

# Diseño de cinco puentes arco tipo network de luces medias en Cuzco (Perú)

## *Design of five Network Arch Bridges in Cuzco (Peru)*

Javier Muñoz-Rojas <sup>a</sup>, Sara Fernández <sup>b</sup>, Pedram Manouchehri <sup>c</sup>, Juan M Juez <sup>d</sup>,  
Jorge Toro <sup>e</sup>, Ana Díaz <sup>f</sup>, Jorge Giganto <sup>g</sup>

<sup>a,b</sup> Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. Madrid

<sup>c</sup> Ingeniero Civil. Carlos Fernández Casado S.L., Universidad Politécnica de Madrid

<sup>d,e,f,g</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. HUALCA/CFC Perú

### RESUMEN

Las obras forman parte del contrato “Construcción de puentes por remplazo en Cusco” de Provias Nacional del M<sup>o</sup> de Transportes y Comunicaciones del Gobierno del Perú. Constituye uno de los denominados proyectos de paquetes de puentes cuyo objetivo es la realización de tramos de carretera en zonas prioritarias del país. Tres de las obras son de 65 m de luz (Cachimayo, Urcos, Cusipata), uno de 75 m (Urubamba) y otro de 85 m (Combapata). Todos ellos se resuelve con soluciones estandarizadas de arcos tipo network con arco metálico y tablero mixto formado por dos vigas longitudinales unidas por vigas transversales sobre las que se dispone una losa de hormigón

### ABSTRACT

This project is part of the contract “Construction of bridges for replacement in Cusco” issued by Provias Nacional of the Ministry of Transportation and Communications of the Government of Peru. It is part of the road reconstruction plan in critical areas of the country. Three of the bridges have a 65 m long span (Cachimayo, Urcos, Cusipata), and the two others 75 m (Urubamba) and 85 m (Combapata). The structural configuration is based on standardized steel tied arches solutions with a hanger arrangement in network. The girders are ladder-type composite sections with “I” sections, with transverse beams at 4.0 or 4.5 m spacing. Partial precast concrete slabs are used to build the upper slab.

**PALABRAS CLAVE:** arco network, arco metálico, tablero mixto, lanzamiento tablero.

**KEYWORDS:** Network, steel arch, composite deck, girder launching.

## 1. Introducción

Las obras descritas en el presente artículo forman parte del contrato “*Construcción de puentes por remplazo en Cusco*” propiedad de Provias Nacional del M<sup>o</sup> de Transportes y Comunicaciones del Gobierno del Perú. Constituye uno de los denominados proyectos de paquetes de puentes cuyo objetivo es la

realización de tramos de carretera en zonas prioritarias del país.

La modalidad de licitación es la de diseño y construcción con adjudicación a la oferta más económica. CFC Perú y HUALCA acompañaron al grupo INCOT en la licitación para lo cual llevaron a cabo un estudio

comparativo de diversas alternativas con objeto de plantear una solución lo más competitiva posible. Los puentes a diseñar debían resolver cruces de longitudes entre 65 m y 85 m sobre ríos estacionales con régimen torrencial en zonas interiores de país, susceptibles de sufrir avenidas periódicas de gran poder de socavación y arrastre. Por tanto no era factible disponer pilas intermedias. Se compararon pues diversas soluciones capaces de salvar ese rango de luces, llevando este ejercicio de forma natural a soluciones de canto con estructuras situadas por encima del tablero. Las soluciones en arco tipo network resultaron claramente ventajosas con ahorros notables frente a otras opciones. Se diseñaron además de forma adoptando detalles repetitivos en ellas así como con detalles de unión y montaje simples para facilitar su construcción.

La oferta fue adjudicada al consorcio formado por las constructoras Incot y Aterpa en 2016. Los proyectos se desarrollaron durante los años 2017 y 2018. Las obras se construyeron entre finales de 2018 y 2019. Los puentes se denominan Cachimayo, Urcos, Cusipata (todos con luz 65 m) Urubamba (75 m) y (Combapata (85 m).



Figura 1. Vista del puente de Urubamba terminado.

## 2. Aproximación al diseño de arcos network.

Es bien conocido las ventajas de la disposición de péndolas inclinadas que se entrecruzan varias veces que caracteriza a los arcos autoanclados en disposición tipo “network” [1] [2] [3].

Su efecto contribuye a aproximar el comportamiento de la estructura ante cargas asimétricas al de una celosía o viga de alma llena gracias a la variación de la carga que se produce en las péndolas.

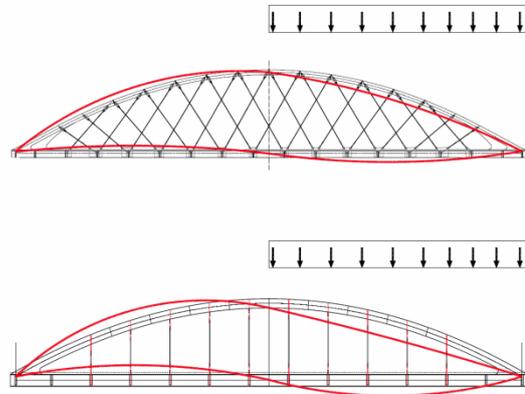


Figura 2. Comparación de deformación ante cargas asimétricas

De esta manera es posible controlar momentos flectores en arco y tablero de manera que la luz libre de ellos se aproxima a la que marcan la separación entre anclajes de las péndolas salvo distorsiones en la proximidad del arranque del arco.

