

Diseño y Construcción de los enlaces del Paseo del Bajo en Buenos Aires.

Design and construction of the junction structures of the Paseo del Bajo in Buenos Aires

Guillermo Capellán^{*, a}, Santiago Guerra^b, Marianela García^c, Sara Urdinguio^d,
Carlos D. Alonso^c, Nicolás Bertaina^d y Carla O. Julián^d

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

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de Oficina Internacional, Arenas & Asociados. sguerra@arenasing.com.

^c Ing. Caminos, Canales y Puertos. Project Manager, Arenas & Asociados. mgarcia@arenasing.com | calonso@arenasing.com.

^d ICCP. Técnico, Arenas & Asociados. surdinguio@arenasing.com | nbertaina@arenasing.com | cjulian@arenasing.com.

RESUMEN

Desde Arenas & Asociados se ha llevado a cabo el proyecto y asistencia técnica a la obra de los tramos elevados de la actuación del Paseo del Bajo, en Buenos Aires. El objeto del proyecto era eliminar el tráfico de vehículos pesados de una de las áreas con mayor valor socio-turístico de la ciudad, Puerto Madero. Así, la actuación cuenta un desarrollo de 7.1 km para conectar las Autopistas del 25 de Mayo y La Plata, con la Autopista de Illia; de los cuales, 3.5 km se desarrollan en viaducto. Estos viaductos están constituidos por tableros isostáticos de vigas prefabricadas de hormigón pretensado, apoyados en dinteles de doble fuste en el tronco principal, y fuste simple en los ramales de entrada y salida.

ABSTRACT

Arenas & Asociados has carried out the project and technical assistance on site of the elevated sections of the Paseo del Bajo, in Buenos Aires. The purpose of the project was to eliminate freight traffic from one of the areas with the greatest social and tourist value in the city, Puerto Madero. As result, there was required a development of 7.1 km to connect the Highways of 25 de Mayo and La Plata, with the Illia Highway, being 3.5 km developed as viaduct. These viaducts are made up of isostatic spans of precast prestressed concrete girders, supported by straddle bents in the main trunk, and single hammerhead column in the entry and exit approach viaducts.

PALABRAS CLAVE: viaducto, hormigón, pretensado, prefabricación, digitalización, Buenos Aires

KEYWORDS: viaduct, concrete, prestressed, prefabrication, digitalization, Buenos Aires

1. Introducción

La ciudad de Buenos Aires tenía una deuda histórica con sus ciudadanos desde los años '80, conectar las Autopistas de Illia y 25 de Mayo y evitar así el paso de vehículos pesados, bien a través de la Avenida 9 de Julio, bien a través de Puerto Madero; a nivel de peatones.

Puerto Madero fue el lugar elegido para llevar a cabo esa labor a través de la dirección de AUSA [1], y la financiación corrió por parte de CABA [2], el Ministerio de Transportes de la Nación y el Banco de Desarrollo de América Latina. El nombre del Proyecto, El Paseo del Bajo, una ambiciosa actuación consistente en una autovía urbana exclusiva para vehículos pesados.

Dicha autovía se ubica entre las avenidas Alicia Moreau de Justo, Huergo, Madero, Antártida Argentina y Ramón Castillo; esto es, atravesado los barrios porteños de San Telmo, Monserrat, San Nicolás, Puerto Madero, Retiro y Recoleta.

En los entronques con las autovías del 25 de mayo y La Plata desde los años '80, a las que restaban los ramales de enlace con Huergo y Alicia de Justo Moreau; el Proyecto del Paseo del Bajo proporciona la conexión con los mencionados inconclusos ramales mediante tres

estructuras elevadas, es decir, tres viaductos. Dos parten de la autovía 25 de mayo, y el tercero, de la autovía de La Plata. Los tres viaductos salvan el desnivel entre las mencionadas autovías y la cota de ciudad.

A continuación, entre Huergo y Alicia de Justo Moreau, paralelamente a Puerto Madero, el Proyecto demanda una sección en falso túnel, soterrando el tráfico de vehículos pesados, durante 3800 m. Esto libera 60,000 m² en superficie para disfrute urbano, permeabilizando Puerto Madero y los barrios porteños.

