



Historia, comportamiento y retos del puente Rafael Iglesias

Ing. Luis Guillermo Vargas-Alas

Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural

luisguillermo.vargas@ucr.ac.cr



Fotografía cortesía de la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional, PITRA-LanammeUCR. Por P. Vega-Salas (2017).

Este boletín técnico está basado en la entrada del Blog LanammeUCR denominada “Puente Rafael Iglesias: Un hito de la Ingeniería en Costa Rica” (Vargas-Alas, 2017) con algunas modificaciones del autor.

Introducción

En el inventario de puentes de Costa Rica se encuentra un puente muy distinto a los demás que se pueden encontrar en las rutas nacionales del país. Esta estructura es el puente Rafael Iglesias sobre el río Colorado.

El puente Rafael Iglesias, fue diseñado en el año 1971 por un consorcio de empresas conformado por T.Y. Lin Internacional (de Estados Unidos) e INDECA Ltda (de Costa Rica). Mucha de la fama internacional de este puente es porque fue diseñado por el profesor T. Y. Lin, el cual, fue un reconocido ingeniero estructural profesor de la Universidad de California en Berkeley, diseñador de puentes y otras estructuras a nivel mundial. Muchos de los proyectos del profesor T.Y. Lin tienen características de ser estructuras creativas que brindan un balance entre elegancia y resistencia. En el diseño junto al profesor T.Y. Lin participaron también los ingenieros Y.C. Yang, Kam Lo y Félix Kulka.

La construcción del puente estuvo a cargo de la empresa Harbert Construction Co. de Birmingham, Alabama y la empresa Carrez Internacional de San José, Costa Rica. Mientras que la supervisión de la obra estuvo a cargo de la Empresa Baltodano, Echandi y Lara de Costa Rica, con los ingenieros Federico Baltodano y Eddy Henández como supervisores. El puente se terminó de construir en el año 1972.

El puente se ubica en la Ruta Nacional No. 1, en el kilómetro 34+380. Desde el punto de vista administrativo se encuentra en el límite entre los cantones de Grecia y Naranjo, de la provincia de Alajuela. La longitud total del puente es de 204 m y cruza sobre el cañón del río Colorado, el cual tiene una profundidad de aproximadamente 100 m en la ubicación del puente. El tramo suspendido del puente es el más largo de los tramos y mide 124 m entre los cabezales de las pilas inclinadas.

Tipología estructural del puente

Este puente es único en el mundo debido al concepto estructural que posee, al combinar cuatro tipologías estructurales: puentes colgantes, puentes tipo marco, puentes tipo banda tensada y puentes de arco. Se debe recalcar que éste es el único puente de Costa Rica con una banda tensada como sistema estructural, la cual, conforma el arco inferior.

En el mundo, hay muchos puentes de banda tensada, pero muy pocos se asemejan al puente sobre el río Colorado. A continuación se mencionan los tres puentes que más se asemejan al puente sobre el río Colorado: el puente Hayahinomine de 49 m (1977) en Miyazaki, Japón; el puente Taojin de 74 m (1988), en Shaoyang, Hunan, China y el puente peatonal Shiosai de 232 m (tramo máximo 61 m) (1995) en Shizuoka, Japón (ver figura 1).



Figura 1. Puentes con forma estructural similar a la del puente sobre el río Colorado: Puente Taojin (Sohu Media Platform, 2015), Puente Hayahinomine (Japan Concrete Institute, 1996), Shiosai (Tawashi2006, 2007)

Ninguno de estos puentes utiliza pilas inclinadas y como se mencionó tienen una longitud de tramo menor que la del puente sobre el río Colorado (124 m). En la página web donde se obtuvo la información del puente Taojin se menciona que el puente sobre el río Colorado es el primero de este tipo de puentes (Sohu Media Platform, 2015), lo cual, se comprueba al observar las fechas de construcción incluidas entre paréntesis.