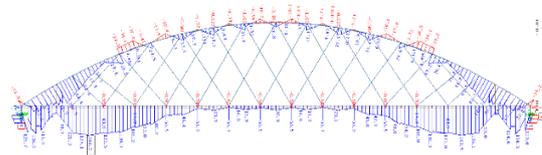


Figura 3. Distribución tipo de flectores en un arco network del proyecto de Cusco.

Esto se traduce en reducciones entre el 75 y 80% de los esfuerzos de flexión con respecto a los de arcos con péndolas verticales [1] [3].

Entre otros efectos favorables esto permite un ahorro directo en materiales en arco y tablero. En soluciones mixtas o de acero esto se puede llegar a traducir en valores entre el 20% y el 30%. En las comparaciones realizadas para el proyecto de los puentes de Cusco, que pueden englobarse en obras de luces medias y estrechas, los valores obtenidos oscilaron entre el 22% y el 27% frente a soluciones de arco con péndola verticales y del 30% frente a soluciones en celosía.

### 3. Planteamientos generales adoptados en la colección

#### 3.1 Flecha del arco

Analizadas realizaciones y estudios recientes de arcos network se puede observar una tendencia y consenso en el sentido de que las relaciones de luz/flecha óptimas son similares a las empleadas en arcos autoanclados, esto es oscilando entre 1/5 y 1/7. Merece la pena indicar la posibilidad de poder emplearse igualmente esbelteces mayores sin que esto comprometa la estabilidad de la obra, aunque lógicamente impliquen cantidades mayores de materiales. Una realización notable reciente en este sentido es el puente de Troja en Praga [9] que donde se llegó a valores superiores hasta 1/10, aunque en este caso debido a consideraciones formales.

En las obras de Cusco se tantearon diversas relaciones, adoptado finalmente el valor de 1/6 que se muestra un valor adecuado para optimizar el diseño.

#### 3.2 Geometría del arco

En lo relativo a la geometría del arco no existe tanto consenso en tanto algunos autores recomiendan la circular [1] [8]. Otros sin embargo se inclinan por la parabólica que es la más empleada.

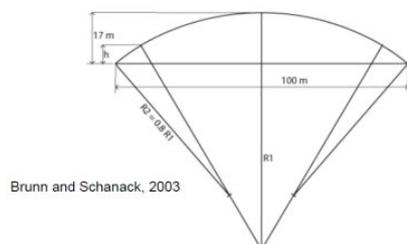


Figura 4. Generación de directriz circular [8]

En los puentes de Cusco se adoptó la solución parabólica de segundo grado. Hay que indicar que se analizó igualmente la variante circular (con radio único) y se comprobó que las diferencias no eran significativas, por tanto

puede concluirse que para obras de tamaño medio este aspecto no es crítico.

#### 3.3 Disposición de las péndolas

Este aspecto existen también distintas aproximaciones entre los especialistas.

En Japón, donde la solución se ha empleado profusamente en obras de gran dimensión, la solución adoptada es heredera de la configuración con péndolas en malla rómbica de los puentes tipo Nielsen, en este caso duplicando las familias para cruzarlas -de hecho los arcos network se denominan allí puentes Nielsen-Lohse.



Figura 5. Arco Shin-Hamadera. Japon. Configuración Nielsen modificada.

Otros autores [1] [8] recomiendan lo que denominan red radial para así pretendidamente conseguir un estado de carga asimilable al hidrostático con carga constante en las péndolas de forma que así se optimiza el comportamiento resistente de la estructura

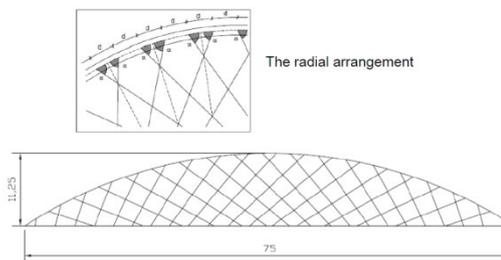


Figura 6. Distribución de péndolas radial

Uno de los inconvenientes de estas dos soluciones, desde el punto de vista constructivo y de uniformización de la solución, es que los anclajes de los tirantes quedan dispuestos de forma no uniforme, en el arco en el caso rómbico, y en arco y tablero en la radial.

Una distribución que evita este inconveniente es la de disponer las péndolas con separación constante tanto en arco como en tablero.