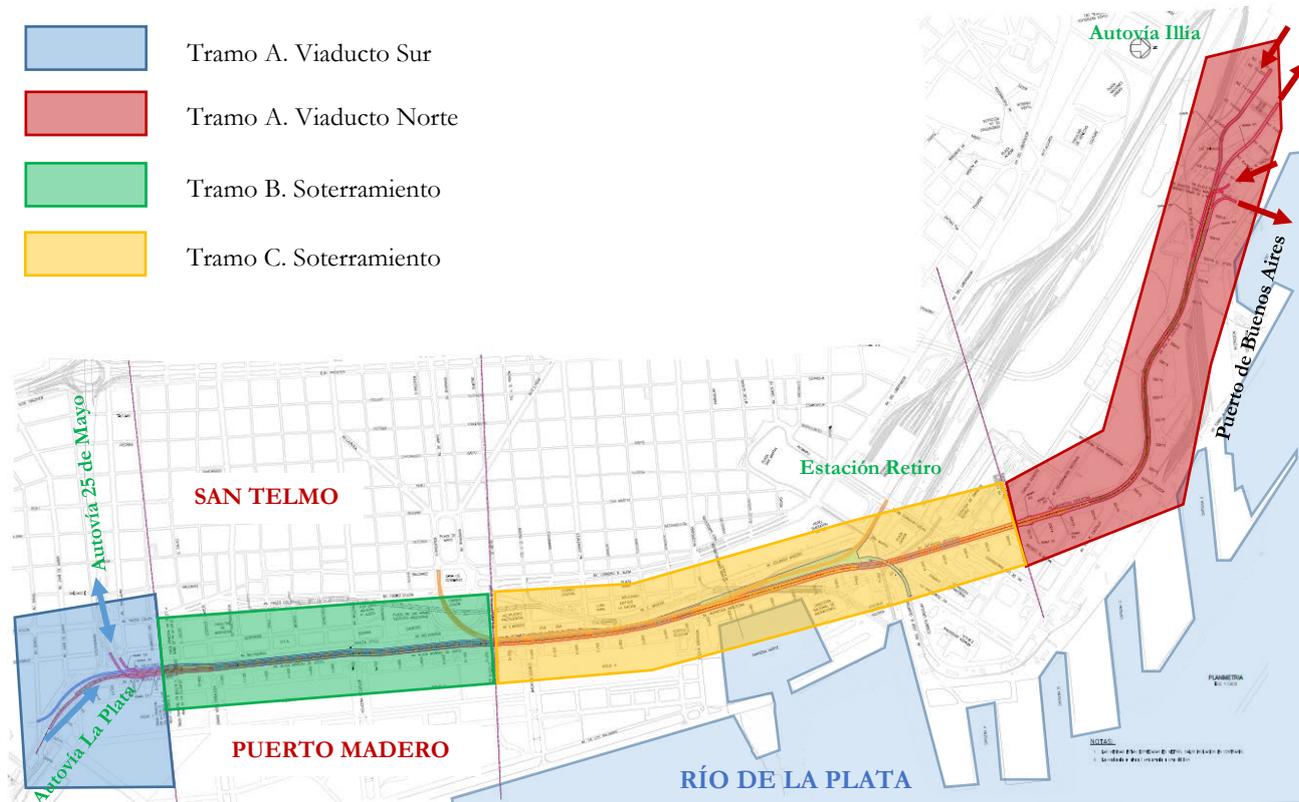


Figura 1. Vista en planta de la Actuación del Proyecto del Bajo

A partir del PK 4+600, en la calle Antártida Argentina, y de ahí hasta el peaje de la autovía Illía, nuevamente el Paseo del Bajo pasa a sección elevada, al discurrir entre los viales de acceso al Puerto del Río de La Plata.

Administrativamente, el Proyecto del Paseo del Bajo se fraccionó en tres tramos, que fueron licitados independientemente.

- Tramo A: Viaductos Sur y Norte.
- Tramo B: Soterrado.
- Tramo C: Soterrado.

El tramo A fue adjudicado a Isolux-Corsán, que estuvo implicada en el proyecto y obra hasta noviembre de 2017, cuando rescindió contrato con AUSA. El tramo A fue adjudicado entonces a la UTE JCR-Coarco.

Arenas & Asociados fue contratada por Isolux-Corsán para desarrollar el Proyecto y posteriormente, por la UTE JCR-Coarco como Asistencia Técnica a la Construcción. En esta fase se resolvieron los habituales problemas de interferencias con servicios urbanos que suelen

surgir en las obras desarrolladas en ciudad, así como facilitar plantillas de armado y esquemas de armado en 3d explicativos a la empresa de ferralla y sus montadores. Dado lo ajustado del plazo, y las condiciones de ejecución en una trama urbanizada y altamente poblada, nuestra obsesión durante el proyecto fue concebirlo de manera que pudiera ser industrializado al máximo posible, pero no sólo en construcción, sino también en ingeniería, como se verá a lo largo del presente artículo.

2. Condicionantes del diseño

Los viaductos Sur y Norte del Paseo del Bajo vienen condicionados en su diseño por:

- Criterios de diseño de AUSA
- Cruce sobre el ffcc portuario
- Estructuras existentes en Au. 25 de mayo

2.1 Criterios de diseño de AUSA

Todas las disciplinas ingenieriles necesarias para el diseño del Paseo del Bajo quedaban reguladas por las directrices básicas que, AUSA, estableció a través de Pliegos que constituían la base de Licitación para de los trabajos de construcción del mencionado Paseo del Bajo. Y, por tanto, como ingenieros proyectistas de todas las disciplinas, se siguieron dichos Pliegos. En el presente artículo únicamente se tratarán los elementos estructurales del proyecto.