Alternativas de diseño del puente

Según los registros históricos del puente, recopilados en artículos de T.Y. Lin y Félix Kulka (1973) y un trabajo

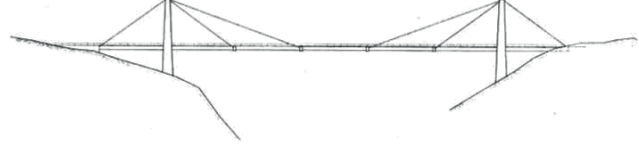
de graduación realizado por Sergio Rojas en 1970, se plantearon varias alternativas para cruzar el cañón del puente sobre el río Colorado. Las diferentes opciones consideradas para este puente se pueden ver en la figura 2.

De las opciones convencionales que se podían elegir, resultó más factible, pero con reservas, la opción de un puente suspendido con cables (puente colgante), y debía ser de concreto por facilidad en la fabricación de los elementos de la estructura en el país (Rojas-Solano, 1970) (ver figura 2-B.)

Alternativas de puente suspendido

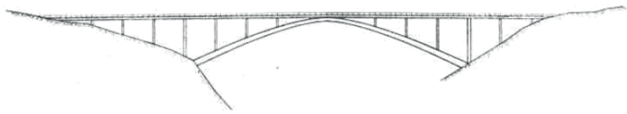


A) Puente colgante de acero

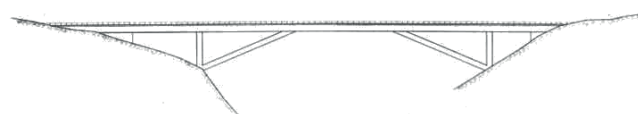


B) Puente colgante de concreto

Alternativas de puente de arco



C) Puente de arco en acero



D) Puente viga-arco de concreto

Alternativas de puente de arco



E) Puente de voladizo de acero



F) Puente de voladizo de concreto

Figura 2. Alternativas consideradas para el diseño del puente sobre el río Colorado (Modificado de T.Y. Lin Internacional, s.f.).

No obstante, esta opción requería torres muy altas, que elevaban el costo del puente. Es desde ahí que se propone una opción innovadora para la época, un puente llamado en el anteproyecto como tipo “viga-suspendida”. La propuesta implicó utilizar un material que apenas se empezaba a utilizar en puentes de la época en Costa Rica: el concreto preesforzado. La propuesta eliminó las torres por encima de la calzada y utilizó elementos prefabricados de concreto como unidades básicas de construcción (ver figura 3) (Rojas-Solano, 1970)

Esta primera propuesta (ver figura 3) se tuvo que modificar debido a las condiciones del suelo en el sitio; no obstante, “se retuvieron los principios fundamentales

de diseño y construcción” (Rojas-Solano, 1970). La modificación consistió en cambiar las pilas verticales a pilas inclinadas (ver figura 4).

La forma estructural particular de este puente se puede catalogar como un arco invertido. Sin embargo, según menciona el propio diseñador en una publicación del *Precast Concrete Institute* (PCI), el puente combina las potencialidades que puede dar un puente suspendido de cables y las de un arco de concreto (Lin y Kulka, 1973). Además, como se mencionó anteriormente, el tramo central suspendido también se clasifica como un puente de banda tensada (*stress-ribbon*).

