

# III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

LAS ESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI  
Sostenibilidad, innovación y retos del futuro



## Realizaciones



## EL VIADUCTO DE ALVARES

José M. **SIMÓN-TALERO MUÑOZ** <sup>1</sup>, Ramón M<sup>a</sup>. **MERINO MARTÍNEZ** <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, TORROJA INGENIERÍA

<sup>2</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, TORROJA INGENIERÍA

## RESUMEN

El lanzamiento del tablero es un método habitual y conocido en la construcción de puentes de luces moderadas. Sin embargo, a veces se pasan por alto en la concepción y en el cálculo ciertos detalles que, posteriormente, tienen una influencia importante en el proceso de lanzamiento e, incluso, en el coste de construcción.

El objeto de este documento es presentar algunas particularidades del empuje de un puente mixto recientemente construido en España.

El Viaducto de ALVARES es un Puente continuo de 7 vanos. Su luz principal son 102 m y su anchura son 27 m. La altura máxima de pila alcanza los 66 m. El lanzamiento del tablero se efectúa con ayuda de gatos de carga y carrera limitadas, lo que permitió variar las cotas de los apoyos para adaptar la línea de lanzamiento a las contraflechas de ejecución del tablero metálico. Haber despreciado el efecto de dichas contraflechas en el empuje habría conducido a incrementar fuertemente los flectores producidos durante el lanzamiento y a haber aumentado de forma apreciable los efectos de “patch loading” sobre las almas metálicas.

## PALABRAS CLAVE

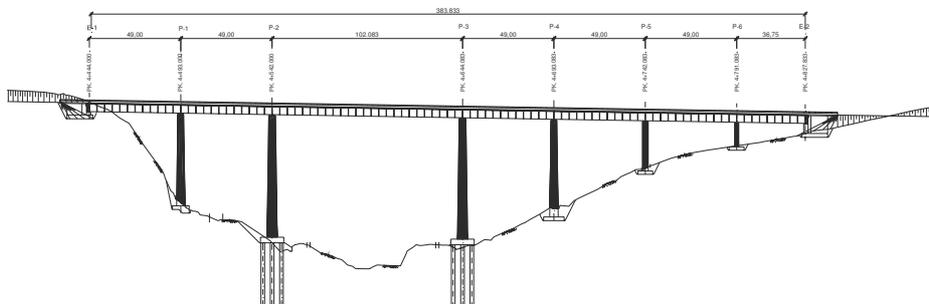
Puente. Mixto. Empuje. Lanzamiento

## 1. LA ESTRUCTURA

El Viaducto de Alvarés es un puente continuo de 7 vanos de luces: 49+49+102,083+49+49+49+36,75 m conforme se observa en la figura 1.

El tablero es recto con pendiente constante del 1,646% y ancho de 27 m. Este tablero es un cajón metálico de 8,5 m de anchura y 4,485 m de canto en el eje. Cada 4,083 m se coloca un sistema de puntales y jabalcones que completan los 27 m de anchura conforme al esquema adjunto. Sobre el cajón metálico se disponen unas prelosas de 0,10 m de espesor sobre las que se hormigona

0,165 m de forjado de hormigón armado. La sección transversal se muestra en la figura 2.

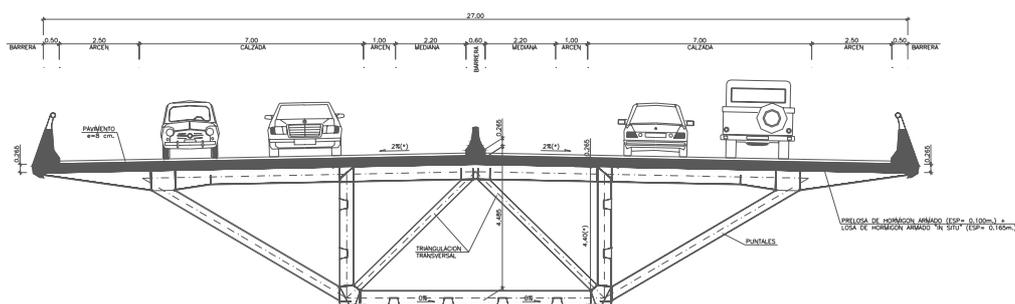


**Figura 1. Alzado general del puente**

Las pilas son huecas de hormigón armado de canto variable en las pilas P1, P2, P3 y P4 y constante en las pilas P5 y P6 que son de menor altura. En concreto las alturas de pilas son 51.3, 65.6, 64.9 y 52.1 m para las cuatro primera pilas y de 26,5 y 12,8 m para las pilas P5 y P6.