Las Normativas a emplear en el Proyecto eran, en principio, los Documentos de Vialidad Nacional (trazado y acciones en puentes), y los Reglamentos CIRSOC (hormigones y acero estructurales), siendo válida la utilización del Código Aashto LRFD Bridge Design Specifications en su 7ª edición en aquellos casos en los que el Reglamento CIRSOC no cubriera algún aspecto del criterio. Cabe mencionar que los reglamentos CIRSOC, en cuanto a estructuras de hormigón se refiere, estaban bajo una profunda transformación, pues se basaban en la normativa DIN previa a los Eurocódigos,

y fue acordado con AUSA y la Inspección la utilización del Código Aashto, ya que los borradores de los reglamentos CIRSOC están basados en el mencionado Código Aashto.

Valga como ejemplo que el reglamento CIRSOC 201 vigente para hormigón, no incluía criterios de combinación de cargas para evaluar las estructuras en servicio, lo cual no era lo más adecuado para verificar tableros de puente con vigas de hormigón pretensadas. Así, que el Código Aashto fue adoptado como criterio de diseño para combinaciones de carga y verificación de elementos estructurales de hormigón armado y pretensado.

Sin embargo, las acciones utilizadas en el cálculo fueron las establecidas en los Pliegos de AUSA, entre las que destacar, como hecho diferenciador con los Códigos habitualmente manejados, el vehículo especial, denominado aplanadora, de 30 tn, y definido en el Documento de Vialidad Nacional (DNV. Capítulo A. Artículo 2B). La acción de la aplanadora va amplificada por un coeficiente de impacto que, para las luces manejadas en proyecto, unos 30 m, suponía un factor de 1.2.

	Categoría de puentes			Espesial
	A-30	A-25	A-20	
Paso total Tn.	30	25	20	CARGA SEGUN EL CASO
Aplanadora rodillo delantero Tn.	13	10	8	
Cada rodillo trasero Tn.	8,5	7,5	6	
Multitud compacta Tn./m ²	0,6	0,6	0,5	
Sobrecarga en las veredas Tn./m ²	0,4	0,4	0,4	

Figura 2. Acciones de Aplanadora

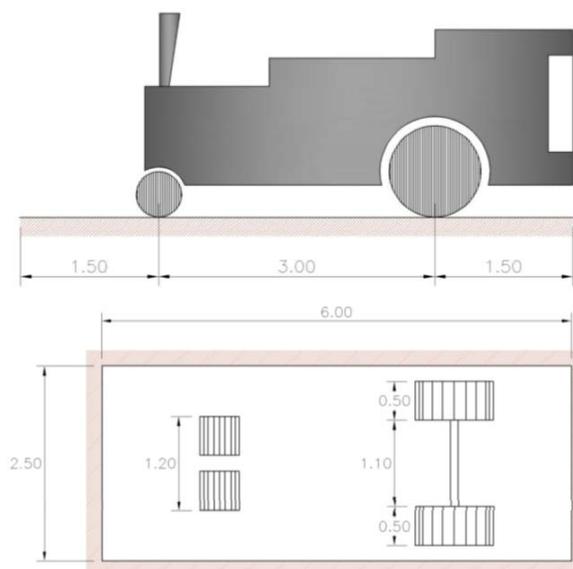


Figura 3. Distribución ejes de aplanadora

Tramo	P.R.	Carriles	Ancho de tablero (m)	Número de Aplanadoras
Rama Principal Sur	0+129.61 a 0+325.00	1	8.50	1
Rama Principal Sur	0+325.00 a 0+505.51	1+1	16.40-14.60	1+1
Rama S1	0+000.00 a 0+356.51	1	0.20	1
Rama S2	0+363.18 a 0+215.93	1	7.30	1
Rama Principal Norte	5+004.70 a 6+203.70	2+2	23.00	4
Rama Principal Norte	6+203.70 a 6+254.70	2+3	25.52-28.06	2+3
Rama Principal Norte	6+254.70 a 6+314.70	3+3	28.06-34.86	3+3
Rama Principal Norte	6+314.70 a 6+367.70	3+2	27.55-30.50	3+2
Rama Principal Norte	6+367.70 a 6+598.29	2+2	23.00	2+2
Rama N1	6+598.29 a 7+023.66	2	11.60	2
Rama N2	6+598.29 a 6+777.41	2	11.60	2
Rama N3	0+000.00 a 0+174.27	1	7.30	1
Rama N4	0+000.00 a 0+161.59	1	7.30	1

- (1) El Ancho de Tablero incluye la huella de las barreras New Jersey
(2) En Carriles, el primer número hace referencia a la calzada derecha según avance de P.R.'s
(3) En Número de Aplanadoras, se muestra el número de aplanadoras por calzada

Figura 4. Distribución de Aplanadoras en los Viaductos

La aplanadora va acompañada por una multitud compacta; una sobrecarga uniforme cuyo valor es función de la luz de la estructura.

