

# Puente sobre el río Chagres (Panamá)\*

## *Bridge over Chagres river (Panamá)\*\**

Jorge Cascales Fernández <sup>a, \*</sup>, Pablo Grandío Noche <sup>b</sup>, Sergio Couto Wörner <sup>c</sup>,

Ricardo Rico Rubio <sup>d</sup> y Luis García Vega <sup>e</sup>

<sup>a</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director técnico

<sup>b</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniero de proyectos

<sup>c</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director general

<sup>d</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director de ingeniería

<sup>e</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

### RESUMEN

El puente sobre el río Chagres (Panamá) es una estructura de 3 vanos con una distribución de luces de 68.25+131.00+68.25, 10.16 metros de ancho y una altura de pilas de 12.20 metros. Si bien el proyecto se realizó por una Ingeniería local, la adjudicación de la construcción a una UTE formada por empresas españolas motivó que k2 Ingeniería realizara una revisión del mismo, así como el cálculo del proceso constructivo y de los elementos auxiliares necesarios para su construcción. En este artículo se muestran las conclusiones de dicho trabajo prestando especial atención a las diferencias respecto a un proyecto realizado en España así como al cálculo y control del proceso constructivo.

### ABSTRACT

Bridge over Chagres river (Panamá) has 3 spans (68.25+131.00+68.25), is 10.16 meters wide and its piers are 12.2 meters high. Although the project was developed by a local Engineering firm, the construction contract was awarded to a joint venture, formed by 2 Spanish contractors and a Panamanian one.. K2 Ingeniería was commissioned to carry out a check of the initial project, the calculation of the construction sequence and the temporary works by the JV. In this article some conclusions of this work are shown, paying special attention to the differences with a project made using Spanish design codes, and the geometry calculation and control during the construction sequence.

**PALABRAS CLAVE:** voladizos sucesivos, control de flechas, reología.

**KEYWORDS:** balanced cantilever, geometry control, long-term effects

## 1. Introducción

El nuevo puente sobre el río Chagres se encuentra situado sobre la represa de Gatún (Panamá) y su finalidad es aumentar la capacidad de un antiguo puente existente mejorando la conectividad del tráfico interior dentro del área de las esclusas de Gatún.

El puente es una estructura de 3 vanos con la siguiente distribución de luces 68.25+131.00+68.25, con un tablero de 10.16 metros de ancho, una altura de pilas máxima de 12.20 metros y un trazado recto en planta y alzado..



**Figura 1. Emplazamiento del nuevo Puente sobre el río Chagres**

La construcción del puente se adjudica a la UTE formada por las empresas Puentes, Copisa y Cocige.

## **2. Descripción del proyecto.**

La solución proyectada para esta estructura se puede considerar bastante clásica, en relación a las proporciones y disposiciones habituales para un puente de hormigón postensado construido por voladizos sucesivos.

El tablero es una sección cajón de canto variable, con un mínimo de 3.5 y un máximo de 6.5 metros, es decir entre 1/20 y un 1/37 de esbeltez. Las almas son rectas y el voladizo transversal máximo es de 2.45 metros. El sistema de postesado se diseña a partir de una primera familia de tendones que discurren por la tabla superior, que está formada por cables de 12 cordones y que sirven para compensar los esfuerzos durante el proceso constructivo por avance en voladizo. Una segunda familia situada en la tabla inferior, formada por cables de 19 cordones, que compensan los esfuerzos que se generan cuando se cierra el tablero y comienza a trabajar como viga continua; y una tercera formada por cables de pretensado exterior de 19 cordones. En total la cuantía de pretensado del tablero es de 75 kg/m<sup>2</sup>. Por otra parte la cuantía de armado del tablero es de 143 kg/m<sup>2</sup>.