Finalmente también pueden disponerse de forma híbrida o irregular

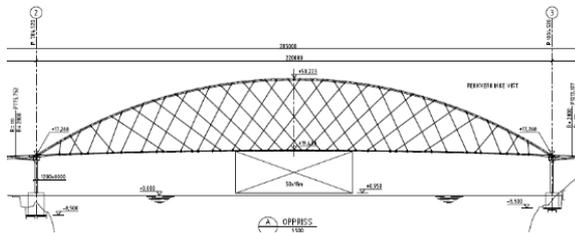
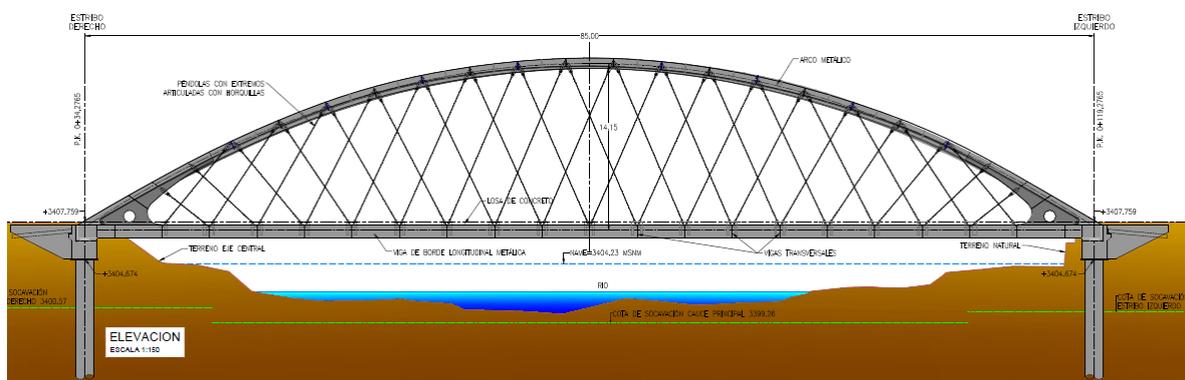


Figura 7. Distribución de péndolas irregular

En el caso de los puentes de Cusco dado que se tratan de obras de luces modestas, donde uno de los condicionantes más relevantes era la simplicidad constructiva se adoptó la solución de separación constante en el tablero.

En el arco se empleó una distribución híbrida, disponiendo los anclajes en la zona central con separación constante en la proyección horizontal y ajustando la posición de las péndolas más próximas a arranques.



### 3.4 Sección del arco.

En arcos network las necesidades resistentes de los arcos se ven reducidas al desaparecer en gran medida las flexiones de eje horizontal que aparecen en arcos de péndolas verticales bajo cargas asimétricas. En el mismo sentido los problemas de inestabilidad en el plano del arco quedan prácticamente controlados por el efecto de la malla de péndolas y en el sentido transversal son fácilmente controlables por medio de los oportunos arriostramientos transversales. Esta situación además de permitir ahorros en los materiales abre la puerta a soluciones abiertas menos eficaces que las cerradas pero que permiten una más sencilla ejecución así como una mayor facilidad constructiva. Por ello en los puentes de cusco los arcos se diseñaron con sección en “U” con dimensiones reducidas.

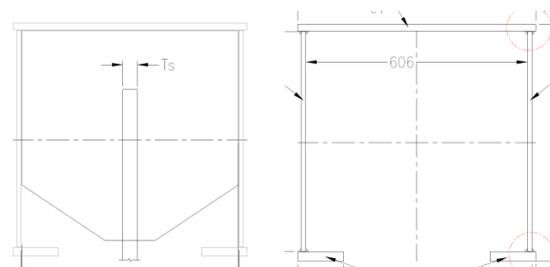


Figura 8. Sección del arco por péndola y tipo

Todas las uniones en obra son atornilladas realizadas con tornillos pretensados.

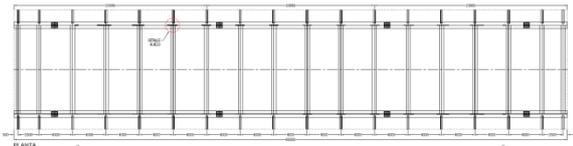
### 3.5 Sección del tablero

Algunos autores [1] [8] recomiendan el empleo de tableros de hormigón pretensado, para con pretensado recoger el empuje de los arcos. No obstante la mayoría de los arcos network realizados emplean soluciones metálicas o mixtas. A las ventajas de que con elementos longitudinales metálicos es sencillo activar la

función de tirante se suma la facilidad constructiva al emplearse elementos realizados en taller minimizando las operaciones en obra.

La solución adoptada en la de los puentes de Cusco es de este tipo, un tablero mixto acero hormigón en una disposición en emparrillado “ladder girder” formada por dos vigas longitudinales de bordes unidas por vigas transversales separadas entre 4.0 y 4.50 m para no penalizar el diseño de la losa superior de concreto. Esta se realiza sobre prelasas prefabricadas. El peso del hormigón es resistido por la estructura metálica pero una vez fraguado la acción mixta actúa en ambas direcciones en tanto se disponen pernos conectadores en ambas familias de vigas.