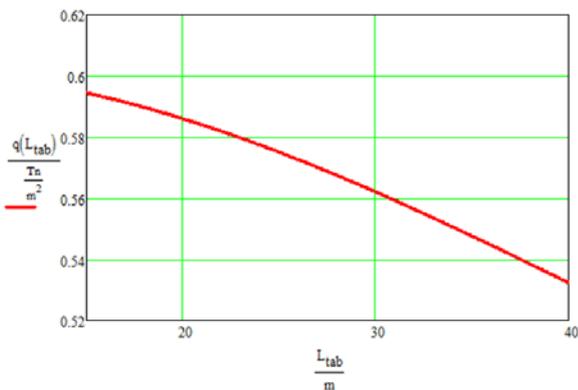


Figura 5. Acción de la multitud compacta

La velocidad de diseño de los viales del Paseo del Bajo se estableció en 80 km/h para los ejes principales y en 40 km/h para los ramales. Estas velocidades se emplearon para determinar las acciones debidas a las fuerzas centrífugas de los vehículos. Finalmente, mencionar que las acciones de viento requeridas por Vialidad Nacional fueron de 250 kg/m² para puentes vacíos y de 150 kg/m² para puentes cargados. Esta acción del viento es importante, ya que los viaductos podrán disponer en un futuro de pantallas acústicas y en los ramales monofuste, con altura de pila considerable, el viento llegaba a ser dimensionante.

2.2 Cruce sobre el ferrocarril portuario

En la progresiva PR 6+300 se produce el cruce del Viaducto Norte con las vías ferroviarias de los trenes de mercancías que cargan y descargan

en el Puerto del río de la Plata. Este cruce se produce esviado, sobre una doble vía (se amplía de una a dos), a requerimiento de Transporte de la Nación, lo que implica que las luces de los viaductos no pueden ser las típicas, aumentando la luz y requiriendo el cambio de sección de viga, pasando de doble T a artesa, con las implicaciones que conllevaba en transporte y tecnología de prefabricación en el momento de la obra en Buenos Aires, pues no había ninguna empresa capaz de prefabricar las artesas completas, con lo que se diseñaron segmentales.



Figura 6. Vigas artesa segmentales

Además, en ese punto, se produce también la interferencia de las vías con otra estructura a proyectar, y que era requerida para completar los flujos de movimiento del Paseo del Bajo, un Paso Bajo Nivel (PBN). El objeto del PBN era canalizar el tráfico de vehículos pesados y ligeros a través de la Avenida Ramón Castillo, sin embargo, cabe decir que, aunque la construcción de las pantallas de pilotes comenzó, las obras no fueron terminadas a fecha de inauguración del Paseo del Bajo y serán concluidas en un futuro.

2.3 Estructuras existentes

En el Viaducto Sur, para materializar los movimientos Paseo del Bajo hacia y desde la autovía 25 de mayo, había que empalmar los nuevos viaductos con dos ramales existentes que en los años '80 quedaron sin terminar de construirse. Esos ramales preexistentes eran tableros continuos postesos con sección en losa aligerada y había que solucionar la continuidad

estructural y vial con ellos. Es por ello que, en el ramal S1 hubo que demoler 3 vanos para que la pendiente máxima en rampa fuera menor al 5%. Esto supuso llevar a cabo una campaña de auscultación para detectar la posición de los tendones de pretensado y la junta de fase en el tablero existente. La transición se realizó con una nueva pila dintel que servía de apoyo a los nuevos vanos de isostáticos de vigas y una pieza de acero pretensada al vano existente para garantizar la continuidad y la integridad estructural frente a sobrecargas.



Figura 7. Demolición Ramal Existente

3. Paseo del Bajo. Tramo A

3.1 Descripción Geométrica

Los condicionantes al diseño anteriormente expuestos llevaron a la geometría final del de las

