





PUENTE ARCO SOBRE EL RÍO HÍJAR (REINOSA, CANTABRIA)

Bowstring bridge over Híjar river (Reinosa, Cantabria, , Spain).

Luis Sopeña Corvinos a, Juan Jesús Álvarez Andrés b, Laura Zapico Fernández c,

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero Estructural. gGravity Engineering. lsopenac@ggravityeng.com. ^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Puentes y Estructuras de obra civil. gGravity Engineering. jjalvareza@ggravityeng.com.

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Obra. DRAGADOS S.A. lzapicof@dragados.com.

RESUMEN

El nuevo puente sobre el río Híjar en Reinosa (Cantabria) es un arco de tablero inferior de 37.5 m de luz y 12.64 m de ancho, compuesto por un tablero mixto y 2 arcos metálicos paralelos e independientes. El tablero está formado por 2 vigas cajón longitudinales, vigas transversales entre las longitudinales, y losa superior de hormigón armado. El sistema de péndolas propuesto en proyecto y finalmente ejecutado es de tipo cable cerrado galvanizadas. Se trata de un sistema que ofrece unas prestaciones de durabilidad muy elevadas, pero que requiere de una gran precisión en el diseño y colocación, pues la carga se introduce en las péndolas según se va construyendo siendo muy sensible el reparto de carga a la geometría inicial.

ABSTRACT

The new bridge over Hijar River at Reinosa (Cantabria, Spain) is a bowstring 37.5 m span and 12.64 m width., with a concrete-steel composite deck and 2 steel parallel independent arches. The deck is formed by two longitudinal steel box girders, steel transversal beams, and a reinforced concrete top slab, connected to the steel structure. The system selected for the hanger by the designer and finally implemented was a galvanized full locked cable type. This system offers great durability properties, but also requires great precision in design and construction, as hanger will take load as the bridge is built, being very sensible to load distribution and initial geometry.

PALABRAS CLAVE: arco, péndolas cable cerrado, estructura metálica, grúa. **KEYWORDS:** bow string, hangers, full locked cable, steel structure, crane.

1. Introducción

El puente sobre el río Híjar, en Reinosa, surge como parte del proyecto de redistribución de la red viaria en Reinosa, en su Fase III, conectando en este caso el centro urbano con un polígono industrial al otro lado del río.

El proyecto original contemplaba un puente arco de tablero inferior de 37.5 m de luz, acompañado de un marco en uno de sus

laterales. Debido a las condiciones impuestas por la Confederación Hidrográfica del Ebro, fue necesaria la realización de un modificado en el que se alargó la estructura, resultando un vano adicional de 8 m de luz, resultando en definitiva 2 estructuras adyacentes compartiendo un apoyo tipo pila-pilote.

2. Descripción de la estructura

2.1 Vano lateral

El vano lateral es una estructura isostática de 8 m formada por una losa de hormigón de 40 cm de canto (47 cm en el centro debido al bombeo, entre 77 y 87 cm en la zona de apoyos), 12.64 m de ancho para alojar 2 carriles y sendas aceras en los laterales. Apoya sobre el estribo 1 y la pila intermedia que hace de transición entre este vano lateral y el vano principal que salva el río.

Las principales cuantías del vano lateral son 0.46 m³/m² de hormigón HA-30 y 80 kg/m² (174 kg/m³) de acero B-500-S.

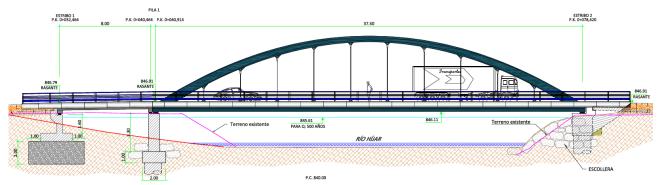


Figura 1. Planta y alzado.

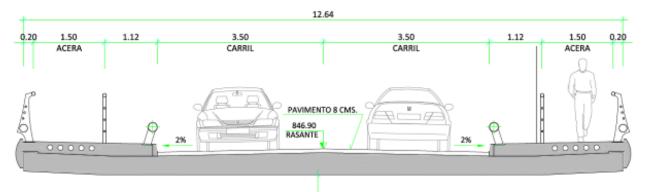


Figura 2. Sección transversal vano lateral

2.2 Vano principal: arco.

El vano principal, de 37.5 m, se salva mediante una estructura metálica tipo doble arco con tablero inferior, biapoyada, con péndolas entre el arco y el tablero. El ancho es de 12.64 m, teniendo los 2 carriles de circulación por dentro de los arcos, y sendas aceras alojadas por unos voladizos de 1.70 m por fuera de los arcos.