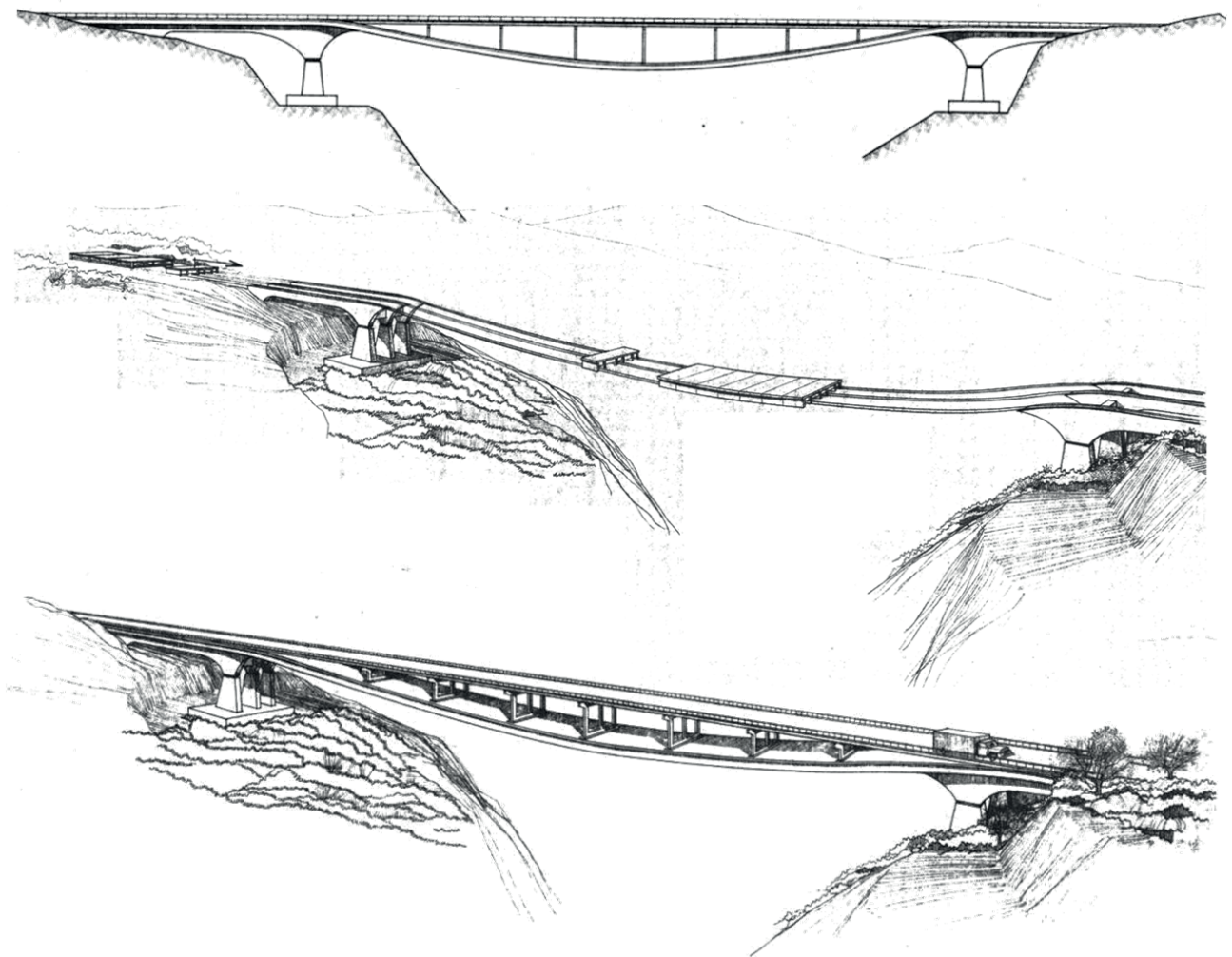


Figura 3. Alternativa elegida de puente tipo “viga-suspendida” para el puente sobre el río Colorado. Notar que las pilas que soportan el arco invertido de concreto inicialmente serían verticales. (Modificado de planos de anteproyecto de T.Y. Lin Internacional, 1968).

