

Digitalización de procesos de Diseño y Cálculo

Digitalization of design and calculation processes

Guillermo Capellán Miguel^a, Marianela García Pérez^b, Julio González Zalduondo^c,
Juan Ruiz Escobedo^d y Jorge Juan Gómez Llano^e

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Director Técnico. gcapellan@arenasing.com

^b Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Project Manager. mgarcia@arenasing.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. jgonzalez@arenasing.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. BIM Manager. jruiz@arenasing.com

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. jgomez@arenasing.com

RESUMEN

Ante el reto de haber sido asignados responsables de la redacción, a nivel de *Master Design* y/o *Detailed Design*, de un elevado volumen de estructuras dentro del proyecto internacional Rail Báltica y, animados por experiencias previas como la del Paseo del Bajo Buenos Aires (Argentina), Arenas & Asociados decidió desarrollar una serie de nuevas herramientas digitales interconectadas entre sí que permitieran la automatización de los procesos de diseño, modelización, cálculo y gestión paramétrica en puentes y pasarelas. Las herramientas creadas no estaban disponibles en el mercado del diseño de puentes, lo que generó la necesidad de resolver el desafío mediante desarrollos propios.

ABSTRACT

Facing the challenge of being assigned the responsibility for developing the Master and Detailed Design of a significant volume of structures within the Rail Baltica project, and driven by previous experiences such as the Paseo del Bajo in Buenos Aires (Argentina), Arenas & Asociados decided to develop a series of interconnected digital tools in order to automate the design, modelling, calculation, and parametric management for bridges and footbridges. The developed tools were not available in the bridge design market, which created the need to address the challenge through in-house solutions.

PALABRAS CLAVE: modelo digital, automatización, innovación, cálculo, digitalización de procesos.

KEYWORDS: digital model, automation, innovation, calculus, digitalization of processes.

1. Introducción

En los últimos años, las licitaciones de proyectos se han ido encaminando a proyectos de mayor envergadura e interdisciplinarios. Cada vez es más habitual la licitación de contratos que abarcan varios kilómetros de actuación donde, por tanto, las estructuras se contabilizan por decenas. Es por ello que, con los años, los puentes y

proyectos de ingeniería estructural en los que estamos implicados se han hecho más grandes y más complejos. Se requiere un equipo más amplio y procedimientos definidos, no basados o basados únicamente en la habilidad de un ingeniero. Por lo tanto, hemos evolucionado con los proyectos.

Cuando en Arenas & Asociados surgió la oportunidad y, como consecuencia, necesidad de tener que desarrollar la redacción del proyecto, a nivel de *Master Design* y/o *Detailed Design*, de un elevado volumen de estructuras de hormigón (más de 65 pasos superiores tipo losa y del orden de 15 estructuras tipo cajón de hormigón pretensado), y animados por experiencias previas satisfactorias como lo fue la del Paseo del Bajo en Buenos Aires (Argentina), se apostó por invertir tiempo inicial en el desarrollo de una serie de herramientas que permitieran la automatización y mejor control de los procesos de diseño, verificación y modelado de tal elevado número de estructuras (Fig. 1).

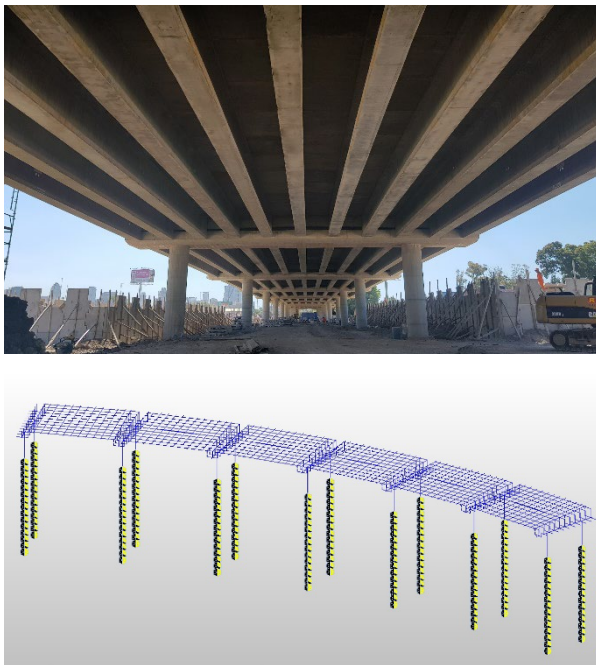


Figura 1. Imagen de Viaducto Norte finalmente ejecutado del Paseo del Bajo y vista de modelo de cálculo generado.

