

Un puente sencillo integral.

Intersección entre las calles Prince Turki y Oroubah, Riad, Arabia Saudita

A simple integral bridge. Intersection Prince Turki – Oroubah Roads, Riyadh, Saudi Arabia

Jorge Bernabéu Larena^a, Javier Gómez Guerra^b

^a Dr. Ingeniero de Caminos, IDOM, jbl@idom.com

^b Ingeniero de Caminos, IDOM, jgomezg@idom.com

RESUMEN

El puente se define por su sencillez formal y la legibilidad de sus elementos resistentes. Un dintel continuo de hormigón soportado por tubos mixtos. El tablero es un cajón multicelular pretensado de 26 m de anchura, canto constante de 2,6 m y sección afilada de fondo curvo. El tablero se empotra en las pilas configurando una estructura integral de 215 m de longitud y distribución de vanos: 35-45-55-45-35 m. La cimentación sobre pilotes favorece la flexibilidad de las pilas. En las dos extremas, se liberan con un forro de poliestireno los 6m superiores de los pilotes para permitir su deformación sin coacciones. Un puente de apariencia simple que pone en juego estrategias estructurales más complejas.

ABSTRACT

The bridge is defined by its formal simplicity and the legibility of its resistant elements. A continuous concrete deck supported by composite tubes. The deck is a pre-stressed multicellular box 26 m wide, with a constant edge of 2.6 m and a sharp section with a curved bottom. The deck is embedded in the piers configuring an integral structure of 215 m in length and spans distribution: 35-45-55-45-35 m. The foundation on piles helps the flexibility of the piers. At both ends, the upper 6m of the piles are released with a polystyrene lining to allow them to be deformed without coercion. A simple bridge in appearance that involves some complex structural strategies.

PALABRAS CLAVE: diseño conceptual, puente integral, hormigón pretensado, diseño creativo.

KEYWORDS: conceptual design, integral bridge, prestressed concrete, creative design, aesthetics.

1. Introducción

El puente forma parte de una concepción conjunta que separa en estructuras diferentes conexión y representatividad en una intersección entre dos autovías urbanas en Riad. Mientras un puente de apariencia sencilla asume la función de comunicación viaria, tres arcos luminosos tienen un carácter icónico como referente de la

intersección. Puente y arcos de iluminación se presentan en dos comunicaciones diferentes pero relacionadas.

La administración responsable del desarrollo urbano presente y futuro de Riad es la Royal Commission for Riyadh City (RCRC), que en su Plan Estratégico hasta 2030 define las

acciones para responder a los desafíos de crecimiento para alcanzar los 10 millones de habitantes y convertir Riad en una megápolis internacional, referente económico y financiero. El ambicioso plan de la nueva red de metro se completa con la remodelación de sus principales arterias viarias para convertirlas en vías urbanas de alta capacidad.

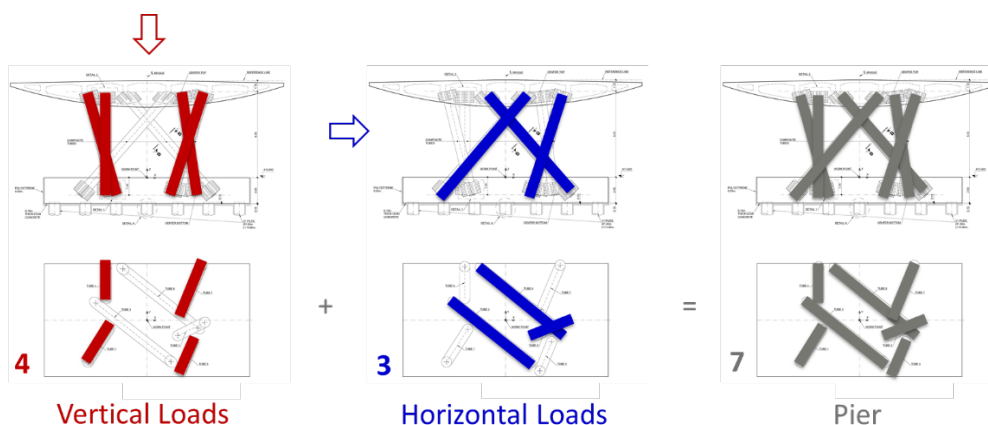
Las intersecciones de las vías principales se resuelven en tres niveles: un puente en el superior, el nivel intermedio a cota de calle para los giros y cambios de sentido y el nivel inferior en un falso túnel. Algunos de estos cruces se desean destacar como elementos de referencia en el paisaje urbano, por lo que sus puentes deben asumir un valor simbólico y representativo. Tal es el caso del puente en la intersección viaria entre Abi Bakr Road e Iman Saud Road [1] y el de la presente comunicación, entre Prince Turki Road y Oroubah Road.

