

# Proyecto y construcción del puente de Maranura sobre el río Vilcanota en Perú

## *Design and Construction of the Maranura Bridge over the Vilcanota River in Peru*

Javier Muñoz-Rojas <sup>a</sup>, Sara Fernández <sup>b</sup>, Manuel Valero <sup>c</sup>, Pedram Manouchehri <sup>d</sup>,  
Miguel A. Ginés <sup>e</sup>, Juan Manuel Juez <sup>f</sup>, Jorge Toro <sup>g</sup>, Jorge Delgado <sup>h</sup>, Donata Trost <sup>i</sup>  
Alberto Pérez <sup>j</sup>,

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

<sup>d</sup> Ingeniero Civil. Carlos Fernández Casado S.L. Madrid

<sup>f, g</sup> Ingeniero Caminos, Canales y Puertos. HUALCA

<sup>h, i</sup> Ingeniero Caminos, Canales y Puertos. CFC Sucursal Perú

<sup>j</sup> Ingeniera Civil. CFC Sucursal Perú

## RESUMEN

El puente de Maranura sobre el río Vilcanota está localizado en la región de Cusco y ha sido promovido por el M<sup>o</sup> de Transportes y Comunicaciones-PROVIAS. Se trata de un puente arco de tablero superior de hormigón armado, que tiene una longitud total de 202 m, una luz máxima de 150 m correspondientes al arco parabólico de 15 m de flecha (1/10L) que salva el cauce a una altura de unos 100 m., y una separación de 15m entre las pilas. El tablero de 11.70 m de anchura, también se resolvió con una solución ligera y sencilla de construir por medio de una sección transversal en “ $\pi$ ” de hormigón armado.

## ABSTRACT

The Maranura bridge over the Vilcanota river is located in the Cusco region and has been promoted by the Ministry of Transportation and Communications-PROVIAS. It is an arch bridge of reinforced concrete top deck, which has a total length of 202 m, a maximum span of 150 m corresponding to the parabolic arch of 15 m of rise (1 / 10L) that saves the channel at a height of about 100 m., and a distance of 15m between the piers. The 11.70 m wide deck was also solved with a light and simple solution to build by means of a cross section in “ $\pi$ ” of reinforced concrete.

**PALABRAS CLAVE:** Arco inferior, arco hormigón, tablero hormigón armado, aislamiento, push-over

**KEYWORDS:** Arch with upper deck, concrete arch, reinforced concrete girder, isolation, push-over

## 1. Introducción

El nuevo puente forma parte del proyecto “ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCION DEL PUENTE DE MARANURA Y SUS ACCESOS” del M° de Transportes y Comunicaciones- PROVIAS del Perú, que fue adjudicado al Consorcio Maranura, integrado por las firma española CPS Ingenieros y Geoconsult.

CFC y HUALCA Ingenieros, han llevado cabo el estudio de alternativas y el proyecto constructivo del puente objeto de dicho contrato, concluido en Marzo de 2015.

El puente forma parte de la carretera Cusco – Quillabamba, tramo: Alfamayo – Chaullay – Quillabamba, de gran importancia dentro del sistema de carreteras de la región debido a la intensidad de tráfico que recoge y por el carácter turístico de toda la zona del Valle Sagrado del Inca. El objetivo de la actuación era mejorar el cruce sobre el río Vilcanota, en la localidad de Maranura (Provincia de La Convención, Departamento de Cuzco) que debía realizarse por un puente tipo Bailey, emplazado en el fondo del valle al que la carretera desciende con un trazado muy forzado.

En la fase inicial del proyecto se compararon diversos emplazamientos así como distintas soluciones constructivas para la nueva obra. Finalmente se decidió que el trazado que arranca desde la carretera hacia Quillabamba y tras sucesivas curvas suaves salva el río Vilcanota con un puente de 202 m de longitud, entroncando al otra lado con la carretera existente a la salida de la población de Maranura.

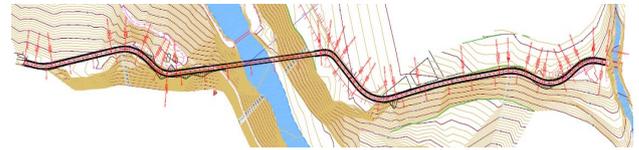


Figura 1 Trazado en planta

Tras la comparación de diversas alternativas, la solución que se consideró más adecuada para resolver el cruce sobre el río fue la de un puente tipo arco de tablero superior. Éste se implanta de forma muy adecuada en laderas de fuerte pendiente como las de este cruce en tanto se apoya en ellas a media altura y transmite reacciones sensiblemente normales a las mismas.

