

Diseño y construcción de los Puentes Junín y Leoncio Prado en Lima (Perú)

Design and construction of Junín and Leoncio Prado Bridges in Lima (Peru)

**Guillermo Capellán Miguel^a, José Luis Pando Anta^b, Carlos D. Alonso Velasco^c,
Alejandro Godoy Ansótegui^d y Julio González Zalduondo^e**

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

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Country Manager Perú, Arenas & Asociados. jlpando@arenasing.com.

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Project Manager, Arenas & Asociados. calonso@arenasing.com.

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Coordinador de Proyectos, Arenas & Asociados. agodoy@arenasing.com.

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Especialista en Estructuras, Arenas & Asociados. jgonzalez@arenasing.com.

RESUMEN

La Vía Expresa Paseo de la República, construida a finales de los años sesenta con sección de autopista deprimida, es usada actualmente para el tráfico de vehículos y el servicio de bus BRT suponiendo una barrera urbana entre varios distritos de Lima. La Municipalidad Metropolitana ha querido mejorar la permeabilidad entre los distritos de Miraflores y Surquillo mediante dos nuevos puentes de cuidado diseño urbano, optando por dos puentes de arco superior atirantados por el tablero. El Puente Junín tiene una luz de 55.5 m y dispone de péndolas de barra, mientras que el Puente Leoncio Prado tiene una luz de 42.8 m y cuenta con péndolas rígidas formadas por perfiles armados.

ABSTRACT

The Paseo de la República Express Way, built at the end of the 60's with a depressed highway section, is currently used by vehicles and a BRT bus service, forming an urban barrier between several districts of Lima city. The Metropolitan Municipality has wished to improve the permeability between the districts of Miraflores and Surquillo by means of two new bridges with noticeable urban design, for which two tied-arch bridges have been designed. Junín Bridge has a 55.5 m span and the deck is suspended by bars, whereas Leoncio Prado Bridge has a 42.8 m span and the deck is suspended by rigid steel posts.

PALABRAS CLAVE: puente arco bowstring, estructura metálica, Vía Expresa, Lima, Perú.

KEYWORDS: bowstring arch, steel structure, Express Way, Lima, Peru.

1. Antecedentes

La Vía Expresa del Paseo de la República de Lima se construyó a finales de los años sesenta con sección de autopista urbana deprimida entre muros de contención. Actualmente la Vía Expresa cuenta con una sección transversal con espacio para 2 carriles por sentido, un sistema de bus BRT denominado Metropolitano con un

carril por sentido, y una mediana central ajardinada, donde también se ubican las estaciones del Metropolitano (Fig. 1).

La Vía Expresa es una de las principales avenidas de Lima, extendiéndose de norte a sur y comunicando varios distritos de la ciudad: Cercado de Lima, Lince, La Victoria, San Isidro, Surquillo, Miraflores y Barranco.

Como contrapartida, la Vía Expresa tiene un efecto barrera en la ciudad, dividiendo las zonas por las que discurre en dos partes, en las que la única forma de pasar de un lado a otro es mediante intersecciones a desnivel.

Al aumentar el parque automotor de Lima, ha aumentado el tráfico en general, y la demanda de los usuarios de la vía para pasar de un lado a otro del Paseo de la República sobre la Vía Expresa, pero la capacidad de los puntos de paso existentes no es suficiente para satisfacer esta demanda con un nivel de servicio adecuado.

La construcción de los nuevos puentes Junín y Leoncio Prado, de cuidado carácter urbano, contribuye a la integración urbana de Lima, mejorando las comunicaciones entre los distritos de Miraflores y Surquillo [1].



Figura 1. Vista de la sección tipo de la Vía Expresa Paseo de la República.

2. Condicionantes al diseño

2.1. Condicionantes de uso

De forma general la sección transversal de la Vía Expresa para cada sentido de circulación comprende una acera de mantenimiento, dos carriles para el tráfico de vehículos particulares y un carril para el tráfico de los buses BRT, estando separados los dos sentidos de circulación por una mediana ajardinada. Puntualmente esta sección se ve ampliada por la presencia de carriles de sobrepaso de los buses, o de entradas y salidas a la Vía Expresa, como ocurre en la ubicación del Puente Junín.

La mayor parte de los puentes existentes se construyeron junto con la Vía Expresa, previa a su entrada en servicio, y son en todos los casos puentes de 3 vanos, con sus pilas ubicadas entre los carriles destinados a los vehículos particulares y los carriles destinados a los buses BRT (Fig. 2).