En el proyecto de Paseo del Bajo [1] se desarrolló una herramienta interna que, a partir de los datos de trazado y una pequeña manipulación por parte del equipo de ingenieros de Arenas & Asociados para determinar la posición en planta de pilas y alineación de vigas; permitía obtener la geometría 3d de los tableros, con sus dinteles, fustes y pilotes, así como generar los planos 2d de cualquier sección a lo largo de las progresivas del trabajo. En añadido,

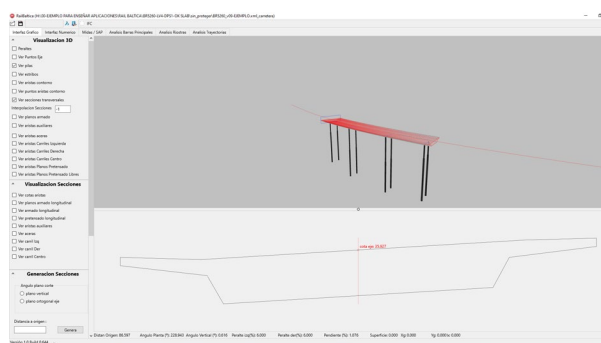
nos generaba la entrada de datos para el software de análisis estructural; un algoritmo que optimiza el espesor de hormigón de la losa de tablero; la posibilidad de generar la armadura en 3d y los despieces de armadura de los dinteles, pues hay que tener en cuenta que había más de 100 dinteles, y todos diferentes en geometría debido a la variabilidad del trazado.

Inspirados por esta lección previa y poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en la misma, nos embarcamos en el desarrollo propio de una serie de nuevas herramientas digitales interconectadas entre sí que permitieran la automatización de los procesos de diseño, modelización, cálculo y gestión paramétrica para estas nuevas tipologías concretas. Ya que no encontrábamos en el mercado ningún producto que abarcara todos estos procesos en un solo software y además con control paramétrico de los datos.

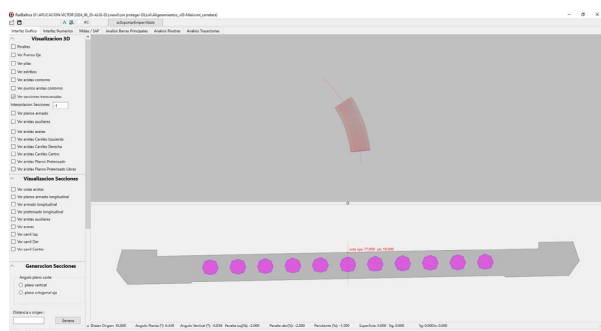
2. Aplicación RB

En base a experiencias previas en proyectos similares, en donde un elevado volumen de disciplinas interactúa entre sí y por tanto el trazado sufre múltiples modificaciones hasta tener el proyecto bastante avanzado, la premisa principal que teníamos claro debía cumplir esta nueva aplicación a desarrollar es que todo estuviera vinculado al trazado y cualquier cambio en el mismo implicara la actualización automática de todo lo generado (geometrías, modelos de cálculo, verificaciones...). Para de este modo evitar que cualquier cambio que se produjera pudiera no quedar repercutido en la definición final de cada estructura, así como evitar retrabajos tediosos innecesarios.

Por tanto, el dato principal sobre el que se apoya toda la aplicación es el trazado: eje de trazado y leyes de peraltes. Sobre este eje se pueden definir las diferentes aristas que componen la sección del tablero e indicar la ubicación, geometría y tipo de cimentación de cada una de las pilas.



Aunque no se daba el caso de que hubiera tableros losa aligerados, por lo reducido de los cantos no había opción de que fueran visitables y por tanto la propiedad prefería tableros tipo losa macizos, pensando en posibles futuros usos de la aplicación, se desarrolló la opción de que los tableros losa pudieran también ser aligerados. La definición de dichos aligeramientos también se vincula al eje de trazado, para que se actualizara automáticamente en caso de modificar la rasante.



quede fuera de la sección y se cumplen las distancias mínimas requeridas.

