser un entorno ferroviario con numerosas líneas de cercanías muy próximas, existe una gran cantidad de elementos de electrificación y señalización ferroviaria que dificultan cualquier trabajo en la zona. No pudiendo desmontarse al tener que permitir el tráfico ferroviario durante la realización de los trabajos propios de la obra.

La propia cimentación de pilotes era muy compleja de ejecutar, debido a las dimensiones de la maquinaria y el pequeño espacio que podría estar habilitado. Otro de los problemas eran los tiempos necesarios para poder realizar los trabajos de ferrallado, encofrado y hormigonado de cimentaciones, pilas, dinteles y muros de impacto ferroviario.

Técnicamente no era posible asegurar su ejecución en los cortes programados, al no disponer de las suficientes horas para completarlos.

Configuración estructura original:

- **Tipo de ejecución:** Construcción *in situ*.
- **Cimentación:** Pilotes combinados con micropilotes.
- **Elementos verticales:** Pilares de hormigón armado.

- **Elementos horizontales:** Dinteles de hormigón armado.
- **Tablero:** Vigas prefabricadas ($h = 0,60$ m) y losa de hormigón armado (canto 0,25 m).
- **Vigas de atado:** Ejecutadas *in situ*, función de barrera secundaria frente a descarrilamientos o impactos ligeros.
- **Dimensionamiento de seguridad:** Diseñadas para resistir cargas dinámicas de los escenarios de impacto previstos.

Problemática de la solución inicial:

Condicionantes operativos

- **Entorno:** Zona de alta densidad ferroviaria, con líneas de Cercanías en servicio.
- **Limitación de cortes:** Solo 9 fines de semana disponibles para intervenciones.
- **Infraestructura existente:** Numerosos elementos de catenaria y señalización que no podían desmontarse.

Restricciones técnicas

- **Accesibilidad:** Espacio reducido que limita el uso de maquinaria de grandes dimensiones.
- **Plazos:** Tiempo insuficiente para ejecutar encofrados, ferrallados y hormigonados durante las ventanas de corte.
- **Complejidad en cimentaciones:** Dimensiones y ubicación complicaban la perforación de pilotes.
- **Riesgo en planificación:** Alta probabilidad de incumplimiento de plazos y aparición de trabajos imprevistos.

EVOLUCIÓN DEL PROYECTO: TRANSICIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN IN SITU A LA CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA

SANDO CONSTRUCCIÓN como contratista realizó un estudio detallado de tiempos necesarios de ejecución para completar la prolongación de las pérgolas, llegando a la conclusión de que el único camino posible para cumplir con el calendario era realizar las pilas, dinteles y muros de impacto como elementos prefabricados.

Las vigas prefabricadas del proyecto original se adaptarían al nuevo encaje geométrico (Figura 5). Solamente se realizaría in situ, el tablero de la estructura y los nudos entre pilares y dinteles prefabricados, para unirlos formando un solo elemento. (Figura 6).

Las cimentaciones se realizarían *in situ*, cambiando los pilotes por micropilotes que requerirían una maquinaria de menores dimensiones. Además, el tipo de micropilote proyectado se cambiaría al tipo TITAN ISCHEBEK que facilita la velocidad de ejecución. Todo el nuevo encaje y definición geométrica se harían con metodología BIM.

El paso de una solución *constructiva in situ* a un sistema completamente prefabricado permitiría obtener importantes ventajas en la ejecución de la ampliación de las pérgolas, especialmente en un entorno ferroviario activo como la estación de Madrid Atocha.

Entre los principales beneficios previstos se encuentran:

- **Reducción del tiempo de obra en campo y terminación ajustada a plazos.** La utilización de elementos prefabricados permitirá un montaje mucho más rápido, limitando la ocupación de vía a unas pocas horas. Esto minimizará las interferencias con el servicio ferroviario y facilitará la coordinación con otras actuaciones en la estación. Permitiendo la correcta terminación de los trabajos en fecha.
- **Mayor calidad y precisión dimensional.** La fabricación en taller bajo condiciones controladas garantizará una alta precisión geométrica. Gracias al modelo BIM, se podrán anticipar ajustes y garantizar la compatibilidad entre los elementos, reduciendo errores durante el montaje.
- **Incremento de la seguridad en obra.** La eliminación de trabajos tradicionales como el encofrado, ferrallado y hormigonado *in situ* reducirá significativamente los riesgos laborales. Se evitarán tareas en altura y se limitarán las intervenciones nocturnas o en zonas de riesgo ferroviario.
- **Optimización logística y planificación avanzada.** La metodología BIM permitirá simular detalladamente las fases de montaje, rutas de transporte y maniobras de izado. Esto facilitará una planificación precisa y reducirá la posibilidad de imprevistos durante la ejecución.
- **Reproducibilidad y escalabilidad.** La solución desarrollada podrá ser adaptada fácilmente a otros entornos ferroviarios, al tratarse de un sistema modular, digitalmente coordinado y fácilmente replicable.

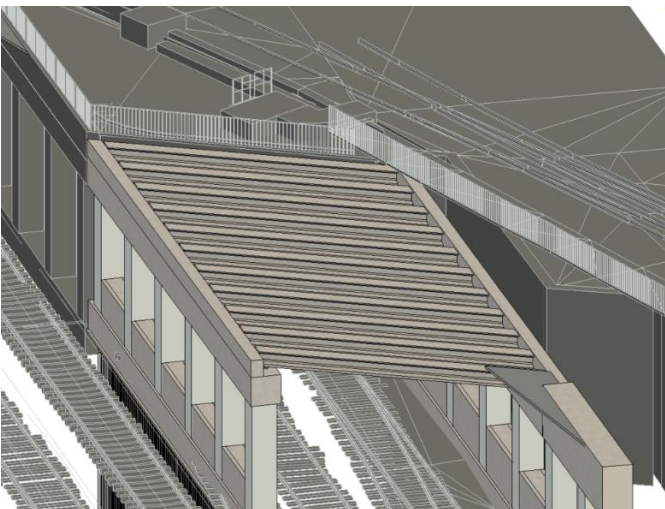


Figura 5: Vista 3D del modelado de la pérgola 1, se ha ocultado el tablero para mostrar las vigas prefabricadas

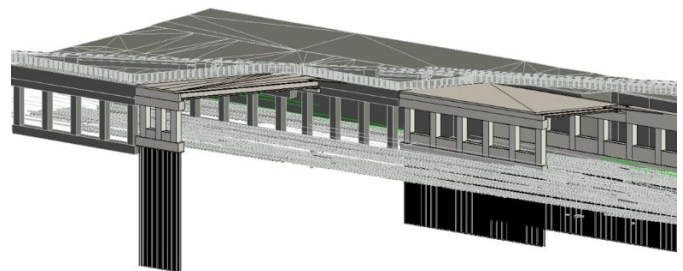


Figura 6: Vista 3D del modelado de la prolongación de las pérgolas propuestas por SANDO CONSTRUCCIÓN integradas con las pérgolas existentes.

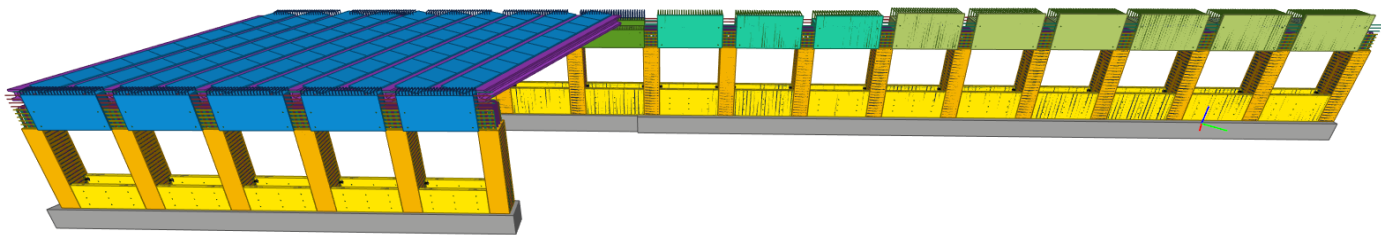


Figura 7: Vista 3D del modelado de todos los elementos prefabricados (colores, amarillo, naranja, azul y verde) de la pérgola 1

El cambio de una solución constructiva *in situ* a un sistema completamente prefabricado conlleva múltiples beneficios, pero también plantea una serie de desafíos técnicos que deben ser resueltos con precisión y planificación rigurosa. Entre las principales dificultades que el equipo técnico ha debido anticipar y resolver destacan:

1. **Requiere precisión milimétrica en todos los elementos.** Al tratarse de una solución industrializada y sin márgenes de corrección en obra, cada elemento prefabricado (Figura 7) debe fabricarse con tolerancias extremadamente estrictas. El más mínimo desfase dimensional puede provocar desajustes en el montaje que comprometerían la alineación estructural o incluso la seguridad de la unión. La precisión alcanzada estará determinada por las tolerancias de fabricación de los elementos prefabricados. En la planta industrial se fijó una desviación máxima de 10 milímetros para todos los componentes prefabricados. En obra, los replanteos topográficos se realizarán con una exactitud de 5 milímetros, garantizando así el correcto montaje tanto de los elementos prefabricados como de las partes ejecutadas *in situ*.
2. **Modelado detallado de armaduras complejas.** A pesar de tratarse de elementos prefabricados, la estructura mantiene una elevada cuantía de acero, lo que obliga a modelar con máxima precisión cada barra, su forma, recubrimiento y posición exacta (Figura 8). Esto resulta especialmente exigente en zonas de empalme, donde la congestión de armaduras puede dificultar tanto la fabricación como el montaje posterior.
3. **Agrupamiento de barras de 32 mm y uso de vainas de conexión.** En elementos como pilares y dinteles, el diseño requiere agrupar

armaduras longitudinales de gran diámetro ($\varnothing 32$ mm) (Figura 9), lo que supone un reto tanto para el diseño estructural como para la ejecución en fábrica. Además, se deben incorporar vainas metálicas de precisión para permitir la unión mediante conectores posteriores en obra, asegurando continuidad estructural entre los elementos.

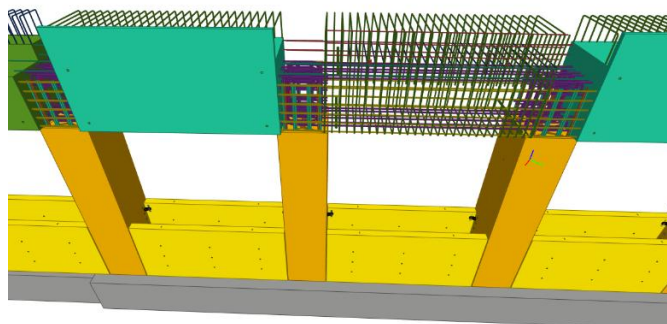


Figura 8: Vista 3D del modelado de la armadura de un dintel prefabricado

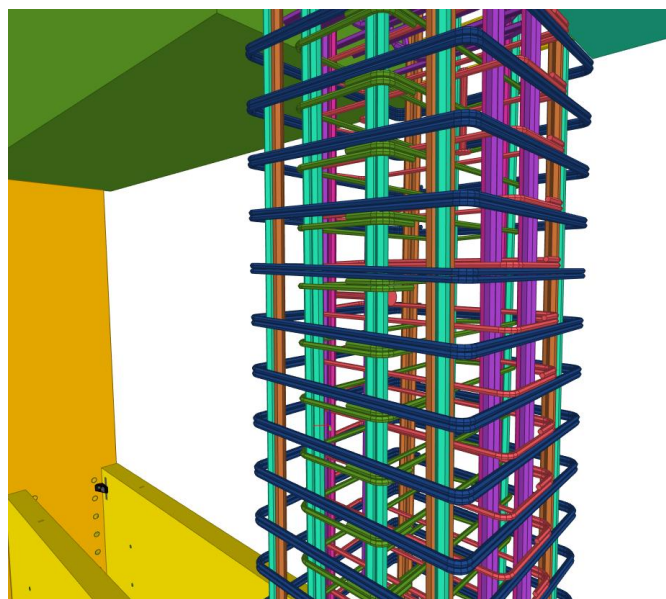


Figura 9: Vista 3D del modelado de la armadura de un pilar prefabricado de la pérgola 1

4. Limitaciones logísticas y troceado de dinteles.

El peso y las dimensiones de los dinteles prefabricados superan la capacidad de elevación de las grúas que pueden operar en la zona, muy condicionada por la cercanía del nudo ferroviario. Esto obliga a dividir los dinteles en varios tramos, que se ensamblarán en obra mediante la ejecución de un nudo húmedo *in situ* (Figura 10). Esta solución mixta exige una planificación precisa del montaje, así como control estricto de alineaciones, tolerancias y secuencia de hormigonado.

Las vigas prefabricadas tendrán un peso aproximado de 7-14 toneladas, las pilas alcanzarán las 14 toneladas y los dinteles oscilarán entre 18 y 24 toneladas.

El proceso de montaje estará condicionado no solo por el peso de los elementos prefabricados, sino también por la ubicación de la grúa y por la presencia de todos los elementos de electrificación ferroviaria existentes en un nudo con 10 vías de tráfico de cercanías, además de los sistemas de electrificación de alta velocidad cimentados en el entorno de trabajo.

Tras el estudio de los diagramas de elevación y lanzamiento de las grúas, se determinó la necesidad de emplear dos equipos: una grúa de 250 toneladas y otra de 120 toneladas.

USO DE BIM EN EL DESARROLLO DEL NUEVO DISEÑO

El cambio a prefabricado completo, requirió un nuevo diseño y encaje de la prolongación de las estructuras.

El primer paso era capturar la realidad para a partir de ella, encajar milimétricamente la ampliación. Se partió de las bases topográficas del Proyecto, estaban en coordenadas UTM. Tras comprobar por medio de una poligonal su estado, se empleó un láser escáner terrestre que, con varios posicionamientos, capturó la nube de puntos necesaria (Figura 11).

Los trabajos de escaneo de la zona se realizaron por parte de SANDO CONSTRUCCIÓN durante cortas franjas nocturnas en las cuales no había tráfico ferroviario de Cercanías. Este hecho implicó una duración de los trabajos de escaneo más larga de lo normal.

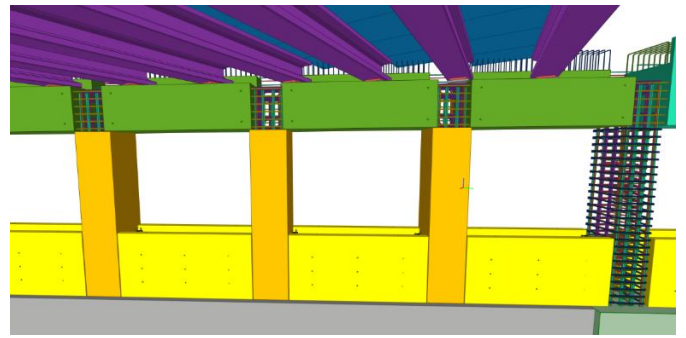


Figura 10: Vista 3D del modelado de la pérgola 1, se pueden apreciar los nudos a ejecutar in situ en el encuentro de los dinteles prefabricados con las pilas prefabricadas. En la imagen se pueden apreciar estos encuentros representados solamente por las armaduras.

In situ se encofrarán y hormigonarán

Los trabajos de captura de la nube de puntos se realizaron con un equipo **Leica RTC360**. Para minimizar errores se estableció una distancia máxima de captura de 50-60 metros entre lecturas. El postproceso de la nube resultó especialmente laborioso debido al elevado número de posicionamientos del láser escáner y a la exigencia de la precisión objetivo. La nube de puntos obtenida alcanzó una precisión absoluta y relativa de ± 5 milímetros, valor considerado adecuado y plenamente dentro de los parámetros constructivos definidos para el proyecto.

Una vez chequeada y limpiada de ruido la nube de puntos, SANDO CONSTRUCCIÓN ya podía contar con la información necesaria para poder comenzar el nuevo encaje de las estructuras.

Terminado el encaje con los principales puntos de definición de la prolongación de las estructuras, se procedió a modelar. El modelado de las estructuras se realizó en coordenadas absolutas (Figura 12).

Inicialmente se corrigió con la nube de puntos el modelado del estado actual de las pérgolas existentes, entregado por el proyectista, fueron pequeños ajustes, pero necesarios para evitar errores. El modelado de las nuevas estructuras no fue sencillo. Ello fue debido a que la tolerancia que se definió era inferior a 10 mm en cualquiera de las tres coordenadas absolutas de cualquier punto de los elementos. El motivo de esta elevada precisión es garantizar la fabricación correcta y el perfecto montaje de todos los elementos.

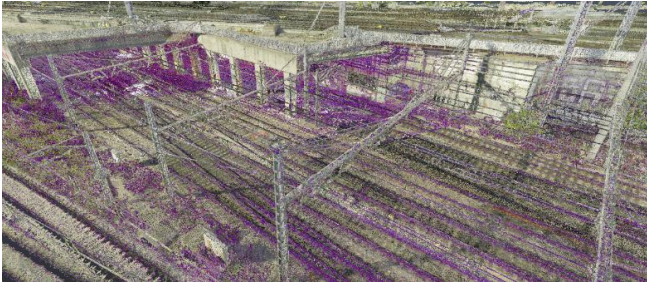


Figura 11: Vista de la nube de puntos en la zona donde están ubicadas las dos pérgolas existentes a prolongar. Se aprecia la gran cantidad de elementos de catenaria y vía en la zona que dificultan cualquier trabajo.

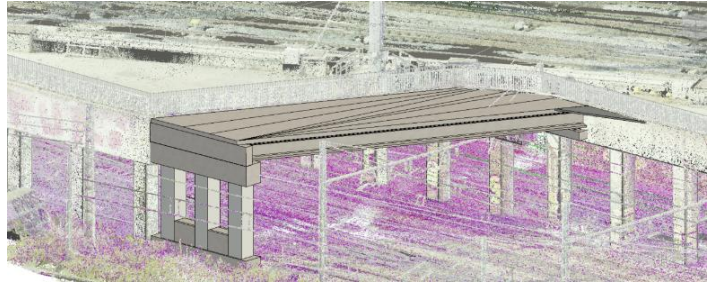


Figura 12: Vista de la nube de puntos superpuesta al modelado de la pérgola 2 existente y al modelado de la pérgola 2 propuesta por SANDO CONSTRUCCIÓN.

Además, se podrían obtener del modelo BIM las coordenadas de cualquier punto de las nuevas pérgolas para su replanteo topográfico en obra. El modelado preciso también permitirá en el futuro realizar el escaneo terrestre de las estructuras y compararlo con el modelo teórico, obteniendo las desviaciones. Con el paso de los años y el uso de las estructuras se podrá realizar un control dimensional preciso y estudiar las deformaciones.

El modelo BIM obtenido, una vez superado el programa de calidad de este, podrá usarse en taller para la fabricación de todos los elementos.

Para realizar el modelado se empleó AutoDesk Revit 2024, completándolo con Dynamo.

DETALLES TÉCNICOS DE LAS NUEVAS ESTRUCTURAS PREFABRICADAS

La parte de las cimentaciones sobre las que irá el tablero de las nuevas estructuras contendrá micropilotes autoperforantes tipo TITAN ISCHEBEK. Este tipo de micropilotes se ejecutan con mayor velocidad que los tradicionales y con un mayor control sobre todos los puntos de la ejecución, incluida la inyección controlada de lechada. Garantizan una mejora de la calidad y unos plazos más cortos.

En las cimentaciones se dejarán unas vainas para encajar los agrupamientos de barras de 32 mm (Figura 13) de diámetro de los pilares. Estas vainas se rellenarán de mortero y después se encajarán los pilares en ellas. La exactitud de la ejecución será muy exigente. El margen de error debe ser menor de 10 mm. Se dejarán 12 vainas por pilar dentro de la cimentación, en ellos irán las 36 barras de 32 mm de diámetro de las esperas de cada pilar.

En la parte superior de los pilares, debido a la complejidad del montaje de los dinteles prefabricados es imprescindible el modelado de las armaduras (Figura 14). El espacio es muy limitado.

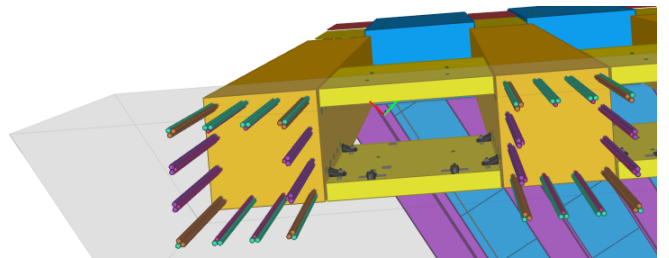


Figura 13: Vista del modelado de los pilares prefabricados con las barras de 32 mm de diámetro agrupadas en grupos de 3

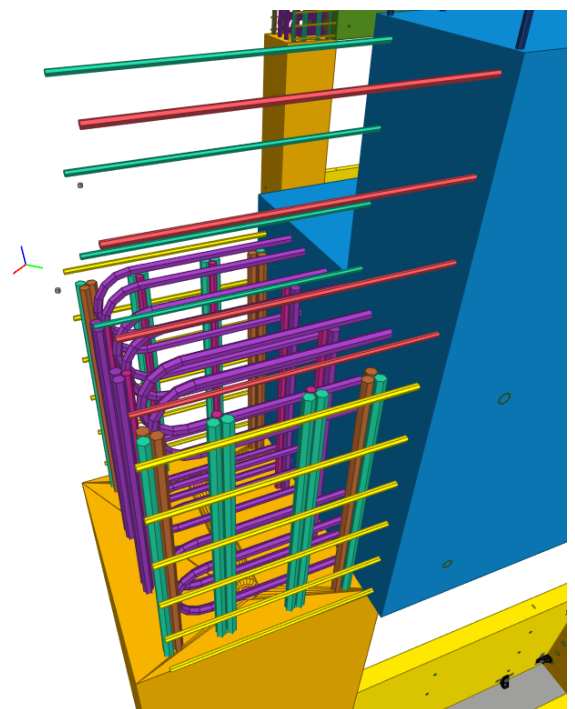


Figura 14: Vista del modelo en el encuentro de los pilares prefabricados con los dinteles prefabricados

Los dinteles apoyan unos 5 cm sobre los pilares, las armaduras de los dinteles van definidas de tal forma que las armaduras que salen de un lado puedan encajar perfectamente con las armaduras que salen del dintel anexo. El nudo húmedo es como un rompecabezas donde encajan las armaduras de un pilar prefabricado y de los dos dinteles prefabricados adyacentes. Al hormigonar los nudos toda la estructura estará perfectamente unida (Figura 15-16-17).

PLANIFICACIÓN DE MONTAJE Y LOGÍSTICA

El modelado exacto del entorno y de la nueva solución prefabricada, permitirá a SANDO CONSTRUCCIÓN calcular las ubicaciones exactas de la maquinaria tanto de pilotes, micropilotes y grúas. Permitiendo un cálculo exacto de los tiempos necesarios en obra para el montaje de los prefabricados y planificar la posición de los camiones especiales de transporte para realizar las descargas. Gracias al modelado se puede prever por adelantado cualquier problema antes de iniciar en obra el montaje y ejecución de las estructuras.

La logística y transporte de los distintos elementos prefabricados también se beneficia del modelado y planificación sobre el mismo de la posición de la maquinaria y tiempos exactos de ejecución. Se podrá programar el transporte y entrega de los elementos con total seguridad, evitando tiempo muertos.