2. Diseño conceptual

En el proyecto anterior [1], la forma se separaba de la estructura. La estructura se definía mediante vigas de celosía verticales que posteriormente se recubría por unas chapas perforadas, encargadas de dar la imagen final del puente. La solución permitía independizar el problema estructural y el recubrimiento volumétrico de chapa perforada que otorgaba mayor libertad a la definición de formas y acabados y ofrecía mayores posibilidades para los efectos de iluminación nocturna.

La concepción de esta nueva intersección va un paso más allá: separa en construcciones independientes la estructura de cruce, el puente, y el carácter icónico, mediante un conjunto espacial de arcos de iluminación (Figura 1).





La sección transversal se define con un fondo curvo de radio constante, ofreciendo un perfil afilado, tipo ala de avión, que potencia la imagen de esbeltez y sencillez formal de la propuesta.

El tablero, un cajón multicelular de hormigón pretensado, se empotra en las pilas que se definen mediante tubos mixtos de distribución irregular (Figura 2). El tablero y su fondo curvo de hormigón contrastan con los tubos de acero Cortén, dispuestos irregularmente como juncos o tallos vegetales, dando la impresión de ligereza. La distribución aparentemente aleatoria de los tubos sigue una lógica estructural: mientras las cuatro pilas extremas menos inclinadas asumen el empotramiento longitudinal del tablero y las cargas verticales, otras tres centrales, con inclinaciones mayores, reciben las solicitaciones horizontales (Figura 2).

Unas aperturas en el centro del tablero, entre las barreras de la mediana, definen lucernarios centrales ovalados (Figura 3).



Figura 3. Vista inferior del tablero con los lucernarios centrales.

El puente tiene una longitud total de 215 m, distribuida en 5 vanos: 35+45+55+45+35 (Figura 4). El tablero de ancho 26,6 m, se conforma con una sección de cajón multicelular de hormigón pretensado de canto 2,6 m (Figura 5). Aunque en apariencia simple, una vez concebido, el diseño del puente presenta algunas particularidades reseñables.

3.1 Acciones

El puente se diseña siguiendo la normativa Saudí “MOMRA Bridge Design Specifications” [2], que está redactada a partir de la americana “AASHTO LRFD Bridge Design Specification 2007” [3], de mayor difusión internacional, y sobre la que introduce algunas modificaciones. Se resalta, por ejemplo, que las cargas de tráfico son del orden del doble de las establecidas en la AASHTO. Por otro lado, los efectos de la temperatura se evalúan siguiendo las pautas establecidas en la guía local “Highway Design Manual” [4]. Esta última acción, junto con el resto de las deformaciones impuestas, adquieren gran relevancia debido a la configuración hiperestática del dintel frente a los movimientos longitudinales, condicionando el diseño del tablero y de las pilas y, principalmente, de las cimentaciones, que como se verá más adelante son los elementos habilitados para liberar, en cierto grado, el movimiento longitudinal.

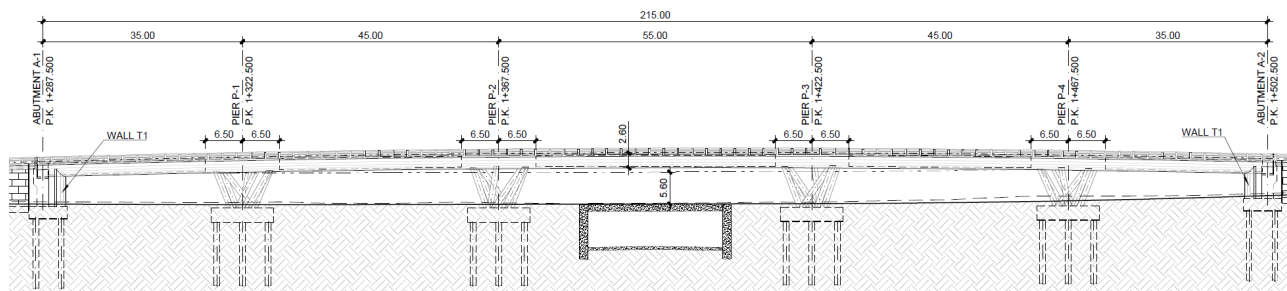


Figura 4. Alzado del puente integral, empotrado sobre las cuatro pilas.