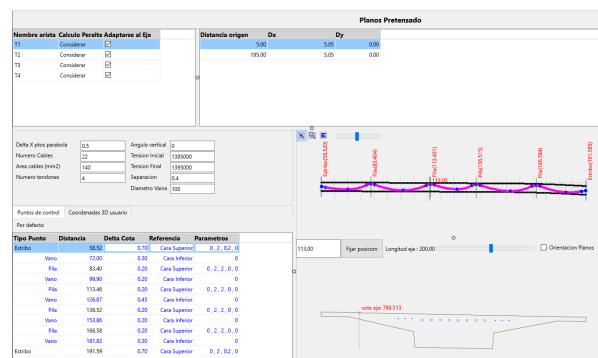


Figura 4. Interfaz de definición de pretensado.

De manera similar al pretensado, apoyándose en la geometría del tablero, la aplicación permite definir la armadura pasiva, tanto longitudinal como transversal.

En primer lugar, se define la armadura longitudinal. Los planos de armadura definidos, quedan totalmente vinculados a las aristas de definición del tablero, por lo que cualquier cambio en esta implica una actualización automática de las armaduras definidas.

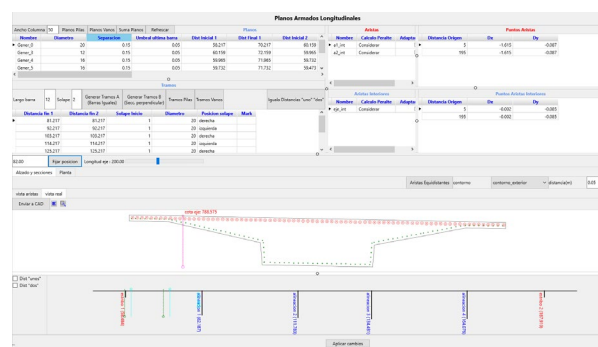


Figura 5. Definición de armadura longitudinal en sección.

Puesto que uno de los subproductos finales que se pretende obtener es un fichero IFC a nivel LOD-400, es primordial tratar de evitar desde la generación de los elementos las posibles colisiones que invaliden el modelo BIM final. Por ello, se puede controlar desde la aplicación la ubicación y orientación de los solapes de la armadura longitudinal.

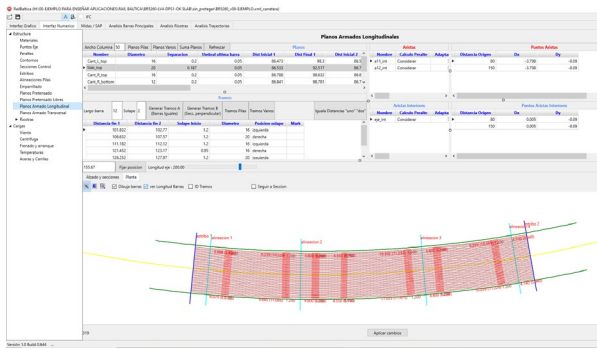


Figura 6. Definición de armadura longitudinal en planta.

Con la armadura longitudinal definida, se continua con la definición de la armadura transversal, ya que esta armadura se va a apoyar en la longitudinal para de este modo mantener la premisa principal de tener todo vinculado a la geometría y, además, tal y como se ha explicado, evitar posibles colisiones entre armaduras para el modelo BIM.

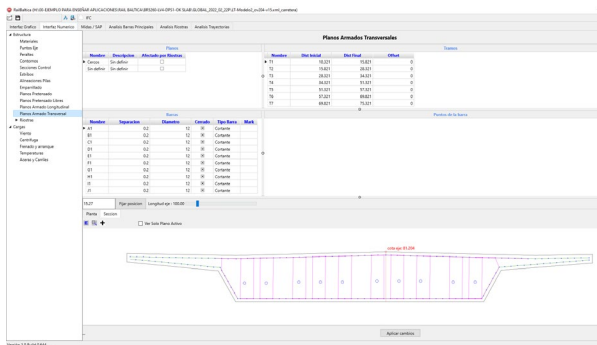


Figura 7. Definición de armadura transversal en sección.

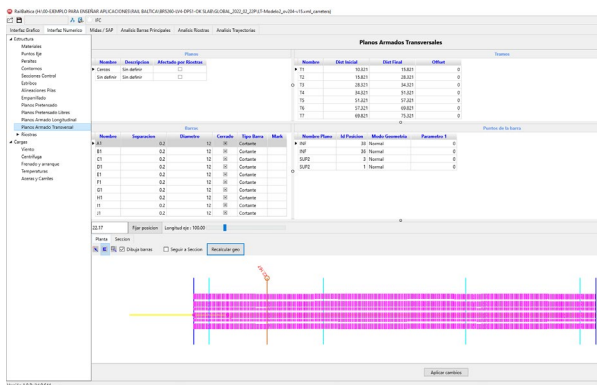


Figura 8. Vista de armadura transversal en planta.