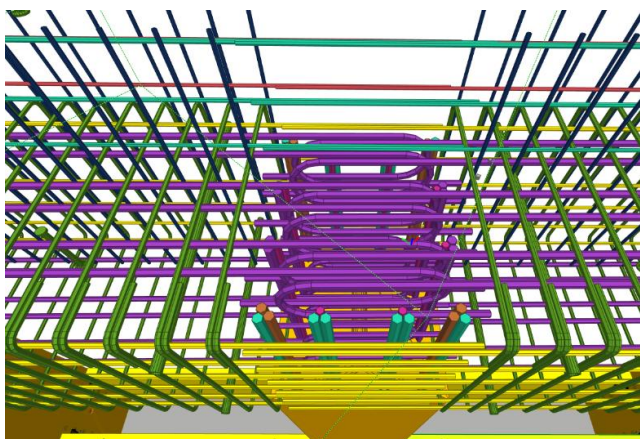


Figura 16: Vista del modelo en el encuentro de los pilares prefabricados con los dinteles prefabricados

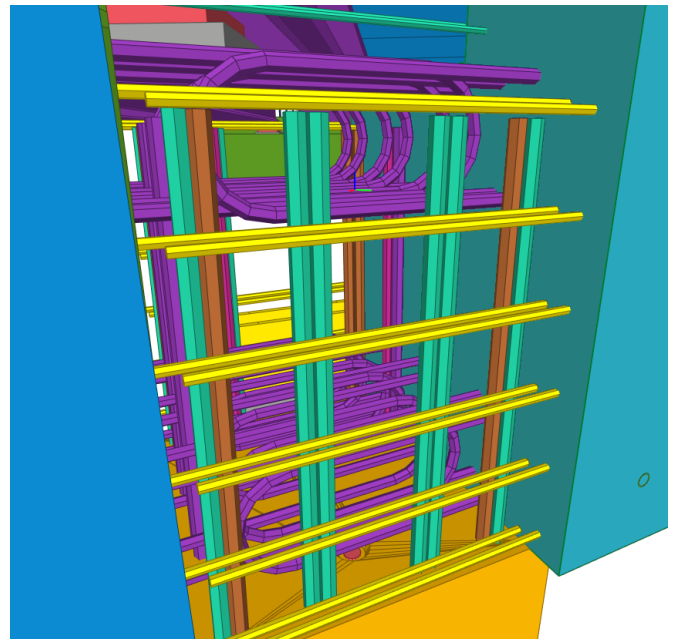


Figura 15: Vista del modelo en el encuentro de los pilares prefabricados con los dinteles prefabricados.

En amarillo se puede apreciar las barras de un dintel como encajan con las barras del siguiente dintel.

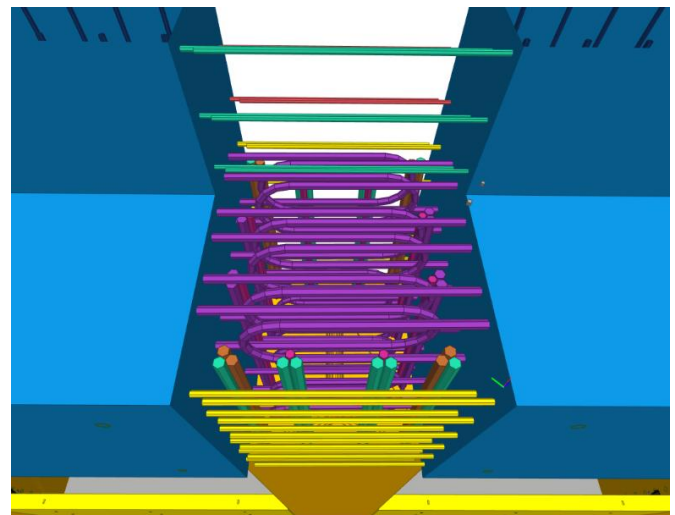


Figura 17: Vista del modelo en el encuentro de los pilares prefabricados con los dinteles prefabricados, nudo húmedo, previo al hormigonado in situ del mismo.

Para minimizar cualquier riesgo durante el montaje de los elementos prefabricados, se adoptará el siguiente procedimiento:

1. Varias semanas antes del montaje, los elementos prefabricados llegarán a obra y serán inspeccionados para comprobar que no han sufrido daños durante el transporte.
2. Se protegerán adecuadamente mientras permanezcan a la intemperie en una zona de acopio próxima a su ubicación final, situada a unos 400 metros.
3. Durante el montaje, una grúa elevará las piezas y las cargará en un camión especial, que las trasladará hasta la zona de instalación, ubicada a 400 metros del acopio.
4. Una segunda grúa se encargará del montaje definitivo. La grúa situada junto al área de acopio permanecerá como equipo de reserva, de modo que, en caso de avería de la grúa principal en la zona de montaje, se podrá emplear la de apoyo. Esta previsión permitirá evitar retrasos en el reducido plazo disponible para el montaje.

ATRIBUTOS

El promotor de la obra estableció un equipo de coordinación BIM para el conjunto de actuaciones en el entorno de la estación de Atocha. Dicho equipo definió los atributos obligatorios que debían incorporarse en todos los elementos del modelo, distinguiendo entre atributos generales —comunes a todos los objetos— y atributos específicos en función del tipo de elemento. Además, el contratista tuvo la posibilidad de incluir atributos adicionales que considerara de interés.

El promotor aportó documentación con la descripción detallada de la codificación a emplear, así como la agrupación de los atributos dentro de los Psets. Esta información se incorporó a la matriz de atributos incluida en el BEP (BIM Execution Plan), garantizando la coherencia y trazabilidad de los datos.

El objetivo de los atributos definidos para los elementos es aportar información no solo relativa al proceso constructivo, sino también a los detalles necesarios para todo su ciclo de vida. Asimismo, los atributos se han alineado para su integración en la estrategia nacional de implantación de BIM en el sector ferroviario.

En lo relativo a su gestión, cabe destacar el uso del software DiRoots, que permitió optimizar y agilizar el proceso de asignación y control de la información en el modelo BIM.

Por motivos de confidencialidad, los atributos definidos no pueden ser mostrados en este artículo.

INNOVACIÓN: INTEGRACIÓN DE UN MODELO CONVERSACIONAL PREDICTIVO PARA MODELADO BIM CON LENGUAJE NATURAL

En los últimos años ha surgido un creciente interés por integrar inteligencia artificial conversacional en el modelado BIM.

La idea es permitir que profesionales de arquitectura e ingeniería puedan dar instrucciones en lenguaje natural a su software BIM (como Autodesk Revit) para crear o modificar elementos del modelo, en lugar de hacerlo mediante comandos tradicionales o manualmente.

Esta visión se ha hecho posible gracias a los Modelos Conversacionales Predictivos (MCP) basados en IA, que comprenden lenguaje natural y generan respuestas o acciones.

La posibilidad de poder unir REVIT (software que principalmente se empleó para el modelado) con una IA, en este caso ChatGPT. Planteo el estudio de si fruto de esta conexión se mejorarían los flujos de trabajo y velocidad de modelado.

La integración entre Revit y un MCP (como ChatGPT) generalmente requiere de un componente intermediario que traduzca las frases del usuario en comandos que Revit entienda.

Técnicamente, esto se realiza empleando la API de Revit: el plugin recibe la instrucción en lenguaje natural, la envía al modelo de IA (ChatGPT) para que la interprete, y luego ejecuta las acciones resultantes en Revit a través de código (por ejemplo, creando elementos, modificando parámetros o invocando funciones de Revit).

Es decir, es como si el MCP actuara como un traductor inteligente entre el usuario y Revit. Se podría programar este flujo para que cada petición del usuario fuera procesada por la IA (en este caso ChatGPT) y realizara una secuencia de llamadas a la API de Revit (respetando las reglas de transacción de Revit y evitando errores).

e-BrIM

Para realizar la unión entre el software de modelado y la IA se empleó el siguiente esquema (Figura18):

1. Revit (software de modelado)

- Rol en el flujo: Recibe los comandos finales y modela automáticamente.
- Requisitos previos: Tener Revit instalado y con familias cargadas (por ejemplo, columnas estructurales).

2. RevitPythonShell o pyRevit (IronPython)

- Entorno que permite ejecutar scripts Python directamente dentro de Revit, usando su API .NET.
- Rol en el flujo: Lee el archivo JSON con las órdenes que ChatGPT generó y ejecuta esas acciones en el modelo.

3. Python 3 (consola externa)

- Es la versión estándar de Python instalada en el PC.
- Rol en el flujo: Sirve para escribir las órdenes en lenguaje natural, enviarlas a ChatGPT y guardar la respuesta en un archivo JSON.

4. API de OpenAI (ChatGPT)

- Este es el servicio de inteligencia artificial que interpreta las frases en lenguaje natural y las traduce a un formato que Revit entiende (JSON).
- Rol en el flujo: Actúa como traductor entre la forma de hablar y los comandos técnicos que necesita Revit.

5. Archivo JSON intermedio

- Este es un archivo de texto estructurado que almacena la orden que ChatGPT ha generado.
- Rol en el flujo: Es el medio de comunicación entre el script externo (Python 3) y el script interno (IronPython en Revit).

El enfoque de modelado conversacional predictivo mostró ser viable, pero para valorar su eficiencia fue necesario comparar los tiempos de ejecución frente a metodologías tradicionales.

Se realizaron pruebas en operaciones sencillas (como insertar columnas o modificar parámetros de un muro) y en operaciones más complejas (generación de geometrías paramétricas).



Figura 18: Vista del flujo de trabajo de REVIT con ChatGPT

- Para operaciones simples, el tiempo de ejecución en Revit mediante interfaz convencional resultó ser entre un 30 % y 50 % más rápido que el enfoque conversacional, dado que un clic directo o una orden en Dynamo es inmediato, mientras que la instrucción en lenguaje natural requiere redactar el prompt, procesarlo y validar la acción.
- En operaciones de complejidad media, como modificar propiedades en lotes de elementos, los tiempos fueron similares, aunque el enfoque conversacional exigió mayor detalle en la instrucción y una mayor probabilidad de realizar iteraciones correctivas.
- En operaciones complejas, el enfoque conversacional mostró un potencial interesante: preparar un prompt detallado puede llevar más tiempo inicialmente, pero una vez ejecutado con éxito evita la creación manual de secuencias de nodos en Dynamo o de múltiples comandos en Revit.

La tasa de éxito en el primer intento fue del orden de 40–50 % en las pruebas realizadas, siendo necesario refinar el prompt en la mayoría de los casos. En contraste, las metodologías tradicionales alcanzan tasas de éxito cercanas al 100 %, siempre que el usuario domine el software.

Además, debe considerarse que la preparación del MCP y la configuración de toda la conexión entre Revit y la IA requirió un tiempo adicional aproximado de 12-16 horas, invertidas en la programación de scripts, pruebas de integración y depuración de errores.

Este esfuerzo inicial no existe en el flujo convencional de modelado, lo que hace que, en el estado actual de desarrollo, el balance global de tiempos resulte todavía más favorable a los métodos tradicionales.

En síntesis, el MCP aplicado al modelado aún no puede considerarse más eficiente que el método convencional, aunque representa un campo prometedor que podría acelerar flujos de trabajo en el futuro, especialmente en operaciones complejas y repetitivas, cuando la IA mejore su capacidad de comprensión del contexto BIM.

Las conclusiones a las que se llegó tras probar el flujo de trabajo empleando lenguaje natural y REVIT fueron:

- Es tecnológicamente viable y funciona correctamente, mostrando un gran potencial futuro para hacer el software más accesible a profesionales con menor dominio técnico. Supone tener un asistente BIM que ejecuta nuestras ideas en modelado sin necesidad de un gran conocimiento del software.
- Equivale a disponer de un asistente BIM capaz de ejecutar órdenes de modelado a partir de ideas expresadas en lenguaje natural.
- No se identificaron ventajas significativas frente al modelado tradicional realizado por un profesional con formación en el software.
- Conseguir ubicar un elemento en su posición espacial exacta con coordenadas absolutas requirió varias iteraciones.
- Las instrucciones en lenguaje natural debieron redactarse con un alto grado de detalle; no resultan sencillas de elaborar sin entrenamiento previo.
- En algunos casos fue necesario realizar correcciones manuales mediante la metodología tradicional.
- La selección de elementos mediante lenguaje natural resultó poco eficiente; un clic directo sobre el objeto fue mucho más rápido.
- Aunque el avance es prometedor, la IA aún no está lo suficientemente adaptada al contexto BIM como para sustituir el modelado tradicional por completo mediante instrucciones en lenguaje natural.

VENTAJAS DEL ENFOQUE DE PREFABRICACIÓN CON BIM

La combinación del modelado de información de construcción (BIM) con sistemas constructivos prefabricados está transformando profundamente la forma en que se planifican, ejecutan y operan los proyectos de infraestructura, especialmente en el ámbito ferroviario.

Esta sinergia permite maximizar la eficiencia en todas las fases del ciclo de vida del activo, desde la fase de diseño hasta su mantenimiento.

1. **Disminución de Errores en Obra.** El uso de modelos BIM permite visualizar y coordinar digitalmente todos los elementos del proyecto antes de su fabricación o ejecución. En un entorno colaborativo y multidisciplinar, los posibles conflictos entre disciplinas (estructuras, instalaciones, arquitectura) pueden detectarse y resolverse anticipadamente, reduciendo significativamente la probabilidad de errores durante la ejecución en obra. Esto se traduce en una mayor precisión en la colocación de elementos prefabricados y una drástica disminución de los imprevistos.
2. **Ahorro de Tiempo y Costes.** Gracias a la prefabricación, muchos componentes se fabricarán en paralelo al avance de la obra civil, lo que permitirá reducir de forma significativa los plazos totales del proyecto. La metodología BIM facilita esta planificación simultánea mediante cronogramas sincronizados (4D) y estimaciones precisas de cantidades (5D). En este caso, para el 4D se empleó el software Navisworks, que permitirá simular el montaje de los distintos elementos siguiendo una secuencia temporal definida. En el 5D, los elementos modelados serán vinculados al software Cost-it para Presto, obteniéndose de manera automatizada los volúmenes de hormigón, los pesos de los elementos y las superficies de cada componente. Al minimizar errores, retrabajos y desviaciones, también se conseguirá un notable ahorro económico en mano de obra, maquinaria y materiales.
3. **Aumento de la Seguridad.** Al trasladar parte importante de las actividades constructivas a un entorno controlado como una planta de prefabricados, se disminuye notablemente el número de operarios expuestos a riesgos en obra. Además, BIM permite planificar las fases de montaje con mayor detalle, incluyendo la logística y las secuencias de izado, lo que contribuye a una ejecución más segura y ordenada.
4. **Calidad y Control Industrial.** La fabricación en entornos industriales permite alcanzar niveles de calidad más altos y homogéneos que los obtenidos en obra. BIM contribuye al control de calidad mediante la definición precisa de tolerancias, procesos de inspección y trazabilidad digital de cada elemento. Esto garantiza un cumplimiento estricto de los estándares técnicos y normativos aplicables.
5. **Posibilidad de Repetir Metodología en otros Proyectos Ferroviarios.** Una de las grandes ventajas de este enfoque es su escalabilidad y replicabilidad. BIM permite documentar procesos, familias paramétricas y detalles constructivos que pueden reutilizarse o adaptarse fácilmente en futuros proyectos ferroviarios. Esto fomenta la estandarización, la mejora continua y la transferencia de conocimiento entre equipos y contratos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Yang, B., Han, Z., & Yang, M. (2025). Prediction and optimization of structural performance of prefabricated bridge structures based on physical information neural network (PINN) and BIM. *Discover Artificial Intelligence*, 5, Article 22. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44163-025-00245-5>
2. Chen, L., Guo, Z., Liu, L., Liu, Z., Wang, G., Tan, Y., & Chen, X. (2024). Automated construction progress monitoring for prefabricated bridges using LiDAR and BIM. SSRN. [Automated Construction Progress Monitoring for Prefabricated Bridges Using Lidar and Bim by Limei Chen, Zhigang Guo, Lingfeng Liu, Zhengxiong Liu, Gang Wang, Yi Tan, Xiangsheng Chen: SSRN](https://ssrn.com/abstract/5441633)
3. Nguyen, D. C., et al. (2024). BIM-based pre-assembly analysis for Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) of prefabricated bridges. *ScienceDirect / Automation in Construction*. [BIM-based preassembly analysis for design for manufacturing and assembly of prefabricated bridges - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580724000000)
4. Zhao, S., & Zhang, L. (2022). Research on construction technology of prefabricated structure based on BIM technology. *Journal Name*. [Research on Construction Technology of Prefabricated Structure Based on BIM Technology | Journal of Architectural Research and Development](https://www.researchgate.net/publication/358123456)
5. Wang, X., et al. (2024). Research on detailed design methods of precast components with deepening BIM tools (DPDPC). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41234567/>

BIM EN MONORRAÍLES: ENTREGABLES BASADOS EN LA GEOMETRÍA Y CONTROL DE LA PRECISIÓN

*Diego Nunez M.Sc., Daniel Konevky M.Sc. P.E., Khaled Riad PhD.,
Rajan Aryal, M.Sc., Deise Brown, Especialista BIM
INNOVA Transportation, Las Vegas, Nevada, USA
TEBR Consulting, Cairo, Egipto*

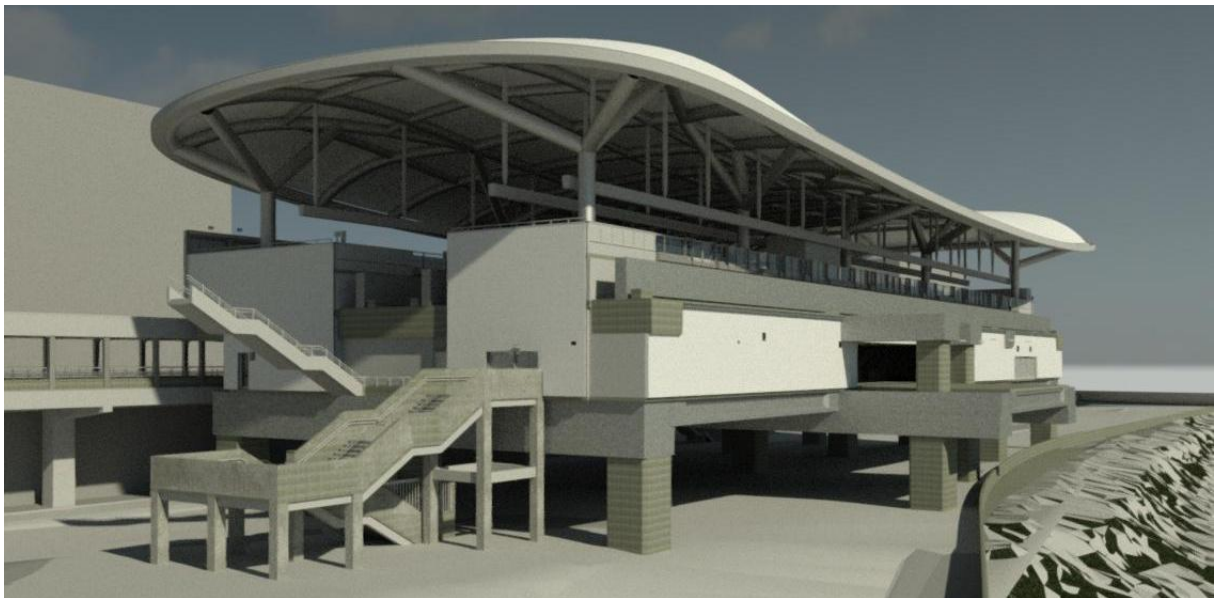


Figura 1: Modelo BIM de una Estación de Monorraíl

INTRODUCCIÓN

Las vías guía de monorraíl están controladas por la geometría del alineamiento, curvas horizontales y verticales, espirales y peraltes (superelevación), donde pequeñas desviaciones geométricas se multiplican a lo largo de grandes distancias.

Para la creación de modelos BIM, INNOVA desarrolló un enfoque BIM centrado en la fidelidad geométrica y el detalle constructivo: entradas paramétricas desde Civil 3D y Excel, colocación automatizada mediante Dynamo para elementos repetitivos y una coordinación disciplinada de insertos y modelos de pasarelas de emergencia.

Este artículo detalla los métodos utilizados para gestionar curvas, pendientes, peraltes y la ubicación precisa de apoyos e insertos en modelos a escala en un corredor.

1. CONTEXTO DEL PROYECTO

El programa del monorraíl incluye estructuras elevadas de vías guía y estaciones para dichas estructuras. Los paquetes representativos comprenden una estación típica de monorraíl, estructuras de intercambio de vía, estructuras típicas de vigas guía y pasarelas a lo largo del monorraíl.

El desafío de la entrega es lineal: reglas repetidas con excepciones locales (servicios, geometría de pilas, pendientes, etc.). El BIM aporta valor cuando trata los datos de alineamiento como la única fuente de definición geométrica y permite que los parámetros, y no el dibujo manual, controlen la generación y colocación de cualquier elemento (Vigas guía, columnas, capiteles, etc.).

2. COMPLEJIDAD GEOMÉTRICA EN LOS MONORRAÍLES

CURVAS HORIZONTALES Y VERTICALES. La vía guía sigue alineamientos en planta y perfil con espirales de transición (curvas toroides) y curvas verticales (curvas parabólicas). La geometría debe ser continua y diferenciable para evitar quiebres que afecten la calidad del viaje y la construcción – ensamble de la estructura.

Cuando la vía guía atraviesa una espiral de transición, los lados de la viga de la vía guía dejan de estar en una superficie cilíndrica para situarse en una cónica.

Este hecho genera serias complicaciones para el modelado preciso de las vigas en 3D, con herramientas como Revit y requirió un desarrollo considerable por parte de un equipo de ingenieros para llegar a resultados aceptables.

ROTACIÓN Y PERALTE. La rotación de cada viga debido al peralte del alineamiento alrededor de un punto de giro elegido (eje central) cambia la orientación de los elementos tramo por tramo. Las definiciones de familias y los scripts de colocación/inserción deben aplicar la rotación de manera consistente a las vigas guía, columnas, vigas capitel y pasarelas.

PENDIENTES E INCLINACIONES. Las pendientes longitudinales influyen en las alturas de las columnas y vigas capitel, y la geometría de los insertos de las pasarelas. Errores menores en la pendiente se propagan en desajustes verticales en los apoyos y en las ubicaciones de las juntas de expansión.

TOPOGRAFÍA. En cada ubicación de pila, los modelos pueden importar las coordenadas del tope de la pila, su elevación y la longitud de este. Si se cuenta con estudios de mecánica de suelos, también puede integrarse la estratigrafía y clasificación del terreno a lo largo de la pila. Además, el modelo puede incorporar ya sea la superficie del terreno existente o la cota final proyectada, dependiendo de los requerimientos del proyecto.