Figura 2. Ejemplo de puente existente.

Uno de los condicionantes para la construcción de los puentes es no afectar al tránsito del Metropolitano, y minimizar la afección al tránsito de vehículos convencionales.

En consecuencia, no se pueden plantear nuevos puentes de 3 vanos como los existentes, ya que la ejecución de las cimentaciones interferiría con el tránsito de buses y vehículos particulares, y queda la posibilidad de hacer puentes de un único vano sin pila, o puentes de 2 vanos con una pila en la mediana ajardinada. Los puentes deben construirse bajo dos premisas resultantes del uso de la Vía Expresa:

1. Mínimos cortes del tráfico vehicular, a ser posible con un reducido número de cortes en horario nocturno (de 11:00 pm a 5:00 am), que no afecten a una vía principal de la ciudad con denso tráfico.
2. Trabajos realizados en la zona central fuera del horario de uso del Metropolitano (de 00:00 a 5:00 am), pues durante el horario de operación de los buses no se permiten los trabajos en esa parte de la vía para garantizar la seguridad del transporte masivo.

Ambas premisas obligan a diseñar una estructura con un grado de prefabricación que permita su colocación con cortes nocturnos puntuales.

2.2. Condicionantes geométricos

El principal condicionante geométrico en el planteamiento estructural es el gálibo de la Vía Expresa. Los puentes existentes tienen un gálibo de 4.50 m, por lo que los nuevos puentes deben respetar este valor. Al no poder hacer puentes de tres vanos, que tendrían luces similares a los existentes, hay que plantear alternativas que permitan cantos de tablero reducidos.

De la topografía se obtuvo que distancia entre la rasante de la Vía Expresa y la de la vía lateral es de 5.40 m en el caso de la calle Junín y de 4.63 m en la calle Leoncio Prado. Con ello, restan 0.90 y 0.13 m para los tableros de los nuevos puentes. Como no es posible encajar ninguna solución en el segundo caso, se plantea realizar una elevación localizada de la vía de hasta 0.50 m.

El planteamiento de un puente de 2 vanos en cualquiera de los dos casos conduce a un puente con un canto de tablero (vigas + losa) superior al espacio disponible.

Esta circunstancia obliga a proponer tableros con sustentación superior que permitan reducir el canto, ya sea mediante un arco o mediante atirantamiento, optándose por arcos, ya que las luces resultantes no justifican la ejecución de un puente atirantado con pilono central (Fig. 5).

2.3. Sismicidad

Lima es una de las zonas con más sismicidad de Sudamérica. Para la obtención de la carga de sismo se ha considerado el espectro de aceleración sísmica que resulta más restrictivo entre los definidos en la AASHTO LRFD 2012, el Manual de Diseño de Puentes peruano, y la norma peruana Diseño Sismorresistente de edificación E-030 (2016). Al considerarse una edificación esencial por estar situada sobre la Vía Expresa, para la determinación de esfuerzos debe usarse un espectro de aceleración sísmica con periodo de retorno de 1000 años (Fig. 3).

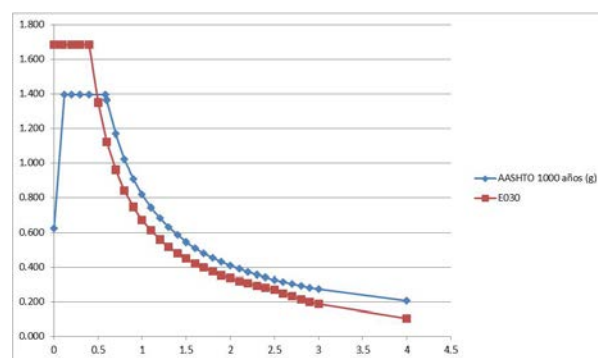


Figura 3. Comparación de espectros.

La estrategia resistente frente a sismo es la de puente aislado sísmicamente en el sentido longitudinal apoyado sobre aisladores de neopreno zunchado con núcleo de plomo. Esta estrategia permite reducir las aceleraciones, y esfuerzos al incrementarse el periodo de vibración de la estructura y obtenerse un mayor amortiguamiento, como contrapartida aumentan los desplazamientos resultantes. Por tratarse de una estructura aislada, se considera la situación de no colapso para un sismo de periodo de retorno 2500 años (Fig. 4).