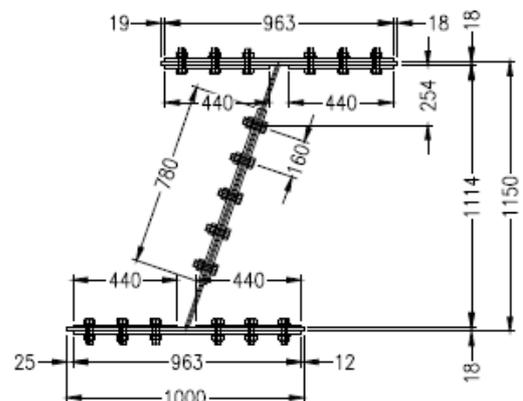
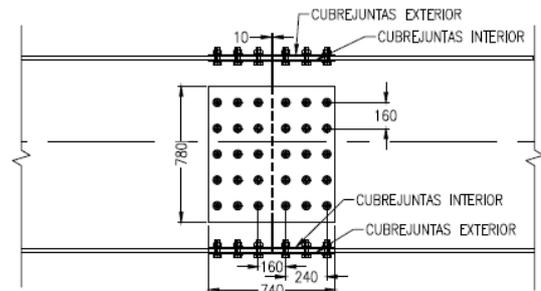
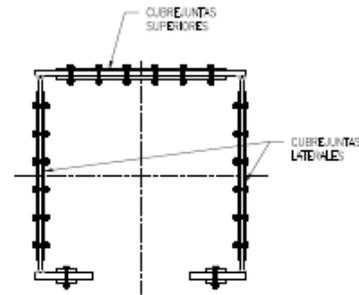
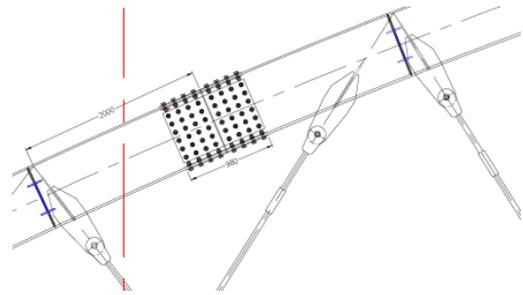
Todas las uniones en obra son atornilladas realizadas con tornillos pretensados.



El tablero está realizado mediante un entramado de vigas en doble T en el cual las vigas longitudinales funcionan como tirantes y las transversales están separadas entre 4m y 4.5m. Las vigas transversales no tienen el ala superior alineada con el ala superior de la viga longitudinal, sino que están descolgadas 0.30m para albergar la losa de hormigón a la cual están conectadas mediante pernos conectadores.

### 3.6 Uniones

Para facilitar el montaje y evitar soldadura en obra todas las uniones en obra tanto de arco como de tablero se realizaron con tornillos de alta resistencia



### 3.7 Configuración sísmica

La superestructura está apoyada sobre cuatro apoyos de neopreno, que nos sirven además para aislar la estructura frente al sismo. La PGA de la zona está entre 0.30g y 0.39g, que aunque en Perú no sea de las zonas más sísmicas, sí que

se puede considerar que ya hablamos de una aceleración de suelo importante.

Los estribos empleados dependen de las condiciones de las obras. En algunas fue posible realizar simples cargaderos sobre una línea de pilotes, y en otros caso la que se plantearon fueron cargaderos en los que descansaba la superestructura, cimentados con pilotes de hormigón de 1.50m de diámetro

### 3.8 Unión arco-tablero

Un detalle abordado de una forma novedosa fue la zona de unión arco-tablero. La disposición de péndolas en esta zona siguiendo el criterio general llevaría a disponer allí elementos muy cortos, de relativa alta rigidez que distorsionan el comportamiento así como de ser susceptibles de entrar en compresión.

Por este motivo se realizó una transición en la que se eliminaron las últimas péndolas y se conectó el arco y viga longitudinal por medio de una chapa. Esta solución además de solucionar satisfactoriamente el comportamiento resistente de esta zona mejora claramente desde el punto de vista formal la unión de ambos elementos que, en nuestra opinión, cuando se realiza de forma directa aporta un aspecto algo débil.

Para aligerar la presencia de esta chapa y evitar que hiciera un efecto de pantalla excesivo se introduce un aligeramiento circular en ella, de una forma similar a la empleada en el proyecto del paso superior del Portal de Castilla en Vitoria.



Figura 12. Paso del Portal de Castilla. Vitoria. (CFC 1994)



Figura 13. Detalle encuentro arco-tablero.

## 4. Puentes de 65 m de luz.

En el caso de los puentes más pequeños se colocan los arcos en los límites de la calzada y en un plano vertical. El motivo de no disponerlos inclinados y en los bordes –para reducir el arriostramiento transversal tal como se realiza en los puentes de 75 y 85 m- es que el gálibo impone unos valores de inclinación máxima que en luces tan pequeñas se traducen una pequeña aproximación de los arcos. Resulta pues más ventajosa esta disposición, que permite también reducir la luz de las vigas transversales.

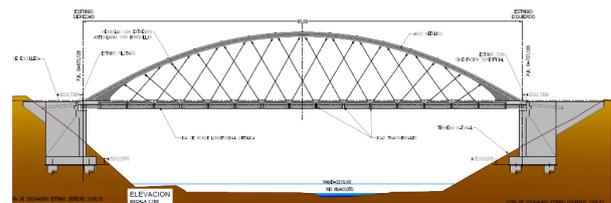


Figura 14. Alzado tipo de puente de 65 m (Cachimayo)

Las vigas longitudinales de los puentes de 65m tienen las almas verticales puesto que los arcos y las péndolas están en un plano vertical y alineados con ellas.

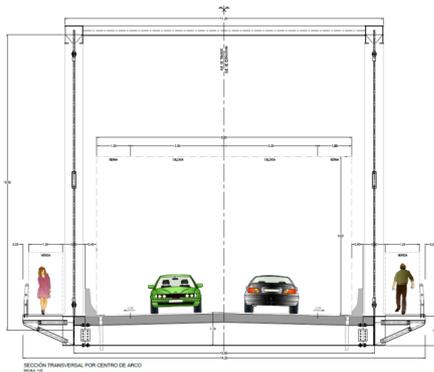


Figura 15. Planta y alzado del viaducto.