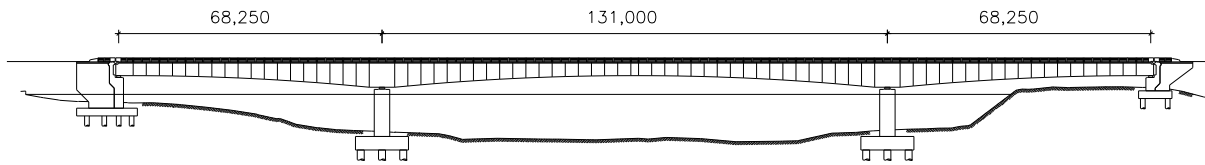
Las pilas se han diseñado con una sección hueca formada a partir de dos trapecios con dimensiones exteriores 8.75x4.00 metros con espesor mínimo de pared de 0.6 metros. La cimentación de las mismas está formada por encepados de 13.75x13.75x3.5 metros con 9 pilotes de 1.8 metros de diámetro y 23 metros de longitud.

Los estribos son cerrados de 7.9 y 3.4 metros de altura con cimentación profunda con pilotes de 1.2 metros de diámetro y 12 metros de longitud.

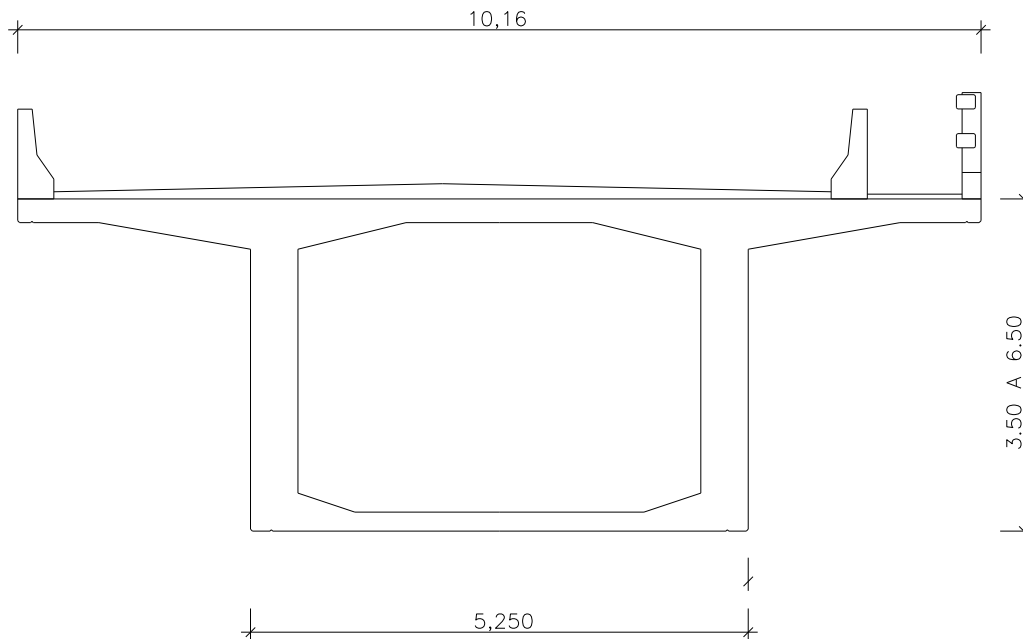
El esquema resistente ante esfuerzos horizontales se basa en la disposición de apoyos tipo Pot fijos en las pilas y deslizantes longitudinales y fijos transversales en los estribos.

La construcción se realiza por medio de voladizos sucesivos, con una dovela de pila de 6.6 metros, 18 dovelas de 3.4 metros, una dovela de estribo cimbrada al suelo de 4.5 metros y una dovela de cierre de 2 metros. El peso máximo de la dovela a ejecutar con carro es de 100 toneladas.

Debido a la utilización de apoyos tipo Pot para la conexión con las pilas, se dispone durante el avance en voladizo una fijación provisional con cables de estabilidad de 15 cordones, que una vez acabada la construcción se procede a su corte.



