

AMPLIACIÓN DEL PUENTE FERROVIARIO PACÍFICO

Martín Eduardo Polimeni
Ingeniero Civil.

Ciudad de Buenos Aires - Argentina.

Docente del Departamento de Construcciones y Estructuras de la FIUBA.
Miembro de la Comisión Permanente de Estructuras de Acero del CIRSOC.

Resumen del Trabajo

En el marco del Plan de Movilidad Sustentable que lleva a cabo del GCBA, se diseñó y ejecutó una obra con el fin de ampliar la cantidad de carriles de circulación, en ambos sentidos, de la Av. Santa Fe, en coincidencia con el puente Pacífico y, así, agilizar el tránsito de dicha conflictiva zona.

La intervención principal consistió en la ejecución de dos nuevos tramos de puente ferroviario metálico, de similares características geométricas y estéticas a los tramos laterales existentes.

Como desafíos técnicos se puede indicar que la construcción de los tramos de puente, se ejecutó mediante uniones soldadas (el reglamento argentino de puentes ferroviarios metálicos no contempla este tipo de uniones), lo que originó la necesidad de realizar un cuidadoso diseño de detalles constructivos debido a la altísima sollicitación cíclica a la que este tipo de estructuras se encuentra sometida a lo largo de su vida útil (tanto en cantidad de ciclos como en la relación cargas vivas/cargas muertas). Adicionalmente, se procedió a reutilizar el estribo existente (con la necesidad de recortar su sección) agregándole el apoyo de uno de los nuevos tramos. Lo anterior requirió un análisis profundo de su capacidad portante y la del suelo de fundación.

Abstract

Under the Sustainable Mobility Plan that it's carried out by the GCBA, it was designed and implemented a work to expand the number of traffic lanes in both senses, in Santa Fe Avenue, in coincidence with the bridge Pacífico, for, in this way, improve the vehicular traffic of that conflict zone.

The main intervention consisted in the construction of two new metallic railway bridge sections of similar geometric and aesthetic features to the existing side spans.

As technical challenges can be indicated the construction of the metallic bridge sections, implemented through welded joints (the Argentine regulation of railway metallic bridges does not contemplate this type of unions), giving rise to the need for a careful design of constructive details due to the very high cyclic sollicitation which this type of structure is subject throughout their useful life (both, in number of cycles and the relationship live loads/dead loads). Additionally, it was proceeded to reuse the existing abutment (with the need to cut its section) by adding the support of one of the new sections. This required a deep analysis of its bearing capacity and of the soil foundation.

- **Objetivo de la Obra.**

El objetivo de la ampliación del puente ferroviario Pacífico es permitir el ensanche de la Av. Santa Fe en coincidencia con el puente, con el fin de incrementar la cantidad de carriles de circulación vehicular en ambos sentidos. Se transformó, dicho cruce, de un 3+3 (3 carriles por cada sentido de circulación) a un 5+5.

- **Descripción de la conformación del puente, previo a la intervención.**

El puente ferroviario Pacífico, previo a la intervención, era un puente de tres tramos simplemente apoyados, con luces aproximadas de 8.65 m, sus tramos laterales (Este y Oeste) y 19.50 m, su tramo central.

El puente, estructuralmente, estaba compuesto por:

- o **Dos tramos laterales.**

Formados, cada uno, por tres vigas longitudinales de alma llena, altura constante de 1355 mm y una luz aprox. de 8.65 m, las cuales apoyaban (y apoyan) en un estribo extremo y en un sistema compuesto por tres columnas y sus respectivas fundaciones.

- o **Un tramo central.**

Formado por dos vigas longitudinales laterales de alma calada, de altura variable, tipo “parabólica”, con valor máximo, en su centro, de aprox. 2500 mm y una luz de 19.50 m, y un viga central de alma llena. Este tramo apoya en los respectivos sistemas de tres columnas indicados anteriormente.

En ambos casos, el tablero está compuesto por una placa cuyo perfil es de tipo “zores”, o sea, una sección continua trapezoidal transversal de 300 mm de altura, donde se apoya el sistema ferroviario, compuesto por el balasto, durmientes y rieles. La distancia entre valles de los citados trapecios es de 750 mm. La distancia transversal entre ejes de vigas longitudinales es de 4.65 m. El gálibo vertical del puente es de 5.87 m respecto al nivel de calzada siendo, 6.54 m, el nivel superior de los rieles de las vías respecto a la misma referencia.



Figura 1 – Configuración del puente previa a la intervención. Vista al Norte

En orden a generar los carriles vehiculares adicionales, se actuó sobre la estructura del apoyo lateral del tramo Este, mediante su reutilización con parcial modificación en su funcionalidad.