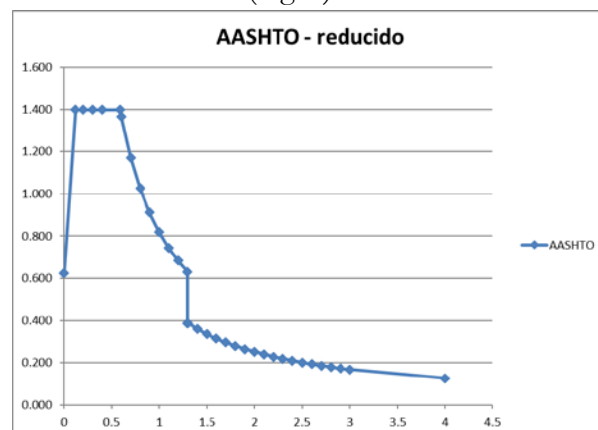


Figura 4. Espectro reducido en sentido longitudinal.

El aislamiento sísmico permite el cálculo de la estructura considerando un espectro reducido, que depende del amortiguamiento conseguido con los aisladores sísmicos diseñados. En el sentido transversal los puentes no están aislados, sino que presentan topes transversales, pudiendo resistirse los esfuerzos sísmicos dentro del rango elástico.

La disposición de los topes permite simplificar las juntas de dilatación que así solo tienen que responder frente movimientos longitudinales.

Las juntas dispuestas admiten desplazamientos superiores al sismo de servicio de periodo de retorno 100 años. Están equipadas con un fusible que hace que la junta salte sin sufrir grandes daños para sismo de un periodo de retorno mayor, sin colapsar, de forma que pueden repararse para sismos de periodo de retorno superior.

En cada estribo se disponen dos aisladores de neopreno con núcleo de plomo bajo los nervios longitudinales, siendo de 800 mm de diámetro en el caso del Puente Junín y de 700 mm en el Puente Leoncio Prado; estos aisladores son capaces de acomodarse a los movimientos resultantes de un sismo con periodo de retorno 2500 años. Los aisladores sísmicos consiguen unos amortiguamientos del 22% en el Puente Junín y 26% en el Puente Leoncio Prado en sentido longitudinal.

En el centro del diafragma de estribo se dispone además un apoyo vertical deslizante con dos topes laterales, también deslizantes, que impiden el movimiento transversal y guían el desplazamiento del puente.

En ambos casos, los arcos no se encuentran arriostrados entre sí y además poseen tiros fuera de su plano por el trazado levemente curvo, lo que genera deformaciones y flexiones transversales, que sin embargo se encuentran dentro de límites admisibles con las secciones definidas.

De igual forma se ha verificado que este hecho no tiene repercusiones especiales bajo acciones sísmicas, dada la sección adoptada, y estrategia de aislamiento sísmico que reduce las sollicitaciones sísmicas que sufre el tablero.



Figura 5. Primeros bocetos del estudio de alternativas realizado.

3. El diseño de ambos puentes

3.1. Puente Junín

Con los condicionantes descritos se plantea como mejor alternativa un puente arco superior de 55.5 m de luz, atrantado por el tablero (arco “bowstring”), con dos arcos metálicos y un tablero mixto de acero y hormigón de 0.65 m de canto. Los arcos separan las aceras laterales peatonales del tráfico vehicular, y sostienen el tablero mediante péndolas verticales de barra. Los arcos tienen una flecha de 7.50 m, dando una relación luz/flecha de 7.40 (Fig. 6).

Tal y como se puede apreciar en la planta, las aceras y los nervios de borde siguen un trazado curvo para permitir el abocinamiento de entrada y salida al puente. Los arcos se inscriben dentro de dos cilindros no concéntricos de eje inclinado, lo que da lugar a una atractiva geometría curva, inclinada y de anchura variable.

La altura de los nervios superior e inferior de los arcos es constante, exceptuando la zona de los arranques, donde quedan maclados en un único elemento.

Se han diseñado las aceras, los arcos y las vigas de borde con un trazado curvo en planta que permita el abocinamiento que facilite el tráfico de entrada y salida al puente. La sección transversal incluye un carril bici de 1.80 m de ancho, además de los dos carriles vehiculares de 3.60 m (Fig. 7).

Las aceras se diseñan también con anchura variable, con un mínimo de 3.20 m en el centro del puente, y un máximo de 4 m en los extremos, correspondiendo estas zonas a las de embarque y desembarque de peatones en los pasos de cebra. Este diseño es consecuencia de observar cómo en los puentes existentes se han tenido que añadir chaflanes en los extremos por la gran aglomeración de peatones que se produce en estos puntos.