La elección del tipo de material a emplear fue igualmente consecuencia de un estudio comparativo entre soluciones de hormigón y de acero/mixta. Se estableció finalmente que toda la obra se realizara en hormigón armado, decisión en la que tuvo un peso decisivo el interés de la Administración de minimizar los costes de mantenimiento de la obra a largo plazo.

En lo relativo a la solución constructiva del arco y tablero, el condicionante principal proviene de la dificultad de acceso de equipos y materiales a la obra en tanto se trata de un emplazamiento alejado de grandes centros urbanos. Por tanto se las soluciones que se estudiaron estaban basadas en secciones sencillas de construir y planteando vanos de dimensiones pequeñas para el empleo de soluciones en hormigón armado.

## 2. Descripción de la Obra

El encaje final ha aportado una longitud total de puente de 202 m, de los cuales 150 m corresponden al salto del arco sobre el cauce. Se distribuye en 14 vanos con luces 11.0+12x15.0+11.0. Los 10 vanos centrales se

apoyan sobre un arco parabólico de 150 m de luz y una flecha vertical en la clave de 15 m, encajando de una forma muy limpia y hermosa en la escarpada orografía del cruce. Los vanos extremos se apoyan sobre pilares cimentados directamente en la roca y en los estribos finales.

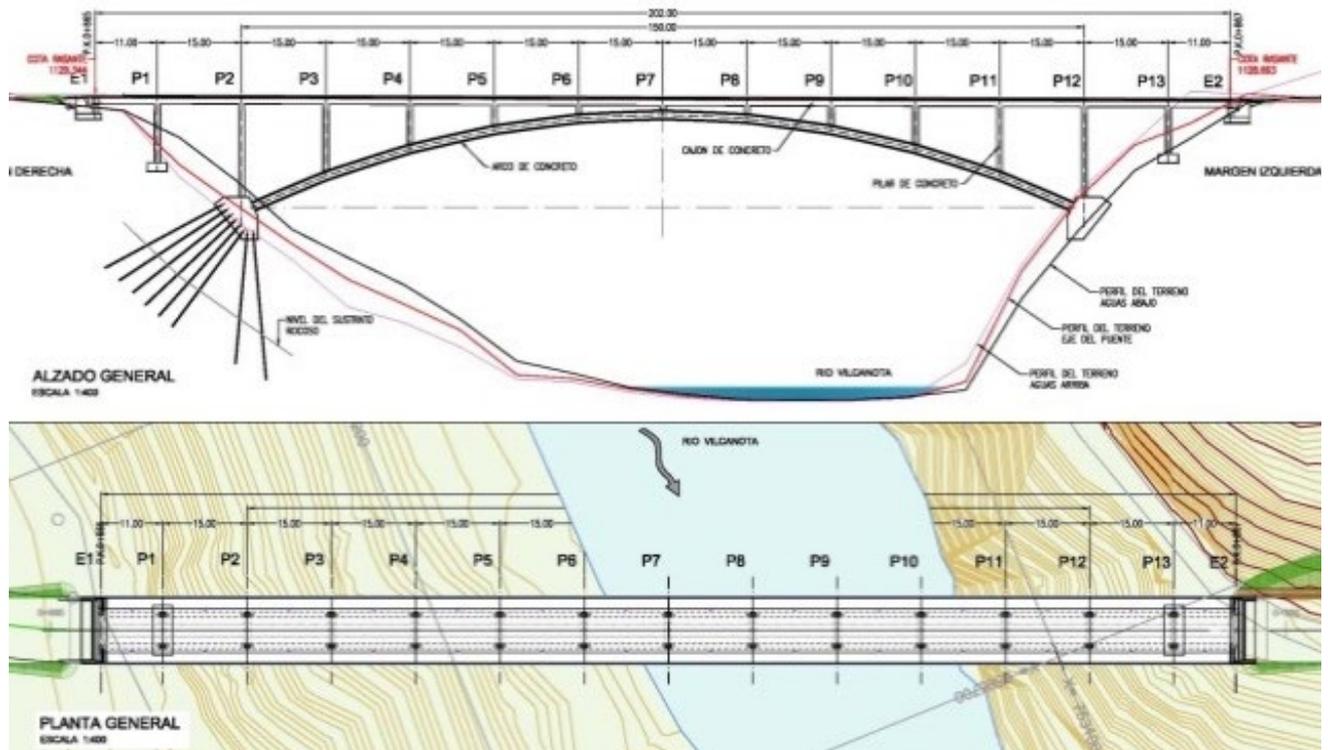


Figura 2 Alzado y Planta de la solución arco



Figura 3 Imagen virtual en vista frontal

La sección debe alojar dos carriles de tráfico de 3.30 m, arcenes de 0.65 m y veredas peatonales laterales de 1.90 m, lo que proporciona una anchura total de 11.70 m. Dicha sección se mantiene en los accesos previstos al puente.



Los pilares contiguos a los estribos se cimentan directamente en el terreno por medio de zapatas superficiales. El resto de pilares se empotra en el arco de 150 m que sirve para salvar el cruce sobre el río.