Adicionalmente, y con el objetivo de obtener un modelo de cálculo para cada una de las estructuras totalmente vinculado a la geometría, se permite la introducción en la aplicación de las cargas tanto ferroviarias como de puentes de carretera acorde a Eurocódigo [2].

Las cargas permanentes y el trazado de los tendones de pretensado ya son datos que la aplicación conoce, y la interfaz permite introducir los datos necesarios para obtener las restantes cargas: viento, térmicas, reológicas, sobrecargas de uso, etc.

Dada la tipología de tableros tipo losa de la mayoría de las estructuras, se van a modelizar los tableros mediante emparrillado. Ya que dada la relación ancho/luz, un modelo viga no representaría correctamente el comportamiento transversal del tablero.

De nuevo, la aplicación permite definir todo lo necesario para que el emparrillado obtenido sea adecuado.

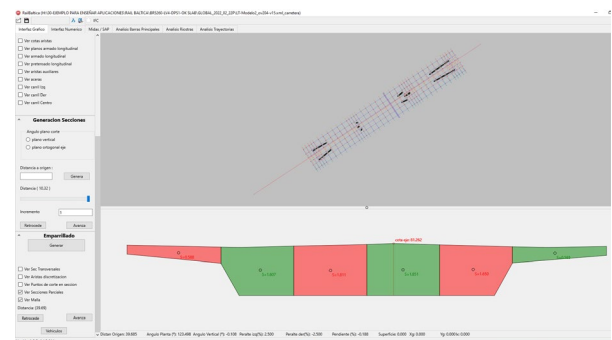


Figura 9. Vista en aplicación del emparrillado obtenido en planta y sección.

La aplicación se encarga de exportar un fichero de texto que se puede importar directamente sin tener que manipular nada por el usuario en el software elegido.

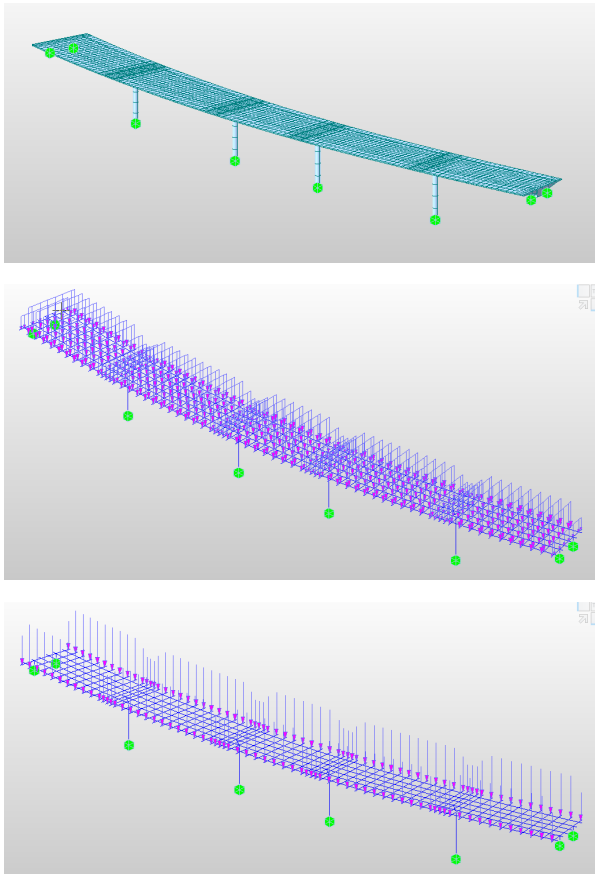


Figura 10. Modelo de cálculo con algunas de las cargas generado para MIDAS Civil.

2.1 Aplicación Seccional

Llegado este punto, y teniendo en una sola aplicación tanto geometría, armadura activa, armadura pasiva y un modelo de cálculo completo totalmente vinculado a lo anterior y con todas sus cargas aplicadas, era necesaria la generación de una aplicación propia que permitiera hacer las pertinentes verificaciones a las secciones de hormigón. Tenía que ser de nuevo un desarrollo propio, para de este modo, tener el control de poder hacer una llamada automática y ajena al usuario desde la aplicación base RB. Así es como surge la aplicación SECCIONAL.