La cimentación de las pilas P1, P4, P5 y P6 es directa sobre las cuarcitas para las que se ha adoptado una tensión admisible de 1 N/mm<sup>2</sup>. En las pilas P2 y P3 la cimentación está compuesta por 9 pilotes de 2 m de diámetro y longitud de 34 a 40 m. La carga admisible adoptada para el dimensionamiento de los pilotes es de 4 N/mm<sup>2</sup>.

El estribo E1 está compuesto de un machón de 9,20 m de anchura sobre el que se apoya el tablero. De este machón de hormigón armado salen sendas aletas en vuelta de 9 m de longitud, alineados con las almas del tablero. Para completar los 27 m de anchura de la plataforma se colocan 3 sistemas de puntales y jabalcones separados 4,083 m, a semejanza de los que hay en el tablero. Sobre estos elementos metálicos se dispone una prelosa y un forjado de hormigón armado similar al del tablero. El estribo se completa con un muro de cierre trasero de hormigón armado. La cimentación del estribo es directa sobre las cuarcitas. Se ha considerado una tensión admisible de 1 N/mm<sup>2</sup>.



**Figura 2. Sección transversal tipo**

El estribo E2 tiene, a semejanza del estribo E1, un machón de 9,20 m sobre el que se apoya el tablero. Empotrado en este machón de hormigón armado se sitúa el muro de frente hasta completar los 27 m de anchura del tablero. La altura del muro de frente es de unos 11 m. En los laterales del muro se disponen aletas en vuelta y muros en prolongación de unos 13,5 m en el borde izquierdo y de unos 18 m el del borde derecho. La cimentación es directa sobre las cuarcitas, habiéndose considerado una tensión admisible de  $1 \text{ N/mm}^2$ .

## 2. EL PROCESO CONSTRUCTIVO

### 2.1 Breve descripción del proceso de lanzamiento

El cajón metálico se construyó en taller y se transportó a obra en dovelas de unos 12 m de longitud. Para facilitar el transporte (figura 3), el cajón de 8,5 m de anchura y 4,4 m de canto tenía una costura longitudinal en su centro, habiéndose realizado la unión soldada de ambos semicajones en obra. Asimismo, el sistema de jabalcones y puntales que se disponen con una cadencia de 4,083 m se conectó al cajón mediante unión soldada en obra.

Una vez ensambladas las dovelas del cajón metálico se procedió a lanzar 234,791 m del tablero desde el estribo E2 con la siguiente secuencia:

- Montaje en el desmante creado al efecto en el acceso del estribo E2.
- Colocación de la ferralla del fondo de cajón en la zona del vano P3-P4 y en las zonas sobre apoyos de pilas P5 y P6.

- Lanzamiento del cajón metálico desde el estribo E2 apoyándose sucesivamente en las pilas P6, P5, P4 y P3, hasta que la punta alcanzó el centro del vano principal P2-P3.



**Figura 3. Transporte a obra de una semidovela**

Una vez lanzado el tramo de tablero referido desde el estribo E2, se empujaron 149,041 m desde el acceso del estribo E1, siguiendo la secuencia que se define a continuación:

- Montaje en el desmonte creado al efecto en el acceso del estribo E1
- Colocación de la ferralla del fondo del cajón del tramo P1-P2.
- Colocación del contrapeso en cola del tramo metálico montado.
- Lanzamiento del cajón metálico apoyándose sucesivamente en las pilas P1 y P2, hasta alcanzar el centro del vano principal P2-P3.

Una vez construido y colocado el cajón metálico en su posición definitiva se procedió a completar la sección transversal con la losa superior de hormigón y al cierre de la estructura, conforme al siguiente esquema:

- Hormigonado del hormigón de fondo del cajón en las zonas situadas en los vanos P1-P2 y P3-P4 y en las zonas sobre las pilas P5 y P6.