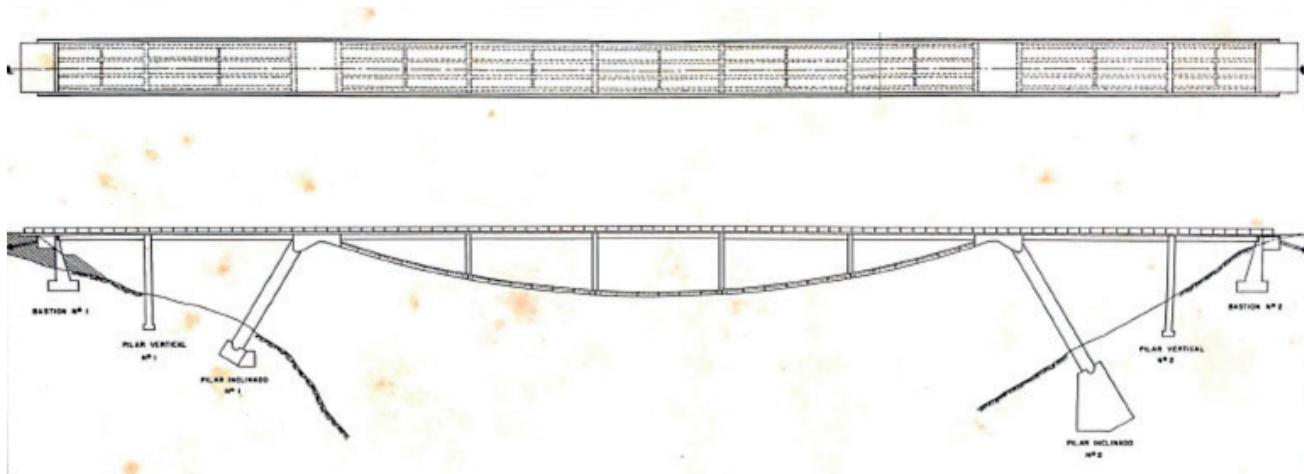


Figura 4. Esquema de la geometría final propuesta para el puente sobre el río Colorado. (Imagen digitalizada del trabajo de Sergio Rojas-Solano, 1970 en Vargas-Alas, 2017).

Durante la construcción, el puente tenía un comportamiento de puente suspendido, donde las pilas inclinadas tenían una función similar a las de los puentes colgantes. Mientras que en la actualidad se comporta más bien como un marco rígido de concreto, donde las pilas inclinadas permiten que el puente tenga también un efecto de arco (E. Hernández-Castrillo, comunicación personal, 1° de noviembre de 2017; Rojas-Solano, 1970). Más adelante, en la figura 8 se explica de forma ilustrativa el funcionamiento estructural del puente.



Figura 5. Proceso de colocación de paneles prefabricados de la losa inferior del tramo central. (Esquema modificado de los planos del puente (MOPT, 1968) y fotografía tomada de Kulka, 1973).

Construcción del puente Rafael Iglesias

El puente Rafael Iglesias tuvo una secuencia de construcción muy particular y distinta a las secuencias de construcción de otros puentes, la cual, se muestra en la figura 6. Además, en la figura 7 se pueden observar varias fotografías del proceso constructivo obtenidas de los artículos de T.Y. Lin (1973) y Félix Kulka (1973).

En la primera etapa se construyeron los bloques de anclaje, bastiones y pilas verticales de ambos extremos.

Uno de los aspectos que llama la atención del proceso constructivo de este puente es la rotación de las pilas inclinadas (etapa 3). Estas pilas inicialmente se construyeron de forma vertical en ambos extremos del puente (etapa 2). A su vez, se encontraban tensadas desde su parte superior al suelo por medio de cables que se dirigían a los bloques de anclaje construidos en la etapa 1. En la parte inferior de las pilas se había construido una base semicircular reforzada con placas de acero recubiertas de teflón. Los cables y la base semicircular de las pilas permitieron la rotación de las pilas a su posición final, la cual, es una inclinación de 30° respecto a la vertical. Una vez en la posición requerida se fijaron las bases de las pilas a las cimentaciones.

El mecanismo para rotación de las pilas fue un diseño del ingeniero Rómulo Picado de la empresa Productos de Concreto. El diseño utilizó un tipo de "tornillo sin fin", ubicado en los bloques de anclaje, que permitía liberar progresivamente los cables (tensados previamente) para generar la rotación de las pilas y llevarlas a su posición final (Hernández-Castrillo, 2017).

Posterior a este proceso de rotación de pilas, se colocaron las vigas de los tramos extremos de 25 m, se colocaron los cables restantes que van de la pila central al anclaje y se colocaron los cables del tramo central, formando dos grupos a cada extremo (etapa 4). Estos cables del tramo central se anclaron en los cabezales de ambas pilas inclinadas. Después, por medio de un sistema de cables guía que pasaba por encima de lo que ahora es el puente (llamado por los constructores “high line” y colocado desde la etapa 2) se transportaban las losas prefabricadas del “arco” y se colocaban

ajustando los cables en los extremos. Este proceso se muestra en la figura 5.

Cuando se terminaron de colocar las losas inferiores, se construyeron los marcos verticales del tramo central, que también eran prefabricados. Estos marcos se colocaron sobre las losas inferiores y sobre estos se colocaron las vigas que soportarían el tablero del puente, por donde circularía el tránsito (etapa 5).