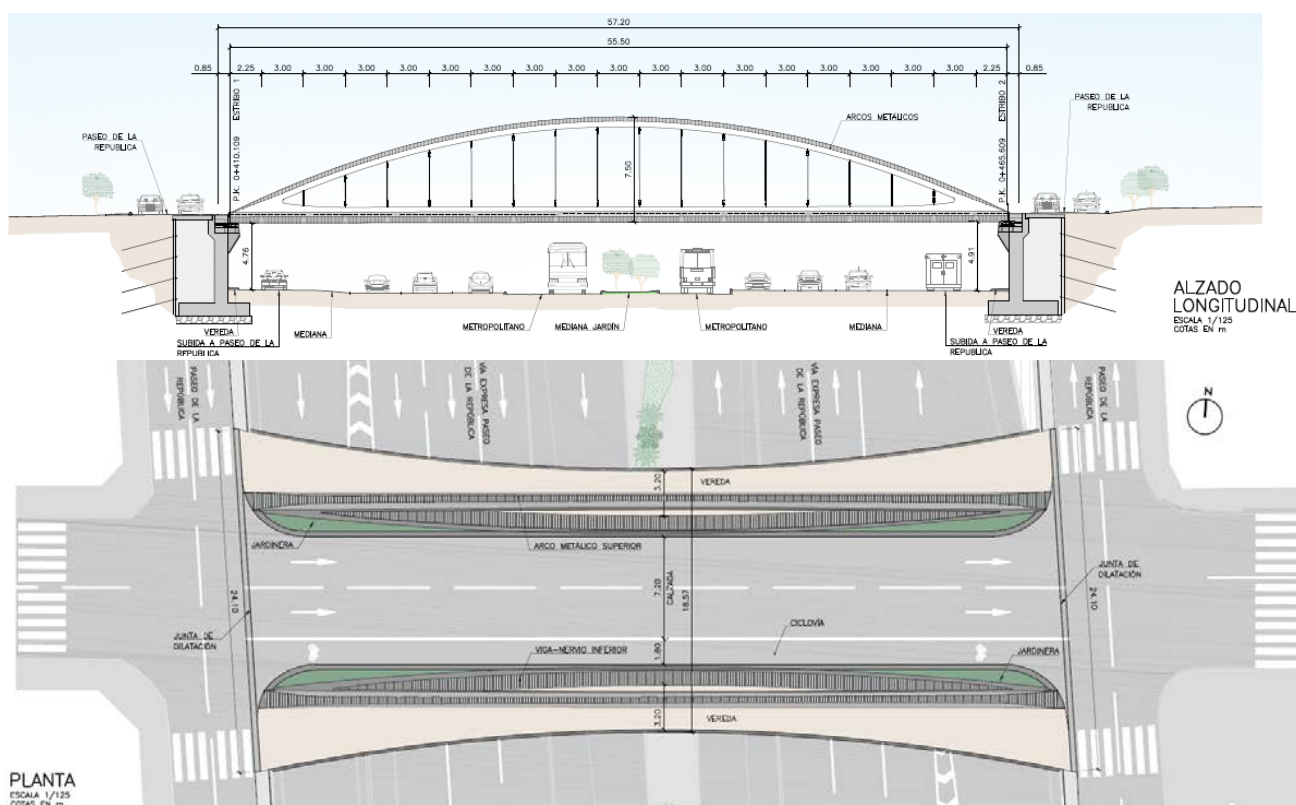


Figura 6. Alzado y planta del Puente Junín.

