







Viaducto de ferrocarril de San Martin en Buenos Aires

San Martin's Railway Viaduct in Buenos Aires

Elena Coloma Eusebio^a, Angel J. Leon Alonso^a, Miguel Peláez Ruiz^b

^a Civil Engineer. Tierra Armada SA. Spain ^b Civil Engineer. Technical Manager. Tierra Armada SA. Spain

RESUMEN

Con un trayecto de 5 km entre los barrios de Palermo y Paternal en Buenos Aires, se ha construido un viaducto ferroviario elevado sobre las vías existentes con 166 vanos de luces entre 20 y 42 m. La sección transversal consta de 3 o 4 tableros compuestos por una viga artesa y una losa de 4m de ancho cada uno formando un cajón. Los cajones hasta 27m con canto máximo 1.80m (artesa pretesada más losa) se prefabrican en una instalación provisional. Las artesas de luces entre 29 y 42m son postesadas de canto 2.60m y 2.90m. Los cajones se transportan por encima de los tableros ya montados y se montan en su vano utilizando una viga lanzadora.

ABSTRACT

The 5Km long railway viaduct of San Martin joins Palermo and Paternal neighborhoods in Buenos Aires. It has been constructed over the actual railway line having 166 spans with length from 20 to 42m. Cross section is composed by 3 or 4 decks depending on the number of tracks. Every deck is formed by a box girder and a 4m wide slab. Box girders to 27m are 1.80m high including slab and have been precast and pre-tensioned in a temporary facility beside the tracks. Box girders from 29 to 42m are 2.60 or 2.90m high and have been post-tensioned. Complete precast decks are transported on top of the already placed decks and placed on site by mean of a beam launcher.

PALABRAS CLAVE: Viga artesa, lanzamiento, ferrocarril, prefabricación, pretesado, postesado, instalación. KEYWORDS: Box girder, launching, railway, precast, pre-tension, post-tension, facility

1. Introducción

La línea San Martín es una de las 7 líneas suburbanas de los Ferrocarriles metropolitanos de Buenos Aires. Es un tren de cercanías que presta servicios de pasajeros entre las estaciones de Retiro, en el centro de Buenos Aires, y la estación Dr. Cabred en la localidad de Open Door, partido de Luján.

Las primeras estaciones de la línea son: Retiro, Palermo, Chacarita/Villa Crespo y La Paternal todas ellas situadas en el área metropolitana de Buenos Aires.

El trazado existente de las vías a nivel de calle hacía que existieran un gran número de pasos a nivel en las arterias y calles principales, así como que otras calles secundarias quedaran cortadas por la línea.



Figura 1. Pasos a nivel que se eliminan (en color morado) y pasos que se abren (color azul).- Fuente AUSA

Por este motivo se proyecta elevar las vías del ferrocarril entre las estaciones de Palermo y La Paternal, un total de 5Km de viaducto con el que se eliminan 11 pasos a nivel y se abren 9 nuevos cruces. La obra, de gran importancia para la ciudad, ha sido seguida muy de cerca por la prensa y los bonaerenses.



Figura 2. Calle Aguirre antes y después de la ejecución del viaducto

En el grafico de la figura 1 pueden verse los 5km proyectados y los distintos cruces a nivel que se eliminan, así como los nuevos pasos que se abren; En la fotografía de la figura 2 se aprecia un montaje con el antes y el después de la calle Aguirre.

La dirección de la obra corrió a cargo de la empresa pública AUSA (Autopistas Urbanas) y el proyecto y ejecución de la obra fue realizado por las constructoras Green y Rottio las que, a su vez, encargaron a Freyssinet- Tierra Armada el proyecto y ejecución de los tableros.

2. La Infraestructura. Condicionantes en el proyecto de los tableros.

La línea de San Martín consta de 3 vías a las que se añade una cuarta vía entre las estaciones de Chacharita y La Paternal. El viaducto se proyecta con cajones independientes adosados lateralmente unos a otros colocados bajo cada vía. Cada cajón se compone de una viga artesa y la losa que lo cierra.



Figura 3. Pilas tipo pórtico

Dada la importancia de la linea San Martín, se proyecta la infraestructura de tal modo que se mantenga el paso de los trenes durante la construcción del viaducto a pesar de que, una vez terminado este, las vías bajo el viaducto se eliminarían para dar paso a una zona ajardinada. Esto condicionó el diseño de los tableros por dos motivos principales: El gálibo requerido para el paso del tren y la forma de montaje de los prefabricados.