Este apoyo estaba compuesto por un estribo de mampostería que posee la doble función, típica en este tipo de estructuras, de ser muro de sostenimiento de tierra, a la vez de apoyo de uno de los extremos del tramo lateral.

Las características generales de esta estructura son:

- Ancho aproximado superior: 11.0 m
- Espesor variable. Coronamiento: 1.65 m - Base: 3.0 m.
- Altura por sobre el nivel de terreno: aprox. 6.0 m.

- **Descripción vial de la solución.**

Previo a la intervención, en la sección de estudio, la avenida Santa Fe contaba con una configuración de tres carriles de circulación por sentido (3+3). Dicha distribución estaba repartida en un carril por sentido, en coincidencia con los vanos laterales, y dos carriles por sentido (2+2) debajo del vano central del puente, los que se encontraban divididos por una isleta central. Esta configuración se puede apreciar en las Figuras 1 y 2.



Figura 2 – Imágenes dónde se pueden apreciar los carriles en la zona previo a la intervención. Vistas hacia las avenidas Juan B. Justo / Bullrich.

Con la intervención, se logró una configuración de cinco carriles por sentido de circulación (5+5). Para lograr la configuración deseada (5+5), se amplió el puente Pacífico hacia el Este, agregando dos nuevos vanos laterales, como se puede observar en la Figura 3.





Figura 3 – Configuración del puente post intervención. Vistas al Norte (sup.) y al Sur (inf.)

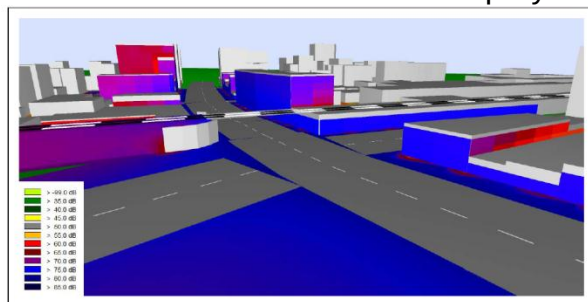
Los dos nuevos vanos laterales que se anexaron (reemplazando parte del terraplén ferroviario existente) poseen, por cuestiones estéticas, la misma tipología estructural de vigas a los existentes.

Por otro lado, también, se procedió a ampliar la vereda Oeste de la avenida Santa Fe en la zona que se encuentran emplazadas las salidas de la estación Pacífico del ex FFCC San Martín y de la estación Palermo de la Línea D de subterráneos, por lo que el carril del vano lateral hacia el Sur se convirtió en vereda para descongestionar la gran cantidad de peatones que circulan por dicho sector. Al eliminarse dicho carril del vano lateral hacia el Sur y ampliarse el puente hacia el lado Este, debió removerse la isleta central que, previo a la intervención, dividía los sentidos de circulación de la avenida Santa Fe, ya que dicha isleta dejó de ser el eje de la avenida en dicho sector.

- **Microsimulación del tránsito y obtención de los mapas de ruido, pre y post intervención.**

Se realizaron simulaciones pre y post proyecto del nivel de ruidos (Figura 4), obteniéndose los mapas de ruido en ambas situaciones, dando como resultado que la cantidad de decibeles post proyecto no se incrementaba respecto de los valores previos a la intervención

A su vez, se realizaron censos viales, previos a la intervención, en una amplia zona de influencia, tanto en horas pico matutinas como vespertinas, con el fin de recolectar datos del tránsito y, de esta forma, poder simular las situaciones pre y post operacionales (Figura 5) y, así, poder estimar los beneficios a obtener con la intervención, desde el punto de vista de la agilización del tránsito, emisiones de gases, etc. Los resultados de la modelización confirmaron los beneficios del proyecto.



Vista aérea hacia el centro en 3D de los niveles sonoros L_e distribuidos en las diferentes superficies, en estado pre-operacional, según la escala de colores adjunta.