De esta manera las zonas peatonales se disponen por fuera sobre voladizos que son sustentados por una estructura formada por perfiles ligeros en prolongación de las vigas transversales.

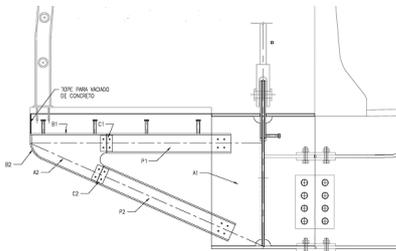


Figura 16. Detalle de la unión de la viga transversal y el voladizo

Los arcos se arriostran transversalmente con una configuración en K mediante perfiles metálicos en doble T.

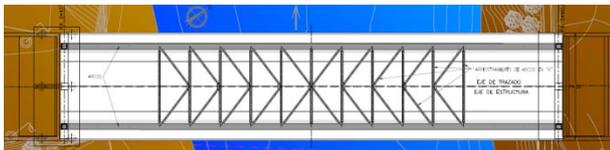


Figura 17. Planta con arriostramientos en K

### 3.9 Péndolas

Las péndolas se realizan con barras de acero galvanizadas de límite elástico 540 MPa con extremos en horquilla fijados a orejetas conectadas al arco y al alma de las vigas longitudinales. Se emplearon diámetros de 36, 42,48 y 56 mm. La longitud máxima de las barras es de 12 mm, empalmándose con manguitos cuando se superaba esta longitud.

Todas las barras se disponen en un mismo plano para hacer coincidir los anclajes con el eje del arco y el eje de las vigas longitudinales.



Figura 18. Detalle anclaje de péndola en arco y tablero

El cruce de las péndolas se soluciona con el sistema de manguitos rasgados. Para evitar el contacto con la barra se intercalan calzos de caucho.



Figura 20. Detalle cruce péndolas con manguito rasgado

Las barras se dimensionaron con los criterios de diseño tirantes estructurales, limitando en todo caso la carga máxima bajo cargas de servicio al 45% fpu. El sistema de barras y de manguitos debía garantizar condiciones de resistencia a fatiga adecuadas para garantizar su comportamiento a largo plazo bajo las oscilaciones de carga.

La puesta en carga de las péndolas se realiza actuando sobre los manguitos tensores. En una estructura de alta hiperestaticidad y cuya configuración va cambiando según la puesta en carga sucesiva de péndolas es necesario estudiar con cuidado la puesta en carga de las péndolas. Para ello se estableció una secuencia con doble pasada con lectura final de la carga en todas las barras para realizar el correspondiente ajuste final.

## 5. Puentes de 75 m y 85 m de luz.

En los puentes de 75m y 85m si tiene efectos prácticos en la simplificación del arriostramiento transversal la inclinación de los arcos hacia el interior. En este caso conviene pues disponerlos en los bordes para poder salvar las zonas de tráfico con un ángulo de 15°. Es pues necesario disponer las vigas longitudinales en los bordes de la sección transversal y aumentar la dimensión de las vigas transversales, dejando ahora la zona peatonal en el espacio entre arcos

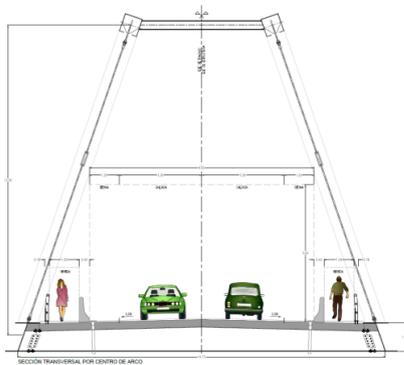


Figura 21. Sección por centro de vano

Con esta disposición el arriostramiento se puede plantear simplemente con elementos transversales.

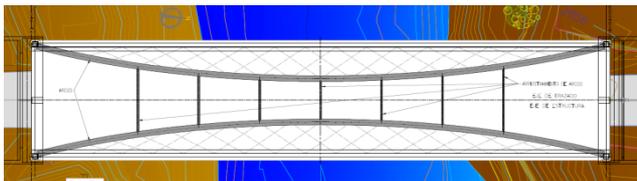


Figura 22. Planta puente Urubamba L=75 m con arriostramiento transversales entre arcos

Todo esto tiene como resultado una configuración formal indudablemente más dinámica y limpia que en las soluciones más pequeñas.

La viga longitudinal del tablero se ajusta convenientemente inclinando su alma para hacerla coincidir con la del plano del arco. La sección del arco se mantiene igual que a la de los puentes de 65 m, simplemente se gira para hacer coincidir su eje con la dirección del plano del arco.