2.1 El Condicionante de gálibo

Las pilas diseñadas para permitir el tráfico por las vías existentes son pilas tipo pórtico cuyos fustes se sitúan en el exterior de dichas vías con galibo horizontal suficiente para el paso del tren (figura 3).

Constan de dos fustes circulares de diámetro 1.20m, cimentados sobre pilotes, y un dintel rectangular de dimensiones variables en función de su longitud, el número de vigas que recibe y la longitud de los vanos adyacentes (figura 4)

Los dinteles estándar son de 1.60m por 1.60m para el caso de tres vías y de 1.60m de canto por 1.80m de anchura para los casos en que se añade la cuarta vía. Además de esta variación de longitud del propio dintel, las diferentes cargas que recibe debido a la variación de luces de los vanos adyacentes, así como otros casos especiales de geometría, obligan a proyectar diferentes tipos de dinteles con

dimensiones variables en canto y ancho con un máximo de 2.10x2.20 (canto x ancho).

Por otro lado, el trazado de la rasante de las vías está fijado para no alcanzar altura ni pendientes excesivas. Esta combinación de galibo vertical provisional y rasante final provoca que haya limitaciones de canto en la zona de apoyo de los cajones sobre los dinteles, no siendo posible, en la mayoría de los casos, apoyar las vigas con su canto completo. Se toma así la decisión de reducir el canto de las vigas en la zona de apoyo terminando todas las vigas en apoyos a media madera.

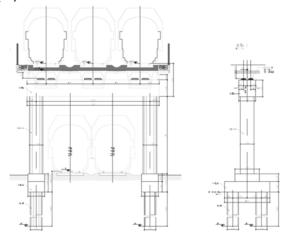


Figura 4. Sección de pila pórtico para tres tableros

De estos apoyos, que tuvieron que ser de diferentes medidas en canto y longitud para adaptarse a los gálibos y anchos de dintel, hablaremos en un apartado posterior.

2.2 El Condicionante de montaje

El segundo elemento que condicionó el cálculo de las vigas fue la forma de montar y transportar los cajones ya completos.

Debido a las limitaciones de espacio para montar los cajones manteniendo tanto el tráfico ferroviario como el tránsito de vehículos en los cruces, los cajones debían montarse desde el propio tablero mediante una viga lanzadora. Del mismo modo, la gran longitud de la obra, así como la dificultad de circular por las calles de la ciudad, aconsejaron transportar los cajones con un carro de transporte que se movía sobre los

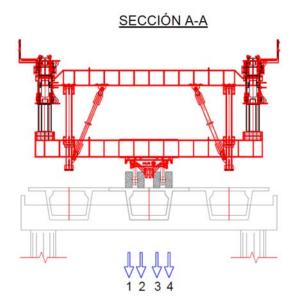


Figura 5. Carro de transporte sobre las vigas. Cargas debidas al trasporte de la viga lanzadora

cajones centrales del propio viaducto a medida que se construía (figura 6). Igualmente, para desplazar la viga lanzadora a los vanos siguientes, esta se transportaba con el mismo carro (figura 5).

Finalmente, este modo de transportar y montar condicionó el cálculo y la logística de la obra por diversos motivos:

 Los cajones debían comprobarse tanto para las cargas producidas por el movimiento de la viga lanzadora, como para las producidas por el carro cargado con los cajones. Estas cargas suponían casi el 80% de la máxima carga de cálculo de las vigas y eran dimensionantes para el armado de la losa.

- La fábrica o instalación para la fabricación de las vigas debía situarse al lado de las vías para permitir elevar los cajones sobre el viaducto sin necesidad de transportes intermedios.
- Los cajones debían transportarse enteros en su conjunto viga artesa más losa al no poder situar grúas para montar losas de encofrado en la mayoría de los vanos. Esto obligaba, bien a fabricar en una sola fase pretensando el conjunto, bien a prefabricar las vigas pretensadas por un lado y hormigonar la losa posteriormente en la misma fabrica. Finalmente se adoptó esta última solución, más eficaz desde el punto de vista técnico, aunque de mayor complejidad logística.