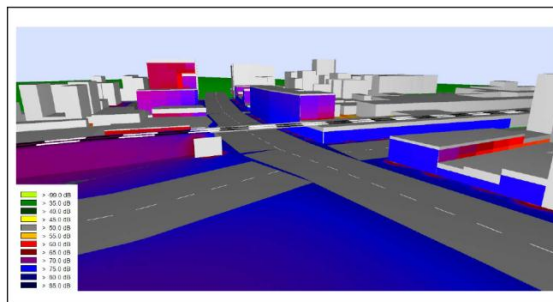
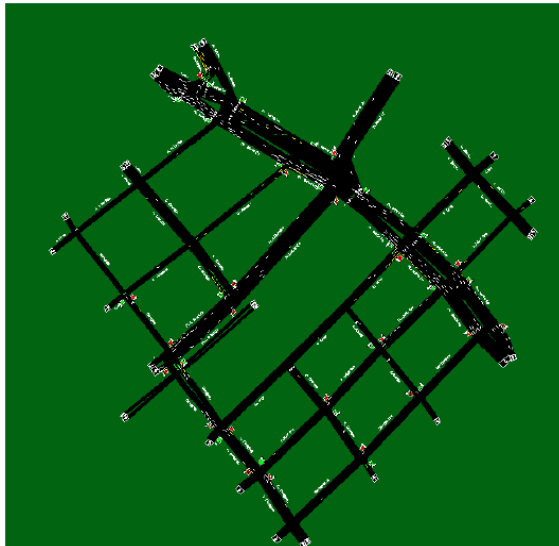
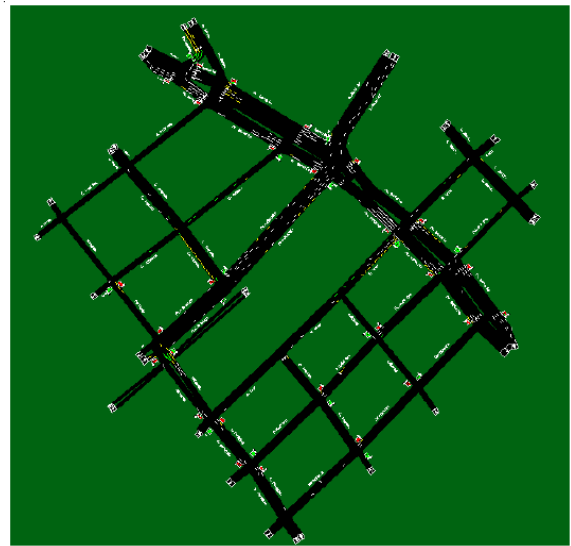


Figura AA. Vista aérea hacia el centro en 3D de los niveles sonoros L_e distribuidos en las diferentes superficies, en estado operacional, según la escala de colores adjunta.

Figura 4 – Obtención de los mapas de ruido pre y post intervención.



Simulación del pico matutino escenario – Situación actual



Simulación del pico matutino escenario – Situación proyectada

Figura 5 – Simulación del tránsito en la zona de influencia pre y post intervención.

Ambos análisis son parte del Estudio de Impacto Ambiental (ETIA), requerido en toda obra de impacto ambiental de relevante efecto a ejecutar en la CABA, según los requerimientos de la Ley 123.

- **Descripción del diseño estructural de la intervención y metodología constructiva.**

- o **Descripción estructural.**

Los criterios de diseño estructural general de la modificación del puente fueron:

- Mantener el estribo existente donde apoya el tramo Este del puente, reutilizándolo como apoyo de ambos tramos (el existente y uno de los nuevos).
- Construcción de un nuevo sistema de columnas de apoyo de los nuevos tramos, de similares características al existente.
- Construcción de un nuevo estribo de hormigón armado, de apoyo del nuevo tramo y de contención del suelo del terraplén.
- Construcción, en taller, de cuatro medios tramos de 4.65 m de ancho cada uno. Dos de 10.5 m de luz y 25 t de peso propio cada uno y otros dos de 6.50 m de luz y 15 t de peso propio cada uno, con características geométricas muy similares a los tramos laterales existentes. Una de las dos vigas de cada tramo se ejecutó de sección U, de tal forma de poder adosar, alma contra alma, un “medio tramo” con el otro (ver Figura 6). La calidad de acero estructural utilizado para la construcción de los tramos de puente fue F-24.

La necesidad de realizar “medios tramos” de puente está ligada al requerimiento de las operaciones de montaje. Durante dichas operaciones, una de las dos vías debía quedar activa para no interrumpir, totalmente, el servicio ferroviario. Por lo tanto, las operaciones de montaje debían desacoplarse para cada vía.

Fue fundamental para el dimensionamiento de estos puentes ferroviarios metálicos, el correcto análisis a fatiga, fundamentalmente, los detalles constructivos. Por tal razón, el dimensionamiento general del puente, y sobre todo, el diseño y dimensionamiento de los detalles constructivos se realizó mediante la aplicación de la norma americana de infraestructura ferroviaria, AREMA.

Uno de los detalles de mayor importancia es la unión entre el perfil “zores” y las vigas principales. Debíó asegurarse:

- No unir el perfil zores al ala inferior de las vigas principales. Uniones soldadas sobre dichas alas, fundamentalmente las transversales, serían altamente perjudiciales. La unión del perfil zores con las vigas principales, se materializó, únicamente, sobre las almas de éstas.
- Limitar la posibilidad de fatiga inducida por deformación transversal (out of plane), a través de una adecuada unión soldada zores – alma.