Esta nueva aplicación permite la comprobación para normativa Eurocódigo [3] y AASTHO LRFD [4] de secciones de hormigón armado y pretensado.

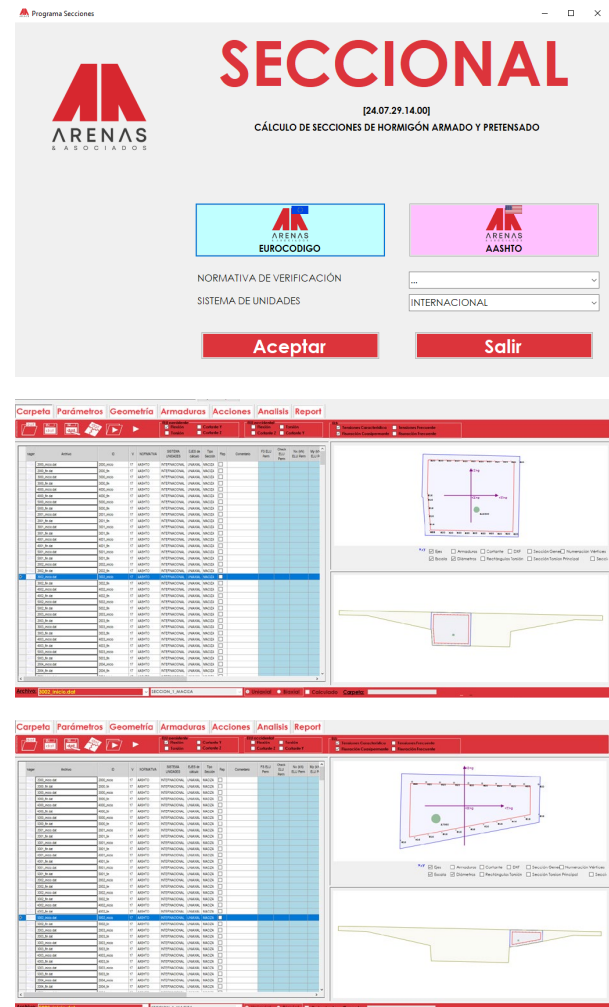


Figura 11. Vista de la aplicación SECCIONAL.

De este modo, desde la aplicación base de RB se puede hacer la verificación masiva de todas las secciones del modelo de cálculo. Teniendo en cuenta para ello la geometría, armadura activa y pasiva finalmente definida. De tal manera que, si se detecta alguna sección que no verifica, se puede modificar en consecuencia la geometría o la armadura correspondiente y volver a recomprobar dicha sección con este nuevo ajuste. Siguiendo el proceso descrito, cualquier cambio queda perfectamente recogido en un mismo producto final. Evitando de esta forma descoordinaciones entre lo calculado y lo finalmente definido.

3. Producto final obtenido

Una vez que se ha comprobado que todas las secciones verifican lo establecido por la norma, el programa permite exportar:

1. Modelo BIM en formato IFC a nivel LOD-400. Ya que dentro de la aplicación se han recogido no solo las geometrías de la estructura sino también todas las armaduras activas y pasivas sin colisiones.

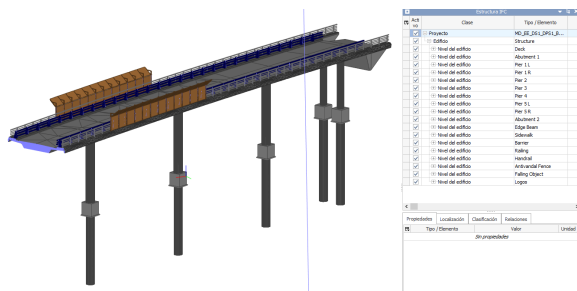


Figura 12. Ejemplo de modelo BIM obtenido

2. Planos de secciones tipo. Estableciendo unas secciones de control, se pueden exportar en planos totalmente maquettados tanto secciones acotadas de geometría como de armadura

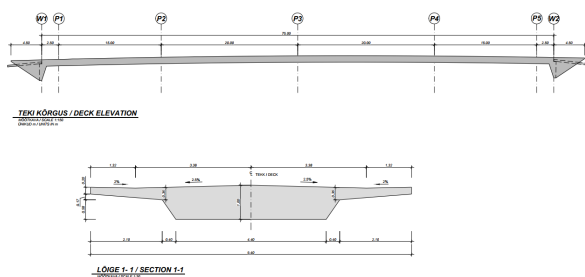


Figura 13. Ejemplo de definición geométrica para planos

3. Reporte de cálculo de las secciones verificadas. La aplicación SECCIONAL tiene implementada la opción de generar un reporte de cálculo explicativo en la normativa

correspondiente, Eurocódigo o AASTHO, de verificaciones en Servicio y Resistencia.