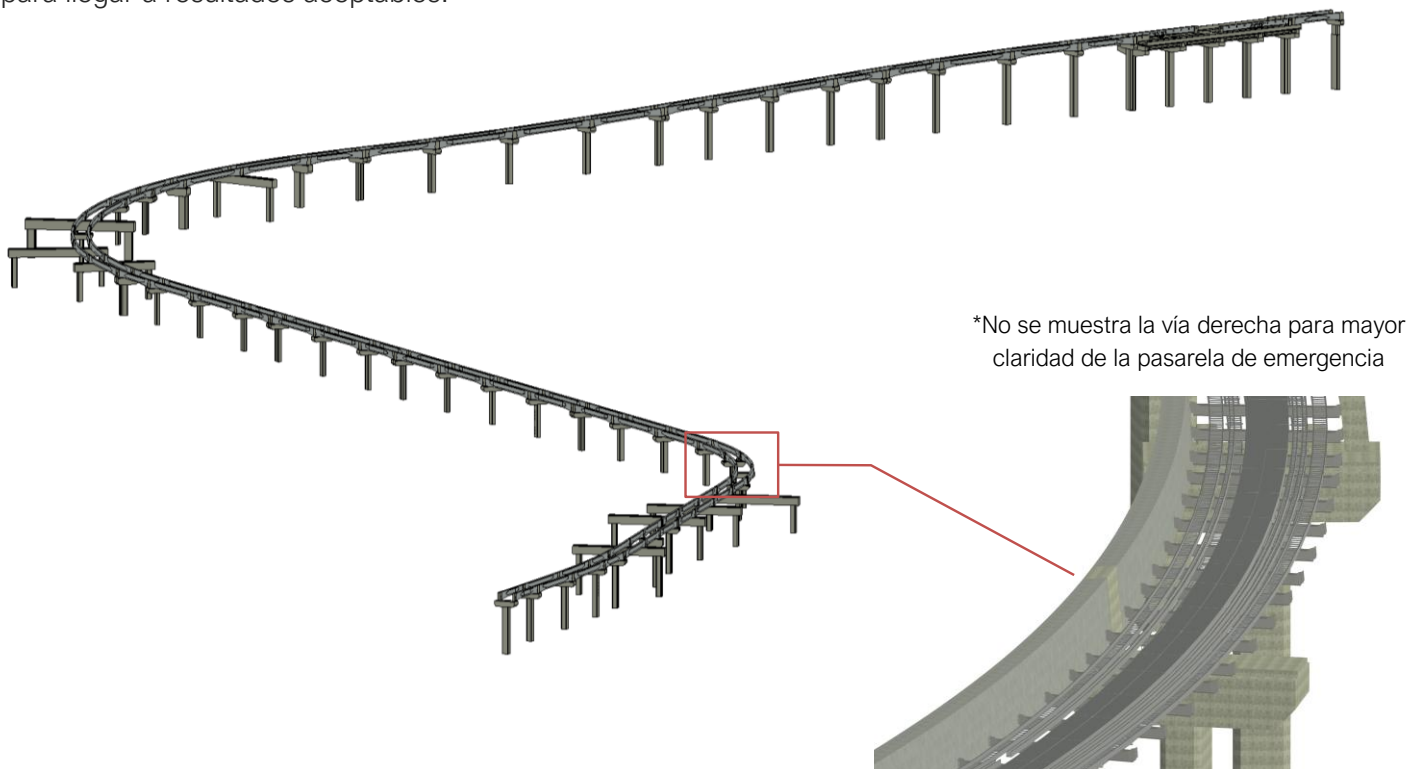


Figura 2: Modelo BIM de las estructuras de la vía guía y de las pasarelas de emergencia

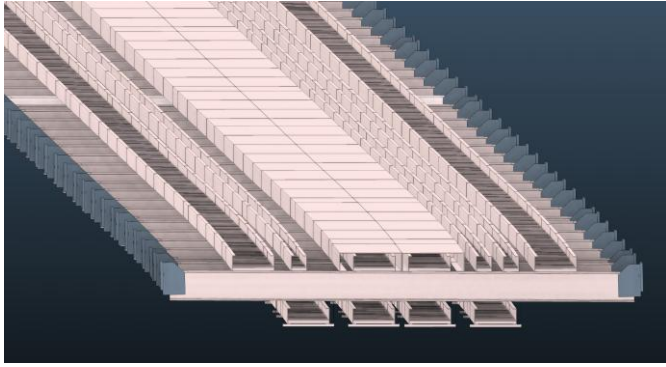


Figura 3: Pasarelas de emergencia y bandejas de cables

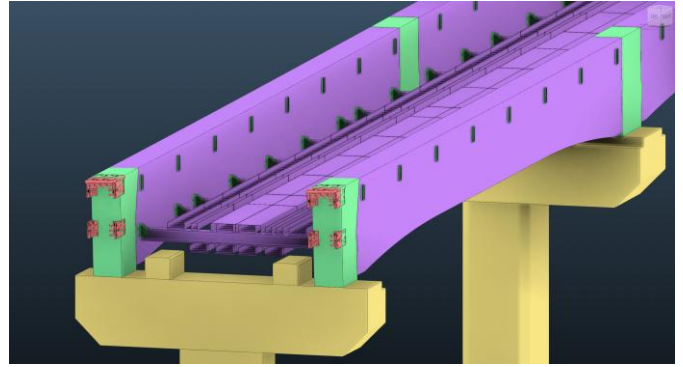


Figura 4: Insertos de rieles de energía y placas base en las caras de las vigas

GEOMETRÍA DE VIGAS Y ORTOGONALIDAD. La geometría inferior de las vigas guía mejor su comportamiento y reduce costos de producción ahorrando en materiales, pero complican el modelamiento; se deben mantener paramétricos e independientes de los ejes de referencia. La superficie superior de rodadura debe permanecer plana, cuadrada y perpendicular a las caras laterales, y cumplir con las tolerancias del material rodante.

Típicamente, las vigas de monorraíl se prefabrican utilizando moldes especializados. Una viga prefabricada puede integrar curvas circulares y verticales, así como variaciones de peralte dentro de un solo elemento. En este sentido, las vigas no funcionan únicamente como componentes estructurales, sino también como elementos mecánicos que influyen directamente en el desempeño del sistema de transporte.

Sin embargo, cuando se fabrican en acero, la industria suele preferir geometrías más simples, como tramos tangentes o elementos con curvas de gran radio, con el fin de minimizar la complejidad de fabricación y evitar los desafíos asociados a secciones con peralte.

PASARELAS DE EMERGENCIA Y BANDEJAS DE CABLES. La geometría de las pasarelas de emergencia hace referencia al mismo alineamiento y a las mismas funciones de peralte que las vigas guía. El plano de referencia de la pasarela rota con el peralte transversal (alrededor del eje central de la vía guía), de modo que los espacios libres hacia la envolvente dinámica del vehículo, barandillas y bandejas de cables se mantengan constantes en las curvas.

3. ENTRADAS PARAMÉTRICAS Y FLUJO DE DATOS (CIVIL 3D → EXCEL → DYNAMO → REVIT)

El flujo de trabajo de diseño mostrado en la Figura 5 ilustra claramente el proceso paso a paso. Sin embargo, el flujo actual puede percibirse como algo "fragmentado", ya que depende de herramientas separadas sin una integración completa. Esta fragmentación plantea la pregunta de qué características podrían estar ausentes en las plataformas de diseño existentes que permitirían un enfoque más integrado. En este contexto, la Inteligencia Artificial Generativa tiene el potencial de mejorar el flujo de trabajo al cerrar brechas entre herramientas y automatizar procesos repetitivos.

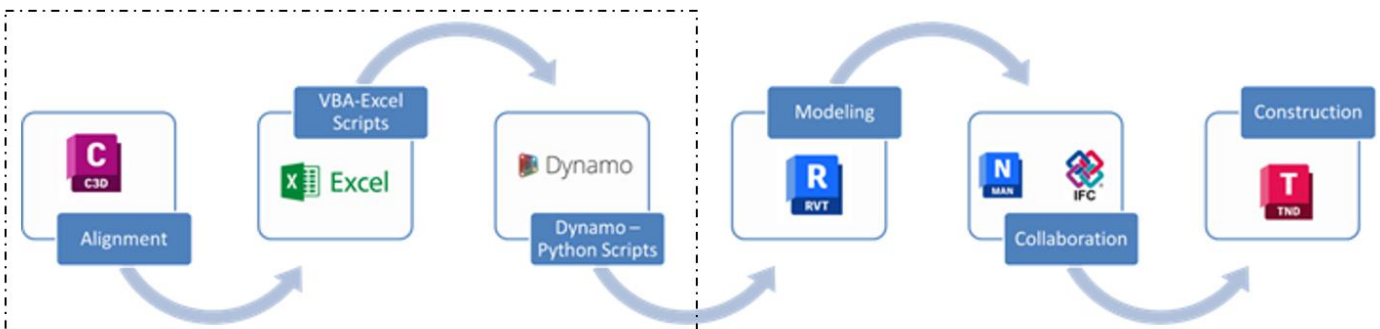


Figura 5: Proceso de flujo de trabajo de modelado

En particular, los primeros tres pasos (ver recuadro punteado en la Figura 5): definición del alineamiento, generación de scripts en Excel y automatización con Dynamo, podrían optimizarse mediante IA con acceso a herramientas internas propietarias dentro de Excel. Este tipo de integración ya se está explorando y se espera que tenga un rol importante en proyectos futuros.

El proceso de flujo de trabajo se explica a continuación:

ORIGEN DEL ALINEAMIENTO. Civil 3D proporciona datos de los estacionamientos a lo largo del alineamiento, curvatura, peralte y perfil. Las tablas de alineamiento y perfil se exportan a un archivo de Excel/VBA, que las normaliza en tablas limpias y versionadas para su uso en Dynamo/Revit.

UBICACIÓN MEDIANTE SCRIPTS. Dynamo lee primero las tablas normalizadas para generar la geometría compleja de las vigas guía, automatizando todos los elementos curvos únicos. Una vez creadas todas las vigas, un segundo script de Dynamo coloca los elementos de soporte (columnas, capiteles, apoyos) y los accesorios de

corredor (vigas adicionales de la vía guía y pasarelas de emergencia). Cada colocación se controla por estación, desplazamiento, elevación y rotación proveniente del peralte.

UN CAMBIO → MULTIPLES TRAMOS. Cuando se actualiza el alineamiento o cambios locales, los scripts regeneran las colocaciones en todo el corredor, manteniendo la geometría sincronizada y reduciendo las ediciones manuales.

4. INSERTOS Y PLACAS BASE: UBICACIÓN Y COORDINACIÓN

¿POR QUÉ IMPORTAN? Los insertos de rieles de energía, placas de base de pasarelas de emergencia, bases de pasamanos/postes, etc., son elementos pequeños embebidos en el concreto para garantizar la constructibilidad. Su ubicación depende de la geometría de la curva, la rotación por peralte y los desplazamientos de las pasarelas.

REGLAS PARAMÉTRICAS. Los insertos hacen referencia a la geometría donde se ubican (caras de la viga) y derivan su rotación de la misma función de peralte que orienta el tramo.

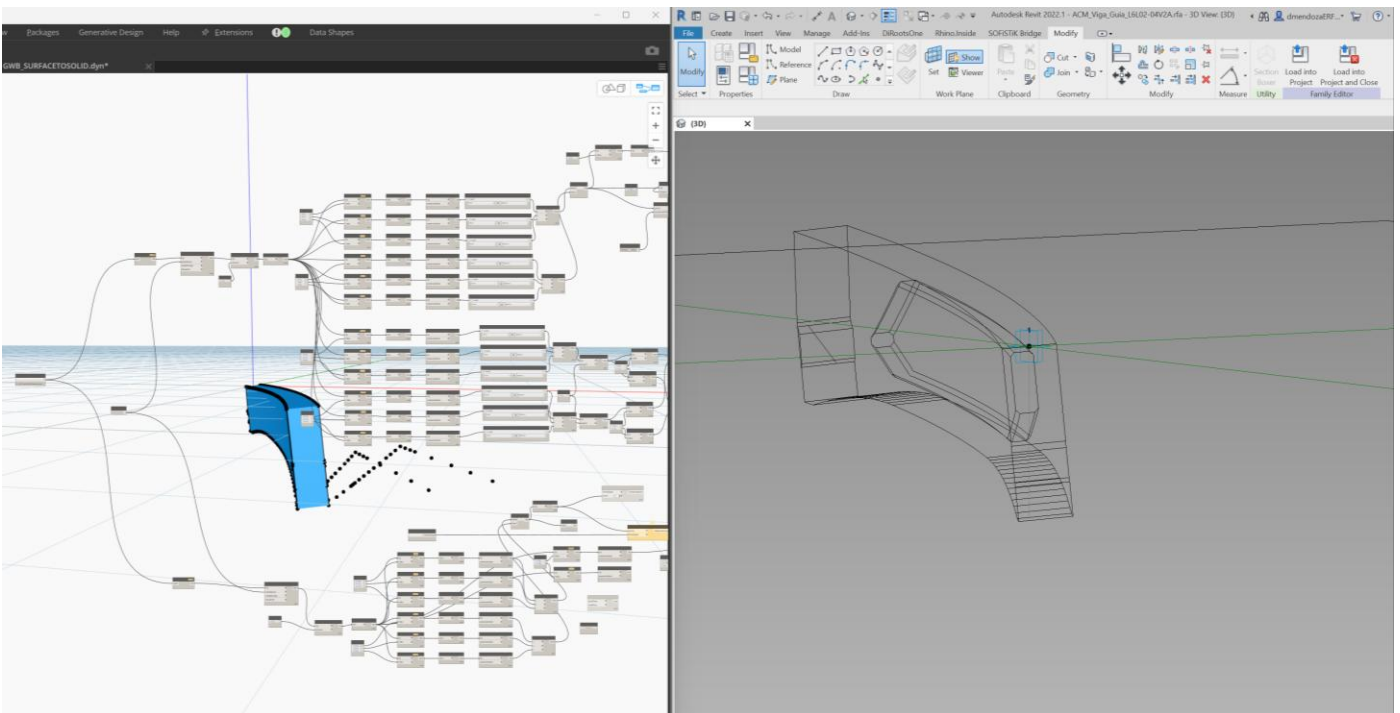


Figura 6: Modelado de una viga de vía guía de geometría compleja utilizando Dynamo para la generación automática

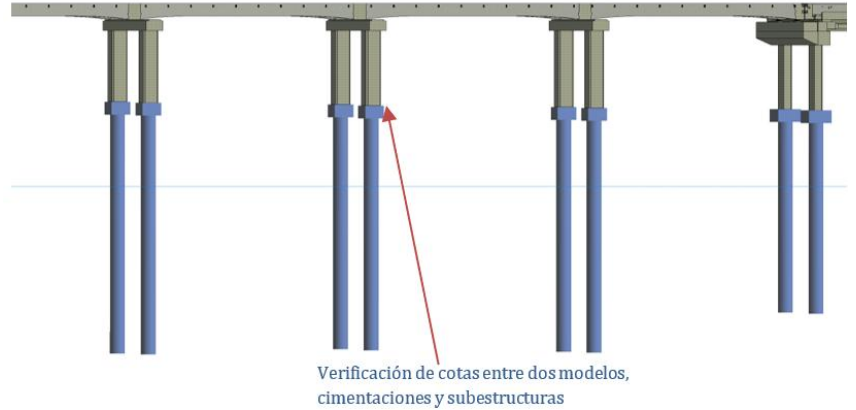
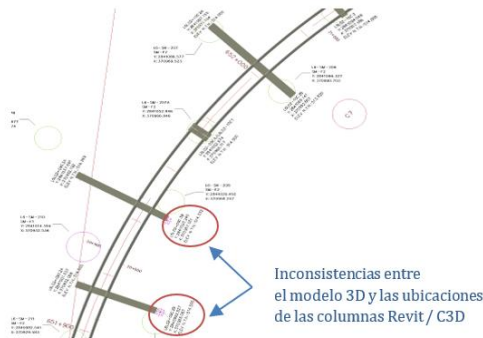


Figura 7: Verificación de alineamiento en la coordinación Civil 3D/Revit

Las fórmulas basadas en estaciones posicionan los insertos repetitivos, permitiendo al mismo tiempo evitar doble inserción de los elementos.

INTERFERENCIAS Y AJUSTES. Las revisiones de coordinación se enfocan en la proyección de los insertos, el espaciamiento de los insertos y los conflictos con bandejas de cables o pasarelas de emergencia, especialmente en zonas de curvas cerradas.

5. CONTROL Y PRECISIÓN

GEOREFERENCIACIÓN Y CONTROL TOPOGRÁFICO. Los modelos se construyen sobre un sistema de coordenadas común, utilizando estación/desplazamiento/elevación como claves primarias para asegurar la consistencia entre disciplinas.

MÁRGENES DE ERROR. Se considera la geometría del alineamiento como de primer orden: las verificaciones comparan la colocación del modelo con los valores calculados de estación/elevación/rotación, reportando desviaciones para su corrección.

CONTROL DE CALIDAD POR COLORES. Las vistas colorean los elementos según su estado —colocado, verificado, marcado— para enfocar las revisiones en zonas críticas de curvas/pendientes y en interfaces de expansión.

DOCUMENTACIÓN. Los planos de planta/perfil y los planos clave por estación utilizan la misma estandarización de estaciones que los scripts, minimizando errores de traducción entre modelo y planos.

↓ Figuras 8 y 9: Estructura de monorraíl en construcción



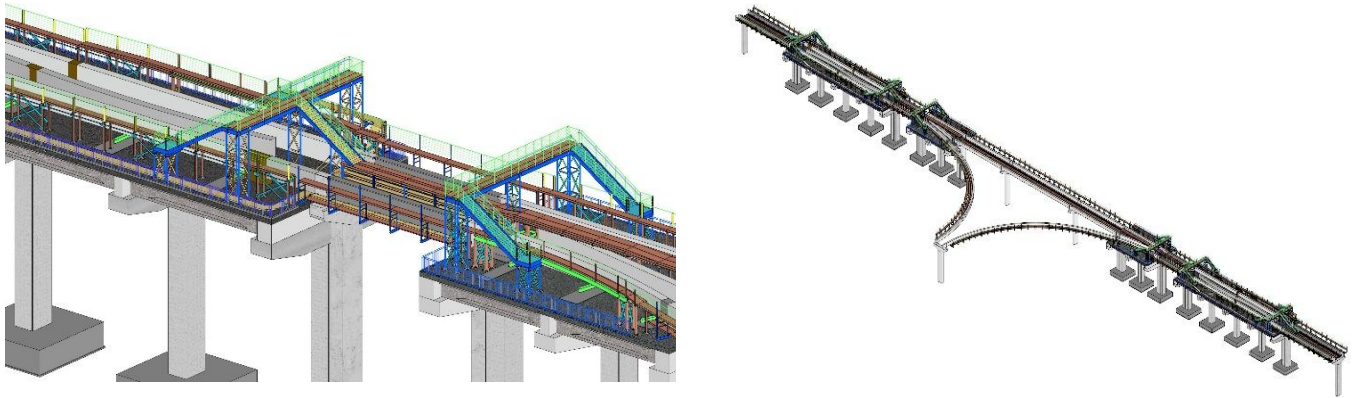


Figura 10: Modelo típico de un intercambiador de vía en Tekla Structures

6. RESULTADOS Y LECCIONES DE NUESTROS PROYECTOS

- **La geometría primero.** El peralte, las curvas y las pendientes gobiernan todo; define un punto de giro claro (típicamente el eje central) y aplica un campo de rotación $\theta(s)$ para que los elementos se mantengan alineados con la trayectoria.
- **Los insertos siguen reglas.** Utiliza fórmulas basadas en la estación y sensibles a la rotación, de modo que anclajes y placas base hereden la orientación del elemento anfitrión (viga guía).
- **Las interfaces importan.** Coordina desde el inicio con las pasarelas de emergencia y los insertos de riel de energía: el espaciamiento y desplazamientos se vinculan a la estación/radio para que las bandejas y pasarelas mantengan los espacios libres a través de curvas y pendientes.
- **La precisión es un flujo de trabajo.** Ejecuta verificaciones rápidas de diferencias (estación/desplazamiento/elevación/rotación), codifica las desviaciones por colores y versiona las entradas de Excel para que los cambios sean rastreables con un reproceso mínimo.

7. CONCLUSIONES

Para el BIM en monorraíles, las prácticas se enfocan en la fidelidad geométrica y la constructibilidad: usar los datos de alineamiento para impulsar la colocación paramétrica, coordinar los insertos de rieles de energía y los sistemas de pasarelas de emergencia en torno al peralte y las curvas, y aplicar controles de precisión mediante verificaciones topográficas.

Aunque el flujo de trabajo actual se basa en una combinación de herramientas tradicionales y paramétricas, el siguiente paso consiste en aprovechar la Inteligencia Artificial Generativa para vincular estas herramientas en una cadena de trabajo más fluida.

Con acceso a cálculos con derechos de autor y rutinas de automatización, la IA tiene el potencial de reducir significativamente la coordinación manual, permitiendo a los ingenieros enfocarse en la optimización del diseño en lugar de la gestión de datos.

El resultado final es un modelo de vías guía que se adapta a los cambios mientras mantiene la precisión que demandan los monorraíles elevados.

Nota: **ASISTENCIA DE IA Y RESPONSABILIDAD DEL AUTOR.** Se utilizó un asistente de IA generativa (ChatGPT) únicamente para la redacción y la corrección de estilo. *Todo el contenido técnico y las conclusiones fueron elaborados, verificados y siguen siendo responsabilidad de los autores humanos.*

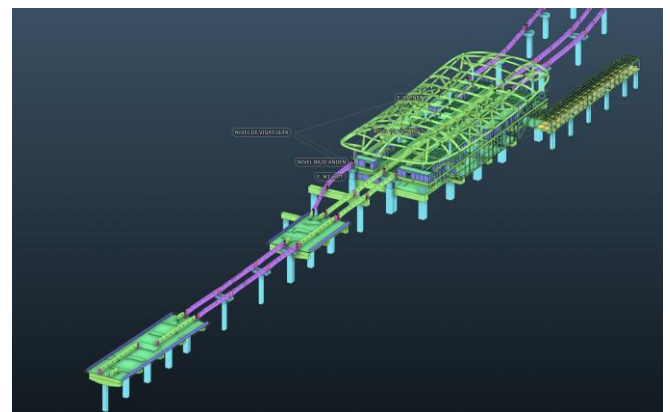


Figura 11: Interfaz vigas de vía guía / intercambiador de vía / estación

DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA

HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN PUENTES E INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

Hellen Christodoulou Ph.D., Eng., B.C.L., LL.B., M.B.A.



«El sector mundial de los puentes se muestra esperanzado y comprometido, impulsando la ejecución satisfactoria de proyectos que cumplan con las normas y sean responsables en materia de eficiencia de carbono».

Hellen Christodoulou

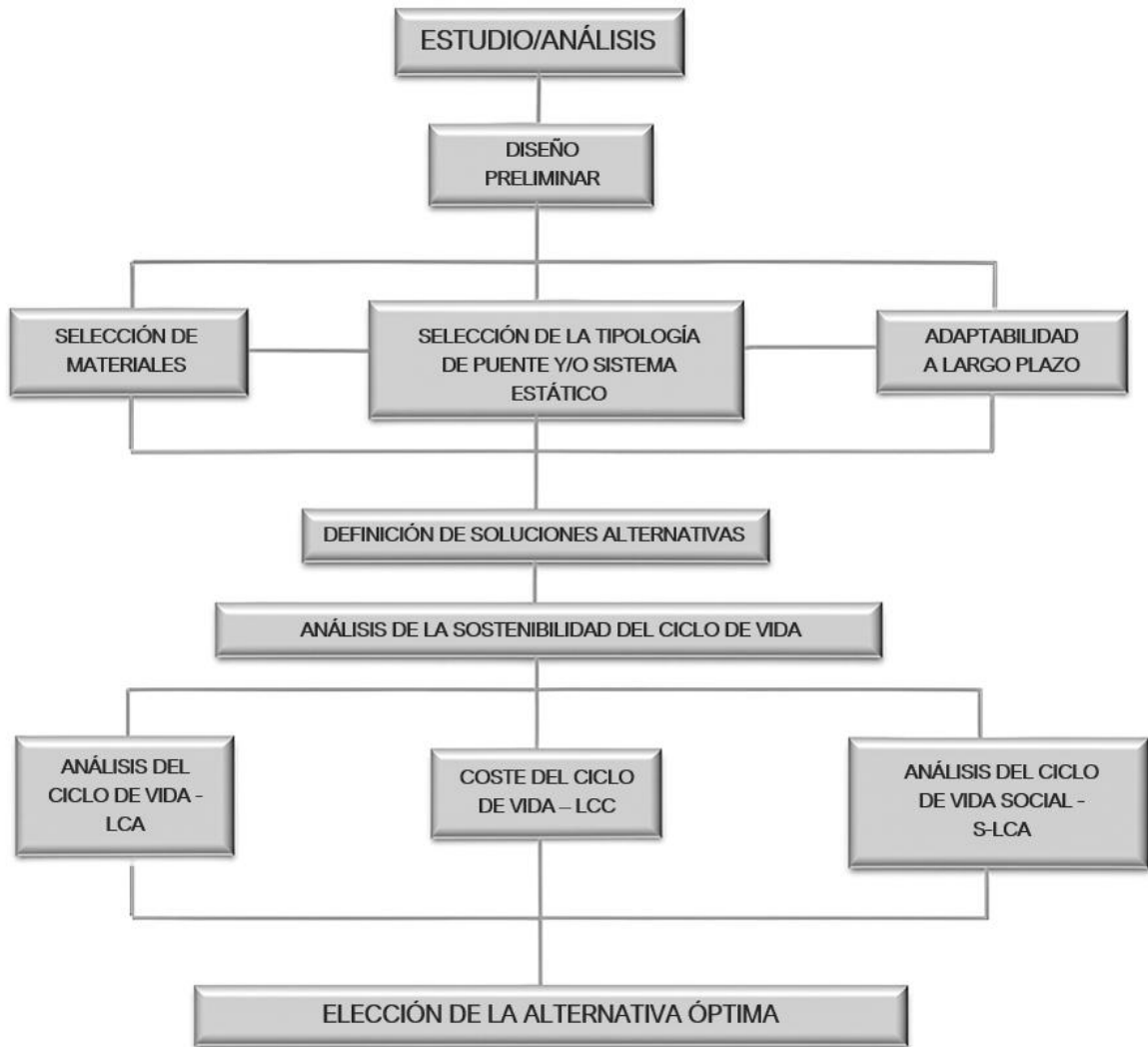
INTRODUCCIÓN

Los proyectos de infraestructura, como carreteras, túneles y puentes, generan una amplia gama de consecuencias medioambientales. La explotación y el tratamiento de materias primas mediante minería y refinación mineral pueden alterar los ecosistemas terrestres y acuáticos, contaminando tierra, agua y aire.