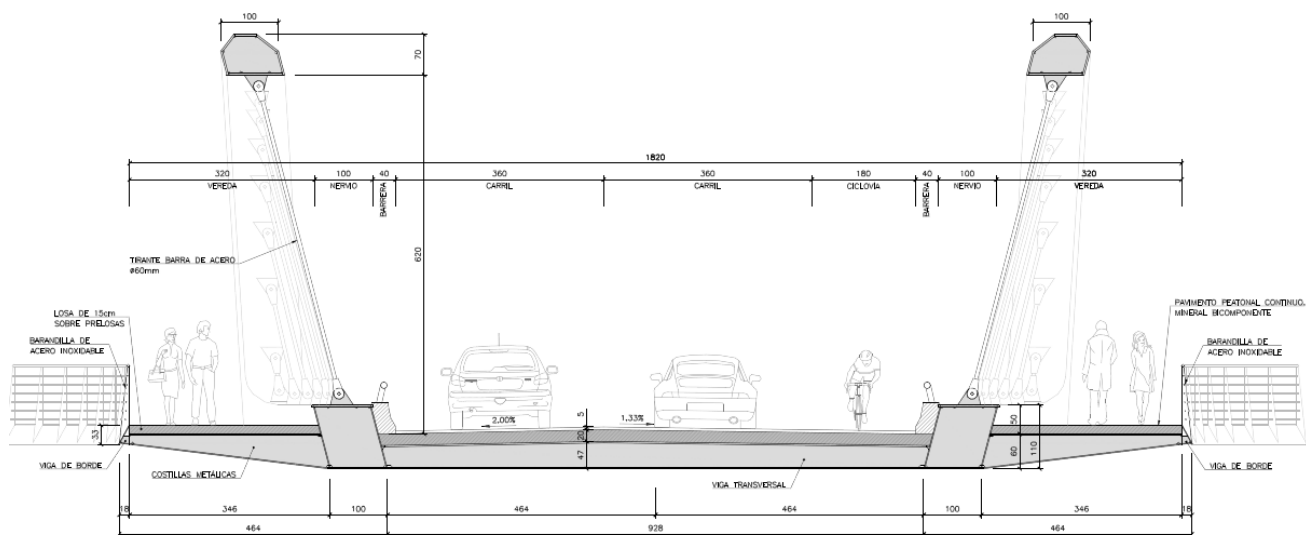


Figura 7. Sección transversal del Puente Junín.

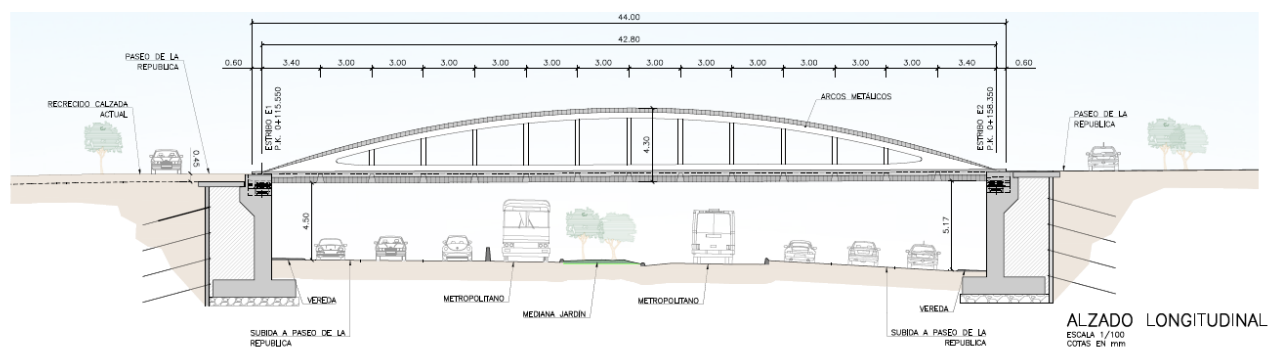
4.1. Leoncio Prado

Con los condicionantes descritos anteriormente se considera que la mejor solución es la de un puente de arco superior de 42.8 m de luz y atirantado por el tablero (arco “bowstring”). Los arcos metálicos se sitúan en los laterales de la sección, separando las aceras peatonales del tráfico vehicular, y sostienen el tablero mixto de 55 cm de canto mediante péndolas verticales rígidas formadas por perfiles armados con sección doble T soldados a los arcos y vigas tirante. Los arcos tienen una flecha de 4.30 m, dando una relación luz/flecha de 9.95 (Fig. 8). Tanto los arcos como los nervios inferiores son de sección constante hasta la zona de los arranques, donde se unen para llegar de forma conjunta al apoyo.

Debido al uso de péndolas rígidas en la unión de los arcos y vigas tirantes, el comportamiento estructural del conjunto arco, péndolas y vigas-tirante se asemeja al de una viga tipo Vierendeel.

Se han diseñado las aceras, los arcos y las vigas de borde con un trazado curvo en planta para permitir el abocinamiento de entrada y salida al puente de forma similar a lo descrito en el Puente Junín. Esto facilita los giros de entrada y salida a las vías laterales de la Vía Expresa, cuasi ortogonales al eje del puente.