**Figura 2. Alzado del puente.**



**Figura 3. Sección transversal**

Se considera como normativa de diseño la AASTHO LFRD 7th edition (2014)

### 3. Revisión del proyecto

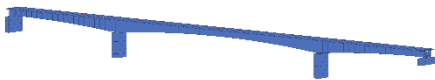
Se realizó una revisión del proyecto para poder valorar la posibilidad de realizar adaptaciones que facilitarían la construcción del mismo, así como mejorar en la medida de lo posible el diseño realizado. Como información de partida únicamente se disponía de los planos de construcción y, debido a que era necesario realizar un modelo de cálculo para evaluar las contraflechas necesarias, se decidió que el modelo de cálculo fuera completo y sirviera para evaluar la estructura tanto en fase de construcción como de servicio. Se utilizó el software RM Bridge que permite una

modelización no lineal del comportamiento reológico del hormigón así como tener en cuenta el proceso constructivo.

Las principales conclusiones del análisis realizado fueron las siguientes:

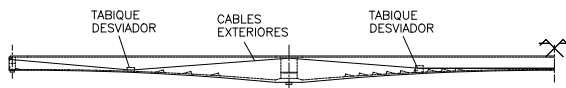
- Reencajar el postensado bajando la cuantía del mismo. Las tensiones mínimas en las secciones representativas obtenidas en fase de servicio son del orden de 3.6 MPa de compresión en sección de centro de vano y 14.0 MPa sobre pila, valores muy superiores a los mínimos permitidos por la normativa

AASTHO. Teniendo en cuenta además que una cuantía elevada de postesado provoca esfuerzos importantes en las pilas debido a los apoyos tipo Pot, se considera que disminuir la cuantía del mismo tiene un efecto doblemente beneficioso.



**Figura 4. Modelo de cálculo**

- Adaptaciones de la geometría del postesado relativos a las distancias mínimos entre cables, placas de anclaje, paramentos y zonas rectas. También se propuso una nueva geometría para el tabique desviador.



**Figura 5. Pretensado exterior**

- Adaptaciones de las armaduras locales en zonas de anclaje de postesado.
- Mejoras de los detalles de armado en relación a las formas y despieces de armaduras para evitar empujes al vacío y facilitar el premontaje de las mismas.
- Aumentar el postesado de empotramiento provisional entre tablero y pila para contemplar como hipótesis de diseño el caso de carga accidental de caída de carro.
- Cambiar la configuración de los dos apoyos unidireccionales en cada estribo por la habitual de apoyo libre más

unidireccional para evitar acodamientos.

Una vez planteadas las adaptaciones se consiguió convencer a la Dirección de Obra de aquellos cambios que podían interpretarse como de menor entidad. Sin embargo el ajuste de la cuantía de postesado, que se consideraba fuera de los rangos habituales y hubiera permitido aliviar los esfuerzos en las pilas, no fue permitido por la Propiedad. En este sentido, y si bien hace ya muchos años que en todos los códigos estructurales y bibliografía técnica se han establecido las ventajas del pretensado parcial respecto al total, en ciertos países todavía se considera que un mayor nivel de pretensado siempre tiene ventajas y carece de inconvenientes. También fue aceptado el ajuste en la geometría del postesado exterior para evitar fuerzas de desviación verticales en sentido descendente en el vano principal, si bien los tabiques se mantuvieron de sección completa.

#### 4. Elementos auxiliares

Como elementos auxiliares se diseñó la cimbra para la dovela sobre pila, así como para las dovelas 1 y dovelas de estribo, además del carro de avance. Para el carro de avance se proyectaron los ajustes necesarios para poder ser utilizado también para realizar el cierre del tablero.



**Figura 6. Cimbra para dovelas 0 y 1.**



Figura 7. Pareja de carros de avance

## 5. Proceso constructivo

Si bien el proceso constructivo de un viaducto por avance en voladizo es un procedimiento habitual, es importante una correcta estimación del comportamiento deformacional de la estructura para poder asegurar una geometría adecuada tanto al final de la construcción como durante la vida útil del puente.