Estructuralmente, encontramos 2 vigas longitudinales principales, separadas 8.30 m, tipo cajón metálico de 650 x 700 mm, empotradas en los arcos en sus extremos, y colgando de ellos mediante 10 péndolas de entre 900 y 4700 mm de longitud. El tablero se resuelve con una sección mixta, con conectadores sobre las vigas transversales (10, separadas 3.23 m, coincidiendo con péndolas, más 2 en los extremos), prelosas y losa de hormigón armado.





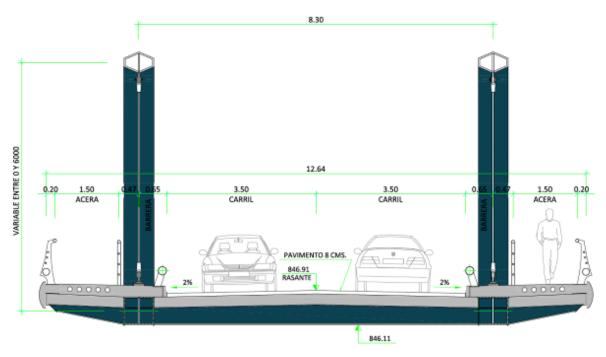


Figura 3. Sección transversal vano arco.

Los estribos son cerrados y de pequeña altura, el estribo 1 con cimentación directa mediante zapata, el estribo 2 con cimentación profunda mediante 3 pilotes de 1500 mm de diámetro.

La pila se resuelve mediante un muro de 3 m de altura y 1 m de ancho, cimentada mediante 3 pilotes de 1500 mm de diámetro.

3. Construcción

3.1 Cimentaciones y subestructura

Primero de todo es necesario ejecutar las cimentaciones y la subestructura, es decir, los estribos y la pila intermedia. El estribo 1, el que recibe al vano lateral, es un estribo cerrado convencional, de pequeña altura, mientras el

estribo 2, el que recibe al vano principal, es un cargadero pilotado (3 pilotes de 1500 mm de diámetro). La pila intermedia es un muro continuo de 3.30 m de alto y 1.00 m de espesor, también con cimentación profunda (3 pilotes de 1500 mm de diámetro).



Figura 4: Construcción de la pila intermedia. Alzado.

3.2 Vano lateral

Tras ejecutar las cimentaciones y la subestructura (estribos y pila intermedia) se procede a la ejecución del vano lateral, con medios tradicionales, cimbra cuajada al suelo, encofrados, ferrallado y hormigonado de la sección.



Figura 5: Ferrallado de la losa del vano lateral.



Figura 6: Hormigonado de la losa del vano lateral.

3.3 Vano principal: el arco.

- (2) Ensamblaje de la estructura metálica sobre apeos provisionales, en una de las márgenes del río, incluida la instalación de las péndolas.
- (3) Izado y posicionamiento sobre apoyos definitivos, mediante 2 grúas, una de 500 t (contrapeso de 165 t y "superlift") y otra de 300 t (contrapeso de 96 t), una a cada lado del río. La maniobra constó de 3 fases.

En una primera fase, la estructura era izada y transportada hasta un punto más cercano a la margen del río que el lugar donde ha sido ensamblada.

En ese momento, la segunda grúa, situada en la otra margen del río, engancha el extremo de la estructura, la cual se apoya provisionalmente para que la primera grúa pueda cambiar los puntos de enganche centrales por enganches en el otro extremo de la estructura.



Figura 7: Montaje de estructura metálica mediante grúas (fase 1, grúa de 500 t).



Figura 8: Vista de la estructura metálica apeada.



Figura 9: Montaje de estructura metálica mediante grúas (fase 2, 2 grúas, 500 t y 300 t).

Finalmente en una tercera fase, con la estructura cogida por ambos extremos,

sincronizando los movimientos de ambas grúas, es posible llevarla a su posición definitiva.