Cuando todas las vigas que soportarían el tablero se colocaron en su sitio (etapa 6), se colocó el concreto de la losa del puente, rellenando todos los espacios que se

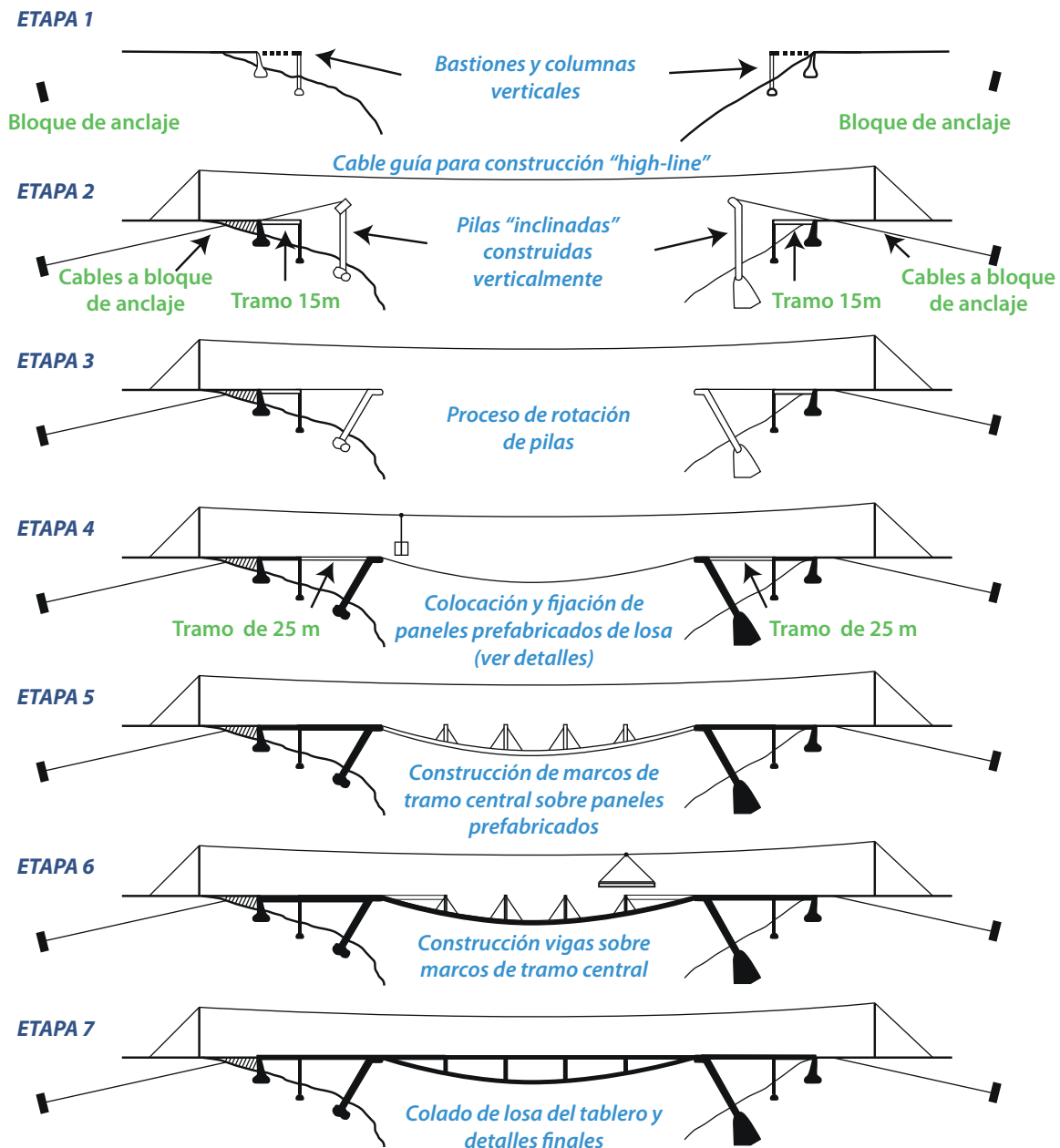


Figura 6. Proceso constructivo del puente Rafael Iglesias sobre el río Colorado.
(Martínez-Ortiz, 2017, basada en Lin y Kulka, 1973).