- Colocación de prelosas centrales de la zona entre almas del tramo P3-E2 y del tramo E1-P2.
- Ferrallado y hormigonado de los 12,48 m centrales de la losa de hormigón de los tramos anteriores E1-P2 y P3-E2.
- Cierre de la estructura en la clave del vano principal P2-P3.
- Colocación de prelosas centrales de la zona entre almas del vano P2-P3.
- Ferrallado y hormigonado de la losa superior central de hormigón del vano P2-P3.
- Colocación de prelosas laterales en toda la longitud del puente E1-E2.
- Ferrallado y hormigonado de los voladizos laterales de la losa superior de todo el puente E1-E2.
- Extendido de impermeabilización y pavimento, colocación de juntas y colocación de los pretilos.

En lo que se refiere a las pilas, éstas se construyeron con encofrado trepador en trepas de 4,4 m de altura lo que permitió disponer armaduras de 6 m de longitud máxima.

Los estribos E1 y E2 se construyeron con métodos convencionales. Es de destacar que en los desmontes de los accesos a estos estribos se debió realizar una sobreexcavación de 1,2 m aproximadamente en una longitud de unos 115 m, para poder efectuar el montaje de la estructura metálica en estos lugares.

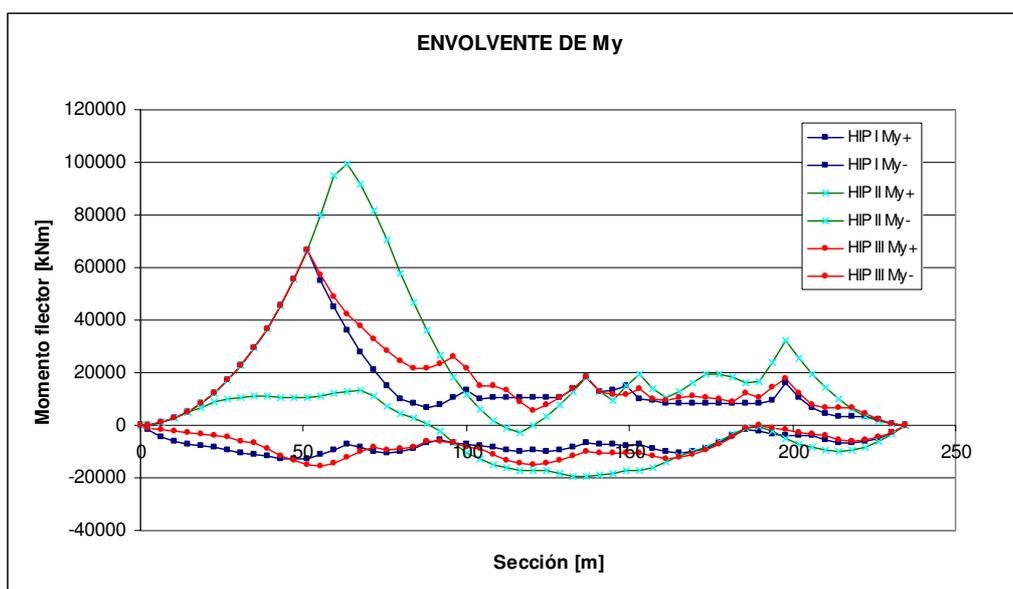
## **2.2. Algunas particularidades del lanzamiento.**

Para que el puente tenga una apariencia adecuada y para que el nivel de funcionalidad sea razonable, se le han dado al tablero unas contraflechas que son, en esencia, iguales y contrarias a las flechas que producen las cargas permanentes que afectan a la estructura, considerando el proceso de ejecución previsto. Estas contraflechas llegaban a alcanzar un valor máximo de 380 mm en el centro del vano principal P2-P3. En los vanos adyacentes la contraflecha resultante era de signo contrario y de 48 mm de valor.

La existencia de las contraflechas del tablero citadas hace que las reacciones en pilas y los consiguientes esfuerzos en el tablero que se producen durante el lanzamiento no sean las que resultan de suponer que el tablero tiene un perfil longitudinal recto. Es decir, este hecho produce una redistribución de cargas cuyos efectos no son despreciables.