Figura 10: Montaje de estructura metálica mediante grúas (fase 3, 2 grúas, 500 t y 300 t).



Figura 11: Montaje de estructura metálica mediante grúas (aproximación a posición definitiva).

La maniobra de izado y transporte de la estructura metálica con las grúas fue compleja, necesitó de un análisis detallado de cada una de las fases, y al estar situadas en una zona de terrenos blandos incluso fue necesaria la realización de mejoras del terreno para soportar las cargas de las grúas y garantizar la estabilidad durante la maniobra.

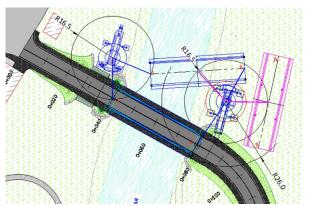


Figura 12: Planta con planificación de maniobra (posicionamiento de grúas).

(4) Ejecución del tablero (prelosas, ferrallado y hormigón de losa). Una vez la estructura metálica está en su posición definitiva, se procede a colocación de las distintas prelosas, ferrallado, y hormigonado de la losa en 2 fases (primero la parte central, y luego las laterales, donde están los anclajes de las péndolas).



Figura 13: Colocación de prelosas en tablero zona arco.



Figura 14: Ferrallado en tablero zona arco.



Figura 15. Hormigonado de losa zona arco (parte central).

(5) Acabados (aceras, pavimento, barreras). Finalmente, se procede a la ejecución de los acabados de la estructura, que permitirán ponerla en servicio en las adecuadas condiciones de confort y seguridad para los usuarios.



Figura 16. Ejecución de acabados.

4. Análisis del sistema de péndolas

Las péndolas colocadas son de Pfeifer tipo PV115, 808 mm² de acero y carga de rotura de 1170 kN (709 kN en servicio).

El sistema de péndolas propuesto en proyecto y finalmente ejecutado es de tipo cable cerrado galvanizadas. Se trata de un sistema que ofrece unas prestaciones de durabilidad muy buenas, pero que requiere de una gran precisión en el diseño y colocación, pues según proyecto la carga se introduce en las péndolas según se va construyendo (desapeo, hormigonado, etc) siendo muy sensible el reparto de carga a la geometría de partida (tolerancias muy estrictas, especialmente con péndolas de pequeña longitud).



Figura 17. Vista lateral y frontal de péndolas 1 y 10 (904 mm de longitud).

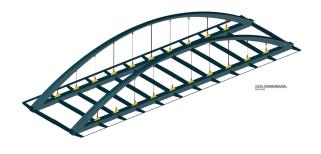
Los sistemas de péndolas están sujetos a las mismas limitaciones tensionales que cualquier otro sistema de tirantes, de modo que para evitar problemas de fatiga la carga en Estado Límite de Servicio se limita al 45% del límite elástico del material.

E	160 kN/mm ²		
Α	808	mm^2	
Carga rotura		1170	kN
Limitación tensión (fatiga)		0.45	
Carga admisible ELS		526.5	kN

Tabla 1.

En casos como el de esta estructura, con arco de pequeña dimensión y por lo tanto con péndolas relativamente cortas, y teniendo en cuenta la limitación tensional antes mencionada, el resultado es que las péndolas van a tener alargamientos bajo carga permanente muy pequeños, lo que hace que las tolerancias de ejecución sean especialmente importantes.

Si además el sistema es de cable cerrado sin posibilidad de precarga ni de regulación, de manera que las péndolas se instalan con carga nula con la estructura metálica apeada, y entre el desapeo y la introducción del resto de cargas permanentes van cogiendo la carga que les corresponde, es todavía más vital llevar a cabo un control de ejecución a nivel geométrico de gran precisión, controlando muy bien las tolerancias de ejecución, empezando por las de fabricación y montaje de la estructura metálica, y asegurando que son compatibles con el proyecto de las péndolas.



En el caso particular de esta estructura, con 10 péndolas en longitudinal, de 904 mm la más corta y 4679 mm la más larga, en la que por motivos estéticos y de suministro todas las péndolas son del mismo diámetro de cable, es crucial prestar atención a las cargas máximas pero también a las mínimas. En un bow string como el que nos ocupa, además de que las péndolas centrales son las más largas, y por lo tanto las que más alargamiento van a tener para la misma carga, se da la circunstancia de que son las más cargadas, ya que las péndolas de los extremos quedan muy cerca del encuentro entre

el arco y las vigas longitudinales, siendo una zona de una gran rigidez.