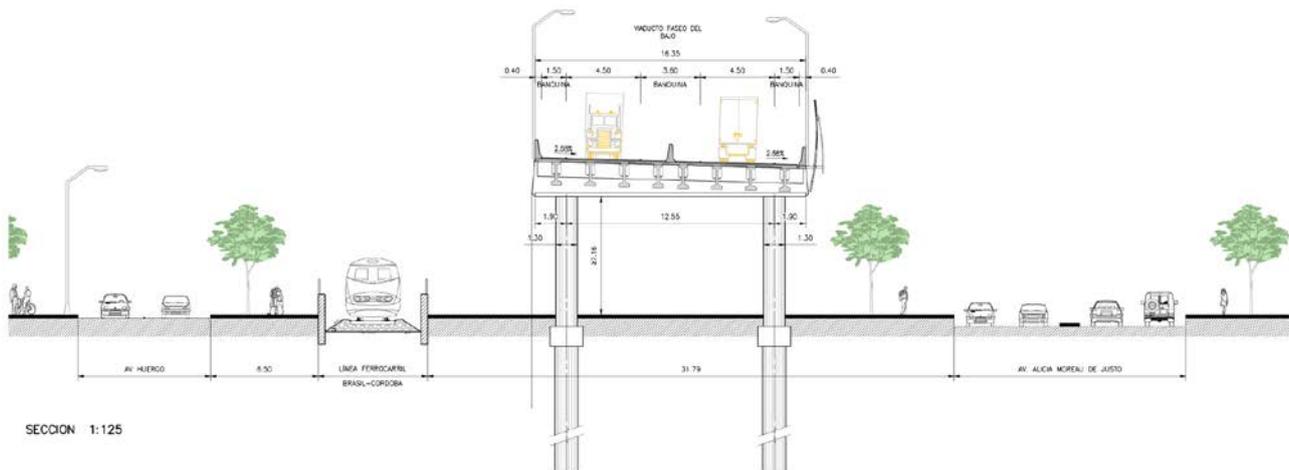


Figura 8. Sección Tipo Sur Principal. Doble Calzada

estructuras del Paseo del Bajo proyectadas en el tramo A:

- Viaductos de tronco: Sur Principal y Norte.
- Ramales: S1, S2, N3, N4, N1 y N2.
- Paso Bajo Nivel.

3.1.1. Viaductos de Tronco

El Viaducto Sur principal enlaza la autovía de La Plata con la traza del Paseo del Bajo en Huergo, y está compuesto por 8 tableros de calzada única de 8.5 m de anchura y 6 tableros de calzada doble de 16.4 m de anchura.

Todos los vanos están constituidos por tableros isostáticos de unos 30 m de luz con vigas pretensas en doble T de 1.40 m de canto que apoyan a media madera sobre dinteles. Estos dinteles son monofuste $\varnothing 1.60$ m en el caso de los tableros de 8.5 m de anchura y de doble fuste $\varnothing 1.30$ m, en ellos de 16.4 m. Los dinteles monofuste se cimentan sobre encepados de dos pilotes $\varnothing 1.40$ m y 30 m de longitud en arenas, mientras que los de doble fuste lo hacen sobre pilote único de $\varnothing 1.40$ m e igualmente con una longitud de 30 m. La transición entre pilotes y fustes se realiza siempre a través de encepados, incluso en las pilas-pilote, lo que permite unas mayores tolerancias constructivas, del todo necesarias en obras urbanas.

A diferencia del viaducto principal sur, que da servicio a un único carril por sentido de circulación, en el Viaducto Norte, se proporciona plataforma para dos carriles por sentido a través de un tablero de 23 m de anchura. El Viaducto Norte está compuesto por 53 vanos, con luces medias de 30 m y tableros isostáticos de vigas pretesas, en doble T en su mayoría, y en artesa, en

los vanos de mayor luz, en la zona del PBN, donde alcanzan los 53 m. Los vanos del viaducto norte apoyan sobre dinteles de doble fuste de $\varnothing 1.30$ m, cimentados en monopilotes de $\varnothing 1.40$ m de 33 m de longitud. En aquellos casos en los que había una descompensación de luces entre vanos adyacentes, se dispusieron dos pilotes según el avance de progresivas (PR ó PK).