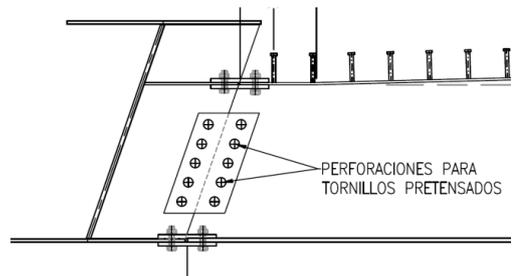


Figura 23. Detalle de la unión de la viga transversal a la viga longitudinal en los puentes de 75m y de 85m

Los estribos que se plantearon fueron cargaderos en los que descansaba la superestructura, cimentados con pilotes de hormigón de 1.50m de diámetro



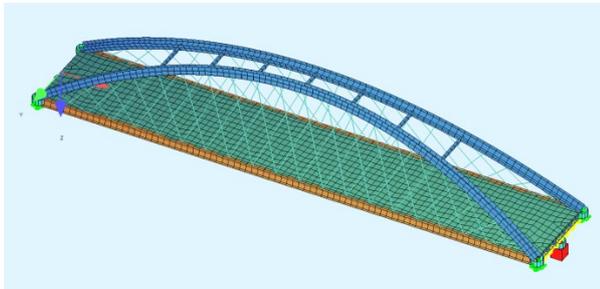
Figura 24. Vista de la viga de borde y el arco

## 6. Cálculos estructurales

### 6.1. Modelo general

El estudio del comportamiento global de las estructuras se realizó con modelos espaciales de elementos finitos en el que se combinaban

elementos lineales –empleados en arco y vigas del tablero- con elementos lámina –para reproducir la losa y la zona de unión arco-tablero. Las péndolas se modelizaron con elementos tipo cable, esto es articulados en sus extremos y sin capacidad de recoger compresiones.



**Figura 19. Modelo de cálculo del puente Combapata (luz = 75m)**

Los apoyos de neopreno se reprodujeron por medio de muelles lineales en todas las direcciones.

La normativa de diseño empleada fue la AASHTO LRFD Edición 2014 y por tanto todas las comprobaciones de la estructura se hicieron como es habitual de acuerdo a los planteamientos de los estados límite.

Como ya se ha referido la estructura tiene un comportamiento con acción mixta acero-hormigón bajo las cargas de servicio, las cargas de peso propio son sin embargo sólo resistidas por la estructura metálica. El modelo empleado combinando elementos lámina y vigas permitió evaluar de forma precisa la concentración de tensiones en la losa en la zona de conexión en el encuentro arco-tablero y distribuir la armadura de refuerzo convenientemente.

La carga en las péndolas se establece para compensar tanto el peso propio como las cargas muertas. Para ello estaba previsto dar dos escalones de carga, de manera que las cargas permanentes se recojan de forma activa.

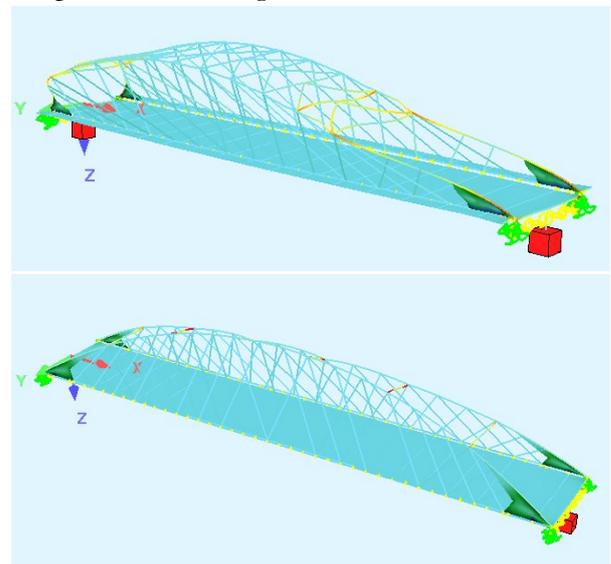
Hay que indicar no obstante que en este tipo de estructuras, especialmente éstas de dimensiones reducidas, no son tan sensibles como los arcos de péndolas verticales o los puentes atirantados, a los errores en las cargas iniciales en tanto el sistema puede recoger de

forma pasiva las cargas sin que crezcan descontroladamente los momentos flectores.

Las comprobaciones también incluyeron la comprobación de la estabilidad del arco frente a efectos no lineales.

En general el pandeo del arco en el plano está muy eficazmente controlado por la configuración cruzada de péndolas, esto permite precisamente reducir las exigencias resistentes a flexión de la sección del arco.

En sentido transversal se controla principalmente por medio de los arriostramientos entre arcos. Como se ha referido en el caso de arcos en planos verticales - para luces de 65 m- la separación de estos es importante y es necesario aportar una mayor rigidez por medio de un arriostramiento triangulado –en estas obras en “K”. Para las obras donde se inclinan los arcos hacia el interior y se reduce su separación, los comprobaciones de estabilidad con cálculos no lineales en grandes desplazamientos mostraron la viabilidad de un arriostramiento más sencillo simplemente con vigas transversales.



**Figura 20. Modos de pandeo transversal de los arcos en los puentes de 65 y 85 m.**

## 6.2. Modelo local del nudo arco-tablero

La unión del arco-tablero se estudió con modelos locales de elementos finitos tipo lámina con el objetivo de optimizar y comprobar su eficacia y optimizar su diseño. Una vez establecidas las dimensiones y zona de extensión de la transición, los modelos se emplearon para comprobar la estabilidad de esta zona frente a efectos de abolladura.

En el caso de los puentes de 65 m en principio se estimó que disponer una chapa auxiliar en el eje del arco conectando con las almas de la viga sería suficiente.