En la figura 4 se presentan las envolventes de flectores que se producen durante el lanzamiento en dos hipótesis diferentes, a saber:

- Hipótesis I (sin contraflechas).Corresponde a suponer que se colocan gatos bajo los apoyos y que éstos se regulan para que absorban todas las contraflechas. Esta hipótesis es equivalente a suponer que el puente se mantiene recto durante el lanzamiento.
- Hipótesis II (sin gatos y con contraflechas).Corresponde a suponer que no hay gatos de regulación y que por tanto las contraflechas se absorben por flexión del tablero.



**Figura 4. Influencia de la regulación de los apoyos en los flectores durante el lanzamiento desde E2**

Por los motivos que se acaban de exponer, hay que regular la carrera vertical de los patines y de los apoyos provisionales de lanzamiento, durante el proceso de lanzamiento. Así, se consigue que las reacciones estén compensadas y que no se produzcan unos esfuerzos excesivos en el tablero. Para poder controlar

este proceso, se deben medir las cargas que se produce en cada gato en todas las fases y la cota a que se dispone cada uno de ellos. En la figura 4 anterior también se han incluido, como hipótesis III, los esfuerzos correspondientes a disponer unos gatos de carrera y capacidad de carga limitados (excepto en P1 y en P5 en que se disponen rótulas fijas) y regularlos conforme a lo que se adoptó realmente en el lanzamiento. En concreto se utilizaron gatos de 3000 kN de carga máxima y 400 mm de carrera admisible.

### 2.3. Controles durante el lanzamiento

Los esfuerzos y las deformaciones que se producen durante el lanzamiento del tablero vienen gobernados, como ya se ha indicado, tanto por la longitud del voladizo existente como por las cotas a las que se encuentran los apoyos en cada fase de lanzamiento. Dado que en los apoyos de pilas, de estribos y de los patines provisionales se previó colocar gatos, se empleó como medio de control principal la medida de la carga y de la carrera de cada uno de los gatos que, en cada fase de lanzamiento, se encontraban activos. En las pilas P1 y P5 los apoyos eran fijos, pudiéndose conocer la carga que soportaban por diferencia entre el peso total que se lanza y la suma de las reacciones del resto de los gatos. En la figura 5 se muestra la relación entre las carreras previstas en la “Memoria de lanzamiento” y las que realmente se dieron durante el empuje desde el estribo E2. Asimismo, se muestran en la figura 6 las reacciones estimadas en el cálculo y las que se midieron durante el lanzamiento.