La unión entre el perfil zores, a través de placas verticales, sobre las almas, además de limitar las tensiones sobre éstas por poseer importantes longitudes de cordones de soldadura, permitió que dichas placas arriostrarán el ala superior contra pandeo lateral en las vigas principales y, adicionalmente, restrinjan los efectos de torsión por la asimetría vertical en las vigas de sección U (o C).

La estructura del tablero se construyó con un sistema de perfil tipo “zores” (perfil continuo acanalado) de similares características al existente, a través del plegado de una chapa de 5/8” de espesor. Con dicho espesor, no fue necesario agregar platabandas superiores e inferiores sobre las crestas y los valles del perfil, reduciendo, enormemente, la mano de obra que hubiese sido necesario para el soldeo de dichas platabandas.

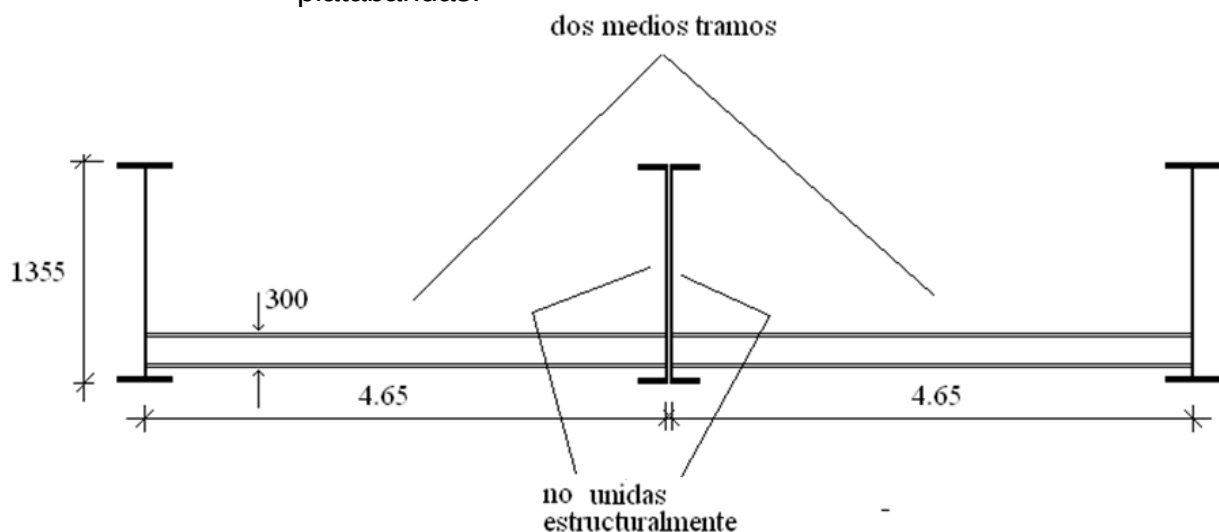


Figura 6 – Corte transversal, esquemático, de la nueva estructura del puente.

o **Metodología constructiva.**

▪ **Construcción del estribo nuevo.**

El nuevo estribo está conformado por un sistema de 7 pilotes de gran diámetro (5 delanteros y dos traseros) formando una especie de “herradura”, con el fin de generar una estructura capaz de absorber las cargas verticales gravitatorias y de servicio, provenientes del puente y las horizontales, provenientes, principalmente, del empuje del suelo y frenado, y una pantalla frontal de hormigón armado de 20 cm de espesor.

Los pilotes son de 1.10 m de diámetro, construyéndose, uno por madrugada, durante una “ventana” horaria de 4 hs.

Por fuera de la zona bajo el puente, se construyó, por cada lateral, un muro de contención tipo cantiléver de altura variable.