Las aceras se diseñan con anchura variable, con un mínimo de 3.20 m en el centro del puente, y un máximo de 4.00 m en los extremos, coincidiendo con las zonas de embarque y desembarque de peatones en los pasos de cebra.



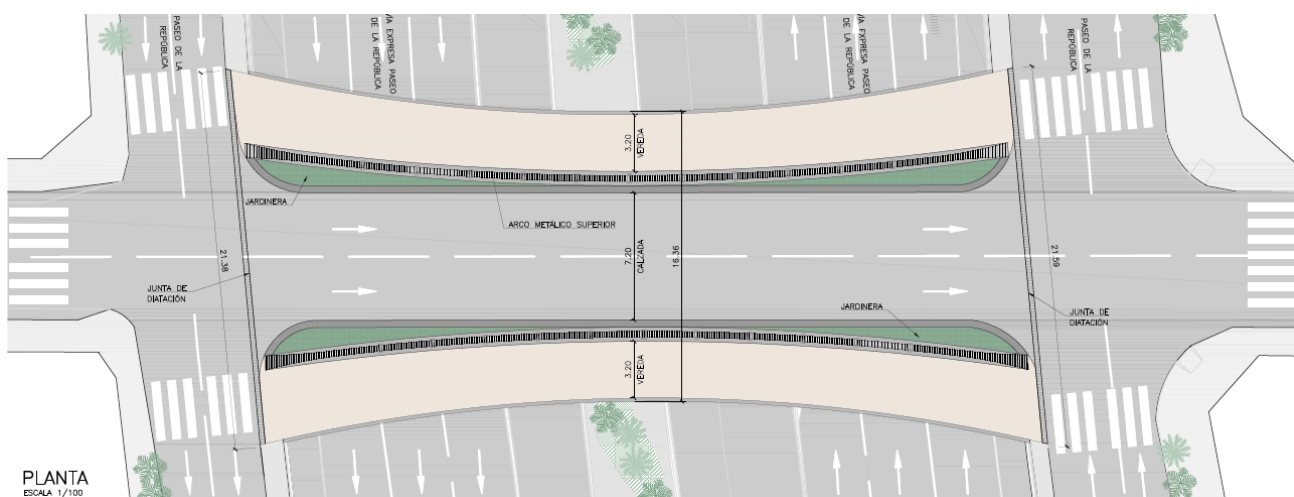


Figura 8. Alzado y planta del Puente Leoncio Prado.

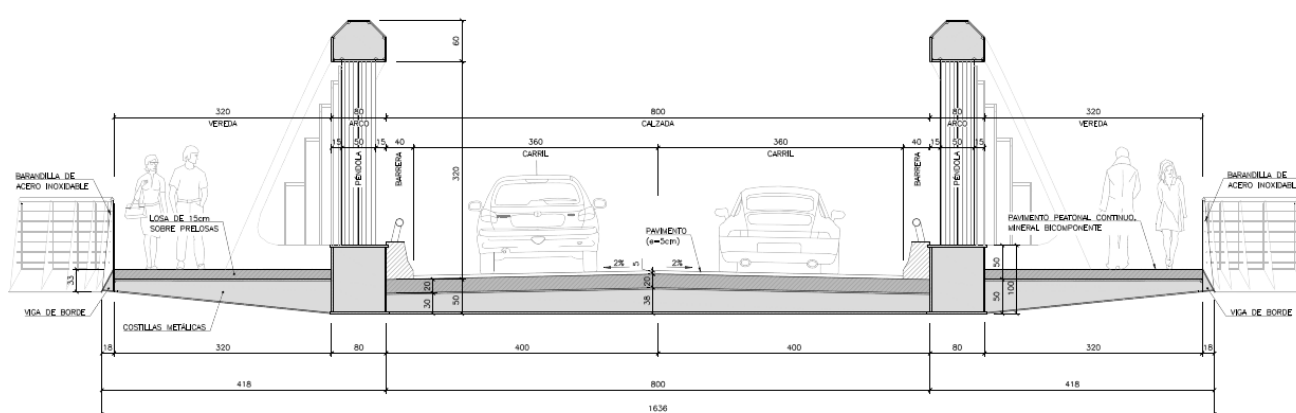


Figura 9. Sección transversal del Puente Leoncio Prado.

4. La construcción simultánea de los dos puentes

El Puente Junín fue construido por la empresa INCOT, mientras el Puente Leoncio Prado lo construía el Consorcio Fénix, formado por Asphalt Technologies, y Transportes y Construcciones BLASGON, Sucursal del Perú, ambos entre abril de 2018 y enero de 2019.