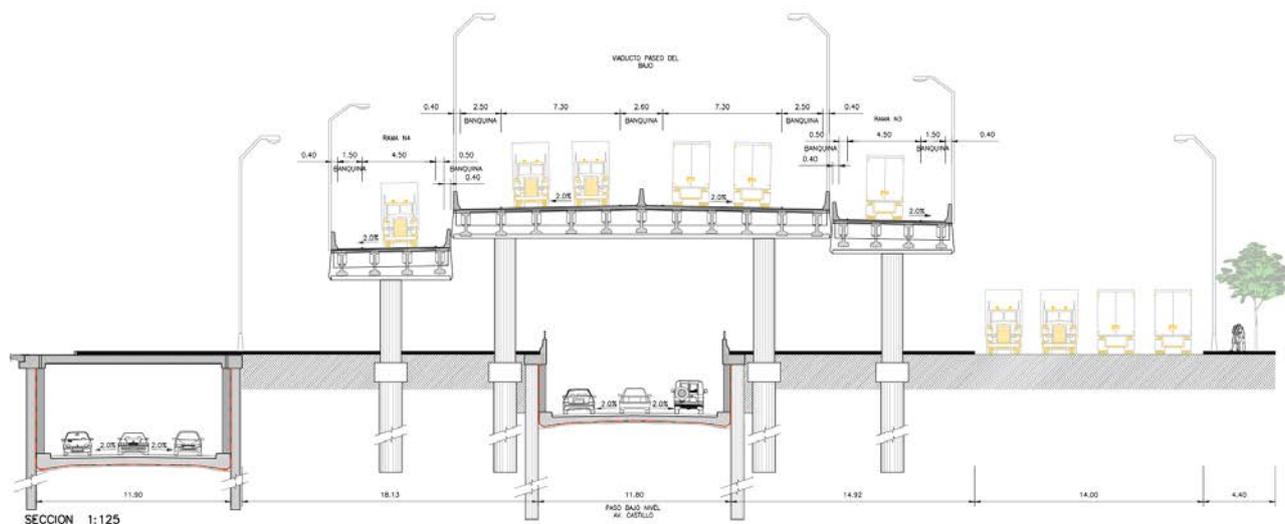


Figura 9. Sección Transversal Viaducto Norte, N3, N4 y PBN

Tanto en los viaductos del tramo sur como en los del norte, las vigas quedan arriostradas en apoyos mediante un diafragma hormigonado in situ. Los tableros, losas de hormigón armado con canto entre 18 y 20 cm, se proyectaron y construyeron en base a prelasas de 7 cm de espesor.



Figura 10. Vista del Viaducto Norte en Castillo

Para mejorar la calidad de rodadura de los vehículos y, a su vez reducir los costes de

mantenimiento, se optó por dotar de continuidad a las losas de tablero sobre dinteles, disponiendo juntas cada 120 m en el caso de tramos rectos y siempre, en tramos con planta curva. El tipo de junta empleada es la habitual en Argentina, la Thormack, que requiere cierta actuación en los tres primeros años para compensar los fenómenos de retracción, y a partir de ahí, demandan un mantenimiento menor que el de las juntas tradicionales. Estas juntas son un tipo de sellado en base de hormigón bituminoso con capacidad de movimiento de 5 cm.

3.1.2. Ramales

Además de los viaductos de tronco, en el Paseo del Bajo existen ramales, también ejecutados en viaducto para completar los movimientos de enlace con la autovía 25 de mayo en el Sur (S1 y S2); y entrada desde la avenida Castillo (N4), salida al puerto a través de la Calle 14 (N3),

acceso desde la autovía Illía (N2) y salida a dicha autovía (N1), en el Norte.

Todos estos viaductos dan servicio a un único carril de circulación, siendo el esquema estructural predominante el basado en tableros isostáticos con vigas pretensas en doble T, salvo en el cruce de la playa de peaje de la autovía Illía, donde tres vanos con tableros de vigas artesa y 36 m de luz son empleados para reducir la huella en la mencionada playa de peaje.



Figura 11. Viaducto de Ramal en construcción

En todos los casos, se emplea dintel en martillo con pila única, apoyando los tableros, al igual que en el caso de tronco, a media madera.

Finalmente, como ya se mencionó en el apartado de condicionantes, entre los ramales destaca el S1, con la demolición y pieza especial de conexión entre lo existente y lo nuevo.

3.1.3. Paso Bajo Nivel

En el apartado de estructuras, se proyectó, además de los viaductos, un paso bajo nivel (ver Figura 9), en falso túnel, de calzadas separadas. Las características geotécnicas e hidrológicas del

terreno hicieron necesario disponer una pantalla de pilotes como sostenimiento, construyendo un marco interior cuando hubiera circulación por encima del PBN y empleo de puntales en las rampas de salida, hasta que los muros fueran capaces de resistir los empujes del terreno.

La cota del nivel freático, 1.5 m por debajo de la cota del terreno natural conllevaba que la subpresión fuese considerable, por lo que se decidió vincular en cabeza la pantalla de pilotes y el hastial del marco. De este modo, haciendo trabajar por fuste a los pilotes se consiguió evitar que la losa de fondo del marco bien tuviera un espesor suficiente para que funcionara a modo de contrapeso, bien tener que disponer anclajes al terreno, con lo que de cara a durabilidad supone.

3.2 Digitalización. VicBeam

El mayor reto que hubo que afrontar fue la gestión de la producción del proyecto y la coordinación con la obra, debido al reducido plazo de construcción necesario para minimizar el impacto de las obras en el tráfico de Buenos Aires.

Además, el hecho de desarrollarse el proyecto en trama urbana consolidada hacía prever que, a pesar de contar con una buena información de los servicios urbanos existentes, éstos pudieran estar sujetos a una cierta desviación respecto a los registros o bien, aparecer servicios no catalogados. Hecho que, efectivamente, ocurrió en repetidas ocasiones durante la fase de obra, lo que obligó a numerosos cambios sobre la marcha, del Proyecto de Ejecución, y tener que actualizar geometrías, cálculos y armados.

Es por ello que se planteara dentro del equipo de proyecto, la necesidad de crear una aplicación interna que permitiera gestionar la geometría de trazado y, a partir de ella, el encaje de luces de viaductos; el espesor de la losa de tablero; la definición de dinteles, columnas y pilotes; el modelo de cálculo y la generación de planillas de armado.