▪ **Construcción del nuevo sistema de columnas.**

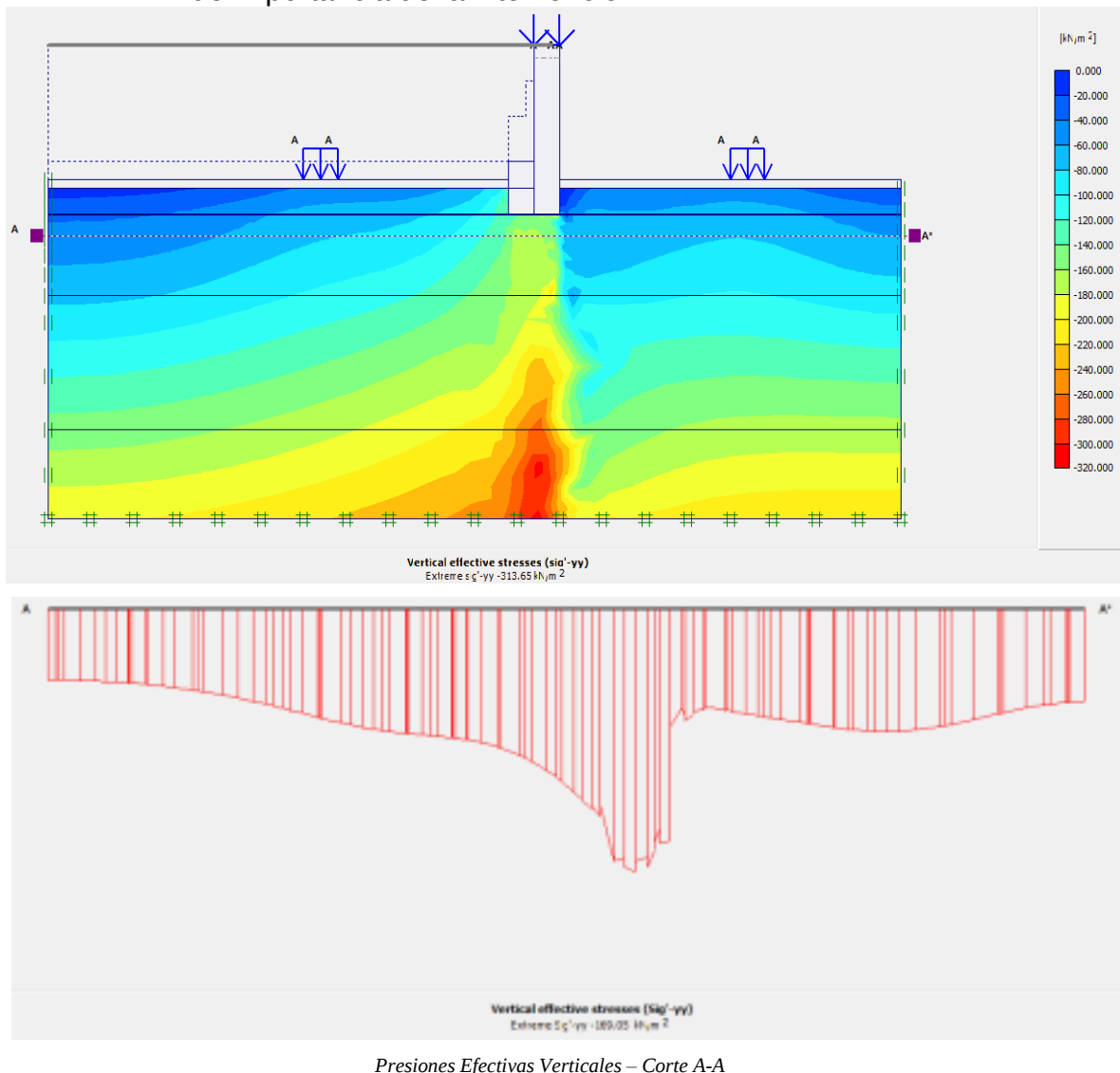
Las tres nuevas columnas de apoyo de los nuevos tramos se ejecutaron de igual forma que los pilotes que conforman el estribo nuevo. Es decir, son tres pilotes – columna de 1.10 m de diámetro que, una vez montado el puente y excavado el suelo por debajo de éste, se revistieron con una sección metálica de fundición nodular, con el fin de mantener la fisonomía del sistema de columnas existente.

▪ **Readecuación del estribo existente.**

El estribo existente es una estructura de mampostería de gran volumen, que era capaz de soportar las cargas verticales provenientes del servicio ferroviario y horizontales, provenientes de empuje del suelo que existía detrás de éste, previo a la intervención. Se decidió reutilizar su estructura para absorber los esfuerzos verticales provenientes del tramo Este existente y del primer tramo nuevo (10.50 m de luz). Al no ser necesaria su capacidad de carga como muro de contención, y con el fin de incrementar el ancho disponible para la ejecución de los nuevos carriles de circulación y la nueva vereda, se achicó, considerablemente, su sección mediante el recorte de su estructura a través de la utilización del sistema de hilo diamantado.

Debido a la importante diferencia de estados de carga actuantes sobre su estructura y suelo de fundación (pre y post intervención), se procedió al modelado mediante elementos finitos (Figura 7) de la nueva configuración estructural con el fin de confirmar la viabilidad técnica de su reutilización como estructura soporte del nuevo tramo. Este hecho fue de fundamental importancia, debido a que si hubiese sido necesario realizar una nueva estructura de apoyo, independiente del muro existente, la configuración de “simetría general” de todo el puente no se hubiese podido lograr y, posiblemente además, hubiese sido necesario achicar el ancho disponible para la ejecución de los nuevos carriles vehiculares y

vereda, lo que hubiese redundado en una pérdida de serviciabilidad de importancia de la intervención.



Presiones Efectivas Verticales – Corte A-A

Figura 7 – Modelado, mediante elementos finitos, para la verificación de la capacidad de carga del suelo de fundación y estabilidad del muro existente, post intervención.