La producción de materiales de construcción como el cemento, el hormigón, el acero, el asfalto y el betún requiere de una gran cantidad de energía, sobre todo teniendo en cuenta los enormes volúmenes que se demandan. El transporte de estos materiales aumenta la contaminación atmosférica local y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mientras que las propias actividades de construcción suelen dañar los hábitats y reducir la biodiversidad.

Una vez en funcionamiento, las carreteras siguen afectando al medio ambiente. La escorrentía de la lluvia puede transportar contaminantes como partículas de neumáticos, residuos de combustible, lubricantes y productos químicos de los tratamientos de la superficie de las carreteras a los ecosistemas circundantes. Con el tiempo, los trabajos de mantenimiento y repavimentación de éstas generan residuos adicionales procedentes de los materiales desechados, lo que aumenta aún más la huella del proyecto.

El análisis del ciclo de vida (LCA) ha pasado de ser una investigación a un requisito. A escala global, las autoridades de transporte están creando normas de contratación, herramientas de cálculo y vías de verificación de datos que convierten las promesas de reducción de carbono en decisiones diarias para el diseño y licitación.



Milić, I., & Bleiziffer, J. (2024). Life cycle assessment of the sustainability of bridges: Methodology, literature review and knowledge gaps. *Frontiers in Built Environment*, 10, 1410798. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1410798>

Los puentes, con una larga vida útil y un perfil de mantenimiento intensivo, representan un entorno de prueba óptimo: las herramientas que se impongan determinarán si las opciones bajas en carbono realmente ganan y si se realiza un seguimiento del rendimiento durante toda la vida útil más allá de la inauguración.

Este artículo resume las acciones que están llevando a cabo diversos organismos y autoridades de transporte, centrándose en herramientas de cálculo oficiales y en plataformas ampliamente adoptadas que pueden servir de referencia en políticas y contratos en la actualidad.

También proporciona una guía para la selección de herramientas para cada etapa del proyecto (planificación, licitación, entrega, operación

y mantenimiento) y destaca las opciones específicas para puentes, tales como las estrategias de protección contra la corrosión que modifican el carbono y el costo durante toda la vida útil. Esto puede ser, en efecto, un proceso de aprendizaje colectivo.

DOS ACCIONES QUE LOS ORGANISMOS ESTÁN TRATANDO DE IMPLEMENTAR

El avance en el desarrollo de herramientas de cálculo avanzadas, combinado con la monetización de las mejoras en sostenibilidad, ofrece un marco para integrar el desempeño ambiental de manera directa en la toma de decisiones sobre adquisiciones, producción y cadena de suministro.

Al cuantificar y asignar un valor económico a la reducción de emisiones y del consumo energético,

las partes interesadas pueden evaluar con mayor precisión el impacto del ciclo de vida de materiales y servicios, desde la extracción y el procesamiento hasta la fabricación, el transporte y la operación. Este enfoque asegura que los resultados en sostenibilidad no se consideren meros beneficios secundarios, sino criterios medibles que influyen en el costo, el riesgo y el desempeño a largo plazo de los activos de infraestructura.

En efecto, lo fundamental es:

1. Vincular el reglamento a una herramienta o plataforma oficial de cálculo. Una norma publicada sin una herramienta de cálculo corre el riesgo de resultar inconsistente; una herramienta sin estándar puede generar resultados poco comparables. Los organismos combinan ambos elementos para asegurar que los datos sean auditables.
2. Asignar un valor monetario al carbono. La aplicación de precios sombra en las ofertas, junto con objetivos de desempeño y sistemas de incentivos o penalizaciones, asegura que las alternativas de bajas emisiones de carbono permanezcan competitivas, manteniendo al mismo tiempo la eficiencia económica.

HERRAMIENTAS DE CONTRATACIÓN EUROPA

Países Bajos: DuboCalc y MKI

DuboCalc es la herramienta oficial del Ministerio de Infraestructuras y Gestión del Agua de los Países Bajos para el cálculo del Análisis del Ciclo de Vida (LCA) en obras civiles. Permite transformar el perfil ambiental de un proyecto en una puntuación única del **Indicador de Coste Medioambiental (MKI)**, que se utiliza directamente en la evaluación de licitaciones.

Los licitadores presentan tanto el archivo DuboCalc como la puntuación MKI, y el proceso de contratación aplica un mecanismo de ajuste hipotético que permite que un mejor desempeño en carbono influya en la adjudicación sin comprometer la disciplina de precios.

El sistema se respalda en la **Base de Datos Nacional sobre Medio Ambiente (NMD)**, asegurando la coherencia de los datos de materiales y procesos. Así, los Países Bajos muestran un enfoque integral que conecta política, herramienta y contratación, ampliamente aplicado a carreteras y puentes.

Suecia: Klimatkalkyl de Trafikverket

La autoridad de transporte de Suecia exige el uso de la “calculadora climática” Klimatkalkyl para establecer una base de referencia y realizar un seguimiento de las emisiones durante el ciclo de vida de las diferentes opciones de diseño, construcción y mantenimiento.

Desde 2016, los proyectos nacionales tienen objetivos explícitos de reducción de carbono, con incentivos económicos que premian el rendimiento superior. La herramienta abarca carreteras, ferrocarriles y puentes, con factores precalculados para soluciones típicas y la capacidad de integrar declaraciones ambientales de producto (EPDs) cuando estén disponibles.

Reino Unido: PAS 2080 y la National Highways Tool

La especificación PAS 2080 del Reino Unido incorpora la gestión del carbono durante toda la vida útil en la planificación, el diseño, la construcción y la explotación.

National Highways combina este marco de gobernanza con una herramienta de emisiones de carbono que estandariza la cuantificación, lo que permite realizar informes comparables y reducciones auditables.

Al vincular la acreditación, las herramientas de cálculo y los requisitos de licitación, el Reino Unido garantiza que la gestión del carbono no solo se limite a un objetivo deseado, sino que quede plenamente incorporada en los contratos y procesos de la cadena de suministro.

El ecosistema de Australasia en rápido proceso de maduración

Australia: Directriz federal y TfNSW Toolchain

Australia ha publicado una guía nacional sobre la medición del carbono incorporado en las infraestructuras, con el objetivo de homogeneizar los enfoques entre los distintos estados.

Paralelamente, Infrastructure NSW y Transport for NSW han publicado manuales y políticas que establecen los requisitos mínimos de medición y notificación a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Los puentes, que suelen ser uno de los activos de mayor impacto, se evalúan ahora con una plantilla coherente que vincula los datos sobre el carbono con las decisiones sobre costes y planificación.

Nueva Zelanda: PEET y bases de referencia para 2025

La Agencia de Transporte Waka Kotahi de Nueva Zelanda utiliza la herramienta Project Emissions Estimation Tool (PEET) para estimar las emisiones del ciclo de vida en las primeras fases de los proyectos, captando incluso los impactos evitados relacionados con el tráfico inducido.

En 2025, la agencia publicó referencias de carbono para los tipos de proyectos más comunes, con el fin de facilitar la comparación cuando hay pocos datos medidos disponibles. Al definir los conceptos y las posibles rutas antes de fijar el diseño final, PEET ayuda a los ministerios a elegir soluciones que generen menos emisiones de carbono en el momento en que más influyen.

Canadá: Climate Lens y el ecosistema emergente de EPD

En Canadá, el gobierno federal ha incorporado la responsabilidad climática en la financiación de infraestructuras a través de la iniciativa Climate Lens de Infrastructure Canada. Este marco exige a los promotores evaluar tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como la resiliencia climática, lo que supone un compromiso nacional para integrar el clima en la toma de decisiones.

Sin embargo, aunque es importante, Climate Lens es principalmente un requisito de información: establece expectativas, pero aún no impone una comparabilidad estandarizada ni incorpora el carbono en la puntuación de las adquisiciones.

Paralelamente, Canadá está desarrollando su ecosistema de EPD. El Registro de EPD del Grupo CSA proporciona datos verificados, en particular para el acero, cemento y hormigón, y enlaza con sistemas internacionales como la Plataforma ECO.

Sin embargo, la cobertura sigue siendo limitada, con una representación insuficiente del acero, las barras de refuerzo y los recubrimientos como el galvanizado. Muchos productores emiten EPD a través de operadores internacionales como UL, ASTM y NSF, lo que da lugar a un conjunto de datos fragmentado.

En Canadá se utilizan cada vez más herramientas como EC3 para agregar y comparar datos, lo que proporciona a los equipos de contratación formas

prácticas de especificar productos con menos emisiones de carbono.

Aún así, no existe una base de datos nacional única y oficialmente obligatoria, y la cobertura de las EPD es inconsistente.

Lo que falta son herramientas de cálculo específicas para cada etapa que traduzcan los informes de Climate Lens en resultados comparables para todo tipo de proyectos. Canadá carece de un estimador de planificación al estilo PEET, una herramienta de puntuación de licitaciones al estilo DuboCalc y una plataforma nacional de información sobre el carbono para la construcción y el mantenimiento.

Los mecanismos de contratación también están poco desarrollados, ya que el carbono se trata normalmente de forma cualitativa en lugar de monetizarse mediante precios sombra o sistemas de bonificaciones/penalizaciones.

De cara al futuro, Canadá planea fortalecer sus marcos normativos alineándolos con estándares internacionales como la EN 17472 y la PAS 2080, ampliar la cobertura de las EPD y desarrollar herramientas de cálculo para cada fase de los proyectos.

Con el tiempo, Climate Lens podría evolucionar hasta convertirse en una herramienta de cumplimiento vinculada directamente a la financiación y a la contratación pública. Para el sector, la oportunidad está en producir las EPD que aún faltan, implementar proyectos piloto con mecanismos de contratación pública y presentar estas iniciativas como una manera de aportar resiliencia y valor a los contribuyentes, y no solo como un requisito normativo.

Estados Unidos: FHWA LCA Pave y State-Led Buy Clean

Estados Unidos ha adoptado un enfoque más centrado en las herramientas. La LCA Pave de la Administración Federal de Carreteras es una herramienta basada en Excel diseñada para la evaluación del ciclo de vida de los pavimentos a nivel de proyecto.

Permite combinar valores predeterminados con la opción de importar EPD o crear bibliotecas de usuario, ofreciendo una modularidad apropiada

para aplicaciones en puentes. Su estructura, que abarca materiales, procesos y rehabilitación, sirve como referencia federal que los Departamentos de Transporte estatales pueden adoptar de manera coherente.

El ecosistema de EPD en los Estados Unidos es comparativamente sólido. Los estados con legislación Buy Clean, entre ellos California, Colorado, Nueva York y Oregón, exigen EPD para los materiales clave, lo que impulsa una publicación más amplia en toda la cadena de suministro.

La plataforma EC3, desarrollada en los Estados Unidos, se ha convertido en un repositorio ampliamente adoptado, que consolida las EPD de operadores de programas como UL, ASTM y NSF. La cobertura del acero y las barras de refuerzo están mejorando, aunque sigue siendo fragmentada, mientras que el hormigón y el asfalto están relativamente bien representados.

Donde Estados Unidos se queda corto es en herramientas específicas para puentes y en la homogeneización de las adquisiciones. LCA Pave cubre los pavimentos, pero no existe un equivalente federal para los puentes, lo que deja a los DOT (Departamentos de Transporte) experimentando de forma independiente.

Buy Clean sigue estando impulsado por los estados, lo que da lugar a requisitos desiguales entre las jurisdicciones. El carbono incorporado aún no se ha integrado en la puntuación de las adquisiciones federales y no existe un reglamento nacional unificada para la su comparación.

La trayectoria apunta hacia una estandarización federal gradual combinada con la innovación a nivel estatal. Se espera que la FHWA amplíe los principios de LCA Pave a las herramientas para puentes, mientras que es probable que más estados adopten leyes Buy Clean.

Con el tiempo, la financiación federal podría exigir la presentación de informes sobre el carbono incorporado, haciéndose eco de la Climate Lens de Canadá.

Las adquisiciones también evolucionarán con la puntuación basada en el carbono, los precios sombra y las cláusulas de rendimiento en la fase de entrega, pasando de ser proyectos piloto a convertirse en una práctica habitual.

Para la industria, las prioridades son claras: promover una herramienta de cálculo específica para puentes, apoyar la expansión de Buy Clean mientras se impulsa la homogeneización y acelerar la publicación de EPD para el acero, las barras de refuerzo y los recubrimientos.

Al poner a prueba los mecanismos de adquisición con los DOT progresistas, la industria puede demostrar que las soluciones bajas en carbono mejoran tanto el rendimiento climático como el valor económico a largo plazo.

¿CÓMO PODEMOS APROVECHAR LAS HERRAMIENTAS PRÁCTICAS?

Las declaraciones ambientales de producto (EPD) se rigen por normas como la ISO 14025 y la EN 15804, pero su preparación puede ser compleja. La recopilación de datos sobre el ciclo de vida, el cumplimiento de múltiples requisitos de conformidad y la obtención de la verificación suelen requerir mucho tiempo y conocimientos especializados. Para simplificar este proceso, muchos organismos utilizan herramientas digitales que automatizan la recopilación y el formateo de datos.

One Click LCA, por ejemplo, es una de estas plataformas ampliamente utilizadas. Se conecta con modelos de información de construcción (BIM), bases de datos de productos y cadenas de suministro para recopilar los datos necesarios para el análisis del ciclo de vida (LCA) y la generación de EPD.

Este enfoque permite calcular de forma más eficiente impactos como el carbono incorporado y el uso del agua, al tiempo que garantiza que los resultados sean coherentes con los estándares internacionales.

El Sistema Internacional de EPD y los operadores de programas regionales actúan como repositorios oficiales de declaraciones verificadas. Herramientas como One Click LCA están integradas en estos sistemas, lo que proporciona vías que se ajustan a las Instrucciones del Programa Global (GPI) y favorecen la publicación transparente.

En la práctica, estas herramientas se han aplicado en proyectos que van desde puentes y túneles hasta edificios e infraestructuras de transporte.

Al permitir la creación de EPD verificadas, ayudan a los diseñadores, fabricantes y organismos públicos a comparar el rendimiento medioambiental junto con el coste y la planificación, incorporando la sostenibilidad en la contratación y la ejecución de proyectos.

RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA INDUSTRIA

Si bien las autoridades y organismos establecen la dirección a seguir mediante normas y herramientas de cálculo, la industria desempeña un papel igualmente fundamental para garantizar el éxito de estos marcos en la práctica. Los fabricantes, los contratistas y los proveedores tienen herramientas a su disposición, como la promoción, el suministro de datos, la colaboración y el liderazgo.

Las siguientes mejores prácticas ponen de relieve cómo la industria puede posicionarse como un socio constructivo en la configuración y la ejecución de infraestructuras con bajas emisiones de carbono:

1. Mantener esfuerzos de promoción coherentes
Seguir presentando solicitudes de políticas claras y unificadas a través de múltiples canales. La repetición y la coherencia son fundamentales para que se escuche la voz.
2. Invertir en pruebas y datos
Elaborar presentaciones sólidas que demuestren los beneficios económicos, medioambientales y sociales. El análisis del coste del ciclo de vida, los modelos de reducción de carbono y los estudios de casos añaden peso a las solicitudes.
3. Fortalecer las relaciones con los responsables políticos
Establezca un diálogo continuo, no solo una divulgación reactiva. La participación proactiva garantiza que las perspectivas de la industria se tengan en cuenta desde el principio del proceso político.
4. Fomentar la colaboración a lo largo de la cadena de valor
Presentar posiciones conjuntas que reflejen las prioridades compartidas de fabricantes, proveedores, contratistas y prestadores de servicios. La unidad amplifica la influencia.

5. Enmarcar la defensa entorno al valor público

Posicionar las recomendaciones de la industria no solo como intereses comerciales, sino como contribuciones a la resiliencia, la sostenibilidad y la competitividad económica nacionales.

6. Documentar las lecciones aprendidas

Después de cada respuesta política, evaluar los resultados, difundir las conclusiones dentro de la industria y perfeccionar las estrategias para futuras defensas.

PERSPECTIVAS ESPECÍFICAS PARA PUENTES

Los puentes revelan las implicaciones de las decisiones sobre el carbono durante el ciclo de vida con mayor claridad que casi cualquier otro activo.

Con una larga vida útil, una alta intensidad de materiales y frecuentes necesidades de mantenimiento, son un ejemplo de por qué los reglamentos y herramientas de adquisición son importantes.

Destacan tres ideas:

- La gestión de la corrosión domina el funcionamiento y el mantenimiento. Los sistemas de protección, como el galvanizado y los sistemas de recubrimiento compatibles, prolongan la vida útil y reducen la frecuencia de las rehabilitaciones importantes.

Esto, a su vez, reduce las emisiones de la gestión del tráfico, la renovación de materiales y las interrupciones operativas generales. Las herramientas deben modelar los intervalos de mantenimiento, las tasas de sustitución y los impactos de los retrasos en el tráfico.

- Las decisiones iniciales tienen una influencia desmesurada. Afectan significativamente al GWP incorporado el proceso de fabricación del acero (horno de arco eléctrico frente a horno básico de oxígeno), el contenido de cemento y el uso de materiales cementosos suplementarios, las estrategias de refuerzo y revestimiento y la logística de prefabricación.

Los flujos de trabajo eficaces deben ser capaces de aceptar las EPD y probar variantes de escenarios para captar estos impactos.

- La comparabilidad es fundamental. Estándares como el EN 17472 y las bases de referencia/plantillas de las agencias garantizan que las opciones estructurales, los tipos de vanos, los materiales y los esquemas de cimentación se evalúen sobre una base comparable. Sin comparabilidad, las decisiones sobre el carbono corren el riesgo de ser inconsistentes y sesgadas. El análisis del ciclo de vida es clave para la comparabilidad; debe realizarse de forma completa para una elección de material y repetirse para otra elección de material, con el fin de poder comparar.

CONCLUSIÓN: CONVERGENCIA EN PUENTES

América del Norte se encuentra en un punto de inflexión. Canadá cuenta con un marco federal en Climate Lens, pero carece de herramientas operativas, mientras que Estados Unidos ha desarrollado una herramienta funcional en LCA Pave, pero aún no la ha extendido a los puentes ni a la contratación pública habitual. Ambos países están creando ecosistemas de EPD, pero necesitan una mayor cobertura y homogeneización.

Los puentes, con su uso intensivo de materiales y sus perfiles orientados al mantenimiento, representan un entorno de prueba óptimo para avanzar en la gestión del carbono durante el ciclo de vida.

Al combinar los estándares con las herramientas de cálculo, monetizar el carbono e incorporar los

resultados en la contratación pública, las autoridades pueden garantizar que las opciones con menos emisiones de carbono no solo sean posibles, sino también preferibles.

Para la industria, la responsabilidad es proporcionar datos, poner a prueba innovaciones y enmarcar soluciones en términos de resiliencia, valor para el contribuyente y competitividad.

La experiencia mundial demuestra que el progreso es posible: los Países Bajos incluyen en sus políticas de contratación pública el uso de estas herramientas; Suecia y el Reino Unido muestran cómo se pueden integrar los objetivos y las herramientas de carbono en la gestión; Australia y Nueva Zelanda demuestran el valor de la estimación en una fase inicial.

El siguiente paso de América del Norte es adaptar y adoptar estas lecciones, poniendo en práctica los principios para que los puentes y los sistemas de transporte cumplan tanto con los compromisos de rendimiento como con los climáticos.

En la infraestructura de transporte, el cumplimiento normativo no es solo una obligación, sino que es la piedra angular del éxito en la ejecución de los proyectos.

Las soluciones personalizadas que agilizan estos requisitos y generan informes de cumplimiento precisos y totalmente alineados con los estándares más rigurosos del sector son fundamentales para el progreso.



REFERENCIAS

- <https://www.dubocalc.nl/en/what-is-dubocalc/>
- <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/inkoopbeleid/duurzaam-inkopen/dubocalc>
- <https://www.dubocalc.nl/en/more-information/>
- <https://milieudatabase.nl/en/>
- <https://milieudatabase.nl/en/database/>
- <https://klimatkalkyl.trafikverket.se/>
- <https://klimatkalkyl.trafikverket.se/Modell>
- https://bransch.trafikverket.se/contentassets/eb8e472550374d7b91a4032918687069/klimatkalky_report_v_5_0_and_6.0_english.pdf
- <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo--for-dig-i-branschen/minskad-klimatpaverkan/Klimatkalkyl/fragor-och-svar-om-verktyget-klimatkalkyl/>
- <https://www.bsigroup.com/en-US/insights-and-media/insights/brochures/pas-2080-carbon-management-in-infrastructure-and-built-environment/>
- <https://www.bsigroup.com/en-US/products-and-services/assessment-and-certification/product-testing-certification/certify-your-commitment-to-a-more-sustainable-built-environment-carbon-management-in-infrastructure-pas-2080/>
- <https://nationalhighways.co.uk/suppliers/design-standards-and-specifications/carbon-emissions-calculation-tool/>
- <https://nationalhighways.co.uk/our-work/environment/carbon/>
- <https://www.mottmac.com/en-us/insights/supporting-national-highways-on-the-road-to-net-zero/>
- https://www.nzta.govt.nz/_click?d=eyJpZCI6MjgwODEsInR5cGUiOiJwYXVudGFnYyI6W10sInF1ZXJ5IjoicGF5bWVudCIsInJlcXVlc3RlZCI6IiF1RmEwUUxoUWtpM09QZWtQSkI5dFEiLCJkb2N1bWVudElkljoic2lscmVyc3RyaXBIX2Ntc19tb2RlbfF9zaXRldHJlZV8yODAwMSIsImVuZ2luZU5hbWUiOiJuenRhmMi1wcm9kLW1haW4tc2l0ZSJ9
- <https://www.nzta.govt.nz/roads-and-rail/highways-information-portal/technical-disciplines/environment-and-sustainability-in-our-operations/environmental-technical-areas/climate-change/climate-change-mitigation/>
- <https://groundlevelalliance.org/resource/project-emissions-estimation-tool-peat/>
- <https://www.infrastructure.nsw.gov.au/expert-advice/decarbonising-infrastructure/>
- <https://www.infrastructure.nsw.gov.au/media/ak2o0bqg/decarbonising-infrastructure-delivery-measurement-guidance.pdf>
- <https://www.infrastructure.nsw.gov.au/media/iycjqww3/decarbonising-infrastructure-delivery-policy.pdf>
- https://www.transport.nsw.gov.au/system/files/media/documents/2022/Planning-Environment-Sustainability-Carbon-Estimate-and-Reporting-Tool-Manual-2022_0.pdf
- <https://www.transport.nsw.gov.au/industry/doing-business-transport/sustainability-at-transport>
- <https://www.infrastructure.gov.au/sites/default/files/documents/embodied-carbon-measurement-for-infrastructure.pdf>
- <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/lcatool/>
- https://www.fhwa.dot.gov/pavement/lcatool/LCA_Pave_Tool_User_Manual.pdf
- https://www.fhwa.dot.gov/pavement/lcatool/LCA_Pave_Tool_Methodology.pdf
- <https://infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-eng.html>
- <https://infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-dmaf-faac-eng.html>
- <https://infrastructure.gc.ca/plan/icp-pic-INFC-eng.html>
- <https://infrastructure.gc.ca/pub/cl-oc/green-retrofits-ghg-module-ges-renovations-ecologiques-eng.html>
- <https://www.buildingtransparency.org/tools/ec3/>
- <https://www.buildingtransparency.org/>
- <https://oneclicklca.com/industries/infrastructure/transport>
- <https://knowledge.bsigroup.com/products/sustainability-of-construction-works-sustainability-assessment-of-civil-engineering-works-calculation-methods>
- <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/7229e408-a746-43b1-aafb-1b7ff46a0c7b/en-17472-2022>
- https://www.ucprc.ucdavis.edu/p-lca2014/media/pdf/Presentation/LCA14_LCA_N_Europe_Meijer.pdf
- https://www.klimabuendnis.org/fileadmin/Inhalte/4_Activities/Projects/DeCarbPro_D1.1.1_CO2_pricing_inventory.pdf
- <https://www.vakbladgeotechniek.nl/files/GEO2024-SP-build-Sept-P18-Voskamp.pdf>

ROMPIENDO BARRERAS: AFRONTANDO LOS DESAFÍOS QUE PLANTEAN LOS VIADUCTOS Y CRUCES FLUVIALES EN CROACIA

Zeljka Moldovan, ALLPLAN



Figura 1: Vista aérea del proyecto terminado

INTRODUCCIÓN

En el corazón de Croacia, un ambicioso proyecto de modernización ferroviaria está poniendo a prueba los límites de la ingeniería moderna de puentes. Esta mejora de 42 km de vía doble es una parte vital de la red de transporte europea, diseñada para mejorar la eficiencia del transporte de mercancías y reducir los tiempos de viaje de los pasajeros. Pero más allá de estos objetivos generales, son los retos que plantean los puentes y viaductos los que realmente definen la complejidad y la innovación del proyecto.