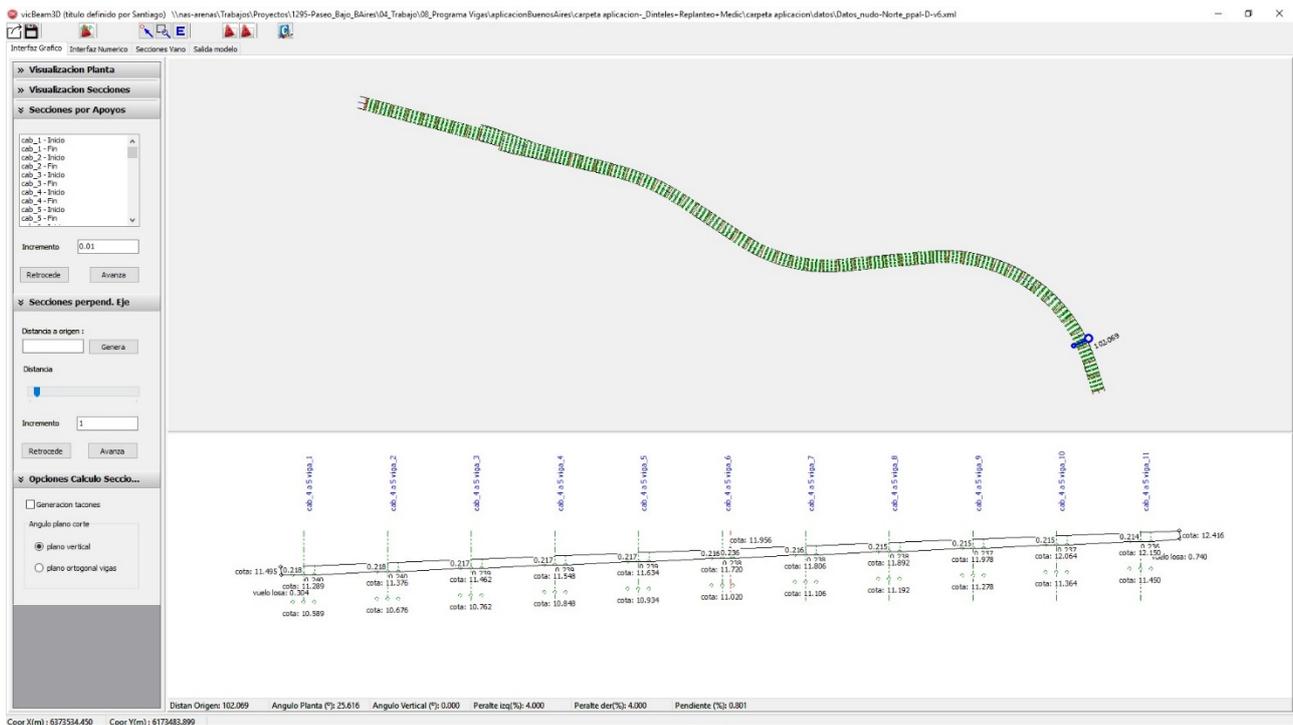


Figura 12. Viaducto Norte introducido en VicBeam. Sección de Tablero

De esta necesidad surgió el VicBeam, 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; permite 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, la aplicación proporcionaba la entrada de datos para el software de análisis estructural; un algoritmo que optimizaba 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.

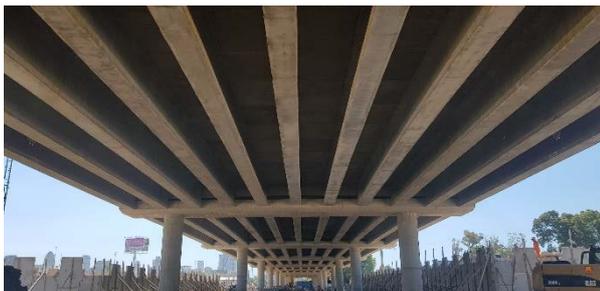


Figura 13. Viaducto Norte

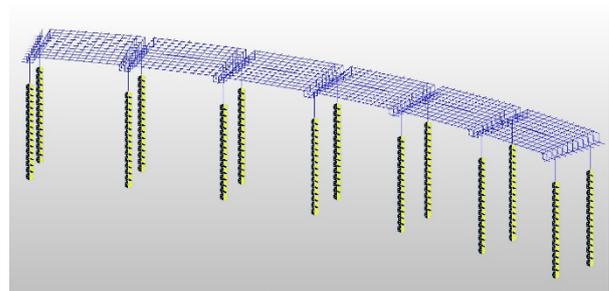


Figura 14. Modelo de cálculo

También, la aplicación interna permitió generar una impresión 3d de los viaductos, o de elementos constituyentes de los mismos, como los dinteles, concebimos como elementos prefabricados a ensamblar en obra, con un doble objetivo, adaptarse a los costes óptimos de la Contrata durante la fase de Proyecto (Isolux-Corsán), y acelerar la construcción frente a una solución tradicional de cimbra y encofrado.