Los arcos siguen un trazado poligonal con tramos rectos entre los arranques de las pilas, en cuya sección se circunscribe a una parábola de segundo grado que pasa por arranques y por la clave. Como se ha referido el arco es doble, con sendos consta de doble línea. Se trata de un arco doble, de manera que se dispone un elemento en arco debajo de cada una de las vigas del tablero. La sección de cada uno de ellos es un cajón octogonal.

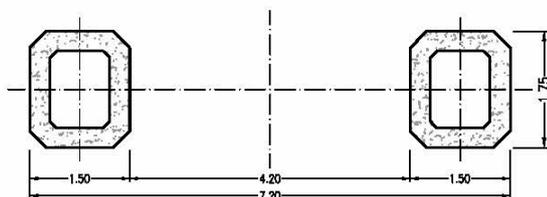


Figura 8 Sección arco concreto

Los dos arcos se arriostran transversalmente entre ellos cada 15 m en las secciones de apoyo de los pilares por medio de vigas rectangulares.

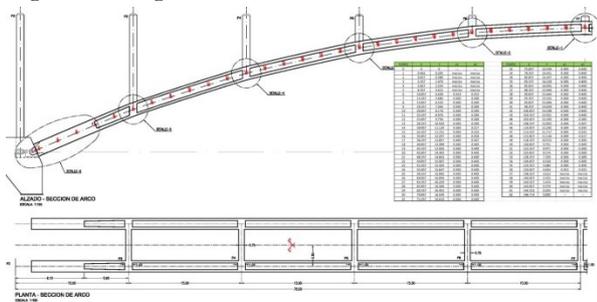


Figura 9 Alzado y planta de semiarco

Los estribos son obras normales de hormigón formados por muros de frente y de vuelta para retener las tierras de los accesos. Se emplean como elementos auxiliares para el anclaje de los tiros de los cables de retenida durante la maniobra de abatimiento, por lo cual se encuentran reforzados con diafragmas para referir los tiros de los cables a las cimentaciones, que a su vez se refuerzan con anclajes y micropilotes.

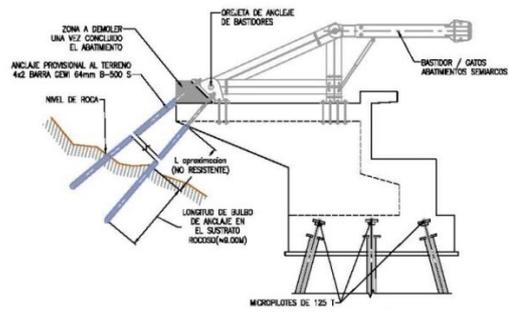


Figura 10 Estribo para abatimiento

### 3. Proceso de Construcción. Solución de proyecto

Durante el proyecto se desarrolló el procedimiento que aparecía como más adecuado, el abatimiento de los semiarcos montados verticalmente y descendidos de forma controlada hasta su posición definitiva por medio de cables auxiliares.

Este sistema requiere pues construir previamente las dos mitades del arco sobre sus apoyos en vertical y llevarlos a su posición definitiva haciéndolos girar con respecto a sus arranques sobre rótulas provisionales de forma controlada por medio de cables auxiliares que les retienen.