La magnitud del proyecto es impresionante. No solo implica la mejora de una vía férrea existente, sino también la construcción de una nueva línea paralela, integrando estructuras importantes como

dos viaductos ferroviarios semiintegrales, múltiples túneles a cielo abierto y un puente de vigas de acero sobre el río Drava, construido mediante el método de lanzamiento incremental (ILM). Más allá de la complejidad de la ingeniería, el proyecto debe ajustarse a las normas ferroviarias modernas, garantizando alineaciones precisas y la integridad estructural.

Al frente de este ambicioso esfuerzo se encuentran Cengiz Insaat, la empresa constructora responsable de la ejecución del proyecto, y Radionica Mostova, la empresa de diseño que supervisa la ingeniería estructural. Con un ambicioso objetivo de finalización a finales de 2025, el equipo debe superar múltiples obstáculos logísticos, medioambientales y técnicos.

La pregunta es: *¿cómo superan estos retos manteniendo la eficiencia y la precisión?* La respuesta está en el modelado digital avanzado y la colaboración, áreas clave en las que ALLPLAN está teniendo un impacto significativo.

SUPERAR LOS OBSTÁCULOS DE LA INGENIERÍA

El diseño de una vía férrea de esta envergadura presenta numerosos retos, pero quizá ninguno tan complejo como los viaductos y el puente sobre el río Drava. Estas estructuras no solo deben soportar las pesadas cargas ferroviarias, sino también adaptarse a los cambios del terreno, las elevadas cargas medioambientales y las estrictas tolerancias de construcción.

Uno de los aspectos más difíciles fue optimizar el diseño del viaducto de Carevdar, desde sus cimientos hasta su tablero. El equipo tenía que equilibrar la eficiencia estructural con la

optimización de los materiales, al tiempo que garantizaba la estabilidad. Otro reto importante fue el puente sobre el Drava, una estructura de acero de 4000 toneladas que requirió una planificación meticulosa para su método de construcción ILM.

Aquí es donde ALLPLAN desempeñó un papel fundamental. Las capacidades de modelado paramétrico del software permitieron a los ingenieros perfeccionar y ajustar con precisión los diseños del viaducto y el puente, garantizando la alineación con las condiciones reales del emplazamiento. Las herramientas de detallado de armaduras resultaron muy valiosas para las secciones pretensadas de las estructuras, donde la combinación de tendones longitudinales y transversales requería una planificación cuidadosa. La detección de colisiones en ALLPLAN permitió a los ingenieros identificar y resolver a tiempo los conflictos de armaduras, evitando así costosas modificaciones durante la construcción.



Figura 2: Vista aérea del puente sobre el río Drava



Figura 3: Construcción del puente

«El pretensado siempre es complejo, pero para este proyecto, el modelado detallado de los tendones fue fundamental», afirma Rahela Mikulic, diseñadora de puentes de Radionica Mostova. «Cada tendón tiene su propia curvatura, y ALLPLAN nos permitió modelarlos con gran precisión, garantizando que todo encajara correctamente».

Con estas herramientas, el equipo optimizó con éxito los elementos estructurales, al tiempo que se mantuvo el cumplimiento de las normas ferroviarias internacionales, sentando las bases para una construcción eficiente.

DEL DISEÑO A LA REALIDAD: LA CONSTRUCCIÓN SOBRE EL TERRENO

Una vez finalizados los diseños, el reto pasó del modelado a la ejecución. Uno de los aspectos más exigentes fue la coordinación de las fases de construcción, garantizando que cada elemento se construyera en la secuencia correcta y minimizando las interrupciones en las operaciones ferroviarias existentes.

Para los equipos de construcción in situ, era fundamental comprender la ubicación exacta de los elementos de refuerzo y pretensados. Una desalineación podría provocar inestabilidad estructural o retrasos.



Figura 4: Pilares completados y construcción del tablero

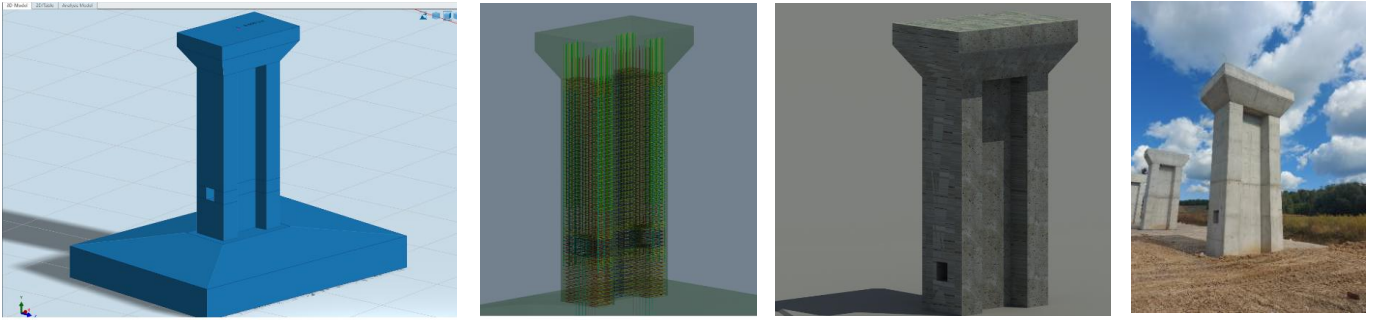


Figura 5: Evolución del pilares

Gracias al modelado 3D y a la visualización por fases de la construcción de ALLPLAN, los ingenieros pudieron proporcionar a los equipos in situ una guía clara y detallada para la colocación de los refuerzos y las secuencias de pretensado.

Las plantillas de ALLPLAN también fueron esenciales para acelerar los flujos de trabajo. La naturaleza repetitiva de elementos como los pilares significaba que los métodos tradicionales

de modelado manual habrían sido lentos y propensos a inconsistencias. En su lugar, los ingenieros utilizaron diseños basados en plantillas para replicar elementos, lo que garantizó que se logaran rápidamente dimensiones precisas y diseños de refuerzo.

«Teníamos 14 pilares en este viaducto, con una altura que oscilaba entre los 17 y los 28 metros», explica Kresimir Ilic, diseñador jefe de Radionica Mostova. «El uso de plantillas en ALLPLAN aceleró considerablemente el proceso, lo que hizo que nuestro flujo de trabajo fuera mucho más eficiente».

Más allá de las propias estructuras, fue fundamental una colaboración interdisciplinaria fluida. Con varios equipos trabajando en componentes estructurales, mecánicos y eléctricos, los flujos de trabajo BIM integrados de ALLPLAN garantizaron que los modelos permanecieran sincronizados entre las distintas disciplinas.

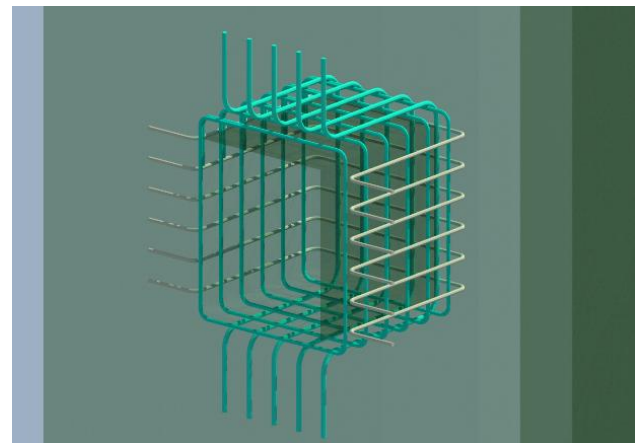
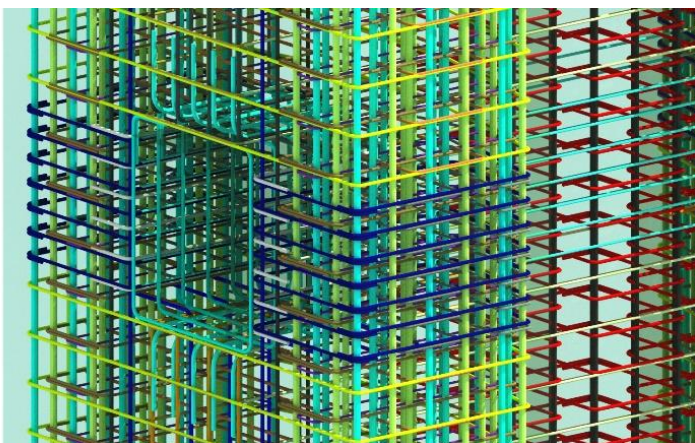
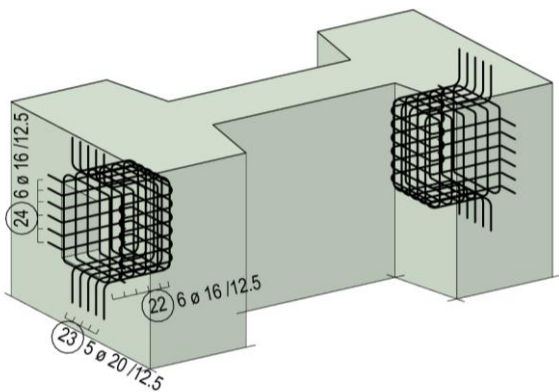


Figura 6: El modelo BIM reduce los conflictos

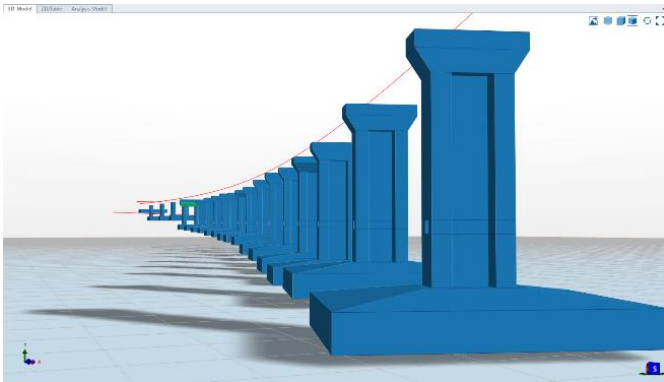


Figura 7: Muelles: del modelo a la construcción

Esto redujo los conflictos entre los refuerzos estructurales y los elementos empotrados, como los postes de catenaria, la infraestructura de drenaje y los pasos subterráneos para peatones.

A medida que avanza la construcción, las ventajas de este enfoque digital se han hecho aún más evidentes. Los ingenieros pueden adaptarse rápidamente a las condiciones del lugar, ajustando los diseños de refuerzo o modificando los detalles de alineación según sea necesario, todo ello manteniendo la precisión y el cumplimiento de las normas.

UN MODELO PARA LAS INFRAESTRUCTURAS DEL FUTURO

Con el proyecto ferroviario ya completado en más de un 60 %, las avanzadas herramientas de modelado digital de ALLPLAN han desempeñado un papel crucial a la hora de superar algunos de sus retos de ingeniería más complejos. Desde la optimización de los diseños estructurales y el refuerzo de los elementos pretensados hasta la coordinación perfecta entre los equipos, el software ha sido fundamental para mantener el proyecto en marcha.

Pero más allá de este proyecto, el uso del diseño de infraestructuras basado en BIM representa un cambio más amplio en la ingeniería ferroviaria. A medida que las redes de transporte de toda Europa se modernizan, las herramientas de modelado digital como ALLPLAN serán esenciales para agilizar los flujos de trabajo, reducir los errores y garantizar que los proyectos se ejecuten de forma eficiente.

«Este proyecto requirió la colaboración total entre ingenieros, diseñadores y equipos de obra», añade Emre Yolal, director de proyectos de Cengiz Insaat. «Al trabajar en 3D, evitamos incógnitas durante la construcción, lo que nos ayudó a cumplir con el calendario previsto».

El proyecto, cuya finalización está prevista para finales de 2025, sirve de modelo para el diseño y la ejecución de infraestructuras modernas. Las lecciones aprendidas aquí—aprovechar el modelado paramétrico, mejorar la colaboración, integrar los detalles de refuerzo y las ventajas de herramientas digitales como ALLPLAN— están allanando el camino para proyectos ferroviarios más eficientes y basados en datos en el futuro.

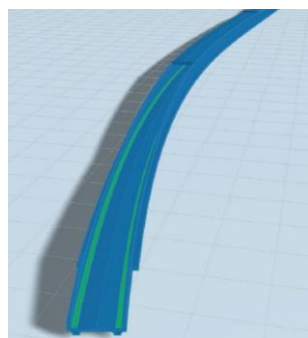
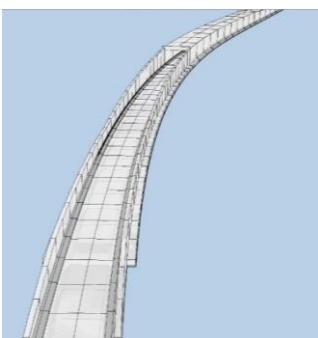


Figura 8: El modelo del tablero del puente y el real



\ ALLPLAN CIVIL 2025

PRODUCTIVITY SUPERCHARGED

ALLPLAN Civil 2025 integra las capacidades mejoradas de modelado de infraestructuras de ALLPLAN (anteriormente conocido como ALLPLAN Bridge) en una solución unificada para la planificación, el diseño y el detallado de todo tipo de proyectos de infraestructura de transporte.

Ventajas:

- > Herramientas de modelado y detallado paramétricas, de forma libre y multimaterial
- > Nuevo flujo de trabajo automatizado de principio a fin para puentes de vigas prefabricadas de cualquier tipo y forma
- > Diseño y detallado superior de carreteras con intersecciones paramétricas mejoradas
- > Diseño estructural óptimo y conectado con SCIA Ultimate ahora incluido



DESCARGUE LA VERSIÓN DE PRUEBA
GRATUITA AHORA

ENTREVISTA A DIOGO RIBEIRO

PROFESOR, INSTITUTO POLITÉCNICO DE OPORTO – INSTITUTO SUPERIOR DE INGENIERÍA DE OPORTO, PORTUGAL

PRESIDENTE DEL GRUPO DE TRABAJO 5.9 DE LA IABSE

Magdaléna Sobotková, Vanja Samec

En primer lugar, gracias por dedicarnos su tiempo para esta entrevista.

Dado que nuestras revistas, e-mosty y e-BrIM, tratan sobre puentes, permíteme preguntarle por su relación con ellos y cómo empezó.

Desde muy joven me han fascinado los puentes. Como saben, Portugal es un país con una larga y rica historia, donde podemos encontrar puentes icónicos: desde antiguas estructuras romanas hasta obras emblemáticas de la Revolución Industrial, tales como el puente D. Maria Pia, de Gustave Eiffel, o el puente Luiz I, de Théophile Seyrig.

En tiempos más recientes, Portugal también ha construido puentes arco excepcionales como el puente de Arrábida, de Edgar Cardoso, o el puente del Infante, de António Adão da Fonseca. Todos estos puentes se encuentran en Oporto, mi ciudad natal.



Figura 1: Diogo Ribeiro es profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Escuela de Ingeniería - Politécnico de Oporto y reconocido especialista en construcción digital e infraestructuras ferroviarias.

De niño, recuerdo las excursiones familiares a lo largo de las orillas del río Duero, donde tuve la oportunidad de admirar la belleza y la grandeza de los puentes de Oporto. Más tarde, mientras estudiaba en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, una prestigiosa institución reconocida por su experiencia en ingeniería de puentes, tuve como profesores a figuras destacadas en este campo. Fue entonces cuando supe que mi futuro estaría ligado a la ingeniería de puentes.

Usted es presidente del Grupo de Trabajo 5.9 de la IABSE, centrado en la inspección remota de puentes. ¿Podría explicarnos en qué consiste?

El TG 5.9 se creó en septiembre de 2022 con la misión de desarrollar y promover métodos de inspección remota de puentes que sean seguros, fiables y rentables, utilizando tecnologías avanzadas de detección y procesamiento de la información.

El grupo cuenta con un total de 23 expertos de prestigio internacional en inspección remota de puentes procedentes de 10 países distintos.

Las principales tareas del grupo son:

- i) realizar una revisión y evaluación específica de las técnicas actuales de inspección remota, incluidas las principales tecnologías (drones, LiDAR, fotogrametría, etc.) y metodologías (principalmente visión basada en IA);*
- ii) definir la precisión y la idoneidad de estas tecnologías y metodologías para evaluar distintos tipos de defectos estructurales en diferentes tipologías de puentes;*

- iii) establecer métodos de validación y criterios de calidad para las inspecciones remotas;
- iv) desarrollar marcos de buenas prácticas para las inspecciones remotas de puentes;
- v) apoyar la integración de los resultados de las inspecciones remotas dentro de los sistemas de gestión de puentes. Uno de los resultados más relevantes del TG 5.9 es un documento de ingeniería estructural (SED) de la IABSE que esperamos que se publique y esté disponible a principios de 2026.

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

Mi carrera profesional se ha dedicado principalmente al mundo académico, centrándome en la investigación y la docencia. En el campo de la investigación, la persona que ha sido mi mayor referente, tanto por su excepcional experiencia técnica como por sus notables cualidades humanas, ha sido el profesor Rui Calçada, que supervisó mis tesis de máster y doctorado y actualmente es decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto (FEUP). Hemos trabajado juntos durante casi 20 años en infraestructuras ferroviarias, especialmente en puentes ferroviarios.

Admiro enormemente su capacidad para fomentar el trabajo en equipo y su convicción de que el esfuerzo colectivo y la sinergia del grupo son mucho más fuertes que el trabajo individual, y que

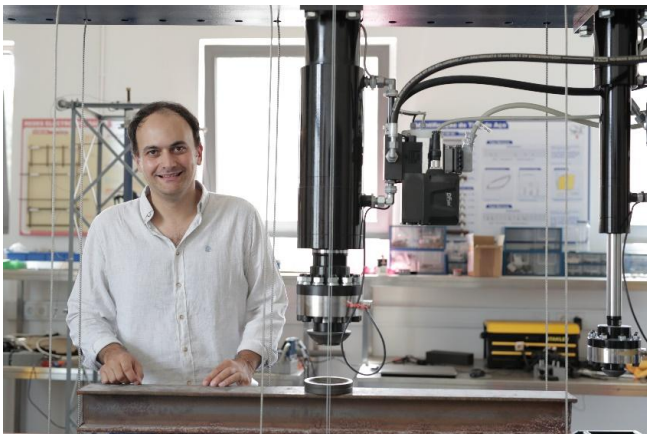


Figura 2: Diogo Ribeiro es miembro integrado de CONSTRUCT-FEUP y director de iBuilt-ISEP, el Centro de Innovación en Construcción Digital del ISEP.

el mérito y el reconocimiento personales florecen de forma natural dentro de un equipo cohesionado y colaborativo.

Desde el punto de vista técnico, aprendí de él cómo abordar problemas complejos en la dinámica de los sistemas ferroviarios, tanto desde el punto de vista numérico como experimental, y, sobre todo, cómo definir estrategias sencillas y claras para abordar problemas de ingeniería difíciles bajo restricciones de tiempo.

En el ámbito de la docencia, me gustaría destacar al profesor Rui Gomes dos Santos, que fue director del Departamento de Ingeniería Civil del ISEP durante casi 30 años y responsable de varias asignaturas troncales del programa de grado en Ingeniería Civil, donde impartí clases durante mi primera década como docente. El profesor Rui Gomes dos Santos tenía una visión muy pragmática de la enseñanza de la ingeniería civil e inspiraba a los estudiantes con su sencillez y sus excepcionales dotes docentes. Fue gracias a él, hace unos 20 años, que empecé a comprender la importancia de la digitalización en el sector de la construcción.

¿Recuerda el número de puentes en los que ha participado? ¿Cuál fue su función?

¿Hay algún proyecto que sea especial para usted? ¿Cuáles son sus favoritos? ¿Ha trabajado en alguno de ellos?

A lo largo de mi carrera, especialmente durante los últimos 25 años, he participado en el diseño, la inspección y la supervisión de más de 50 puentes.



Figura 3: Presentación de una conferencia en la conferencia IALCCE 2025 en Melbourne, Australia, en julio de 2025.

Mis principales actividades profesionales se centran en la inspección y supervisión estructural de puentes, donde he sido responsable de planificar, coordinar y ejecutar campañas de inspección basadas en datos. Estas tareas abarcan el diseño de redes de sensores, evaluaciones remotas con drones y láser, y la implementación de sistemas de supervisión del estado estructural. En los últimos cinco años, mi trabajo se ha centrado cada vez más en la extracción de conocimientos a partir de datos experimentales utilizando técnicas avanzadas de inteligencia artificial (IA), con el objetivo de desarrollar procedimientos de identificación de daños más sólidos y fiables que sirvan de apoyo a la toma de decisiones en materia de mantenimiento y rehabilitación.

Entre los diversos proyectos en los que he participado, en particular los relacionados con la supervisión de vibraciones en tiempo real y la detección automatizada de anomalías, me gustaría destacar varias colaboraciones internacionales en el marco de proyectos financiados por la UE que fueron especialmente influyentes durante los inicios de mi carrera. Recuerdo la valiosa colaboración con el profesor Philippe Van Bogaert (puente Prester, HSL Bruselas-Colonia) y el profesor Volkmar Zabel (puente Hörsel, HSL Fráncfort-Dresde). Más recientemente, también he colaborado con el profesor Raid Karoumi en proyectos relacionados con puentes a lo largo de la línea HSL Estocolmo-Gotemburgo, y he llevado a cabo varias campañas de pruebas dentro de la red ferroviaria portuguesa, incluyendo el puente de Sado, el viaducto de Alverca, el puente de São Lourenço y el puente de Côa, en colaboración con Infraestruturas de Portugal.

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

Uno de los proyectos que me ha proporcionado una especial satisfacción profesional ha sido una reciente colaboración con Infraestruturas de Portugal, en la que hemos desarrollado un marco integral para la inspección remota de puentes. Este marco integra la captura de la realidad mediante un enfoque híbrido—que combina LiDAR y fotogrametría— con un proceso para la detección automática de anomalías mediante IA,

así como procedimientos de escaneo a BIM y la cartografía de las anomalías detectadas en los modelos digitales correspondientes. El marco se aplicó a tres puentes de la red ferroviaria portuguesa: el viaducto de Mouquim, el viaducto de Grândola y el viaducto de Rebordãos, lo que demostró el potencial de las tecnologías de inspección remota para introducir datos de forma eficaz en los sistemas de gestión de puentes (BMS) y respaldar decisiones de gestión de activos con mayor fundamento.

¿Puede comentar los cambios que se han producido en la tecnología de los puentes a lo largo de su carrera? ¿Cuál cree que ha sido el avance técnico más significativo?

En los últimos 20 años, las prácticas de inspección y supervisión de puentes han experimentado una transformación significativa. El enfoque tradicional, basado en gran medida en inspecciones visuales periódicas, ha evolucionado progresivamente hacia sistemas de supervisión instrumentados, continuos y, a menudo, remotos, capaces de detectar cambios en el comportamiento estructural casi en tiempo real.