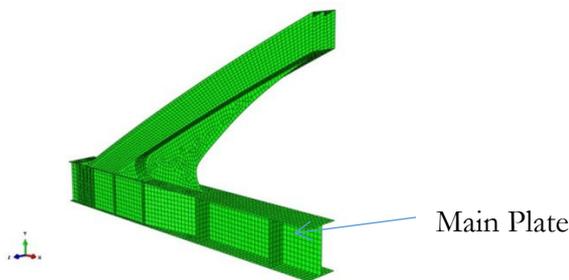


Figura 21. Modelo de láminas del nudo

Se llevó a cabo un cálculo no lineal teniendo en cuenta grandes deformaciones, e introduciendo en las comprobaciones una imperfección inicial homotética a los modos de pandeo más críticos (figura 23).

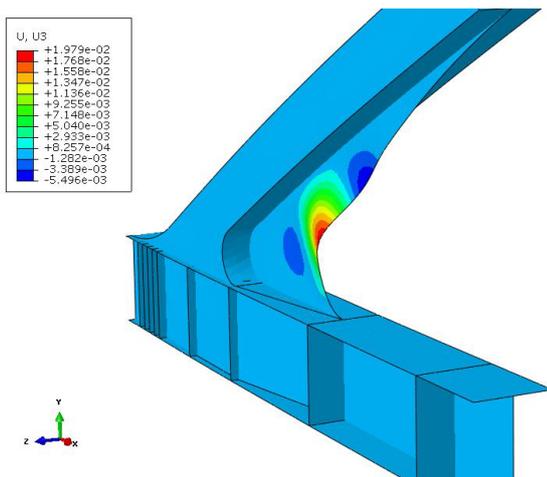


Figura 22. Imperfección aplicada al modelo

El análisis demostró que era necesario además disponer una chapa de rigidización en el borde 12x100 controlando así perfectamente cualquier inestabilidad.

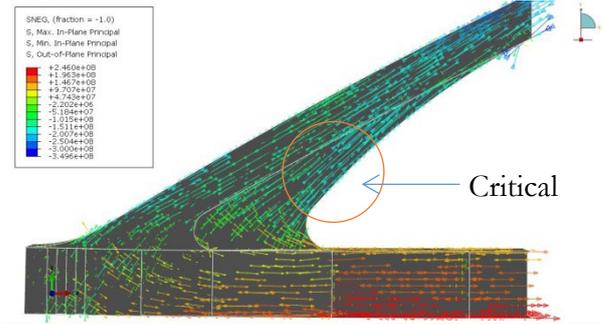


Figura 23. Tensiones principales con rigidizador

En el caso de los puentes de 75 m u 85 m como ya se ha mencionado la chapa de transición cuenta con un aligeramiento circular. Los resultados mostraron que además de la necesidad de rigidizar el borde libre, para controlar una concentración de tensiones y la consiguiente tendencia a la abolladura la proximidad del hueco y era necesario disponer una nueva rigidización en diagonal

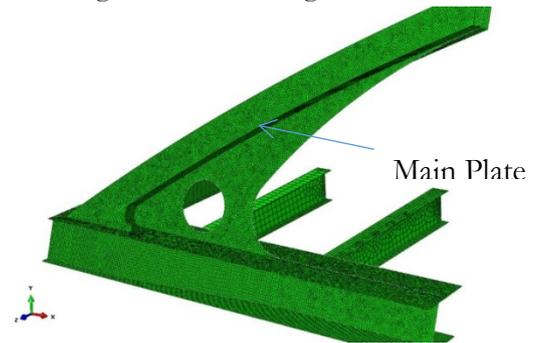


Figura 30. Diseño inicial para Luz 75m

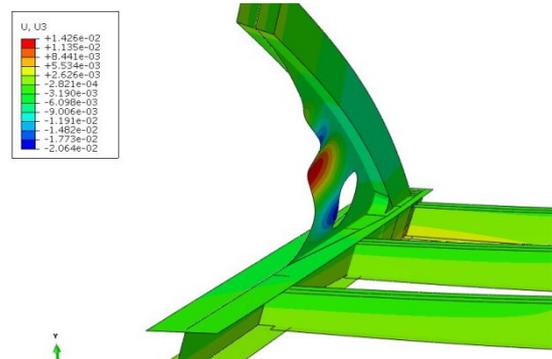


Figura 31. Modo de pandeo

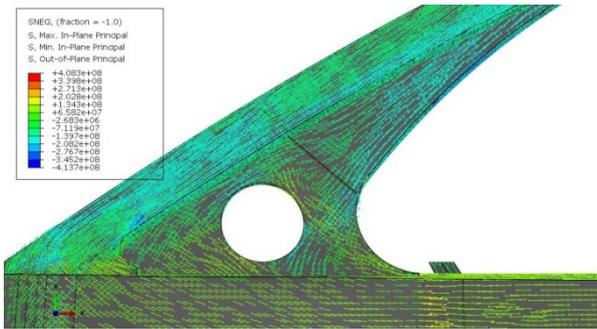


Figura 32. Distribución de tensiones principales

## 7. Procedimiento constructivo

### 7.1 Montaje estructura metálica

Se propusieron 3 alternativas para el montaje de los network en función de la posibilidad de ocupar el lecho del río:

ALTERNATIVA 1: Construyendo un par de apeos auxiliares en el cauce y montando la estructura sobre ellos en su posición definitiva: primero el tablero metálico y luego con unos apeos sobre éste se construye el arco

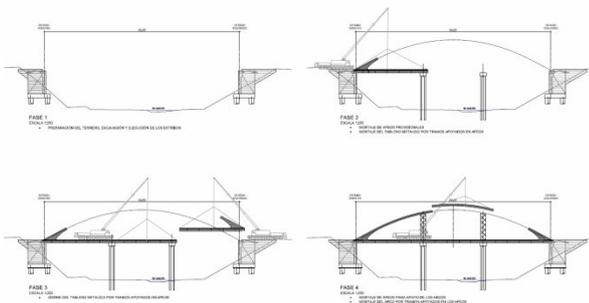


Figura 33. Alternativa 1.