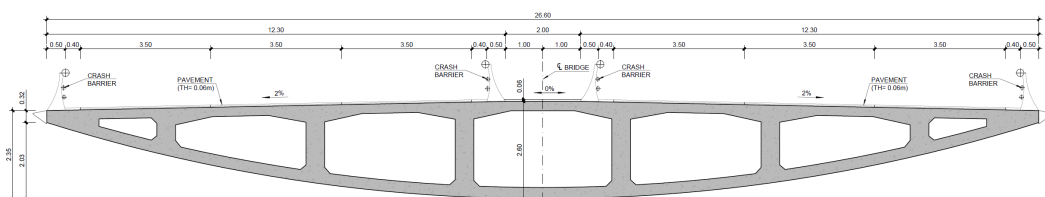


Figura 5. Sección transversal del tablero, un cajón multicelular de fondo curvo de radio constante.

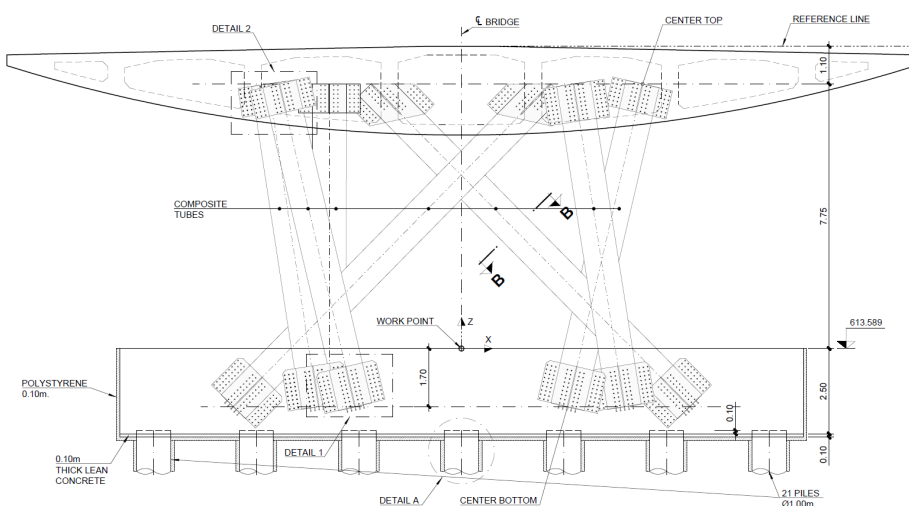


Figura 6. Sección transversal sobre pilas.

El diseño previsto para las pilas, cada una compuesta por siete tubos mixtos empotrados en el tablero, condiciona el funcionamiento estructural del puente. La configuración geométrica irregular de los fustes, de origen estético, con inclinaciones variables y orientados en distintas direcciones, proporciona una coacción completa en la unión con el tablero, de modo que el conjunto tablero-pilas tiene un funcionamiento de dintel integral (Figuras 6 y 7).



Figura 7. Visualización de pila.

La longitud del tablero entre las pilas extremas es de 145 m, con lo que la longitud de dilatación sobre éstas es de 72.5 m, supuesto que el punto de movimiento nulo se encuentra, por simetría, aproximadamente en el centro del tablero.

Para reducir los axiles que se producirían en el dintel debido a las deformaciones impuestas impedidas, se hace necesario dotar a las cimentaciones de flexibilidad para reducir la coacción longitudinal. Se configuran para ello cimentaciones mediante pilotes, ejecutándose estos con un sobreancho en el tramo superior mediante un forro de poliestireno, que permite liberar en ese tramo el movimiento horizontal (Figura 8).

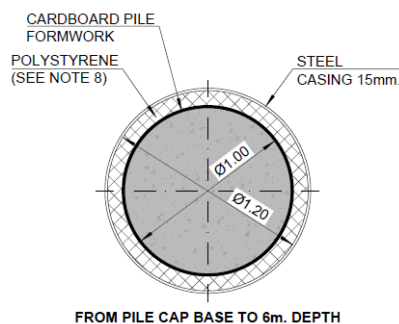


Figura 8. Sección pilote, tramo con sobreancho.

En el diseño de la urbanización sobre los encepados, dado que se trata de un puente en entorno urbano, se hace necesario tener en cuenta los movimientos que se van a producir en las cimentaciones, disponiéndose juntas en su contorno en superficie que puedan absorber los movimientos esperados.

Otro aspecto de cierta complejidad es la unión de los tubos con el encepado y la riostra en el tablero. Esta unión se resuelve de modo individual para cada tubo disponiendo rigidizadores en cruz con pernos conectadores en sus extremos, que se prolongan para quedar embebidos en riostra y encepado (Figura 6). La solución planteada implica cuidar especialmente las operaciones de hormigonado, zonas densamente armadas, relleno de los tubos, empleo de hormigón autocompactante, y fijación mediante plantillas de los tubos para

evitar movimientos indeseados durante la ejecución.