Figura 14. Ejemplo de reporte de cálculo obtenido SECCIONAL.

4. Cambio en la metodología de trabajo

El desarrollo propio de herramientas de trabajo que permiten la digitalización de los procesos no sólo de diseño sino también de cálculo de estructuras, es algo que desde Arenas & Asociados venimos practicando y fomentando cada vez más desde hace unos años.

El objetivo final es obtener una plataforma de trabajo con múltiples aplicaciones desarrolladas desde Arenas Innovación, que faciliten en primer lugar el modelado de las estructuras, evitando además que posibles cambios externos como pueden ser cambios en el trazado, impliquen elevados tiempos de retrabajo. Una ágil definición de geometrías, permite elaborar mejores diseños. Ya que múltiples opciones pueden ser estudiadas con facilidad.

Siguiendo esta línea de trabajo se han desarrollado ya otras aplicaciones de utilidad en el día a día de los proyectos de estructuras como, por ejemplo:

- Aplicación para la definición y cálculo de Estribos de puentes

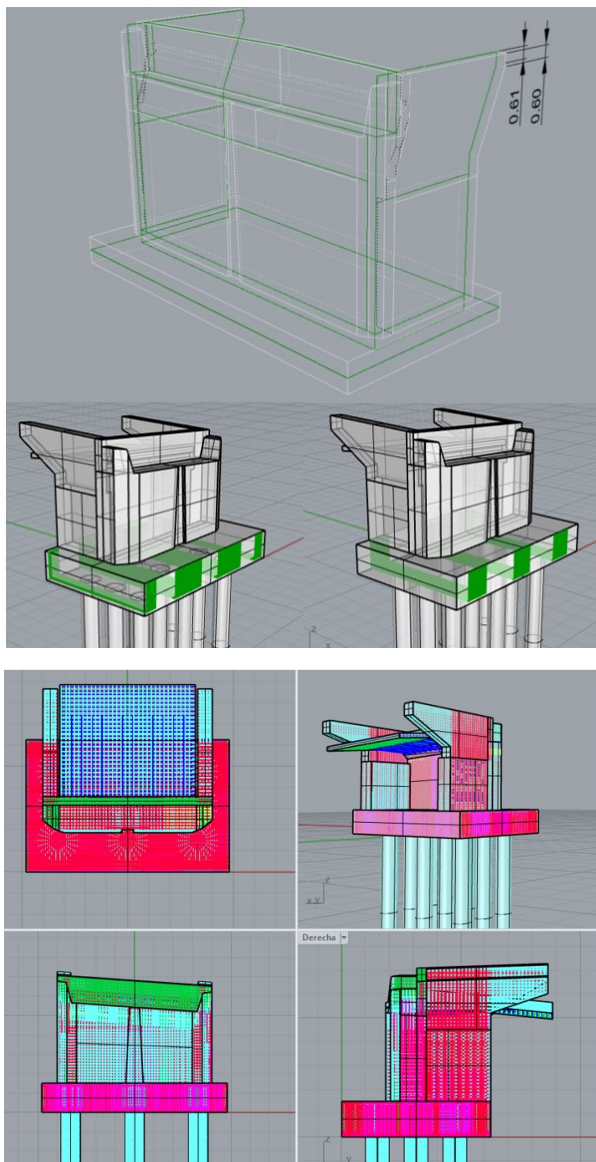


Figura 15. Modelado de Estribos.

- Aplicación para la definición y cálculo de Pasos Inferiores
- Aplicación para la definición y cálculo de muros tipo ménsula de hormigón

Incluso la aplicación RB que se expone en este artículo, se mejoró para abordar la problemática de cálculo de tableros tipo cajón de hormigón pretensado.