ALTERNATIVA 2: Se colocan apeos provisionales en el cauce, se va construyendo la estructura en una orilla y lanzando de manera progresiva sobre los apeos. Para poder utilizar esta alternativa es necesario que el cauce pueda ser ocupado

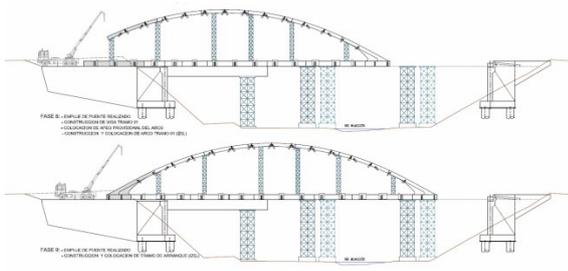


Figura 24. Alternativa 2.

ALTERNATIVA 3: Se propuso como proceso constructivo óptimo la ejecución de la estructura metálica completa en una orilla para a continuación empujarla sobre él y la “pesca” del extremo desde la orilla de enfrente. De esta manera se podía salvar el cauce sin tener que poner ningún apeo intermedio

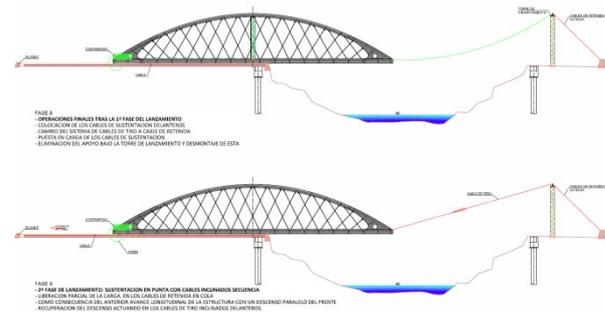


Figura 35. Alternativa 3

Durante las obras, la solución adoptada por la constructora fue la segunda mencionada, colocando apeos auxiliares intermedios en época de estiaje.



Figura 25. Proceso de construcción por lanzamiento sobre torretas provisionales

## 8. Cuantías principales

Tipo	Acero estructural *	Acero péndolas **
Puente 65m	205kg/m <sup>2</sup>	8.2 kg/m <sup>2</sup>
Puente 75m	238kg/m <sup>2</sup>	10.5 kg/m <sup>2</sup>
Puente 85m	244kg/m <sup>2</sup>	11.5 kg/m <sup>2</sup>

\* Grado 50 fy = 355 MPa

\*\* Péndolas sistema barra estructural VSL /ANKER SCHROERDER fy = 540 MPa

## 9. Ficha técnica

- Propiedad: *Provias Nacional. M° de Transportes y Comunicaciones del Gobierno del Perú.*
- Proyecto 2016-2017: *CARLOS FERNANDEZ CASADO S.L.*: Javier Muñoz-Rojas, Sara Fernández, Pedram Manoucheri  
*HUALCA*: Jorge Toro, Juan Manuel Juez, Ana Díaz, Jorge Giganto.
- Construcción 2018-2019: *Consortio Chakakuna Qosco (Incot, Aterpa)*
- Péndolas: *VSL*

## Referencias

- [1] Tveit P. *An Introduction to the Network Arch.* Lectures at NTNU Trondheim. Norway 2006.
- [2] Tveit P. *The Network Arch.* Author's home page <https://home.uia.no/pert>. 2014.
- [3] Astiz MA, Rodriguez R, *Puentes arco tipo network. Aproximación crítica al estado del arte y reflexiones sobre posibles distribuciones de péndolas.* VI Congreso de ACHE. Madrid. 2014
- [4] Presland R, Gulley N. *East Taupo Arterial-Waikato River Bridge.* Sustainable Bridges: The Thread of Society. AP-G90/11\_021. ABC 2011.
- [5] Larseen R, Jakobsen S, *Brandangersundet Bridge. A slender and light network arch.* 35th Annual Symposium of IABSE London, September 2011
- [6] Muñoz-Rojas J, *Diseño y construcción de puentes arco network. Ejemplos de realizaciones económicas para luces medias y cortas.* V Simposio Internacional. Diseño y construcción de puentes. UIS. Bucaramanga, Colombia. 2018
- [7] Millanes F et al. *Proyecto y ejecución de dos arcos con elementos tubulares y sistema de péndolas tipo "network": Puentes arco de Deba y Palma del Río.* Hormigón y Acero. Vol. 61 n° 257, págs. 7-39. Julio-Septiembre 2010
- [8] Schanak F. *Puentes en Arco Tipo Network - Una estructura estética y económica para salvar grandes luces.* Universidad Austral de Chile. 10.13140/RG.2.1.2475.3042. 2011
- [9] Janata, V.; Gregor, D.; Šašek, L.; Nehasil, P.; Wangler, T. *New Troja Bridge in Prague- Structural Solution of Steel Parts".* Procedia Engineering. 40:159-164.