Para este proyecto se utilizó por una parte la información relativa al proyecto del carro para tener en cuenta las flechas del mismo, a la vez que los resultados de una serie de ensayos del módulo de elasticidad del hormigón que se utilizaba para el tablero. Con estas consideraciones, así como la definición del proceso constructivo y los tiempos asociados a cada una de las etapas, se definió el proceso constructivo a nivel de cálculo y se obtuvo como resultado las contraflechas en cada una de las dovelas para asegurar una geometría adecuada.

El criterio seguido fue definir como geometría objetivo la rasante teórica cuando se hubiera desarrollado toda la fluencia, aún a costa de que el día de la inauguración hubiera una mínima contraflecha positiva en centro de luz del vano principal, del orden de 6 cm, y negativa en los vanos laterales, del orden de los 2 cm.

El seguimiento se realizaba como es habitual en este tipo de estructuras, con mediciones de control y replanteos a primera hora del día para evitar la influencia de la temperatura y el soleamiento. No se utilizó ningún otro sistema de control diferente a la topografía. Las mediciones realizadas mostraron un buen ajuste con los valores teóricos con desviaciones mínimas que se fueron corrigiendo de forma suave.

La dovela central se ejecutó utilizando uno de los dos carros como elemento de fijación provisional entre los dos voladizos, compatibilizando la deformación de los mismos debido a las variaciones térmicas



Figura 8. Contraflechas teóricas de construcción de voladizo 1

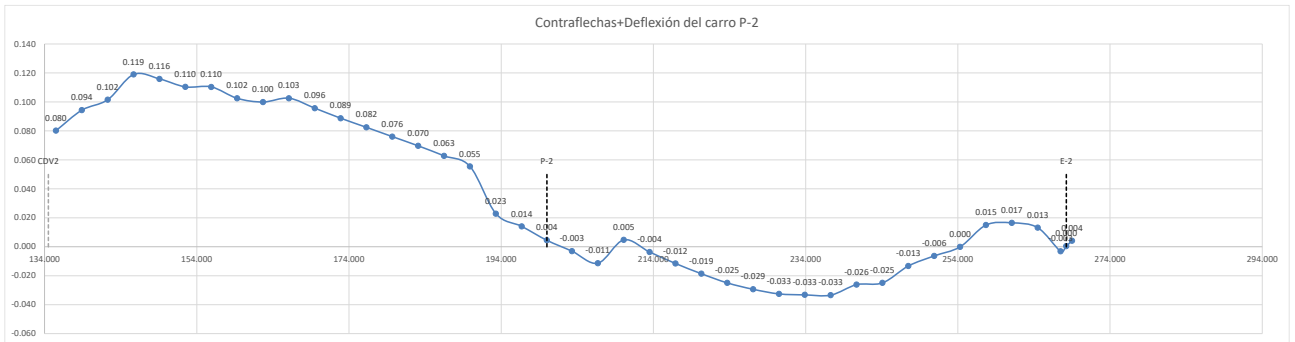


Figura 9. Contraflechas teóricas de construcción de voladizo 2



Figura 10. Hormigonado de última dovela antes del cierre.



**Figura 11. Hormigonado de dovela de cierre**



**Figura 12. Puente acabado (1)**



Figura 13. Puente acabado (2)

## 6. Conclusiones

Se han presentado en este artículo las principales características del Puente sobre el río Chagres en Panamá. Si bien es un viaducto convencional, las circunstancias especiales que siempre se dan cuando se trabaja en un país extranjero con otra tradición y cultura, así como el diseño del postesado, con una cuantía muy superior a la habitual, constituyen las características diferenciales de este proyecto.

### *Agradecimientos*

Se quiere agradecer a la empresa Estructuras, pertenecientes al Grupo Puentes, la oportunidad de trabajar en esta obra en colaboración con sus servicios técnicos.