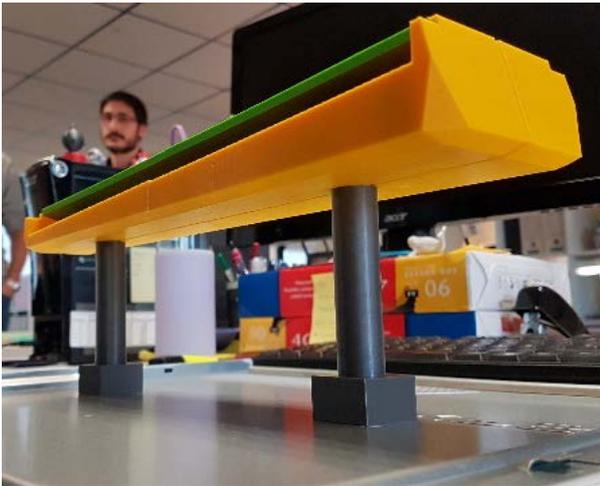


Figura 15. Modelo 3d a escala de dinteles

Las “nuevas tecnologías” en el mundo de la Construcción, no lo son tanto en otras ramas de la ingeniería, como la industrial y la aeroespacial. Sin embargo, ha llegado el momento de actualizar la forma de trabajar en la ingeniería civil y aplicar al diseño y obra la potencialidad de las herramientas existentes, integrando diseño, cálculo y obra; con lo que se optimizan los procesos y se gana en calidad, en todos los aspectos.

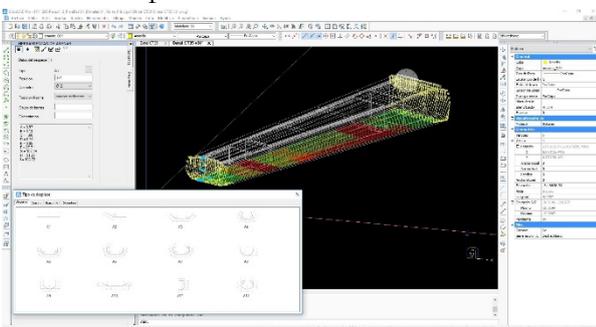


Figura 16. Dintel 3d con armadura y planillas

Y es que, por ejemplo, en el caso del Paseo del Bajo, no nos quedamos en los modelos 3d impresos a partir de la geometría real obtenida del VicBeam, sino que se construyeron, como pueden verse en la imagen siguiente, donde un dintel prefabricado es izado en torno a las columnas, solidarizado a ellas con un hormigonado en segunda fase, y en una tercera fase, obtener la losa superior del dintel. Todo un ejercicio de materialización de las ideas.



Figura 17. Dintel prefabricado izado



Figura 18. Sucesión de dinteles en construcción

Gracias a este sistema BIM interno, adaptado a las necesidades del Proyecto y de la Obra, se alcanzó el reto de proporcionar un servicio adecuado, en calidad y tiempo, que es lo que requería un desafío como el Paseo del Bajo.

4. Conclusiones

Desde Arenas & Asociados se afrontó el reto que suponía generar un Proyecto Constructivo en un plazo reducido, implementándose en el proceso herramientas propias con el fin de agilizar el diseño y análisis de las estructuras en fase de proyecto, y acelerar la construcción en fase de obra, unificando procesos tradicionalmente separados. Inaugurado el 27 de mayo de 2019, el Paseo del Bajo ha mejorado las relaciones humanas en la ciudad de Buenos Aires, fin último de toda obra pública y arquitectónica, a través de la reordenación de la trama urbana, fluidificando los tránsitos e intensificando la relación entre los barrios porteños y Puerto Madero.



Figura 19. Vista del Paseo del Bajo en servicio en la Zona Sur

Agradecimientos

Desde Arenas & Asociados, queremos dar las gracias a todos aquellos que han estado implicados tanto en la fase de proyecto, como de obra.

La colaboración que, desde todo el equipo de AUSA hemos recibido durante la redacción del Proyecto y durante la Construcción de las obras, citando a su Gerente Técnico:

- Orlando Ruarte, Arquitecto. *Director de Proyecto.* AUSA
- Claudio Rimauro, Arquitecto. *Gerente Técnico.* AUSA.
crimauro@ausa.com.ar
- Yael Zaidenknop, Ingeniero Civil Estructuralista. *Jefe de Proyectos de Estructuras.* AUSA
yzaidenknop@ausa.com.ar

Al Equipo de Isolux-Corsán, en su Dirección Técnica y de Obra, implicado en Proyecto hasta noviembre de 2017.

La estrecha relación con los técnicos de la UTE Coarco-JCR durante la construcción del grueso de las obras, desde enero de 2018, hasta mayo de 2019:

- Carlos Rossi, Ingeniero Civil. *COARCO*
crossi@coarco.com.ar
- Juan Carlos Rivera, Ingeniero Civil. *COARCO*
jrivera@coarco.com.ar

Finalmente, 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

Referencias

- [1] AUSA. Autopistas Urbanas Sociedad Anónima. Piedras 1260, CABA
- [2] CABA. Ciudad Autónoma de Buenos Aires