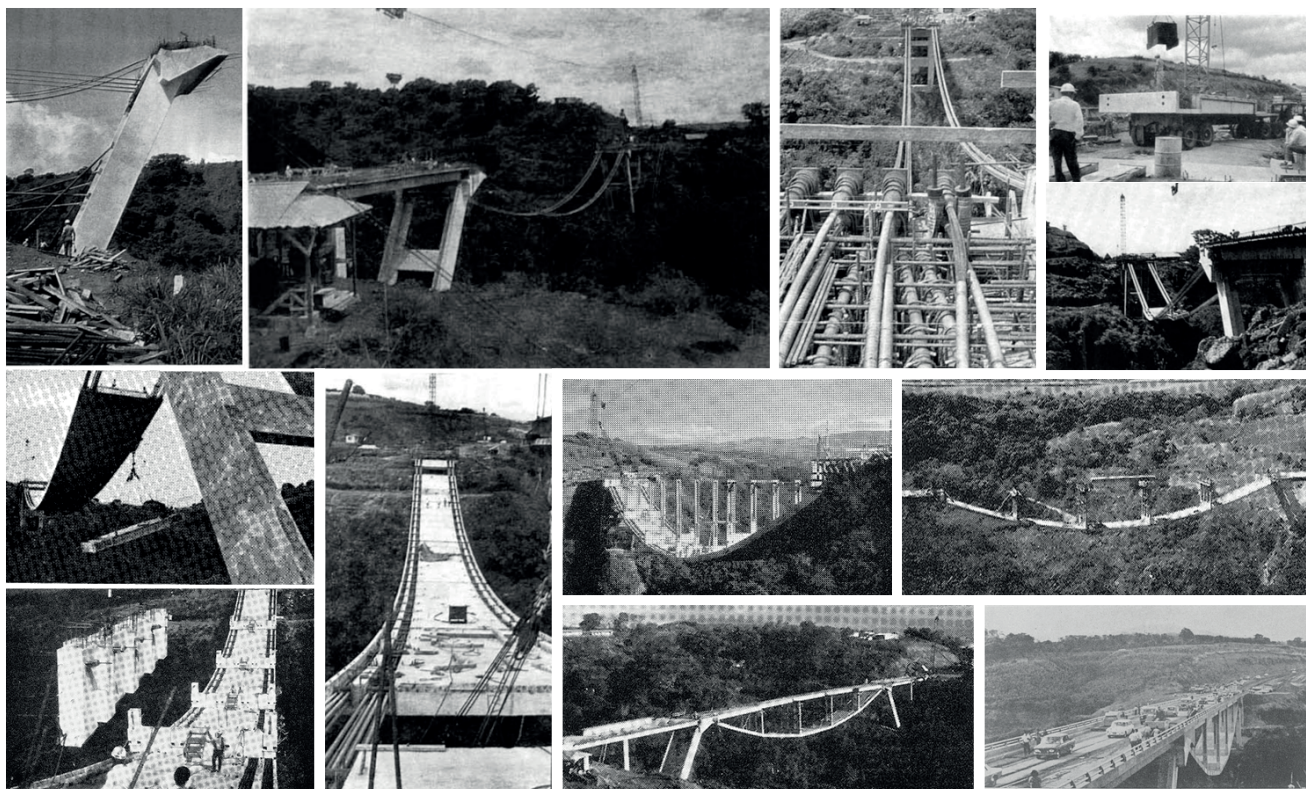


Figura 7. Fotografías del proceso constructivo del puente Rafael Iglesias sobre el río Colorado.
(Kulka, 1973; Lin y Kulka, 1973 en Vargas-Alas, 2017).

habían dejado en el proceso constructivo para formar una superestructura continua de extremo a extremo (etapa 7).

En esta última etapa, los ductos donde se alojan los cables de post-tensión se rellenaron con lechada de cemento en el tramo central (arco invertido entre pilas inclinadas) y en la sección por detrás de los bastiones hasta los anclajes. En los tramos de 15 m y 25 m los cables se engrasaron para permitir los movimientos de expansión y contracción del puente debido a cambios de temperatura (Rojas-Solano, 1970).