En la tabla 2 puede apreciarse el impacto en la variación de carga de cada péndola que tendría una variación de longitud (o de alargamiento) de un 1% respecto del teórico. Mientras en las péndolas centrales 1 mm implica únicamente una variación en carga de un 5 al 6% respecto de la carga máxima en ELS, en las péndolas cortas ese porcentaje va en aumento hasta llegar a casi un 30% en las péndolas extremas. implicaciones comportamiento son diversas, pero la más importante es que hace casi imposible que el diseño sea coherente con las tolerancias de ejecución en obra. Sumando la tolerancia de fabricación de la propia péndola, las tolerancias de fabricación de la estructura metálica (arco y viga longitudinal), las tolerancias de montaje e instalación, parece muy complicado considerar menos de 3 mm de tolerancia geométrica acumulada. Si a esto añadimos las posibles divergencias a nivel deformacional entre el modelo de cálculo y la realidad ejecutada (lo habitual es que la estructura metálica ejecutada sea algo más rígida que la teórica, lo que normalmente es conservador y no tiene apenas impactos negativos en obra), la realidad que nos encontramos es que las péndolas extremas, de 904 mm de longitud, en las que 1 mm de alargamiento implica casi un 30% de la carga máxima admisible, si se llegan a alcanzar los 3 mm de desviación (suma de todos los factores antes enumerados) en cualquiera de los dos sentidos, puede implicar tanto que la péndola no entre nunca en carga, como que la carga en la péndola acabe siendo muy superior a la máxima admisible por fatiga. Si además añadimos que la carga máxima de proyecto de estas péndolas extremas es un 65% de la máxima admisible, y que la teórica de la permanente de la péndola representa a su vez un 66% de la carga teórica total, nos encontramos con que el verdadero peligro es que la péndola se quede sin carga en

situación permanente, pues una desviación de 1.6 mm de acortamiento entre arco y cajón da como resultado carga nula en la péndola.

	LONG SUM				
	Izquierda	Derecha	ΔL	ΔF	ΔF/F _{adm}
Péndola	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[%]
1	904	904	1.00	143.0	27%
2	2400	2400	1.00	53.9	10%
3	3528	3528	1.00	36.6	7%
4	4287	4287	1.00	30.2	6%
5	4679	4679	1.00	27.6	5%
6	4679	4679	1.00	27.6	5%
7	4287	4287	1.00	30.2	6%
8	3528	3528	1.00	36.6	7%
9	2400	2400	1.00	53.9	10%
10	904	904	1.00	143.0	27%

Tabla 2.

De este análisis, y de la experiencia de ejecución de la estructura, se extrae la conclusión de que el proyecto de este tipo de arcos debe estas consideraciones de geométrico, estableciendo las medidas necesarias para evitar situaciones indeseables como la de que una péndola se quede sin carga bajo acciones permanentes. Por un lado, se podría eliminar las péndolas que sean demasiado cortas para hacer compatible el diseño con las tolerancias de ejecución en obra. Por otro, se podría incluir dentro de las hipótesis de cálculo del proyecto la situación de descarga de esas péndolas, asegurando que la estructura sigue resistiendo y que el resto de péndolas siguen cumpliendo con las limitaciones tensionales pertinentes al menos sin contar con esas otras péndolas bajo cargas permanentes. En el caso del puente arco sobre el río Híjar, esta última estrategia fue la elegida, poniendo como condición que en situación de carga permanente las péndolas extremas pudieran estar con carga nula, colaborando de esta manera únicamente frente a la acción de las cargas de tráfico, comprobando que el resto de elementos estructurales (arcos, vigas principales y resto de péndolas) cumplen con todas las comprobaciones necesarias tanto en ELS como ELU. desestimó La primera principalmente por motivos estéticos. Por último, se podría incluir en el sistema de péndolas la capacidad de precarga o

regulación, lo que permitiría actuar sobre alguna o sobre todas las péndolas para garantizar que la

carga real en situación permanente es la que les corresponde según el proyecto.



Figura 19. Vista aérea de la estructura terminada.