Es un procedimiento que se adapta muy bien a orografías con quebradas abruptas, como la que tenemos, donde es difícil implantar en las laderas zonas de apoyos para pilares verticales pues implican enormes desmontes y además el efecto de la carga vertical en la ladera es un factor que normalmente vuelve más críticas las condiciones de estabilidad de las mismas.

Este procedimiento se ha empleado frecuentemente en los últimos años, en particular en España se ha empleado en viaductos del ffcc de alta velocidad para salvar las zonas más complejas del cruce.



Figura 2 Abatimientos de los puentes de Endarlatsa (2008) y del viaducto del TAV sobre el río Tera. (2013) Proyecto CFC

situ mediante encofrados trepante colados in situ en vertical por medio de bombeo o grúas. Los semiarcos se estabilizan sujetándolos contra el tablero de los primeros vanos, que se ancla a su vez en el estribo de forma provisional.

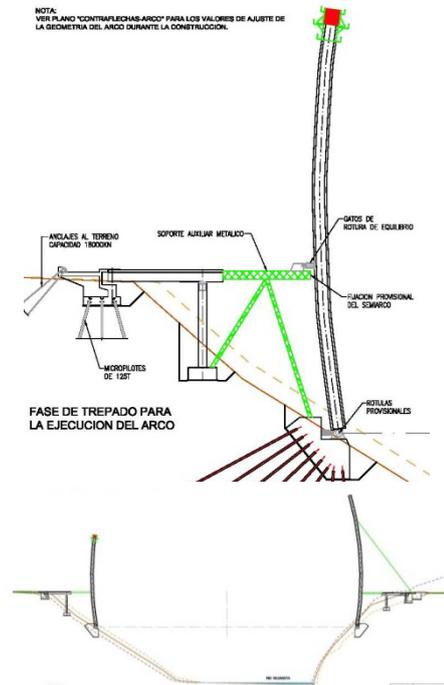


Figura 4 Posición inicial de abatimiento



Figura 3 Viaducto de la Cultura. Arequipa. CFC 2013

Dado que los arcos son de hormigón, se ha considerado que la solución constructiva más sencilla para erigirlos es la fabricación in-

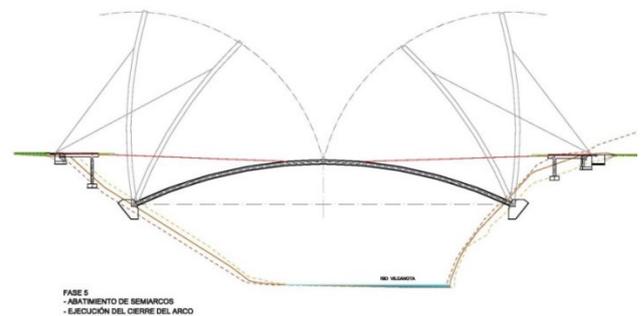


Figura 5 Abatimiento

La ejecución posterior del tablero se realiza vano sobre cimbra apoyada en el arco o con una sencilla autocimbras para apoyar el

encofrado. Los avances serán simétricos desde ambos arranques para evitar cargas asimétricas sobre el arco.

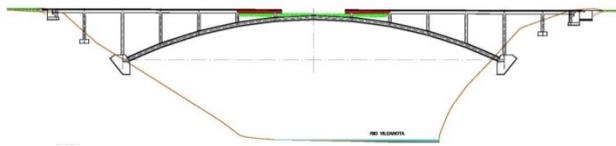


Figura 6 Ejecución del tablero

Sin embargo, durante la construcción del puente surgió un nuevo condicionante: la constructora estaba haciendo otro puente arco en Perú, Chacanto, cuya construcción se realizaba mediante cimbra, de manera que se planteó la idea de aprovechar la cimbra del este arco para el nuestro de Maranura. El sistema se describe en detalle en [6]. Las luces del arco de Chacanto eran sólo 100m, así que había que adaptarlo ampliándolo hasta 150m.