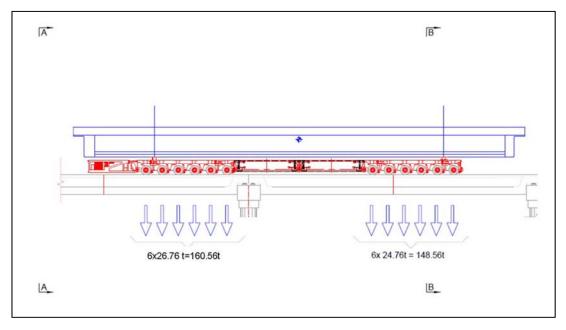


Figura 6. Carro de transporte sobre las vigas. Cargas debidas al trasporte de los cajones.

 Por último, la logística de fabricación se vio afectada por la necesidad de fabricar en el mismo orden de montaje con el inconveniente que esto suponía dada la gran variedad de tipos de vigas y de losas y, por tanto, de cajones. Asimismo, en las estaciones de La Chacarita y la Paternal, el trazado de cada via se separa para volverse a juntar al otro lado de la estacion. En la figura 7 puede verse uno de los planos de replanteo de las vigas a la entrada de una de las estaciones.

3. Los tableros

El trazado en planta, que sigue el trazado de la línea existente, viene condicionado por los cruces con las distintas calles. De ahí que, aunque se procura simplificar los vanos a una luz típica de 25m esto no sea posible siempre y se dispongan vanos de diferentes longitudes.

3.1 Longitudes de vanos

Tal como se ha dicho, además del vano típico de 25m, las longitudes de vanos están condicionadas por el trazado en curva y los cruces de pequeñas calles, lo que hizo que fuera necesario establecer luces de vanos entre 15.00m y 27.00m.

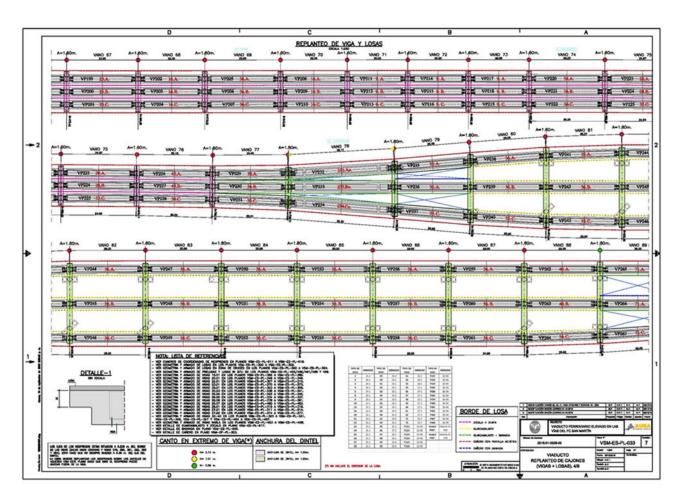


Figura 7. Uno de los planos de replanteo de vigas en planta

Para estas luces se diseña una solución con vigas pretensadas de canto 1.50m hasta luces de 25.50m y 1.60m para luces entre 25.50m y 27.00m.

Por otro lado, a la hora de cruzar las avenidas o en caso de cruces esviados se necesitan vanos de longitudes entre 29.00m y 40.00m que se resolverán con vigas postesadas de canto 2.60m.

Además de estos vanos, a lo largo de la construcción se modificó el diseño de uno de los cruces siendo necesario fabricar vigas de 42m de longitud que se fabricaron con un canto de 2.90m.

3.2 Sección transversal

El viaducto tiene zonas de 3 y 4 vías. En ambas zonas se plantean tableros cajón (viga artesa + losa) bajo cada vía. Los tableros de las vías exteriores al puente llevan incorporada la acera con su barandilla y barrera correspondiente. Así pues, existen, en general, dos tipos de cajones:

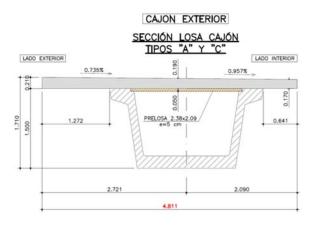


Figura 8. Sección transversal de cajón exterior

- Cajones exteriores (figura 8) que se componen de una viga artesa centrada con la vía y una losa superior excéntrica de 4.81m con canto variable de 17cm a 21cm y peralte hacia un lado del 0.735% y 0.957% como puede verse en la figura 8.