Se trata de un tablero sección cajón multicelular, con paredes de sección delgada, que presenta discontinuidades en las losas superior e inferior del tablero en su zona central, donde van dispuestos unas aberturas para los lucernarios (Figuras 3 y 9). Tiene canto variable en dirección transversal, por lo que las vigas longitudinales (almas de la sección celular), tienen cantos diferentes. Está sometido a cargas excéntricas importantes, y además la relación ancho/luz es ciertamente alta ($26.6/35=0.76$ en vanos extremos).



Figura 9. Aperturas para lucernarios.

Atendiendo a la morfología descrita, el análisis del tablero se efectúa mediante un modelo de emparrillado espacial (Figura 10). Se considera el modelo más adecuado por su simplicidad operativa proporcionando a su vez una aproximación suficiente para el diseño.

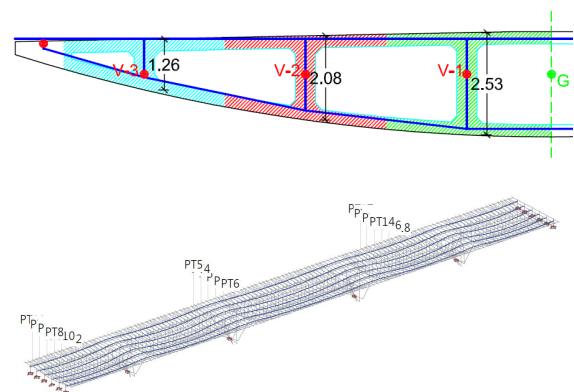


Figura 10. Semi-sección del tablero. Modelo del emparrillado.

Los resultados mediante este análisis permiten capturar la distorsión transversal de la sección, de relevancia por sus características, fundamental para aproximar el nivel de sollicitación de los distintos elementos con objeto de ajustar su diseño.

4. Obra en construcción

Las obras de construcción, actualmente en desarrollo, son adjudicadas a una constructora saudí. En esta fase se realiza una modificación del proyecto para sustituir el empotramiento de las pilas, lo que supone una modificación sustancial no sólo del funcionamiento estructural sino también de la configuración formal de las pilas con respecto al previsto en el proyecto original.



Figura 11. Vista general del puente en construcción.

En la configuración de apoyos prevista, explicada anteriormente, el conjunto tablero-pilas actuaba integralmente como un dintel continuo, apoyado en unas cimentaciones dotadas de flexibilidad para no restringir los movimientos longitudinales.

En la construcción se implementa una solución más convencional, el tablero se vincula mediante apoyos situados sobre pilas compuestas por una terna de fustes verticales cada una (Figura 11). Posteriormente, se intenta reproducir la morfología estética de las pilas del proyecto original mediante “falsos” fustes auxiliares colocados con distribución irregular (Figura 12).



Figura 12. Pilas, proyecto en construcción.

5. Conclusiones

Las modificaciones del proyecto en construcción suprimen la concepción integral de la estructura. La variación realizada simplifica la construcción con respecto a los moderados retos que suponía el diseño inicial: por un lado, evita la ejecución de pilotes con sobreancho y, por otro, la preparación y colocación irregular de los tubos que conformaban las pilas, así como sus correspondientes uniones en encepado y riostra.

La diferencia económica entre las soluciones se hace de difícil cuantificación, dado que tendría cierta relevancia el nivel de complejidad de las operaciones a realizar más allá de una diferencia basada en la medición de los materiales.

Descartando la componente técnica, resuelta en ambas soluciones, la elección se debería basar en una ponderación de los criterios económico y estético.

No obstante, anteponiendo el criterio económico, hubiera sido preferible sustituir las pilas de proyecto por una nueva concepción más coherente con el nuevo esquema resistente, en lugar de intentar “imitar” la concepción estética inicial con elementos superfluos. Por ejemplo

una propuesta previa de proyecto, más acorde y atractiva: dos fustes independientes tronconcónicos por pila, que dejaban el eje del tablero sin apoyo en continuidad con la línea de lucernarios.

Referencias

- [1] J. Bernabéu Larena, I. Díaz Morcillo. Puente duna: intersección viaria entre Abi Bakr Road e Iman Saud Road, Riad (Arabia Saudita). VII Congreso Internacional de Estructuras, ACHE, A Coruña. Hormigón y Acero. 68 (2017) 120-121.
- [2] Ministry of Municipality and Rural Affairs (MOMRA), Bridge Design Specifications, Riyadh.
- [3] AASHTO LRFD Bridge Design Specification, 2007.
- [4] Ministry of Communications (MOC), Kingdom of Saudi Arabia, Highway Design Manual Volume 3 Structural Design Specifications, 1992.
- [5] E. C. Hambly, Bridge Deck Behaviour, Chapman and Hall, 2nd edition 1991.