La tecnología de sensores también se ha expandido y madurado, impulsada por los avances en sensores inalámbricos de bajo coste, sistemas de fibra óptica y tecnologías de detección plug-and-play. Paralelamente, se han consolidado nuevas plataformas de adquisición de datos, como los vehículos aéreos no tripulados (UAV), y tecnologías como el LiDAR y la fotogrametría,



Figura 4: Diogo Ribeiro es un entusiasta de los puentes, especialmente de los puentes ferroviarios. Cuenta con más de 20 años de experiencia en pruebas, supervisión e inspección de puentes.

lo que ha reducido la necesidad de realizar inspecciones manuales arriesgadas y ha mejorado la accesibilidad, la eficiencia y la repetibilidad. Además, se ha producido una creciente consolidación de las herramientas de análisis de datos y pronóstico, en particular las basadas en el análisis automatizado de imágenes, el aprendizaje automático y la computación en la nube, lo que permite identificar rápidamente las anomalías en sus primeras fases.

La integración de marcos de gemelos digitales permite ahora combinar los datos monitorizados con modelos estructurales para realizar diagnósticos en tiempo real y previsiones a corto plazo del rendimiento estructural y la vida útil restante. Esta evolución tecnológica es fundamental para el cambio en curso del mantenimiento reactivo hacia una estrategia de mantenimiento predictivo, lo que permite una gestión más proactiva y eficiente de los activos de los puentes.

¿Cómo ve el desarrollo BIM y la utilización de las tecnologías modernas en el sector de los puentes?

Desde mi punto de vista, el BIM y las tecnologías digitales están transformando la industria de los puentes, pasando de los flujos de trabajo tradicionales basados en documentos a un enfoque centrado en los datos y orientado al ciclo de vida. El BIM ya no se limita a la fase de diseño, sino que se integra cada vez más en las fases de construcción, inspección y mantenimiento.



Figura 5: Diogo Ribeiro participó en la supervisión y las pruebas de varios puentes ferroviarios de mampostería en el marco del proyecto de I+D STONEARCHRAIL.

En mi opinión, el avance más significativo radica en la integración del BIM con tecnologías complementarias, como la teledetección, la monitorización basada en el IoT y el análisis impulsado por la IA, que juntas allanan el camino para el desarrollo de gemelos digitales de puentes.

Estos gemelos digitales permiten el mantenimiento predictivo y la gestión optimizada de los costes del ciclo de vida, lo que supone un paso decisivo hacia una gestión más inteligente y sostenible de los activos de los puentes.

¿Cómo se puede utilizar en la operación y el mantenimiento de puentes, así como en su conservación?

En mi opinión, el BrIM puede transformar la fase de operación y mantenimiento de los puentes al servir como una plataforma digital centralizada que integra los datos de diseño, construcción, inspección y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del activo.

Al vincular los modelos BIM con los registros de inspección, los datos de los sensores, los registros de mantenimiento y los sistemas de gestión de activos, podemos realizar un seguimiento del rendimiento estructural, identificar las tendencias de deterioro y planificar las intervenciones de mantenimiento de forma más eficaz. Esto reduce la pérdida de información, favorece la sostenibilidad al prolongar la vida útil y optimiza la asignación del presupuesto para la conservación de los puentes.



Figura 6: Diogo Ribeiro es un entusiasta de la naturaleza y de visitar regiones volcánicas (Islandia, 2016).

¿Puede dar algún ejemplo del uso actual de BrIM en Portugal?

Actualmente, en Portugal hay dos grandes proyectos estratégicos que están implementando BrIM tanto en la fase de diseño como en la de construcción: la línea Ruby del Metro do Porto y la línea ferroviaria de alta velocidad Oporto-Lisboa. Ambos proyectos incluyen estructuras de puentes emblemáticas, en particular las que cruzan el río Duero y conectan las ciudades de Oporto y Gaia.

El nuevo tren de alta velocidad que cruza el río Duero, así como el puente de Antónia Ferreira, que forma parte de la conexión del metro, son ejemplos notables de la aplicación de BrIM.

En el caso del puente de Antónia Ferreira, la integración de los datos obtenidos de los sistemas de monitorización estructural alimentará continuamente el modelo digital, lo que permitirá evaluar a corto y largo plazo el comportamiento estructural del puente y contribuirá a optimizar las estrategias de mantenimiento.

¿Qué futuro cree que tendrá el BrIM? ¿Qué desarrollo y utilización podemos esperar?

En mi opinión, el BrIM desempeñará un papel fundamental en la transformación digital de la gestión de activos de puentes. BrIM puede concebirse como una plataforma de gestión del ciclo de vida totalmente integrada, que da soporte a todas las fases de la vida útil de un puente, desde el diseño y la construcción hasta la inspección, el mantenimiento y el eventual desmantelamiento.

En un futuro próximo, los modelos BrIM estarán cada vez más conectados a sistemas de monitorización en tiempo real, sensores IoT y análisis basados en IA, lo que permitirá la creación de gemelos digitales para puentes. Estos gemelos digitales proporcionarán información continua sobre el rendimiento estructural, las influencias ambientales y las cargas de tráfico, lo que facilitará el mantenimiento predictivo y mejorará la toma de decisiones. Además, es probable que veamos una mayor integración entre BrIM, las plataformas GIS, los sistemas de gestión de activos y las herramientas de gestión de la construcción, lo que garantizará un intercambio de datos fluido entre las partes interesadas.

La adopción de estándares de datos abiertos, como IFC Bridge, será esencial para lograr la interoperabilidad y garantizar la compatibilidad entre los diferentes entornos de software.

¿Cuáles son las tareas y los desafíos para el futuro?

Desde mi punto de vista, hay varios retos técnicos y educativos que deben abordarse y que requieren competencias no solo de los ingenieros civiles, sino también de otras disciplinas de la ingeniería. Desde una perspectiva técnica, en primer lugar, el desarrollo de estándares de datos comunes (como IFC Bridge) para garantizar una interoperabilidad eficiente de los datos. Esto sigue siendo un problema por resolver.

Además, mantener actualizados los modelos BrIM durante décadas de funcionamiento sigue siendo un reto técnico. La inclusión de herramientas fiables de aprendizaje automático es esencial para la predicción del rendimiento estructural y la planificación del mantenimiento.

La mayoría de las herramientas de aprendizaje automático aún requieren validación y necesitan mejoras para tener un rendimiento consistente en diferentes situaciones del mundo real. Aún falta ampliar el BrIM más allá del diseño y la construcción para abarcar la operación, el mantenimiento y la rehabilitación.

La incorporación de la evaluación del ciclo de vida, el análisis de la huella de carbono y las simulaciones de resiliencia climática pueden contribuir en gran medida a aumentar la competitividad del BrIM.

Por último, las cuestiones relacionadas con la ciberseguridad, la integridad y la propiedad de los activos digitales están cobrando una importancia crítica en la actualidad. Desde el punto de vista educativo, se hace urgente una transformación real de los planes de estudios de las carreras de ingeniería civil para incorporar temas sobre BIM y construcción digital.

La mayoría de las principales universidades del mundo siguen siendo tímidas en sus iniciativas y es necesario seguir trabajando, ya que las empresas están dando pasos importantes en esta dirección.

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

Mi principal consejo para los jóvenes ingenieros que se adentran en los campos de la digitalización de puentes, la inspección remota y la monitorización es que adopten tanto la tecnología como los fundamentos. Las herramientas digitales están evolucionando rápidamente, pero son más poderosas cuando se combinan con una sólida base de conocimientos sobre comportamiento estructural, materiales y criterio de ingeniería.

Sean curiosos y proactivos a la hora de aprender nuevas tecnologías: exploren las herramientas de análisis de datos, programación y visualización, y comprendan cómo fluye la información a lo largo de todo el ciclo de vida de un puente. Al mismo tiempo, recuerden que la tecnología es un medio para alcanzar un fin, lo que significa que su valor real reside en mejorar la seguridad, la sostenibilidad y la resiliencia de nuestras infraestructuras. Otro aspecto relevante es el desarrollo de habilidades interdisciplinarias.

El futuro de la ingeniería de puentes reside en la colaboración entre ingenieros civiles, científicos de datos, desarrolladores de software y gestores de activos. La comunicación eficaz entre estos ámbitos les hará mucho más valiosos.

Y mi última pregunta. ¿Cuáles son sus planes de futuro?

Desde principios de 2025, he participado activamente en la consolidación y el crecimiento de iBuilt-ISEP, el Centro de Innovación en Construcción Digital, posicionándolo como un centro de referencia para la transformación digital de los activos civiles, incluidos los puentes.

Un objetivo clave es impulsar la investigación y los proyectos piloto que integran la inspección remota, la supervisión y el mantenimiento predictivo basado en la inteligencia artificial dentro de marcos integrales de gemelos digitales.

También me centro en reforzar el vínculo entre la educación, la investigación y la industria, en particular mediante el desarrollo de un nuevo programa de máster en el ISEP dedicado a las infraestructuras digitales y la construcción inteligente. Este programa tiene como objetivo preparar a una nueva generación de ingenieros con las habilidades multidisciplinares necesarias para diseñar, gestionar y mantener infraestructuras inteligentes y sostenibles.

Muchas gracias por su colaboración.



Figura 7: Durante una visita técnica a la presa de Itaipu, Foz do Iguaçu, Brasil, durante la conferencia CILAMCE 2022.

BREVE BIOGRAFÍA

DIOGO RIBEIRO es profesor asociado en el Instituto Politécnico de Oporto – Instituto Superior de Ingeniería de Oporto (ISEP-IPP) y tiene una licenciatura en Ingeniería Civil (2002), un máster en Ingeniería Estructural (2005) y un doctorado en Ingeniería Civil (2012), todos por la Universidad de Oporto.

Es director del grado en Ingeniería Civil del ISEP (desde 2014) y director de los programas de posgrado en Construcción Digital (desde 2024), Coordinación BIM (desde 2019) y Prefabricación en Hormigón (desde 2020).

También es director de iBuilt - Centro de Innovación en Construcción Digital del ISEP-IPP.

Es profesor invitado habitual en los cursos de máster y posgrado en Ingeniería Civil de la Universidad de São Paulo (Brasil) y de la Universidad Federal de Ouro Preto (Brasil).

Especialista en Metrología por el Colegio de Ingenieros de Portugal (2018) y miembro integrado del Instituto de I+D en Estructuras y Construcción (CONSTRUCT). Sus principales áreas de investigación están relacionadas con la inspección remota, la visión por ordenador, la inteligencia artificial, el cálculo automático de estructuras, el modelado de información de edificios (BIM), la construcción digital, los ferrocarriles digitales, las infraestructuras ferroviarias, los ensayos y la experimentación estructural, la actualización y validación de modelos y la identificación de daños.

Diogo Ribeiro ha sido coordinador e investigador en más de 25 proyectos de I+D financiados por la industria, la FCT, el CNPq y programas de la UE en el campo de las infraestructuras ferroviarias y la construcción digital.

Es editor principal de la serie de libros de Springer «Innovaciones digitales en arquitectura, ingeniería y construcción» e investigador visitante en la Bauhaus Universität Weimar (Alemania) y en la Universidad de California en San Diego (UCSD).

Ha sido galardonado con una beca Fulbright para investigadores/profesores de doctorado por la Fundação Luso-Americana y la FCT (2016) y con la 11.ª edición del premio Ferry Borges (2022).

Preside el Grupo de Trabajo TG 5.9 de la IABSE: Inspección remota de puentes.

Ha supervisado 12 tesis doctorales (3 finalizadas | 9 en curso).

Es autor de más de 225 publicaciones científicas y técnicas, incluyendo 80 artículos en revistas nacionales e internacionales, más de 200 artículos/resúmenes en conferencias nacionales e internacionales, 12 capítulos en libros internacionales, 30 informes técnicos y revisor habitual de 25 revistas indexadas (principalmente Q1).

Es miembro del consejo editorial de 11 revistas internacionales y editor invitado en 12 números especiales de revistas internacionales, incluidas revistas internacionales de alto prestigio (Q1).



Figura 8: Diogo Ribeiro disfruta del senderismo y el turismo en regiones montañosas (País Vasco, España, 2018).

SOLUCIÓN DE ENCOFRADO PERSONALIZADA PARA EL TABLERO IN SITU DEL PUENTE ATIRANTADO DE CEBÚ-CÓRDOVA, FILIPINAS

Juan Novoa Tabarés, Rúbrica Bridges



Figura 1: Vista del puente completo

1. INTRODUCCIÓN

La autopista Cebú-Córdova Link Expressway (CCLEX), de 8,5 km de longitud, proporciona una nueva conexión entre la zona industrial de Cebú y el aeropuerto internacional de Mactán, así como con los nuevos desarrollos urbanos de Córdova, situados en la misma isla. Aporta numerosas ventajas para la gestión del tráfico en la zona, aliviando la congestión que se produce actualmente en los puentes existentes.

La estructura principal del proyecto es el puente atirantado de 650 m de longitud con un vano principal de 390 m entre pilones, véase la foto 1. Además, esta nueva infraestructura también consta de varios viaductos, así como de un tramo de carretera de 5 km de longitud sobre el terraplén.

La unión temporal de empresas para este proyecto de diseño y construcción fue formada por ACCIONA, First Balfour Inc. y D.M. Consunji Inc. El diseño conceptual del puente fue realizado por el arquitecto DISSING+WEITLING, y el diseño detallado del puente por SENER Ingeniería y Sistemas y Carlos Fernández Casado (SENER-CFC JV).

Rúbrica Engineering se encargó del diseño, la fabricación y la construcción del equipo de encofrado para la construcción de la cabeza de pila y el tablero del puente principal.

La foto 2 muestra la solución de encofrado in situ personalizada para la construcción de este emblemático puente.



Figura 2: Izado de la pareja de carros para la ejecución de la cabeza de pila

En este caso, tuvimos la oportunidad de desarrollar la metodología para nuestro cliente trabajando con el diseñador y el contratista para crear un equipo capaz de construir la cabeza de pila, lograr el ciclo esperado durante el hormigonado del tablero y reducir los andamios y los accesos auxiliares. En resumen, industrializamos la construcción del tablero cumpliendo con los criterios de diseño específicos para esta zona de Filipinas.

2. CRITERIOS DE DISEÑO

Era necesario tener en cuenta la ubicación donde se construyó el puente, especialmente en lo que respecta a las condiciones tropicales (como tormentas y tifones) y las acciones sísmicas para un período de retorno de 50 años.

Aunque el equipo temporal se proporcionó solo para la fase de construcción, tenía que ser capaz de funcionar durante más de un año. Se analizaron las acciones sísmicas para las diferentes fases de construcción (durante la elevación, la ejecución de la mesa del pilar, el lanzamiento y el hormigonado típico de los segmentos de la cubierta) de acuerdo con la regla del 30 %.

Cada elemento de la estructura se diseñó para soportar el 100 % de las fuerzas sísmicas de diseño que actúan en una dirección principal, junto con el 30 % de las fuerzas sísmicas que actúan en la dirección ortogonal.

Las condiciones del viento fueron otro factor determinante, teniendo en cuenta que Cebú se encuentra en una zona afectada por tifones.

Esto nos llevó a considerar un viento de diseño de 250 km/h y un caso accidental o extraordinario de 300 km/h.

Se realizó un análisis básico de dinámica de fluidos computacional (CFD) para determinar los efectos de estas condiciones de viento.

3. ENCOFRADO DE LA CABEZA DE PILA

La metodología de construcción de la cabeza de pila y del tablero principal atirantado fue desarrollada por Rúbrica, como diseñador del encofrado, junto con el cliente y el diseñador detallista.

Esta metodología, que utiliza el mismo encofrado tanto para el voladizo progresivo del tablero como para la estructura de elevación, se diseñó específicamente para este proyecto y abordó tres aspectos principales: facilitar el montaje del equipo en la cabeza del pilar; reducir el uso de andamios y otros accesos auxiliares; y optimizar el equipo de encofrado para la ejecución de la cabeza de pila, así como el sistema de elevación y la mano de obra, ya que el encofrado permanecía colocado y montado para el posterior hormigonado de los tramos trasero y principal.

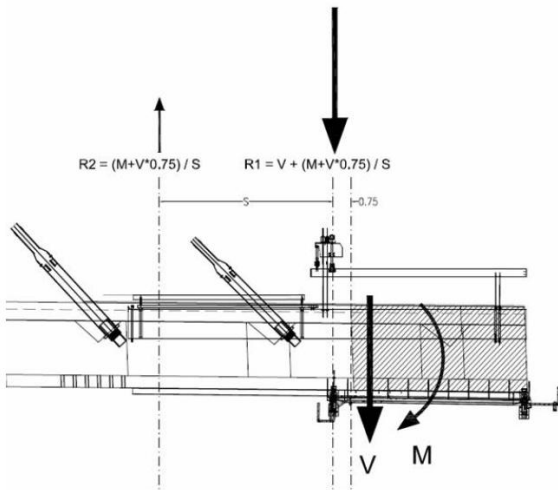


Figura 3: Reacción sobre los soportes delantero y trasero durante el hormigonado

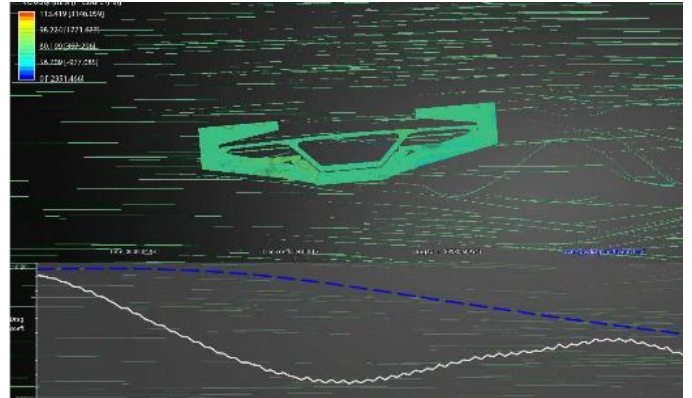


Figura 4: CFD básico para la evaluación de la estructura frente a los vientos

La estructura de soporte consistía en cuatro brazos de acero o un paraguas con cuatro gatos de cable en cada brazo.

La capacidad de carga de la estructura de elevación para el peor escenario o combinación en este caso era el peso propio del encofrado y la fase 1 de la secuencia de hormigonado de la mesa del pilar (que se construyó en cuatro etapas) era de 2050 kN por carga puntual (una carga final de 8200 kN).

Después de cada etapa de hormigonado, era necesario descargar la estructura (elevación y encofrado) para evitar la sobrecarga de la estructura permanente y la transmisión de fuerzas a la fase construida anteriormente.

Para el encofrado, se tuvieron en cuenta acciones típicas, como el peso del refuerzo, las cargas de vertido de hormigón fresco y la carga del viento. Concretamente, para la carga de hormigón en el segmento típico (ejecutado en una etapa), la presión considerada sobre los paneles fue de alrededor de 60 kN/m².

Una de las ventajas de esta solución de encofrado integral era la posibilidad de montar el equipo en la



Figura 5: Equipo levantado y listo para la construcción de la cabeza de la pila

↙ ↓ Figura 6: Reacciones y consideraciones sobre la carga del hormigón en cada etapa del hormigonado de la cabeza de la pila

MANIOBRA	ESTRUCTURA DE ELEVACIÓN REACCIONES DE LA BASE KN	REACCIONES DEL CABLE
ELEVACIÓN PESO PROPIO + PAR DE CARROS DE ENCOFRADO	1520 kN	1375 kN
FASE 1	540 kN	540 kN
FASE 2	265 kN	265 kN
FASE 3	130 kN	130 kN

PORCENTAJE DEL PESO DEL HORMIGÓN QUE RECAE SOBRE EL CARRO DE ENCOFRADO, CONSIDERANDO LA FASE ANTERIOR COMO PARTE RESISTENTE	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
PORCENTAJE CON RESPECTO AL PESO TOTAL DEL HORMIGÓN	67 %	34 %	11 %	100 %

*LA FASE 4 NO GENERA REACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA DE ELEVACIÓN, YA QUE LA CONFIGURACIÓN ESTÁ ANCLADA AL HORMIGÓN YA RESISTENTE DE LA FASE 3

PEOR COMBINACIÓN

PESO PROPIO + PAR DE CARROS DE ENCOFRADO + FASE 1

cabeza de pila mientras funcionaba el encofrado trepante de la torre, lo que proporcionaba una zona de montaje cómoda y segura dentro de la capacidad máxima de la grúa de la torre.

Tras el montaje y la instalación de la estructura de elevación, el encofrado se premontó sobre el encepado y se elevó de una sola pieza.

En menos de 35 horas, el encofrado móvil estaba en su posición final, fijado y alineado con la pendiente longitudinal del diseño.

Los puntos de soporte suspendidos, diseñados específicamente para este proyecto, incluían las placas finales de los anclajes del carro de encofrado principal para descargar fácilmente la estructura de elevación y anclar el encofrado móvil en una posición de trabajo típica tras la construcción de la mesa del pilar.

Este punto de suspensión personalizado también incluía un sistema de elevación de alta presión para descargar la estructura de elevación entre las fases de voladizo.

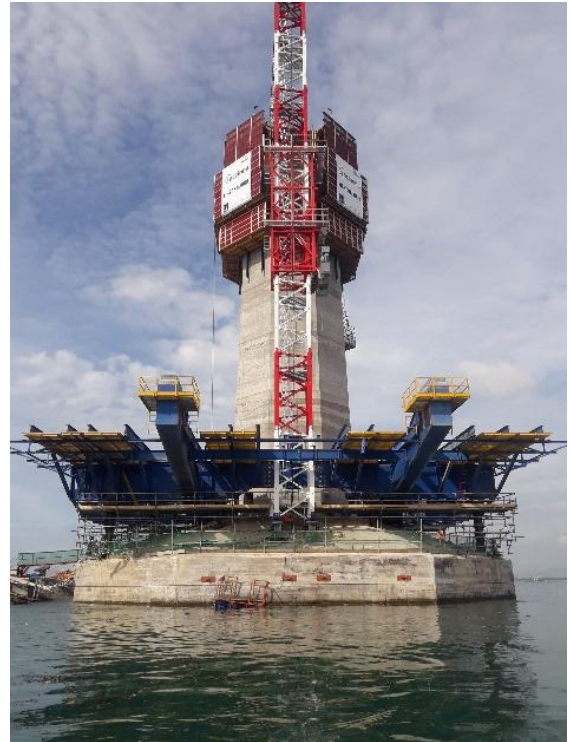


Figura 7: Montaje del equipo sobre el encepado con la grúa torre integrada y el encofrado trepante del pilón operativo

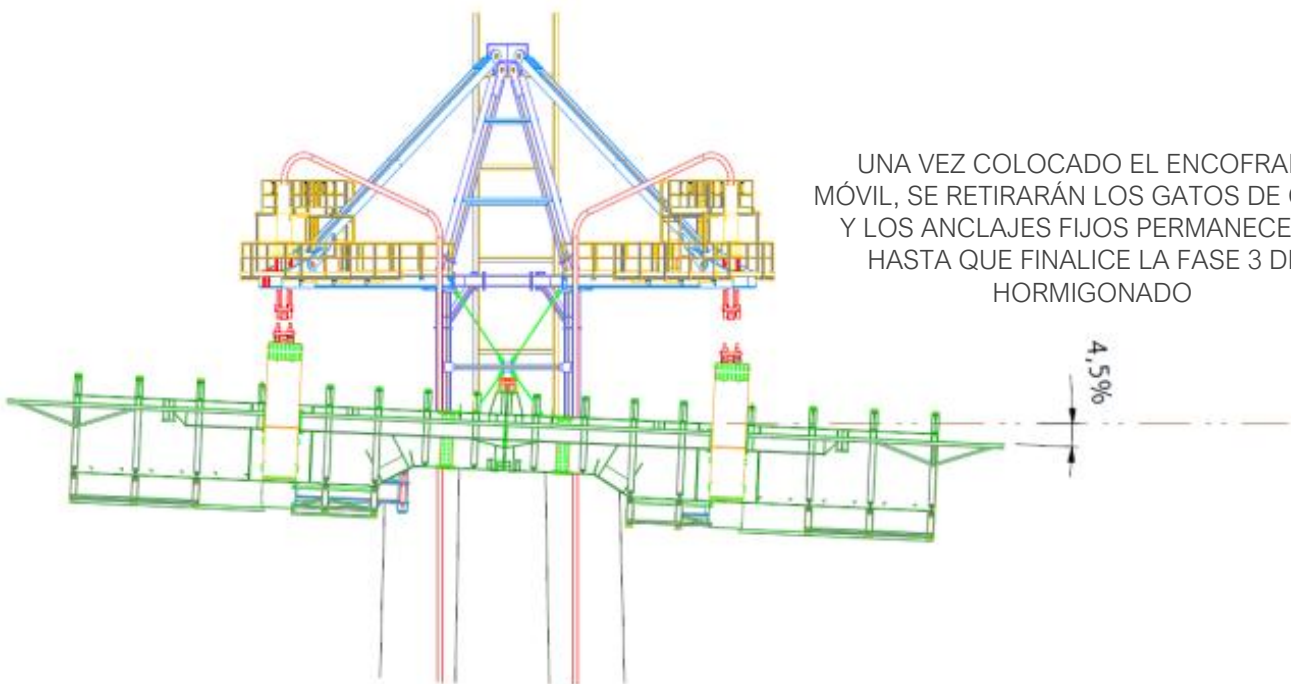


Foto 8: Alineación y ajuste del equipo después de elevarlo hasta su posición final

4. CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO EN VOLADIZO

La construcción del tablero en voladizo comprendía dos longitudes de hormigonado diferentes: 6 m en el vano principal y 7,15 m en el vano trasero.