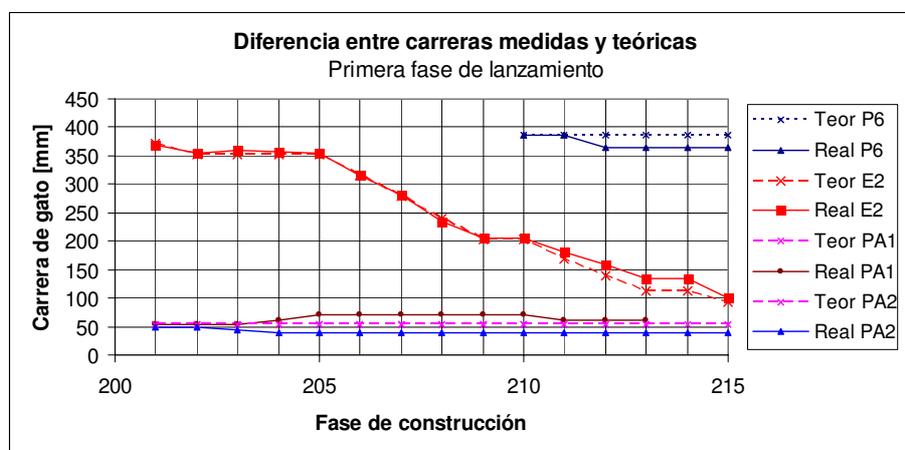


Figura 5. Comparación de carreras de gatos durante el lanzamiento desde E2

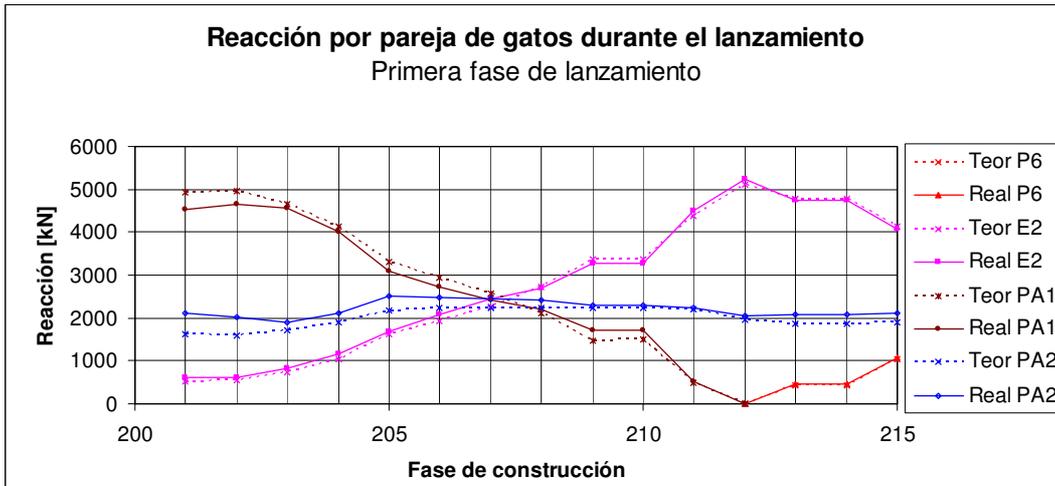


Figura 6. Comparación de cargas en gatos durante el lanzamiento desde E2

Además, se controlaron las flechas que de la punta del voladizo en cada fase de lanzamiento. Es de destacar que la flecha de la punta del voladizo depende significativamente de las cotas a las que se encuentran los apoyos en cada fase de lanzamiento. Por ello, para comprobar la validez de una cierta flecha de la punta del voladizo, es imprescindible corregir la cota teórica de la punta en función de los movimientos de sólido rígido que se generan en el voladizo por efecto de los movimientos impuestos que produce en el tablero la no coincidencia de las cotas de los apoyos con las que se deducen de las contraflechas del tablero en cada punto. En la figura 7 se muestra la comparación entre las flechas estimadas y las medidas durante el lanzamiento desde el estribo E2.

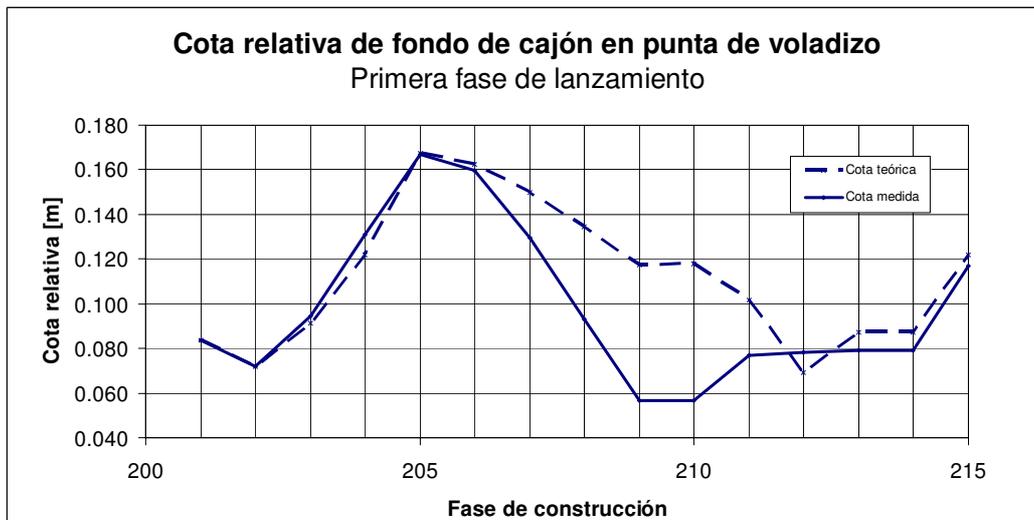


Figura 7. Comparación de flechas en la punta del voladizo

En lo que se refiere al rozamiento de los apoyos, éste se pudo calibrar en función de los pesos a empujar y de la carga que se tenía en los gatos de tiro/empuje en cada fase. Así, se pudo obtener el rozamiento medio en todos los apoyos, que resultó de un 8-9%, aproximadamente en los inicios de maniobras, bajando hasta un mínimo de un 4.5 %, aproximadamente.