Los espesores de losa se aumentaron a 20/24cm en los vanos de mayor luz.

En estos cajones exteriores se distinguen dos tipos, el "A" y el "C" según se sitúen a izquierda o a derecha del trazado. Hay que tener en cuenta que por el espacio disponible para la fabricación de los cajones completos y, especialmente, el sistema de montaje, no era posible dar la vuelta a los cajones antes de montar, lo que hacía necesario distinguir entre ambos tipos. En la sección transversal tipo existen 2 cajones exteriores va se trate de tres vias o de cuatro. En algunas zonas especiales, por ejemplo, donde no se fueran a construir todas las vias en la misma fase, podían existir mas de dos cajones exteriores.

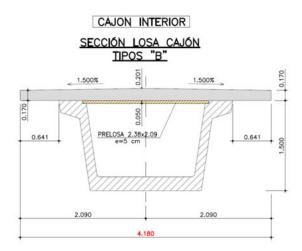


Figura 9. Sección transversal de cajón interior

- Cajones interiores. Estos cajones, cuya sección puede verse en la figura 9, se componen de una artesa con una losa superior de ancho 4.18m y canto variable entre 17 y 20cm con un bombeo del 1.50%. En los vanos de más de 30m el canto de la losa varía de 20 a 23cm. La sección transversal tipo tiene 1 cajón interior en el caso de tres vías y dos cajones interiores en el caso de 4 vías.

4. Tipos de vigas

Como ya se ha ido comentando anteriormente, se fabricaron vigas artesas con 4 cantos diferentes: 1.50m, 1.60m, 2.60m y 2.90m. Los dos primeros cantos, los mas repetidos en el puente, se decidió hacerlos con vigas pretesadas preparando dos bancadas de pretensado cerca de las vías existentes. Los cantos de 2.60m y 2.90m, suponian importantes modificaciones en moldes y bancadas, por lo que se decidió fabricarlas postesadas, fuera de las instalaciones de pretesado, aunque cerca del lugar de izado de las vigas al puente.

4.1 Vigas pretesadas

Se trata de las vigas de cantos 1.50 con longitudes de viga entre 15.00m y 25.50m (figura 10), así como de las artesas de canto 1.60m y longitudes entre 25.50m y 27.00m.



Figura 10. Viga artesa de canto 1.50m y longitud 25.00m una vez sacada del molde y antes de incorporarle la losa en fábrica.

Las vigas tienen una anchura inferior de 1.85m y una anchura de 2.90m o 2.93m entre alas superiores, según el canto.

El pretensado de las vigas varía en función de la longitud, siendo el máximo pretensado 86 torones de 15.7mm de diámetro en el ala inferior de la viga y 4 torones en cada ala superior. Las vigas se macizan en ambos extremos y se terminan en media madera.

A estas vigas se les añade la losa en la misma fábrica para formar el cajón correspondiente antes de proceder a su transporte y montaje

4.2 Vigas postesadas

Se fabricaron 19 vigas postesadas, 16 de ellas con canto 2.60m y longitudes variables entre 29.14m y 39.45m. Las otras tres, que se utilizaron para suprimir el esviaje en el cruce con la avenida Córdoba, tenían una longitud de 42.69m y se fabricaron recreciendo el canto de la viga de 2.60m hasta 2.90m.

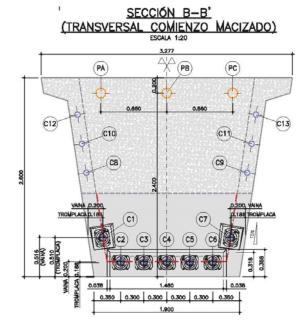


Figura 11. Sección transversal de una viga postesada.

El postesado estaba compuesto por 13 cables de 12 torones de 15.7mm de diámetro, tal como puede verse en la figura 11, todos ellos con trazado parabólico.

Las vigas de canto 2.60m alcanzaban un peso de 206 toneladas sin incluir la losa, y de 297 toneladas incluyéndola. El peso de las vigas de canto 2.90m era de 263 toneladas sin losa y 361 toneladas con ella.