▪ Montaje de los tramos de puente.

Una vez construidos el nuevo estribo, el nuevo sistema de columnas, acondicionado los apoyos del estribo existente y, simultáneamente, construido, en taller, los cuatro “medios tramos” de puente, se procedió al montaje de éstos (Figura 8), mediante la utilización de una grúa de mediano porte.

Previamente, se transportaron los cuatro medios tramos y se ubicaron al pie del lugar de montaje.

La operación consistió en el retiro de los rieles y balasto existentes de una de las dos vías, luego el montaje de los dos primeros tramos (uno de los de 10.5 m de luz y 25 t de peso propio y otro de los de 6.50 m de luz y 15 t), mientras que en la otra vía, el tráfico ferroviario seguía activo. Una vez terminado el montaje de un lateral, se

procedió, a realizar la prueba de carga estática (locomotora ubicada sobre el puente) y dinámica (locomotora pasando por el puente a 20/40/60 km/h)), midiendo y registrando, en cada caso, las flechas obtenidas. Una vez realizadas las pruebas de carga correspondientes, según el reglamento argentino de puentes ferroviarios, se restableció el tráfico ferroviario sobre dicha vía, comenzándose los mismos trabajos sobre la otra.

La operación de montaje duró aprox. 15 horas, tiempo convenido con el gerenciador del ferrocarril.

Una vez restablecido el servicio ferroviario, se comenzaron con las tareas de remoción del suelo existente bajo el puente (Figura 9), la obra vial necesaria para generar los nuevos carriles de circulación y demás obras complementarias (desagües, iluminación, veredas, etc.).



Figura 8 – Trabajos de montaje de los tramos de puente.

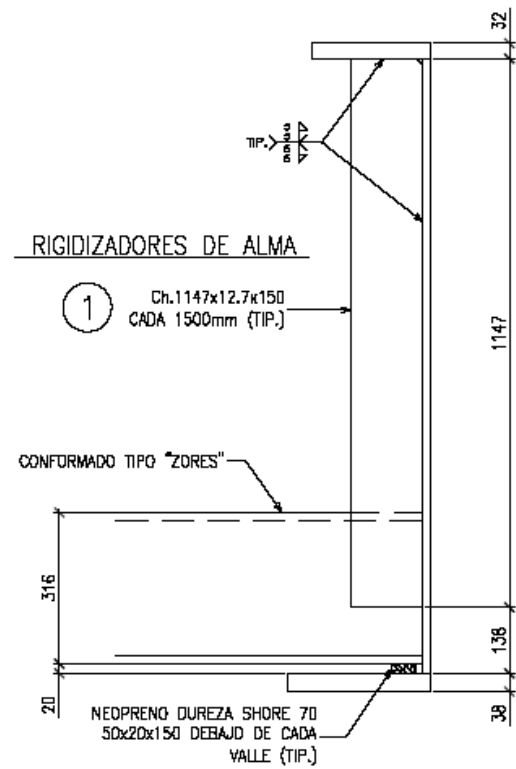
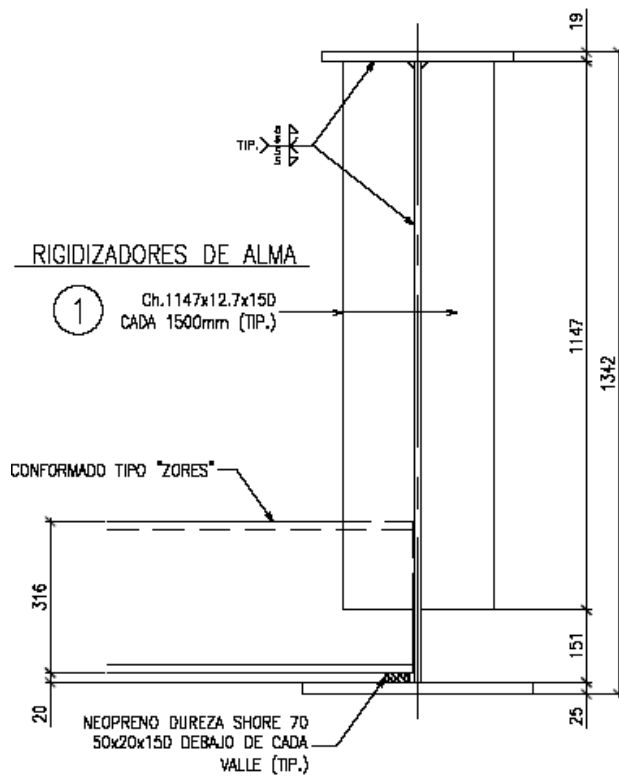


Figura 9 – Trabajos de excavación luego del montaje del puente.