Los condicionantes para la construcción de las dos estructuras y el proceso constructivo seguido es análogo, a excepción de la disposición de péndolas rígidas en el Puente Leoncio Prado formadas por perfiles con sección armada en forma de doble T, soldadas a los arcos y vigas previo al desapeo de la estructura metálica, en lugar de las péndolas de barra del Puente Junín.

Con objeto de minimizar los plazos de ejecución de la obra y las afecciones a los usuarios de la vía y vecinos, los trabajos asociados a la construcción del puente se realizaron en tres lugares distintos: ubicación del puente, taller metálico y parque de prefabricación de hormigón.

Los trabajos en el parque de prefabricación de hormigón consistieron en la ejecución de las prelosas que funcionan como encofrado perdido de la losa del tablero, con la geometría y armaduras definidas en los planos del proyecto. Debido a la anchura variable del tablero del puente se definieron diferentes geometrías de prelosa, para cubrir la superficie del tablero.

Los trabajos de prefabricación se planificaron de forma que fuese posible el envío de las prelosas a la obra una vez que fuese posible su colocación, cuando se hubiese completado la estructura metálica.

Los trabajos en el taller metálico comenzaron con la modelización de la estructura metálica con el software Tekla, para definir la geometría de cada una de las chapas que entrarían a formar parte de los diferentes elementos estructurales que forman el puente: arcos, vigas-tirante, diafragmas de estribo, vigas transversales y voladizos, así como plantear el despiece de la estructura con el que sería enviada a la ubicación del puente.

Una vez concluida la modelización comenzaron los trabajos sobre el acero, con los procesos de corte, doblado, armado, preparación de bordes y soldado de las chapas de acero, para dar forma a las diferentes partes de la estructura.

La estructura metálica se montó en blanco en taller, para comprobar la correspondencia de su geometría con la geometría especificada en el proyecto de construcción (Fig. 10).



Figura 10. Montaje en taller metálico (Junín).

Para su despacho a obra, y por las limitaciones de los medios de transporte y gálipos en la ruta de acceso a las obras, cada uno de los arcos y vigas-tirante se transportó dividido en dos partes, mientras que las vigas diafragma, vigas transversales y diafragmas, por su menor tamaño pudieron transportarse en una sola pieza.

Los trabajos en la ubicación del puente comenzaron con la ejecución de los estribos, para ello fue necesario demoler los muros existentes de la Vía Expresa en el ancho de influencia de los estribos. Esta demolición se realizó tras la ejecución de un sostenimiento provisional formado por un shotcrete anclado ejecutado por bataches, destinado a contener las tierras, y evitar asentamientos en los edificios en las vías auxiliares del Paseo de la República (Fig. 11).

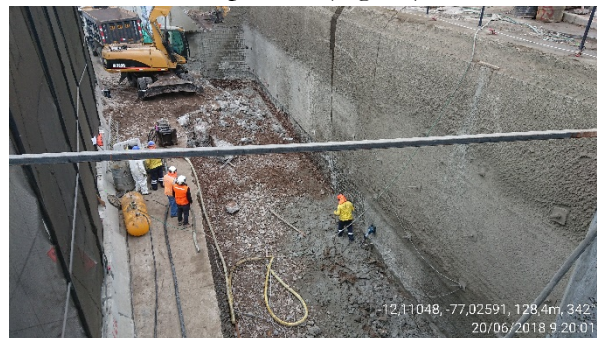


Figura 11. Sostenimiento provisional.

Al estar previsto que las piezas principales llegasen a obra divididas en dos partes, simultáneamente a la ejecución de los estribos se ejecutaron torres de sostenimiento provisional de la estructura cimentadas en la mediana (Fig. 12).



Figura 12. Torres de apeo.

Una vez concluidos los estribos, torres de apeo e instalados los aparatos de apoyo se comenzó al transporte y montaje en obra de las piezas que forman la estructura del puente. El montaje comenzó con las vigas-tirante, que se colocaron apoyadas sobre los aparatos de apoyo y torres provisionales. Junto con las vigas-tirante se montaron las vigas diafragma y algunas de las vigas transversales, con objeto de garantizar el correcto posicionamiento relativo entre las vigas principales (Fig. 13).



Figura 13. Izado de viga (Junín).