Dada las dificultades que suponía transportar y montar el conjunto viga-losa con dichos pesos, estas artesas se montaron sin losa. Para encofrar y hormigonar la losa ya en el sitio, se colocaron prelosas de celosía sobre las artesas.

5. El apoyo de las vigas

Todas las vigas pre o postesadas apoyaban sobre dos apoyos de neopreno en cada extremo y se terminaron con un apoyo a media madera sobre el dintel para disminuir la altura de la rasante sin impedir el paso provisional de los trenes por la vía existente (figura 12).



Figura 12. Vista de los apoyos a media madera sobre los dinteles y las vías existentes.

Para las vigas menores de 27m, la media madera estándar estaba prevista con un canto de 73cm sin losa (unos 90cm con losa) y una longitud de 97cm. Para las vigas postesadas, la media madera estándar tendría canto de 1.51m y una longitud de 1.07m.

Sin embargo, debido a la variación en los anchos de dintel, así como a la escasez de gálibo se diseñaron medias maderas de cantos 58cm y 43cm y longitudes de 1.29m. En el caso de las vigas postesadas las longitudes especiales fueron de 1.17m y 1.32m y los cantos de 1.36m y 1.26m.

Estos diferentes tipos de media madera que podían situarse en ambos lados o solo en uno de ellos unida a la gran variación de longitudes de las vigas hizo que se fabricaran 72 tipos diferentes de vigas pretensadas y 17tipos de vigas postesadas. En el caso de las vigas pretensadas, al hormigonar la losa dentro de la instalación, los tipos de cajones terminados se multiplicaron por tres, con la consecuente dificultad logística en los acopios.

Las medias maderas estándar de las vigas pretesadas eran armadas. Las de menos canto se completaron con barras postesadas para cumplir tanto las exigencias de rotura como de fisuración.



Figura 13. Detalle de un extremo de la viga artesa con apoyo a media madera de canto 43cm.

6. Las instalaciones de fabricación

La construcción de las instalaciones de fabricación se realizó en dos meses. Se situaron en uno de los extremos de la obra, junto a la antigua estación de La Paternal, cuya nueva planta debió esperar a la finalización de la producción de artesas para ser terminada ya que dos de las cuatro vías ocuparían el terreno utilizado para la fabricación.

Las instalaciones estaban compuestas por una zona de 300m de longitud por 16m de ancho en la que se instalaron dos pórticos-grúa de 70t (figura 14).



Figura 14. Vista de la instalación de pretensado en el momento del traslado de la ferralla al molde.

Bajo pórticos se instalaron dos bancadas para pretensado con moldes para dos vigas artesa cada una, una zona para hormigonar las losas sobre la artesa terminada y una zona para fabricación de prelosas, aparte de las zonas de elaboración y montaje de ferralla y la zona de acopio de vigas artesa y cajones terminados.



Figura 15. Vista de los operarios trabajando en la ferralla en el interior de una viga postesada.

Fuera del alcance de los pórticos se preparó un área de 50 x 5m para la elaboración de las vigas postesadas (fig 15). Estas vigas se desplazaban con gatos para dejarlas al alcance del pórtico de elevación de vigas al viaducto.

7. El montaje de los cajones

La colocación de los cajones sobre el viaducto, el traslado a lo largo de este hasta el lugar de montaje y su colocación sobre los dinteles corrió a cargo de la empresa ALE, por lo que aquí solo se hace una descripción general de estas operaciones.

La colocación de los cajones en el viaducto se hacía al lado de la zona de acopio de vigas mediante el pórtico de la figura 16.



Figura 16. Colocación de un cajón sobre el viaducto.

El traslado sobre una línea de cajones ya colocados se hacía mediante un carro de transporte y la colocación la realizaba la lanzadera. Carro y lanzadera aparecen en la figura 17



Figura 17. Traslado y lanzamiento de un cajón

Las vigas postesadas se trasladaban también a través del viaducto, pero se montaban con grúas.

8. El viaducto terminado

Una vez terminadas de colocar las vigas se procedió a colocar el balasto, las vías, aceras y barandillas en dos vías completas, lo que permitió que el presidente de Argentina, junto a otras autoridades, inaugurase el viaducto en julio de 2019.

En la figura 18 puede verse el viaducto el día de la inauguración.



Figura 18. Vista general del viaducto después de su inauguración