La longitud total de la cimbra es de 143.68 m y un canto de 1.8 m., con una sección cerrada en cajón. La separación entre estos cajones es 5.70m que corresponde a la separación de los arcos, y están arriostrados en la parte superior

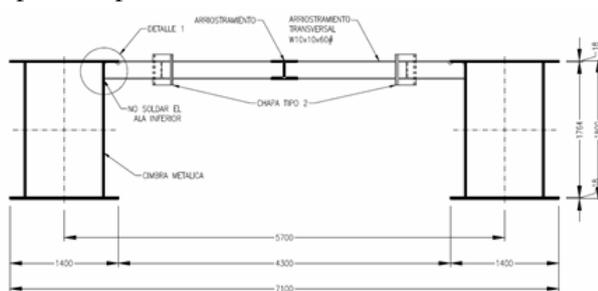


Figura 7 Sección de la cimbra

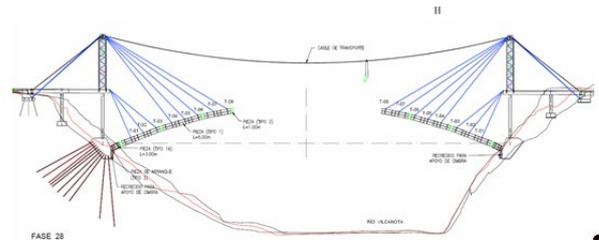


Figura 8 Montaje de la cimbra por voladizos



Figura 9. Arco en fase intermedia de hormigonado

La normativa de referencia ha sido la norma ASSHTO LRFD Edición 2010.

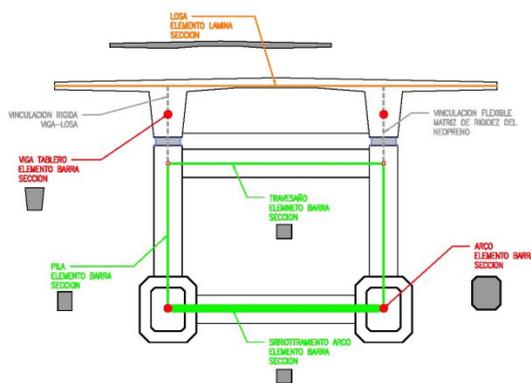
Desde el punto de vista resistente el tablero se trata de una obra convencional, de hormigón armado continuo de estribo a estribo.

El arco de ha definido un proceso iterativo a partir de una directriz de partida con una parábola de 2º grado hasta llegar al antifunicular de las cargas permanentes para minimizar las flexiones en esta situación.

Como es sabido el diseño de los arcos en sentido longitudinal está condicionado por las flexiones de provocadas por la acción asimétrica y eventualmente en zonas sísmica por el sismo longitudinal y vertical. El dimensionamiento en sentido transversal a su vez suele estar gobernando por el viento y en zonas sísmicas por el sismo transversal.

En el arco de Maranura está última situación fue la más condicionante para definir espesores y armadura de las secciones críticas - como los arranques que fueron macizados en

una cierta distancia-. Los esfuerzos de dimensionamiento se obtuvieron de un modelo espacial que reproducía todos los elementos estructurales, incluyendo la interacción suelo-estructura por medio de muelles. Se emplearon elementos lineales en arco, pilares y nervio longitudinal del tablero. La losa superior fue reproducida por un elemento lámina.

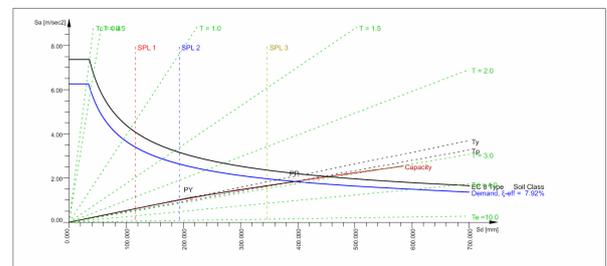
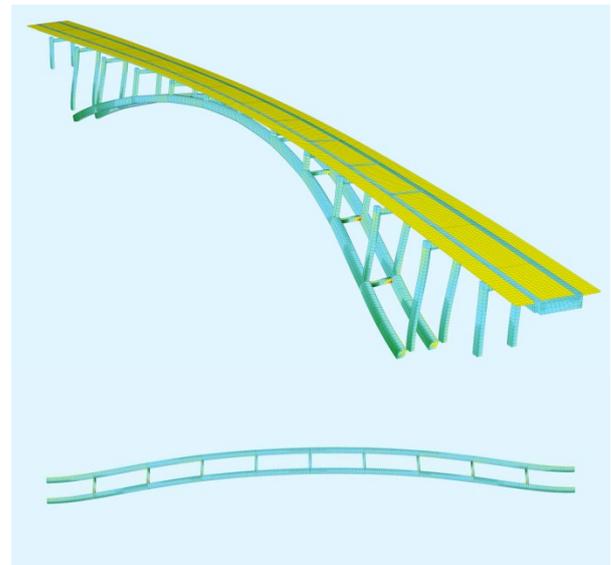