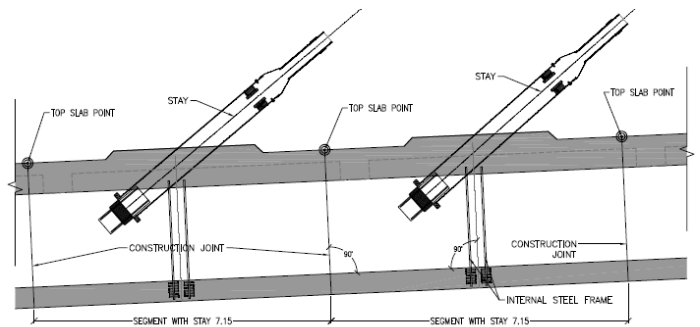
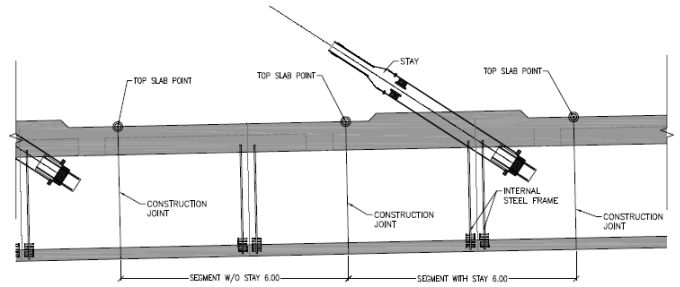
El ciclo típico de 10 días consistió en la construcción de dos segmentos en el vano principal y un segmento en cada vano trasero, junto con la instalación de un cable de suspensión a cada lado.

Las fotos 9 y 10 muestran la disposición de los segmentos del tablero y las fotos 11 y 12 muestran las secciones transversales típicas correspondientes.

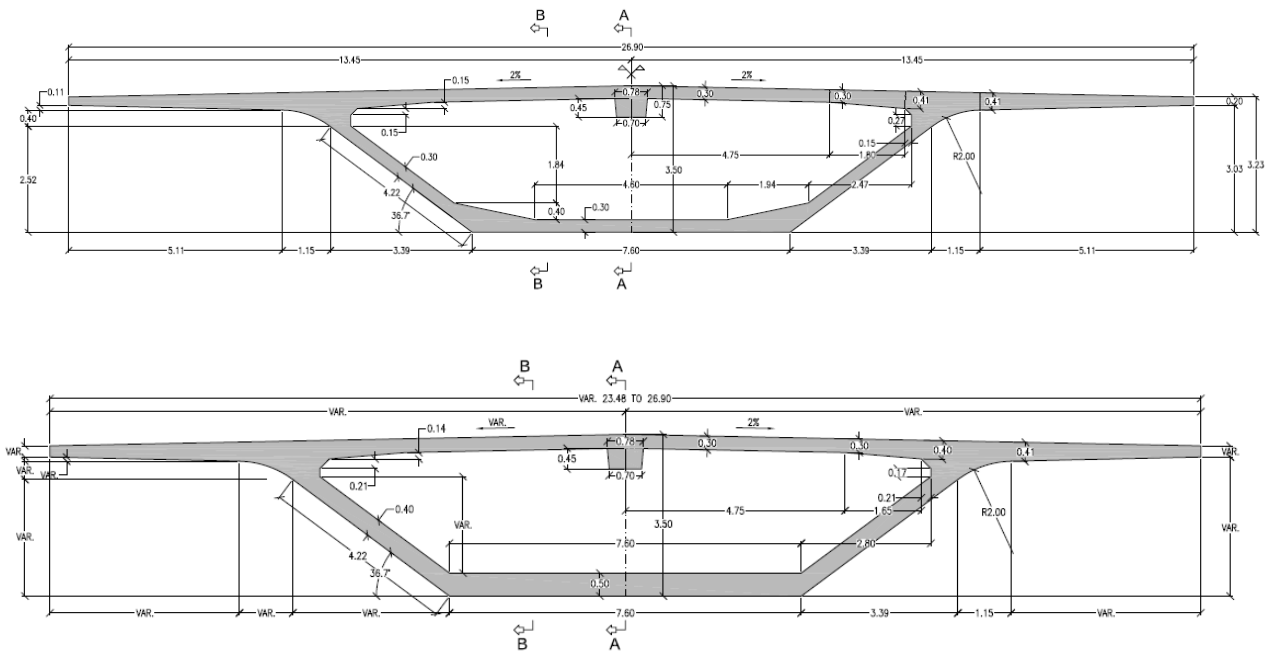
5. FUNCIONAMIENTO DEL ENCOFRADO MÓVIL

Una vez hormigonada la cabeza de pila, la carga del carro de encofrado se transfirió al tablero terminado a través de los anclajes de soporte principales.

El carro de encofrado está equipado con 2 anclajes principales (puntos de suspensión) en cada viga longitudinal principal (en este caso, 4 barras Macalloy de 75 mm de diámetro, cada una pretensada con 2000 KN), 2 anclajes adicionales en la losa inferior para sellar la parte trasera del encofrado y 2 más en la parte trasera



Figuras 9 y 10: Distribución típica de segmentos en el tramo principal y el tramo trasero



Figuras 11 y 12: Secciones transversales típicas de vigas cajón

del carro de encofrado, que se utilizan para proporcionar la precarga y ajustar los niveles del encofrado, véanse las fotos 16 y 17. Tras el ajuste final, el carro de encofrado se ancla y se pretensa en este anclaje trasero para garantizar la posición y la estabilidad del encofrado.

Cuando se retiran todos los anclajes durante la operación de lanzamiento, el carro de encofrado se apoya en los dos bastidores en C principales, que a su vez se soportan en dos patines de deslizamiento y es sobre los raíles de lanzamiento.

Características técnicas

230 toneladas de peso propio

310 toneladas de peso de la sección de hormigón

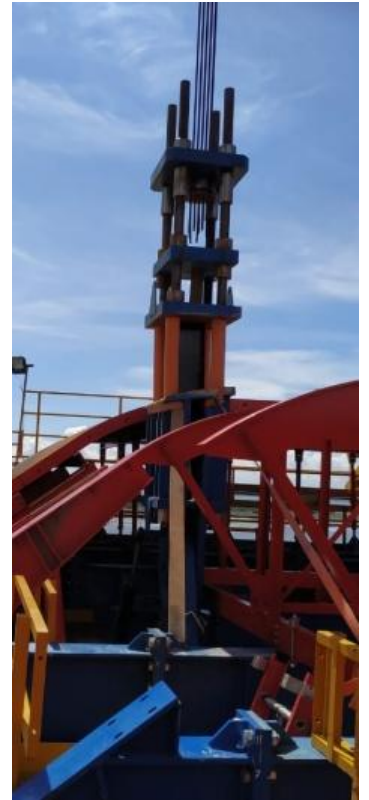
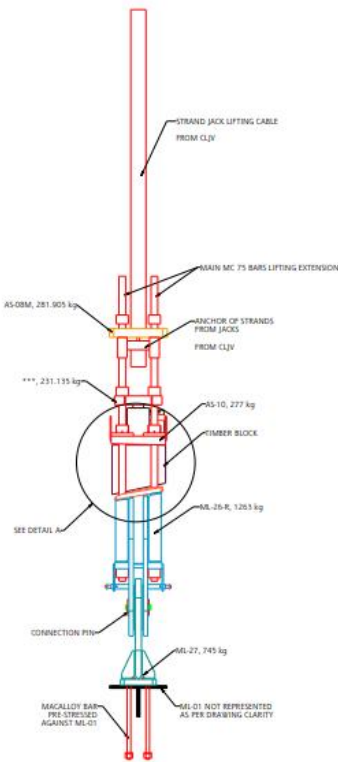
6 m entre los anclajes principales

Casi 40 m de ancho total (27 m de ancho de segmento)

2 longitudes de vertido: 6 y 7,5 m

Capacidad de ajuste de 3 ejes

Accesibilidad garantizada a través de plataformas permanentes



Figuras 13 y 14: Punto principal de suspensión durante una operación de izado

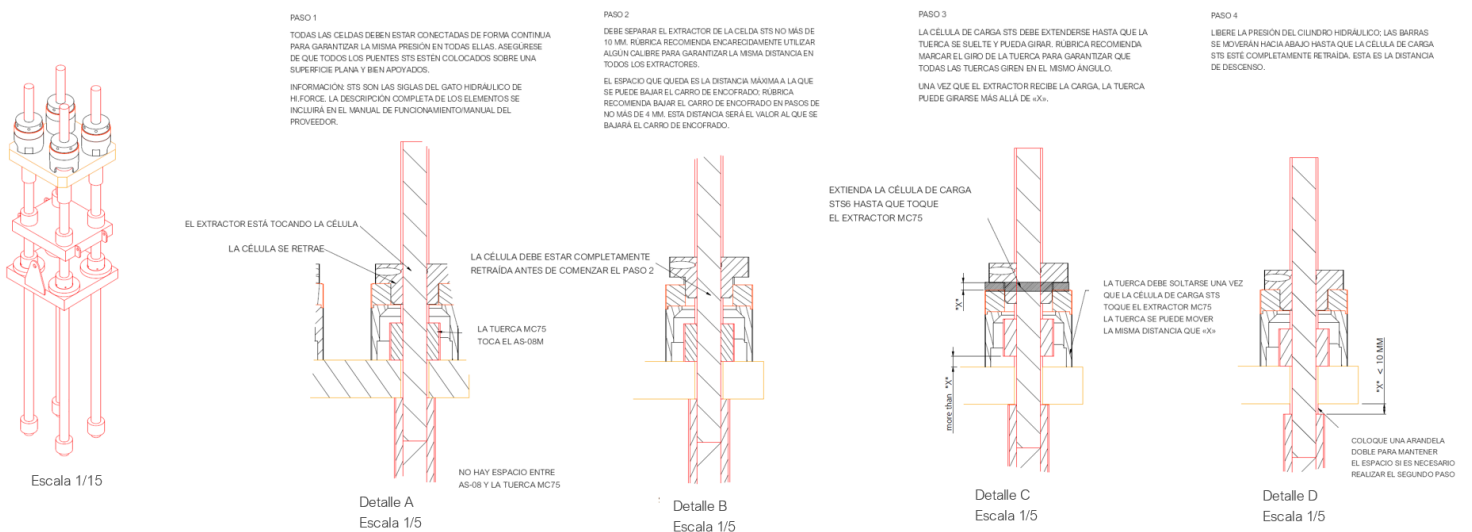


Figura 15: Vista típica del sistema de anclaje y barras Macalloy de pretensado

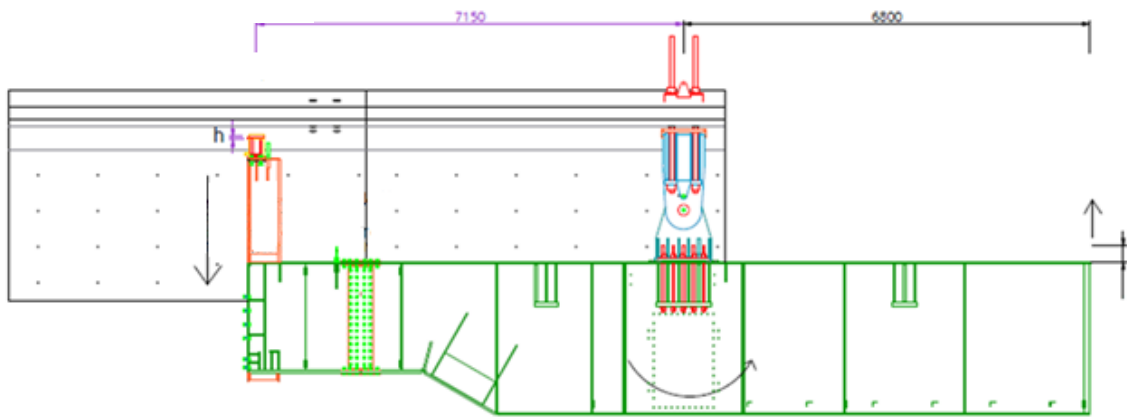


Figura 16: Precompresión y soporte trasero

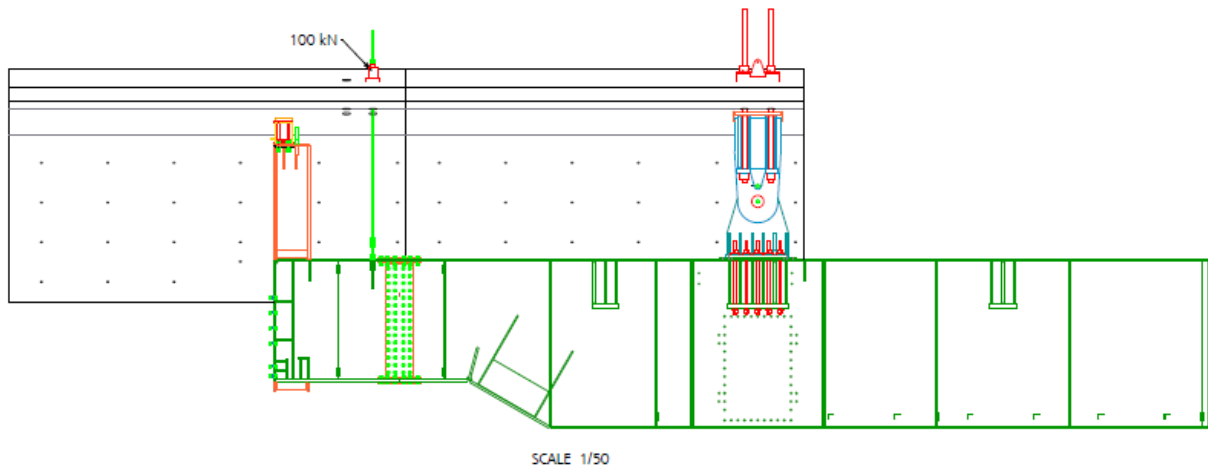


Figura 17: Precarga del anclaje trasero

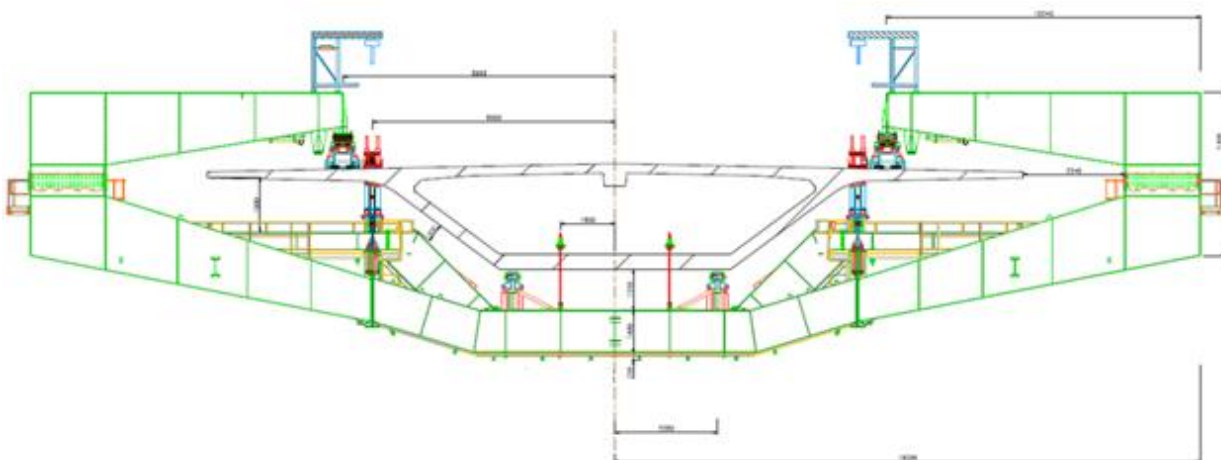


Figura 18: Sección transversal típica del equipo

Para el soporte trasero durante el lanzamiento, el carro de encofrado se apoya en la parte inferior del tablero utilizando 2 rodillos de alta capacidad (en este caso, diseñados y fabricados con ruedas de poliuretano de alta capacidad para evitar daños en el hormigón).

Todas las operaciones de lanzamiento son hidráulicas y fáciles de manejar, mantener y reparar.

6. ENCOFRADO INTERIOR

En cuanto a los equipos personalizados, el «único» fue el encofrado interior del carro de encofrado. Se diseñó para funcionar de forma totalmente hidráulica y poder pasar por las secciones estrechas entre la estructura metálica de anclaje del tirante y las paredes del tablero.

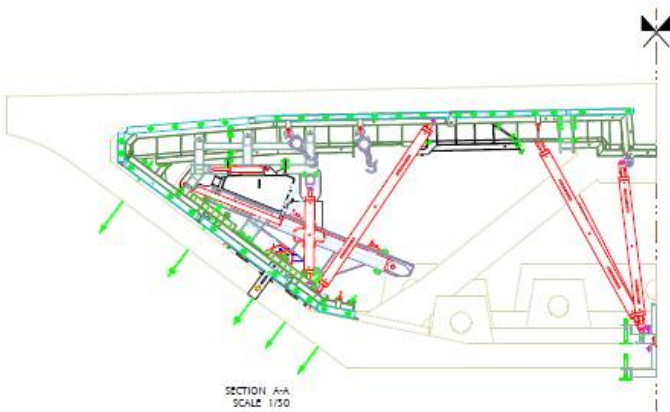


Figura 19: Configuración del encofrado interior en posición de hormigonado

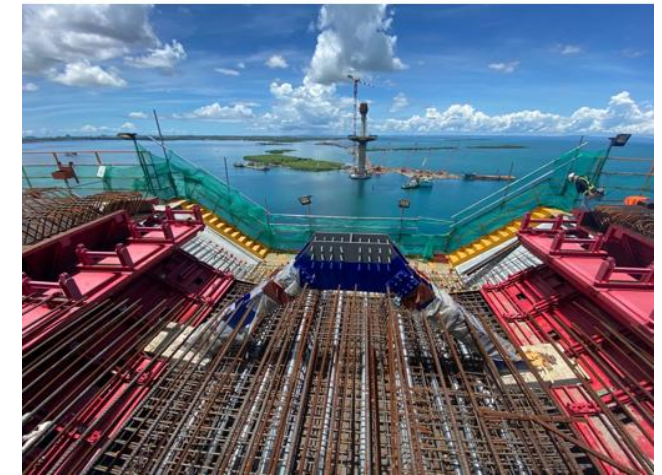


Figura 20: Anclaje del tirante instalado sobre el encofrado

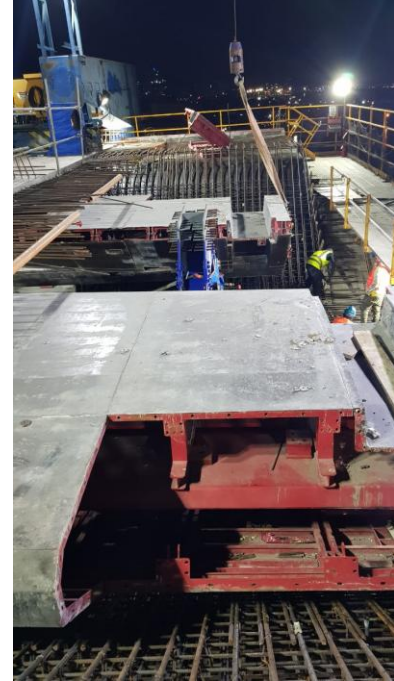


Figura 21: Encofrado interior plegado listo para el lanzamiento



Figura 22: Encofrado interior durante la prueba de aceptación de fabricación (FAT)

→ Figura 23: Encofrado interior durante el lanzamiento



preparamos una estructura temporal para realizar una prueba a escala real, incluyendo pruebas eléctricas e hidráulicas.

Otra adaptación personalizada de este equipo para este proyecto específico fue la capacidad de adaptarse a la alineación horizontal curva del puente en el tramo trasero con una pendiente transversal variable.

Esto no es habitual en este tipo de carro de encofrado suspendido y requirió paneles flexibles en el alma y las alas, así como bastidores en C asimétricos para adaptarse a la pendiente transversal variable, con un resultado que no afectó negativamente al ciclo.

7. SEGMENTO DE CIERRE

Para el hormigonado del segmento de cierre del tablero del vano principal, se utilizaron vigas de atado para la alineación de los dos lados del tablero.

Uno de los encofrados móviles del tramo principal se utilizó para el hormigonado final (aquí se puede ver la alineación interior antes del lanzamiento del encofrado interior), mientras que el segundo encofrado móvil del tramo principal se trasladó de nuevo a la zona de la cabeza de pila para su descenso y desmontaje. Se aplicó el mismo procedimiento de cierre de segmentos en ambos vanos traseros.