#### **2.4. Algunos comentarios sobre los equipos de tiro/empuje y sobre los elementos auxiliares de lanzamiento.**

El peso total de tablero a lanzar era de unas 1350 toneladas desde el estribo E2 y de 870 toneladas, aproximadamente, desde el estribo E1. Considerando la pendiente longitudinal del tablero del 1.65%, resultaban unas fuerzas de empuje de unas 150 toneladas para el lanzamiento desde el estribo E2 y de unas 75 toneladas para el lanzamiento desde E1. Para al lanzamiento de los dos primeros tramos desde E2 y para el tramo completo lanzado desde E1 se utilizaron gatos de 750 mm de carrera y 40 ton de carga que transmitían la carga de tiro o empuje desde el propio carril de deslizamiento a los patines situados sobre ellos, según se observa en la figura 8. En particular, desde el carril del estribo E2 se empujaban los patines, puesto que la pendiente era ascendente, mientras que desde el estribo E2 se tiraba de los patines al ser el lanzamiento en pendiente descendente.



**Figura 8. Patines de empuje**

Para el tercer empuje realizado desde el estribo E2, las capacidades de los gatos de empuje eran insuficientes, por lo que se optó por realizar el lanzamiento tirando del tablero con ayuda de dos gatos de 400 mm de carrera que tiraban de sendos tendones de pretensado de  $7\Phi 0.6$ " que se anclaron al estribo E2 y a unas orejetas adosadas al fondo del cajón metálico.

En lo que se refiere a los apoyos provisionales de deslizamiento, se emplearon apoyos con rotulados de neopreno – teflón en todas las pilas y en los dos estribos. Además, como ya se ha indicado, todos los apoyos de estribos, de los patines provisionales de lanzamiento y de las pilas P2, P3 , P4 y P6, se disponían sobre gatos de 300 toneladas de capacidad y de 400 mm de carrera (ver figura 9) con el fin de poder regular la cota de apoyo y, en consecuencia, poder variar la reacción en cada fase de empuje hasta adecuarla a la esperada en proyecto.



**Figura 9. Apoyos de lanzamiento y gatos de regulación**

Para el lanzamiento y posterior cambio de los apoyos provisionales de lanzamiento a los definitivos fue necesario diseñar ex-profeso varios elementos auxiliares, entre los que destacan los que siguen: elementos de anclaje del gato de tiro al estribo E2, carriles de deslizamiento para el lanzamiento, topes laterales en los estribos, orejetas de tiro del tablero, nichos y elementos de arriostamiento de los gatos de las pilas y topes laterales contraviento en las

pilas a utilizar durante el cambio de apoyos. Además durante el cierre en la clave del vano P2-P3 se empleo un “puente” constituido por una sección doble T y una barras de pretensado que permitió igualar las flechas de las dos puntas de los voladizos a unir.

Además, para proceder a la sustitución de los apoyos provisionales de empuje por los definitivos, se emplearon gatos auxiliares verticales que permitieron sostener el tablero mientras se retiraban las rotulas de lanzamiento y se hormigonaban los nichos donde se alojaban estas rotulas. Durante este proceso, la estabilidad lateral del tablero se aseguraba mediante los susodichos topes laterales que transmitían las cargas de viento transversal del tablero hasta los fustes de las pilas.



**Figura 10. Lanzamiento del cajón desde el estribo E2**

### **3.- FICHA TÉCNICA**

Administración:	Ministerio de Fomento D.G. Carreteras
Construcción:	DRAGADOS
Sistema de lanzamiento:	LASTRA
Taller metálico:	JOAMA – ASCAMON (UTE)
Proyecto y A.T. en obra:	TORROJA INGENIERÍA
Fecha de construcción:	Enero de 2004 a Agosto 2005
Luz máxima:	102 m
Longitud:	384 m
Anchura:	27 m
Peso de acero:	2.237 toneladas