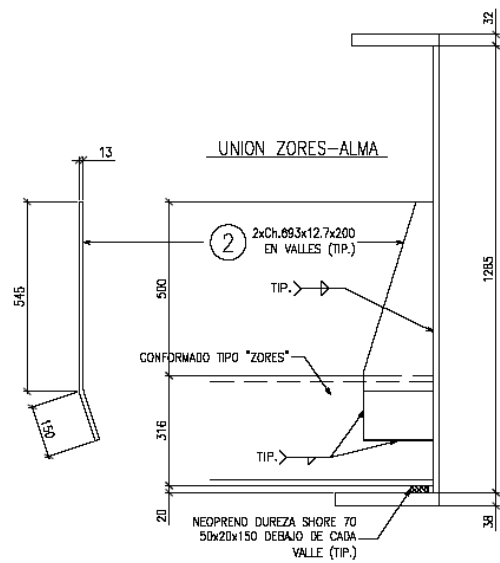
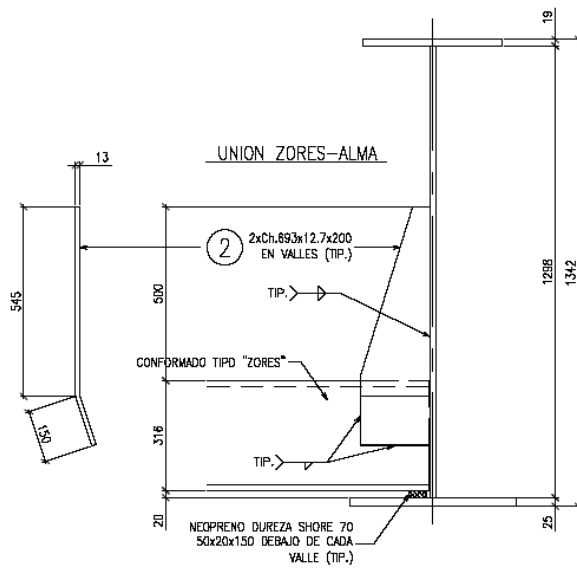
- **Detalles constructivos principales del puente ferroviario.**

En la Figura 10 se muestran las secciones de las vigas principales del puente y los detalles constructivos de unión entre el perfil zores y las almas de las vigas. Puede observarse que el perfil zores no está unido a las alas inferiores de las vigas, apoyándose, mediante tacos de neopreno, sobre éstas y unido, mediante soldadura, a las almas.

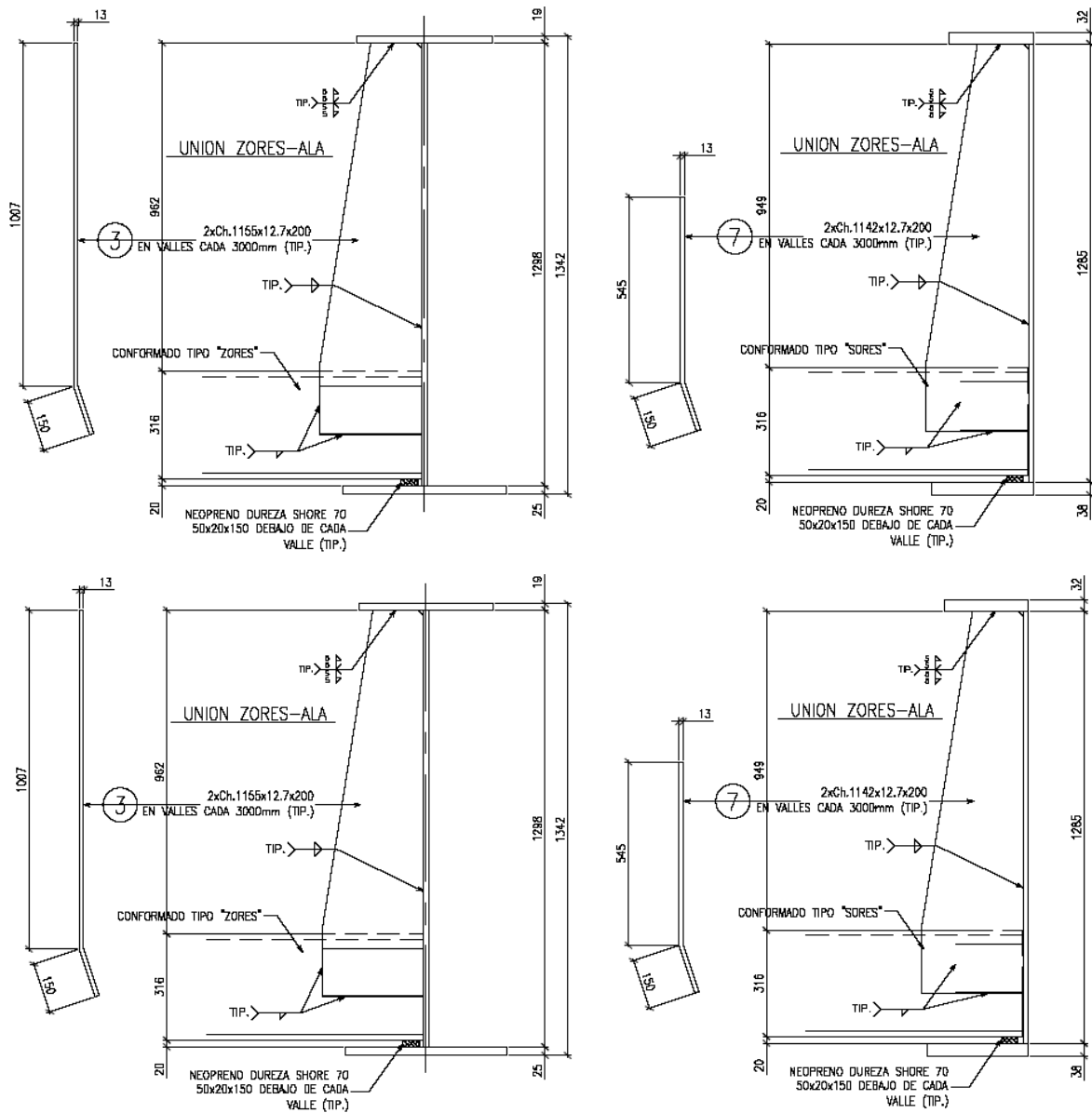
- **Sección transversal de vigas principales**