Además de las comprobaciones seccionales habituales a partir de los esfuerzos máximos se llevó a cabo la comprobación de la capacidad última por medio de un análisis push-over (que englobaba entonces las comprobaciones de inestabilidad ante efectos de 2º orden).

En este sentido se realizaron dos comprobaciones:

- Un análisis del arco bajo cargas de servicio (tráfico, viento, peso propio etc.) asumiendo también una imperfección inicial homotética a los modos de pandeo laterales y verticales crítico. Por medio de un análisis incremental se lleva a rotura con un cálculo que incluye la no linealidad geométrica y la no linealidad de los materiales a través de sus curvas constitutivas.

- Un análisis no lineal pushover sísmico, que evalúa la capacidad del puente bajo demanda sísmica. Se trata de un complemento al análisis modal clásico ya que tiene en cuenta las no linealidades asociadas a los materiales y a la aparición de plastificaciones.



ATC: A - D Capacity-Demand-Diagram

El apoyo del arco en el terreno se realiza de forma directa en la margen derecha donde la roca aflora superficialmente. En la otra margen sin embargo las capas superficiales son rellenos poco competentes y por ello la transmisión de reacciones a la roca subyacente se realiza por medio de micropilotes metálicos de 125 t de capacidad.



Figura 13 Imagen virtual del puente acabado

## 6. Cuantías

Hormigón tablero	1158m <sup>3</sup>	0.51m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Acero tablero	424777kg	188kg/m <sup>2</sup>
Hormigón arco	573m <sup>3</sup>	0.34m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Acero arco	199123kg	348kg/m <sup>3</sup>

- Propiedad:  
*Provias Nacional. M° de Transportes y Comunicaciones del Gobierno del Perú.*  
Alejandro Sánchez.
- Constructor: *TAPUSA*. Javier Romero, Jorge Delgado, Alberto Pérez
- Proyecto puente Maranura y accesos: *CPS*. Gonzalo , Jorge Toro.
- Diseño del puente *CFC+HUALCA*: Javier Muñoz-Rojas, Sara Fernández, Juan Manuel Juez
- Diseño de la cimbra *CFC*: Javier Muñoz-Rojas, Miguel Ángel Gil, Manuel Valero
- Fiscalización construcción. *CFC Sucursal Perú*: Donata Trost, Sergio de la Lastra

## Referencias

- [1] Manterola J., Muñoz-Rojas J. et al. *Construcción de puentes arcos de grandes luces. Parte I. Construcción en voladizo con atirantamiento provisional*. 1ª Conferencia internacional de puentes. 2014. Santiago de Chile. Chile.
- [2] Manterola J., Muñoz-Rojas J. et al. *Construcción de puentes arcos de grandes luces. Parte II. Abatimiento de semiarcos*. 1ª Conferencia internacional de puentes. 2014. Santiago de Chile. Chile.
- [3] Manterola J., Muñoz-Rojas J., Fernández S, Martínez A. *Viaducto sobre el río Tera en la LAV Madrid-Galicia*. V Congreso de ACHE de Puentes y Estructuras. Madrid 2014.
- [4] Manterola J., Muñoz-Rojas J., Fernández S, Martínez A *Viaduct over the River Tera on the HSR Madrid-Galicia*. 37 Congreso IABSE. Madrid. 2014.
- [5] Manterola J., Muñoz-Rojas J *Nuevo Puente sobre el río Bidasoa en Enderlatsa*. IV Congreso de ACHE de Puentes y Estructuras. Valencia. 2008.
- [6] Muñoz-Rojas J, Gil MA, Valero M. et al *Construcción en Perú de tres puentes arco de hormigón sobre cimbras metálicas autoportantes modulares instaladas por voladizos sucesivos con atirantamiento provisional*. VIII Congreso de ACHE de Puentes y Estructuras. Santander. 2020.