Comportamiento estructural básico del puente

En la figura 8 se muestra un flujo de cargas que ilustra el funcionamiento estructural del puente Rafael Iglesias. Como se puede observar, de manera muy general las cargas externas se transmiten de la siguiente forma: las cargas vehiculares y del peso propio se transmiten verticalmente generando tensión en los cables de la banda tensada y compresión en el tablero del tramo central, lo cual, genera compresión en las pilas inclinadas y tensión en los cables que van hacia los bloques

de anclaje. En los tramos de 25 m y 15 m las cargas se transmiten verticalmente desde el tablero, distribuyéndose en las vigas apoyadas en las pilas verticales y los bastiones, hacia las cimentaciones.

En la figura 8, también se puede observar que el puente actúa como un arco, transmitiendo fuerzas de compresión por las pilas inclinadas hacia el suelo y a través de las vigas superiores que soportan la superficie de ruedo.

La banda tensada transmite las fuerzas de compresión que provienen de los marcos centrales hacia las pilas inclinadas por medio de fuerzas de tensión. Esta banda tensada, como se puede observar en la figura 6, contiene cables de post-tensión, los cuales, al estar rellenos con lechada de concreto, transfieren los esfuerzos a la banda tensada.

Por otra parte, según los análisis estructurales presentados en el trabajo de Rojas-Solano (1970), los cables engrasados (los cuales pasan a través de los tramos de aproximación) que posteriormente se dirigen a los anclajes, desarrollan esfuerzos de tensión aproximadamente diez veces menores que los esfuerzos en las pilas inclinadas y en la banda tensada. No obstante, en la etapa constructiva la estabilidad dependía de

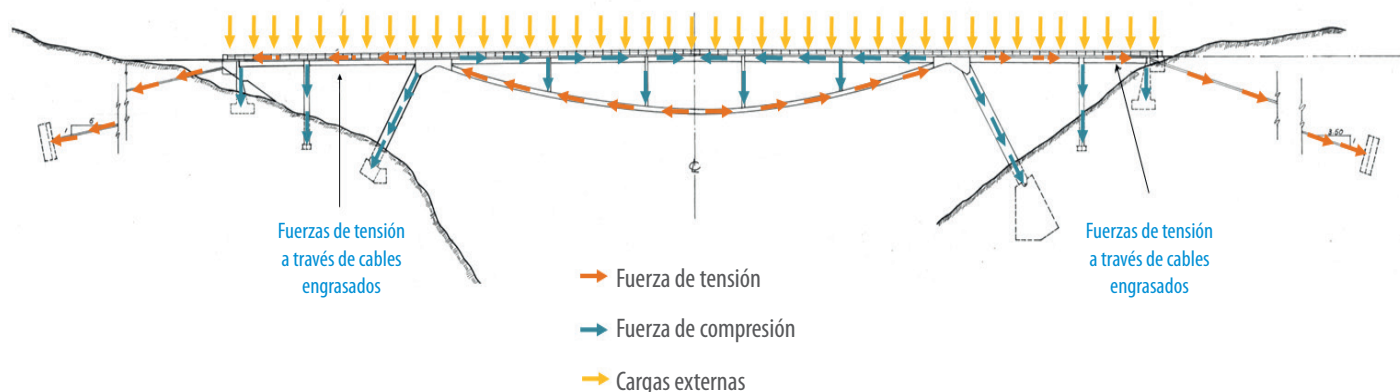


Figura 8. Esquema de la ruta de carga estructural que soportan los elementos del puente sobre el río Colorado. (Esquema modificado en Vargas-Alas, 2017 de los planos del Ministerio de Transportes, 1968)

estos cables, los cuales, desarrollaron esfuerzos tan altos como los de la banda tensada debido a que no se había dado la continuidad a los elementos de concreto y debían soportar el peso de la estructura. Por esta razón, se afirma que el puente sobre el río Colorado en las primeras etapas funcionaba estructuralmente como un puente suspendido (Lin y Kulka, 1973; Rojas-Solano, 1970).