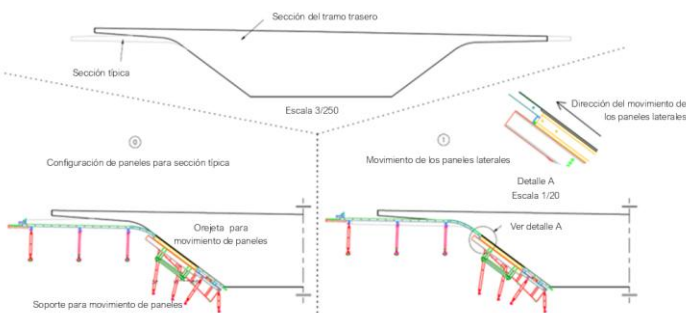


Figura 24: Adaptación de la curva de alineación horizontal

→ Figura 25: Suplemento para la adaptación de la alineación de curvas

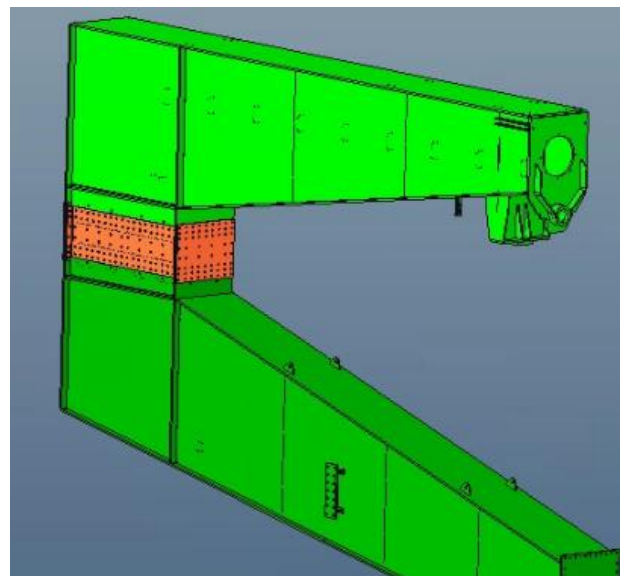




Figura 26: Vigas de atado del tablero para el cierre

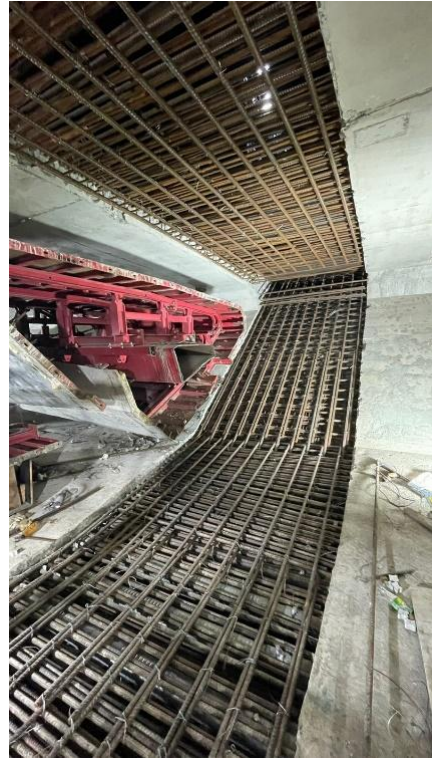
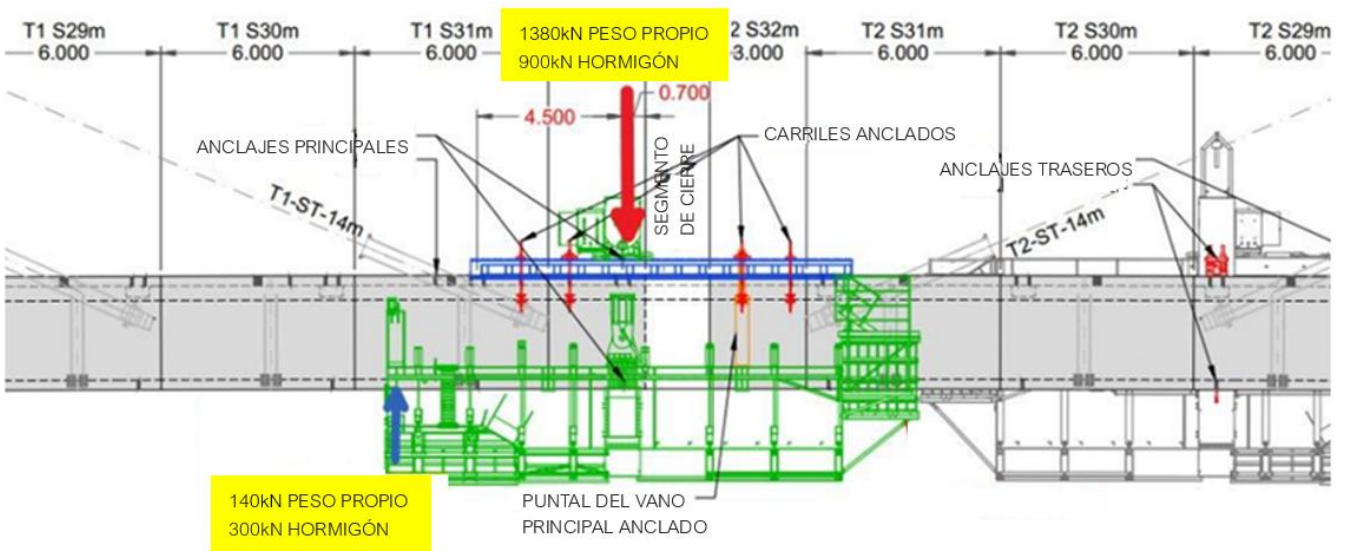


Figura 27: Encofrado interior listo para el lanzamiento final del segmento de cierre



LANZAR EL CARRO T1 AL SEGMENTO DE CIERRE

Figura 28: Diseño conceptual del segmento de cierre



Figura 29: Últimos segmentos de hormigonado antes del segmento de cierre

8. CICLO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SEGMENTOS DEL TABLERO

Las siguientes fotos describen el ciclo de construcción de los segmentos de la cubierta, que comprende un máximo de 10 días entre la instalación de los cables de suspensión,

comenzando con la colocación y el tensado de las barras de PT en la losa superior de la viga cajón, véase la foto 30. Las fotos 30 al 38 muestran el ciclo completo.



Figura 30: Colocación y pretensado de barras PT



Figura 31: Retirada de los anclajes de soporte principales del carro encofrado para transferir el peso del carro encofrado a los riles de lanzamiento



Figura 32: Lanzamiento de los encofrados exteriores y control topográfico



Figura 33: Ajuste del carro para la nueva posición de hormigonado



Figura 34: Instalación del anclaje del tirante



Figura 35: Lanzamiento del encofrado interior



Figura 36: Verificación topográfica



Figura 37: Hormigonado

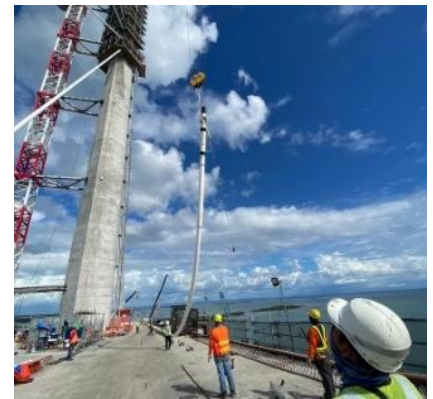


Figura 38: Instalación del tirante



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

Building Strong Connections



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

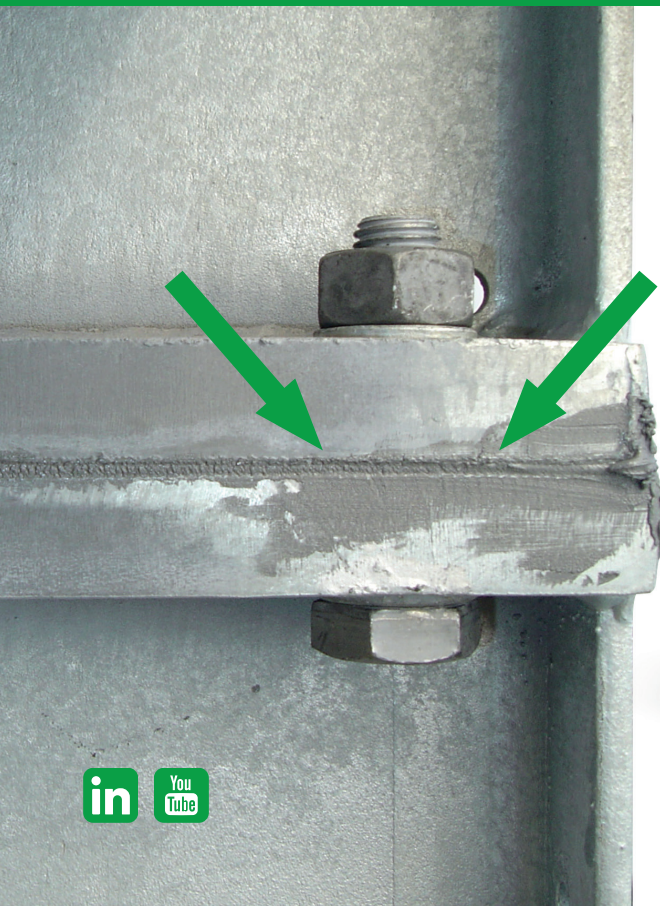
BRUGG
Fatzer 



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





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, hormigón, 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

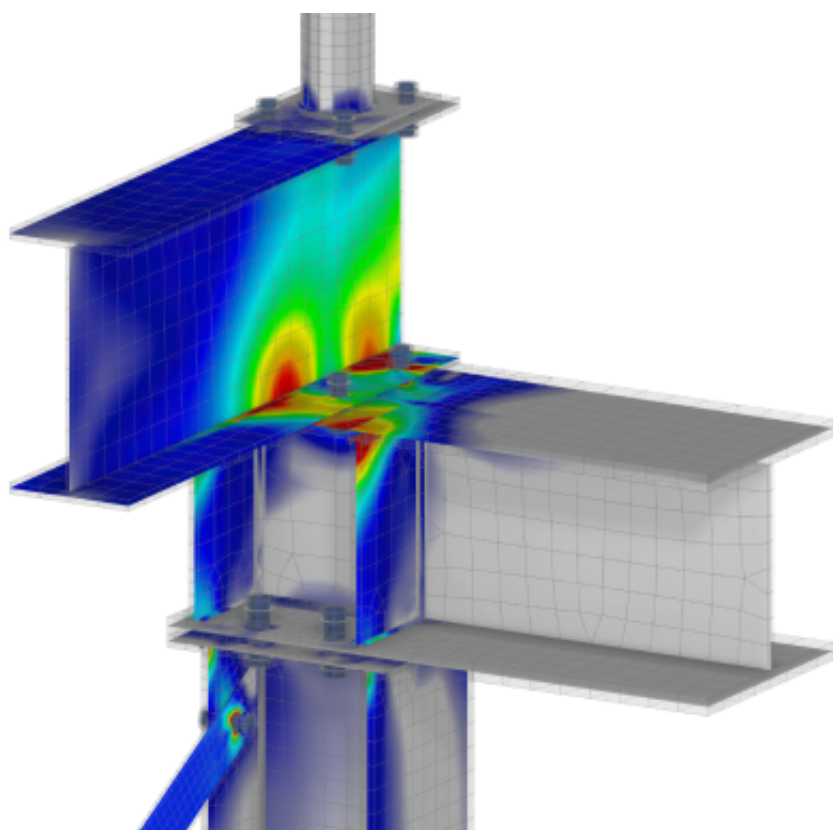
Empleados altamente motivados en todo el mundo

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](https://www.instagram.com/dlubal_software)

 [Dlubal Software](https://www.linkedin.com/company/dlubal-software)



Pipenbahr Consulting Engineers

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





Puente de Helgeland, Noruega

Foto : Jules van den Doel



American Icon

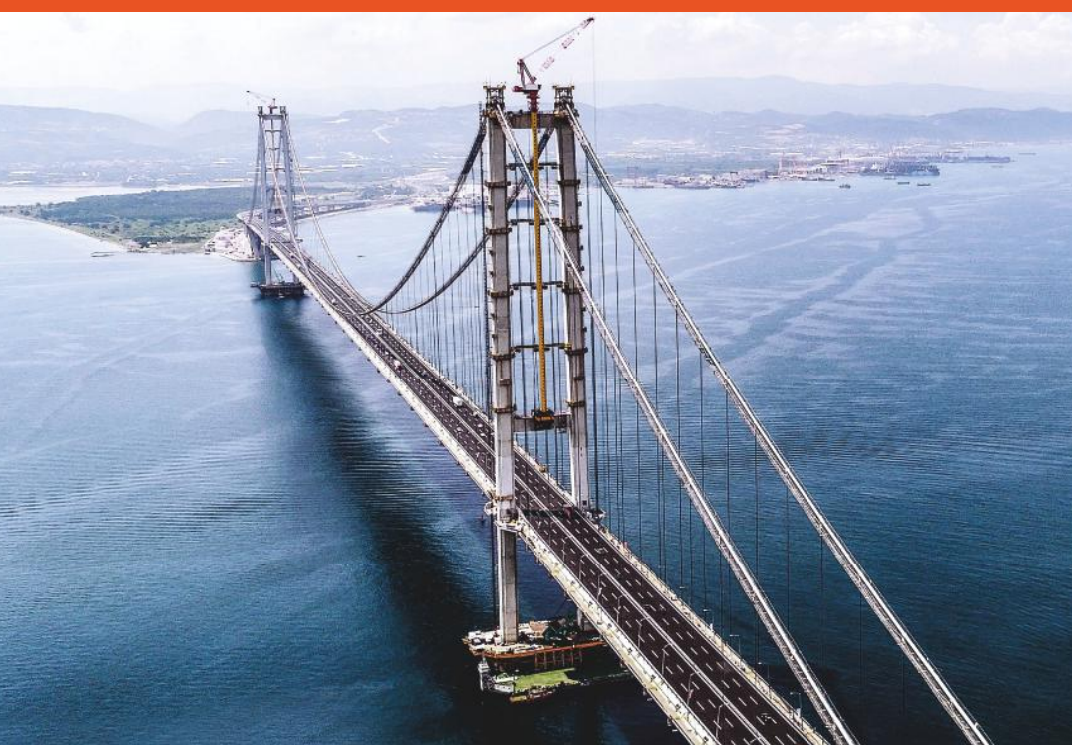
San Francisco-Oakland Bay Bridge East Span

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

Referencias:

- 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



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

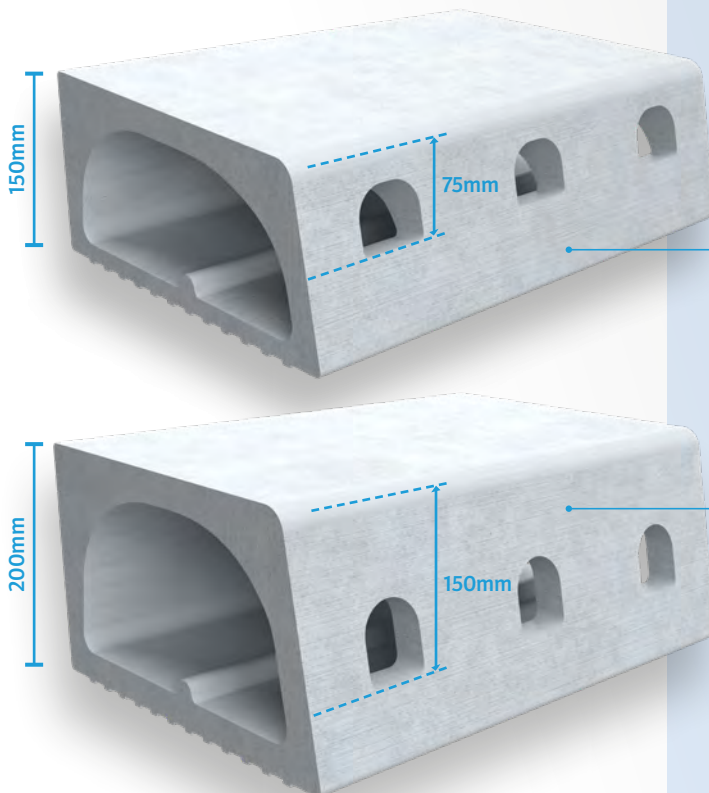
Top slope 2%
(according to BAST guideline Kap12)

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.

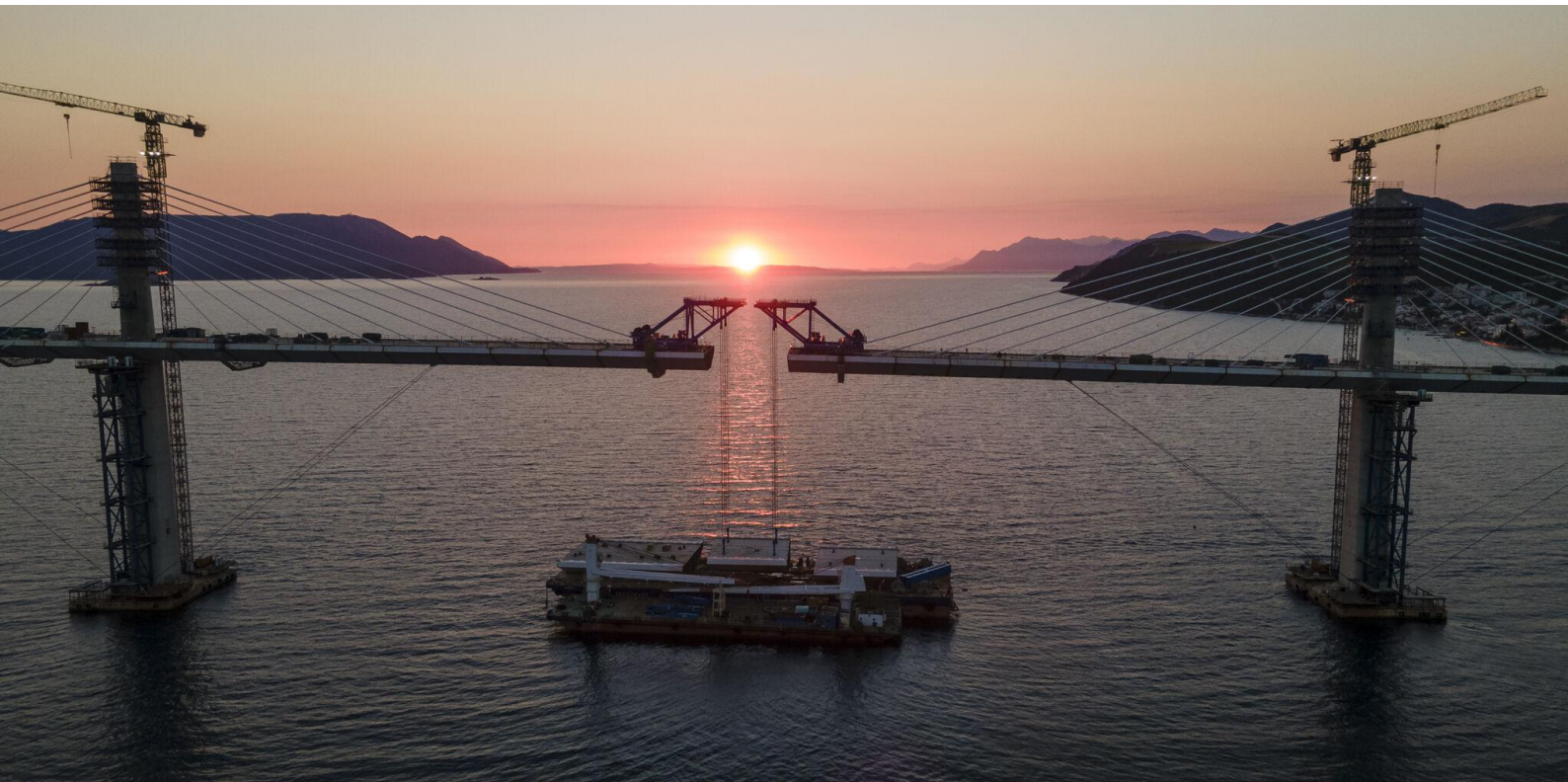


CLICK HERE

For more features, advantages and examples.

We design bridges

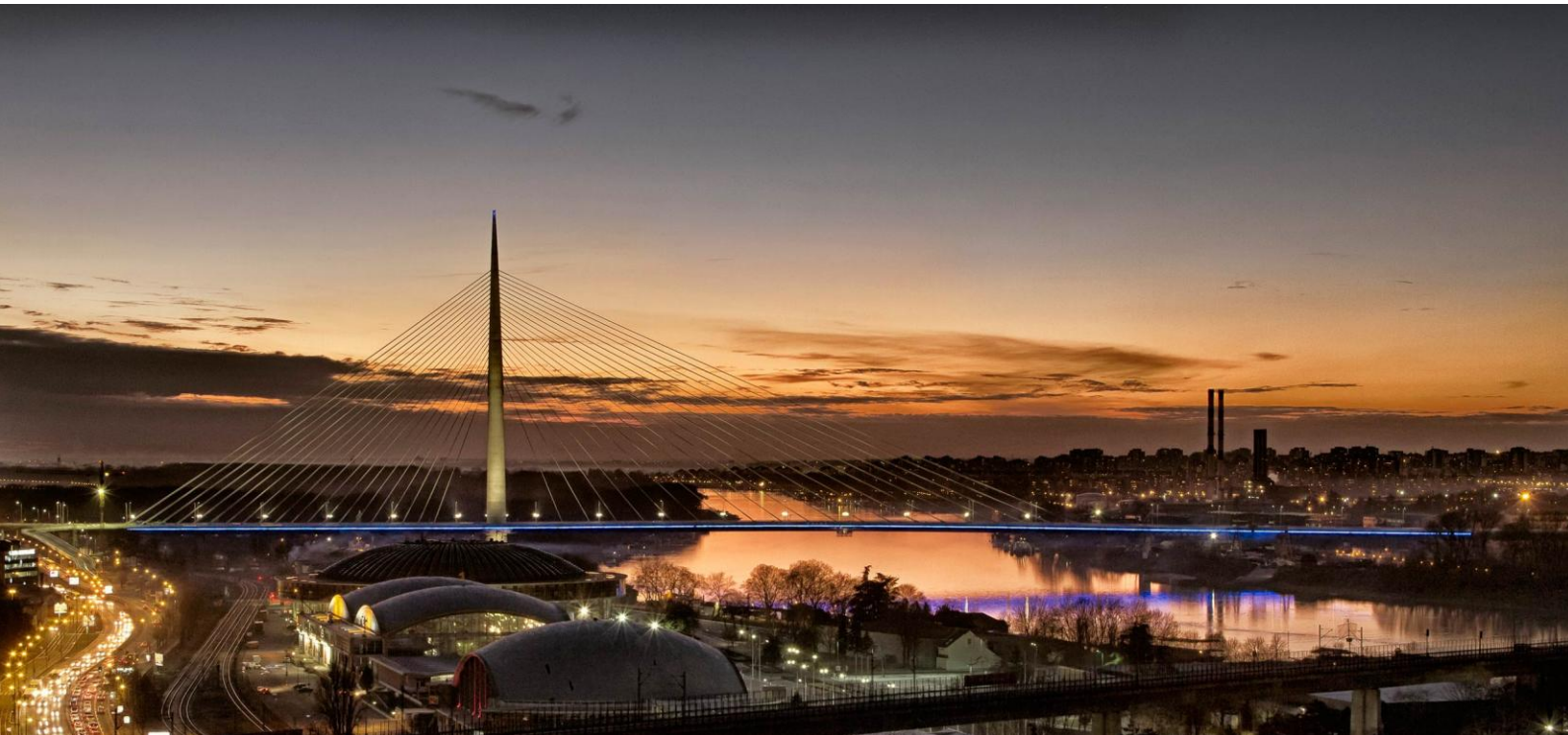
ponting
bridges



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

Conectando **COMUNIDADES**

Conectamos estudiantes, profesionales, empresas y comunidades a través de proyectos colaborativos de **construcción de puentes peatonales** y **soluciones de agua, saneamiento e higiene (WASH)**.

El aislamiento causado por ríos intransitables es una de las principales fuentes de pobreza en todo el mundo. Impulsados por la pasión de los estudiantes universitarios, nuestros socios de la industria y la sabiduría de nuestros aliados locales, construimos puentes peatonales para comunidades aisladas, asegurando que tengan acceso seguro durante todo el año a recursos esenciales como educación, atención médica y mercados.



EngineersInAction.org



@EngineersInAction



**BRIDGING
THE GAP
AFRICA**
BUILDING BRIDGES &
TRANSFORMING LIVES

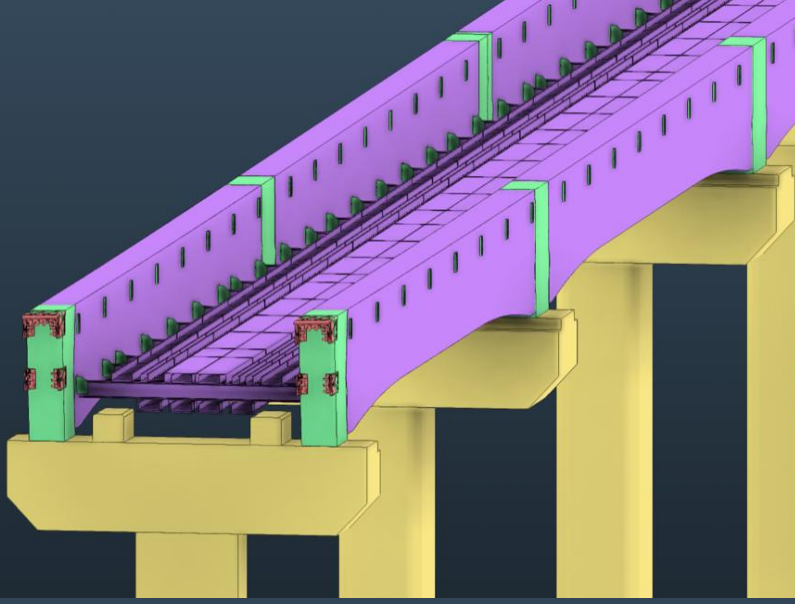


**LA NECESIDAD
ES GRANDE.**

**LA NECESIDAD
ES AHORA.**



FORMA PARTE DE ESTO. SÉ UN PUENTE.



e-BrIM

OCTUBRE 2025