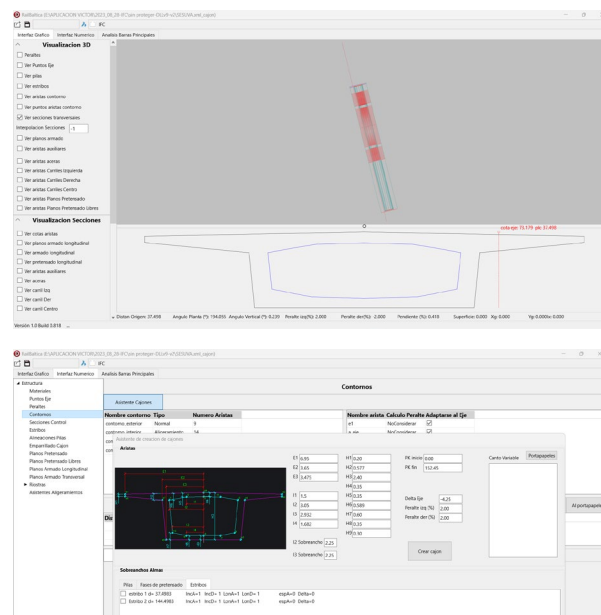


Figura 16. Adaptación de la aplicación RB para la verificación de tableros tipo cajón de hormigón.

Pero el objetivo nunca ha sido quedarnos sólo en la definición geométrica, sino obtener modelos federados que integren la totalidad de procesos que supone una correcta definición de una estructura. De este modo, distintos departamentos pueden aprovecharse de estos modelos y tener una total trazabilidad y coherencia entre lo definido en planos, lo modelado en cálculo, lo verificado seccionalmente, el modelo BIM e incluso las mediciones y especificaciones técnicas. Con esta metodología se asegura la calidad del producto final obtenido. Siendo de gran utilidad y a la vez necesidad todo este proceso en grandes proyectos con múltiples estructuras de similares condiciones.

5. Conclusiones

Años atrás, el diseño de puentes y estructuras era un asunto más individual y muy personalizado en profesionales únicos, como era el caso del fundador de Arenas & Asociados, Juan José Arenas de Pablo. Individuos capaces de producir diseños excepcionales gracias a una capacidad técnica como ingenieros, fuera de lo común.

El paulatino crecimiento de la organización y su cada vez más presencia en proyectos internacionales de más envergadura, requiere, indispensablemente, la participación de muchos más profesionales en todas las facetas del proyecto.

Esto ha hecho necesario el definir un método para aunar todos los esfuerzos, coordinarlos y garantizar los mejores resultados y la mejor calidad a través de una metodología definida, controles internos, diseño iterativo, etc.

Con los grandes equipos, también viene la especialización e interdisciplinaridad. Contamos con ingenieros especializados en determinados aspectos del diseño, y también colaboramos con otros profesionales como arquitectos, especialistas geotécnicos, ingenieros mecánicos, etc. o incluso artistas o escultores, de una manera fructífera y abierta.

La nueva metodología implantada en Arenas & Asociados y materializada mediante desarrollos propios a través de Arenas Innovación, trata por tanto de un proceso integral, que permite mejorar los procesos productivos, aumentar la eficiencia y minimizar los posibles errores o incongruencias entre los entregables finales de proyecto.

Agradecimientos

Agradecer la colaboración, creando herramientas que han permitido la digitalización y automatización de trabajos de un gran ingeniero y amigo como es:

- Víctor García Martín, Ing. Caminos, Canales y Puertos. Gerente. Teknés.
vgarcia@teknes.es

Así mismo, reconocer el trabajo de todos nuestros compañeros en Arenas & Asociados, quienes bien a través de sus aportaciones en las diferentes aplicaciones desarrolladas o bien a través del testeo de las mismas, han hecho posible implantar esta nueva metodología y seguir mejorándola y agrandándola día a día. Gracias a todos.

Referencias

- [1] G. Capellán, S. Guerra, M. García, S. Urduño, Diseño y Construcción de los enlaces del Paseo del Bajo en Buenos Aires, VIII Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural ACHE, Santander, 2022.
- [2] EC-0 UNE-EN 1990: Bases de cálculo de estructuras y EC-1 UNE-EN 1991: Acciones en estructuras.
- [3] EC-2 UNE-EN 1992: Proyecto de estructuras de hormigón.
- [4] AASTHO LRFD. Bridge design specifications. 9th Edition, 2020.