Retos que Costa Rica podría tener a futuro con un puente como el Rafael Iglesias

El gobierno de Costa Rica debería tener en mente algunos retos que enfrenta al tener en su inventario un puente como el del río Colorado. Estos retos podrían iniciar con las actividades básicas que requiere la estructura para su mantenimiento, como la limpieza, la reparación de elementos de servicio como juntas de expansión, barreras vehiculares y la reparación de algunos deterioros que la estructura presente. Muchas veces, el reto está en buscar los métodos de accesos más adecuados y seguros para el personal que brinde el mantenimiento periódico y basado en la condición del puente.

En caso de que se determinara que el puente requiere una rehabilitación mayor después de hacer inspecciones detalladas y análisis estructurales exhaustivos del puente, se debe ante todo enfrentar el reto de mantener el concepto estructural y evitar colocar elementos que impacten la estética que actualmente tiene la estructura.

Otro reto, no menos importante es ofrecer facilidades para que el puente no solo brinde el servicio a los

vehículos que transitan por la Ruta Nacional No. 1, sino que se convierta también en un atractivo turístico. Para ello, se podrían realizar miradores y paraderos para tomar fotografías, aprovechando también que el puente actualmente tiene 45 años y en el 2022 cumpliría 50 años.

Además, no se debería permitir el abandono de la estructura y darle un mayor realce en la comunidad ingenieril nacional e internacional. Eso se puede realizar por medio de postulaciones a reconocimientos ante entidades o instituciones nacionales o internacionales relacionadas con el ámbito de la ingeniería estructural o con la historia de las estructuras.

Referencias

- [Fotografía de Paul Vega-Salas] (Grecia, Costa Rica, 2017). Archivo de imágenes digitales fotografiadas con VANT. Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del PITRA-LanammeUCR, San José, Costa Rica.
- Japan Concrete Institute (1996). Puente Hayahinomi-ne (速日峰橋). [Fotografía] Archivo digital de Ingeniería Civil. Recuperado de: http://www.jci-net.or.jp/photo/archive/detail_db.php?id=157&page=7
- Kulka, F. (1973). Puente río Colorado Costa Rica. Informes de la Construcción Vol. 25, nº 248. Consejo Superior de Investigaciones Científicas: España.
- Lin, T.Y.; Kulka, F. (1973). Construction of Rio Colorado Bridge. PCI Journal. Vol. 18. Issue 6. Precast Concrete Institute: Chicago, IL. Pp. 92-101
- Ministerio de Transportes (1968). Puente sobre el río

Colorado, carretera El Coco-San Ramón [Planos de diseño digitalizados]. Ministerio de Transportes, Dirección de Vialidad: San José Costa Rica (22 láminas).

Rojas-Solano, S. (1970) Estudio del puente sobre el río Colorado. Tesis de Grado presentada a la Facultad de Ingeniería para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad de Costa Rica. San José: Costa Rica.

Sohu Media Platform (2015). Puente cóncavo colgante ¿Es el único en China o hay pocos? (桥身下凹桥墩悬空, 首创者是华人, 全世界就几座?) [Fotografía]. Recuperado de: <https://m.sohu.com/n/493127527/>

T.Y.Lin Internacional (s.f.). Puente-Río Colorado. República de Costa Rica [Planos de alternativas digitalizados]. T.Y. Lin Internacional Structural Engineers: San Francisco, CA.

Tawashi2006 (2007). Shiosai Bridge. [Fotografía]. En Wikimedia Commons. Recuperado de: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shiosai_Bridge01.jpg

Vargas-Alas, L. G. (2017). Puente Rafael Iglesias: Un hito de la Ingeniería en Costa Rica. [Mensaje en un blog]. Blog LanammeUCR. Recuperado de: <http://bit.ly/2i-ZpxZl> y de <http://bit.ly/2hA5llk>



LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PIE Programa de
Ingeniería Estructural

Tel. (506) 2511-2500 / Fax (506) 2511-4440 / Código Postal 11501-2060
E-mail: direccion.lanamme@ucr.ac.cr / Sitio web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Licda. Daniela Martínez Ortiz / Óscar Rodríguez Quintana

Historia, comportamiento y retos del puente Rafael Iglesias / Noviembre, 2017

Palabras clave: Puente, Historia, río Colorado, Ruta 1, Rafael Iglesias, Retos Estructura, Comportamiento.