▪ Unión zores - alma



▪ Arriostramientos ala sup. contra pandeo lateral y torsión.



- Detalle del perfil plegado tipo zores y de “decoración” entre rigidizadores de alma similar a la existente.

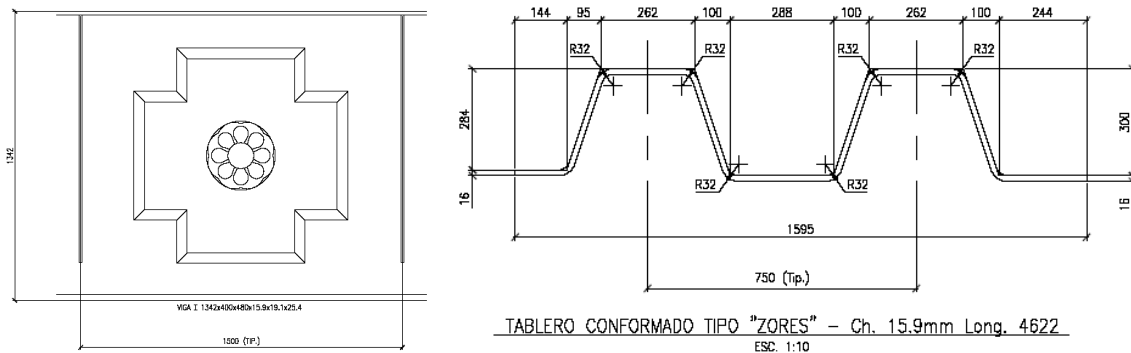


Figura 10 – Detalles constructivos de la estructura del puente.

▪ Fotografías de la obra terminada.



Figura 11 – Obra finalizada

BIBLIOGRAFÍA

- 1- BARSOM, J. M.: "Fracture Mechanics Restropective". ASTM (1987).
- 2- BROEK, D.: "Elementary Engineering Fracture Mechanics". Edit. Nijhoff
- 3- EVANS, U.: "An Introduction to Metallic Corrosion" Edit. Edward Arnold (1981).
- 4- FISHER, J. W.: "Fatigue and Fracture in Steel Bridges". Edit. John Wiley & Sons (1984).
- 5- HERTZBERG, R. W.: "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials". Edit. John Wiley & Sons. (1983).
- 6- ROLFE, S. T. y BARSOM, J. M.: "Fracture and Fatigue Control in Structures" Edit. Prentice Hall. (1971).
- 7- GURNEY, T. R.: "Fatigue of Welded Structures" Cambridge University Press. (1979).
- 8- Ferrocarriles Argentinos: "Reglamento Argentino para el Proyecto y Construcción de Puentes Ferroviarios de Acero Remachado".
- 9- AREMA: "Manual for Railway Engineering"
- 10- POLIMENI, M.: "Ampliación del Puente Ferroviario Pacífico". Revista Ingeniería Estructural IE N° 48. Edit. Asociación de Ingenieros Estructurales (2011).¹

¹ El presente artículo fue previamente publicado, con leves diferencias, en la Revista IE N° 48 de la Asociación de Ingenieros Estructurales.