Posteriormente se colocaron los semiarcos, que quedaban apoyados sobre las torres de apeo provisional y sobre las vigas-tirante (Fig. 14 y 15).



Figura 14. Montaje de la estructura metálica (Leoncio Prado).

Todos los montajes de piezas sobre la Vía Expresa se realizaron en horario nocturno, con la vía cortada al tráfico por motivos de seguridad.

Una vez ajustada la posición de las partes de la estructura se procedió al soldeo de todas las piezas, y a la colocación de las péndolas de barra, que se dejaron colocadas ajustadas, pero sin tensión. Tras la colocación de las péndolas se instalaron galgas extensométricas en ellas para controlar sus deformaciones durante el proceso constructivo.

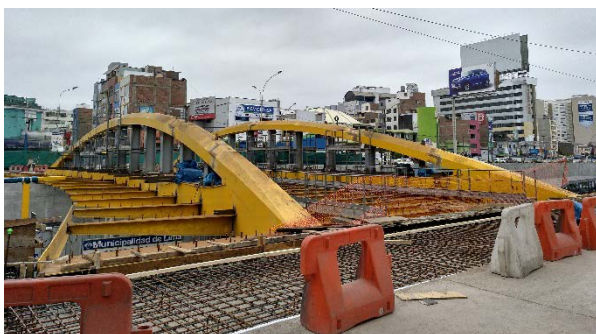


Figura 15. Estructura metálica completada en ambos puentes (Leoncio Prado y Junín respectivamente).

Tras la verificación de la calidad de las soldaduras mediante ensayos no destructivos, se procedió al desapeo de la estructura. Seguidamente se colocaron las prelosas, también en horario nocturno, y tras la colocación de las armaduras del tablero se procedió a su hormigonado.

Después de estabilizarse la estructura se midieron las cargas resultantes en las péndolas, y se realizó un ajuste de estas con la ayuda de un útil de tesado, con el objeto de aproximar las cargas en las péndolas a las estimadas en el cálculo de la estructura.

Una vez finalizada la estructura del puente se continuó con los trabajos de remates y acabados: instalación de juntas de dilatación, colocación de barandas, extensión del pavimento, tratamiento superficial de aceras e instalación de la iluminación del puente.

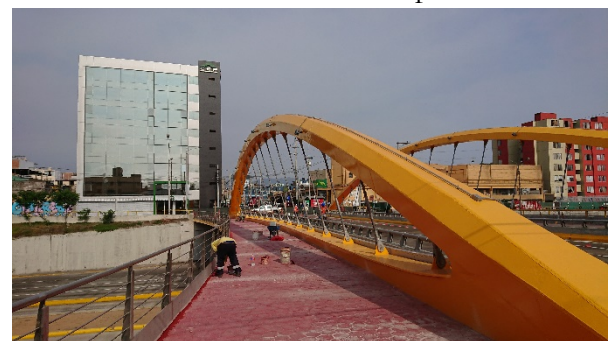


Figura 16. Remates y acabados (Junín).

Se comprobó el correcto comportamiento de la estructura realizándose una prueba de carga en la que se materializaron un total de 4 estados de carga en los que se emplearon de forma simultánea hasta 4 camiones de 350 kN de peso sobre el tablero del puente.

Además de las deformaciones de la estructura, durante la prueba se monitorizaron las fuerzas en las péndolas. Las deformaciones medidas resultaron muy similares a las estimadas en el cálculo de la prueba, y la recuperación de las deformaciones fue total y prácticamente inmediata tras la retirada de la carga.



Figura 17. Ambos puentes terminados.



Figura 18. Puente Leoncio Prado en servicio.

Agradecimientos

Queremos agradecer la implicación de cada uno de los agentes involucrados en el proyecto y construcción de los puentes sobre la Vía Expresa de Lima, Junín y Leoncio Prado.

A la propiedad y promotora EMAPE (Empresa Municipal Administradora del Peaje de Lima), las constructoras INCOT (del Puente Junín) y el Consorcio Fénix (del Puente Leoncio Prado) y, por supuesto, todo el equipo de Arenas & Asociados, a parte de los autores, que ha hecho posible ver las dos obras finalizadas tanto desde España como en Perú.

Referencias

- [1] G. Capellán, M. Sacristán, A. Godoy, C.D. Alonso, J.L. Pando, J. González. Diseño de dos nuevos puentes en Lima: Puente Junín y Puente Leoncio Prado, VII Congreso de ACHE, A Coruña (España), 2017.