

# Ejecución de los viaductos de acceso del viaducto de Almonte

## *Construction of the approach spans of the Almonte Viaduct*

David Carnero<sup>a</sup>, Joao Rocha<sup>b</sup>, Agustín Alonso<sup>a</sup> y Pedro Cavero<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FCC Construcción, S.A.

<sup>b</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Conduril Engenharia S.A.

Recibido el 15 de diciembre de 2017; aceptado el 17 de julio de 2018

### RESUMEN

La construcción de los vanos de aproximación del viaducto de Alta Velocidad sobre el río Almonte se realizó previamente a la ejecución del vano principal del viaducto, consistente en un tablero sobre arco de hormigón para salvar el río. Estos vanos de aproximación, de 45 m de luz y de sección cajón de hormigón postesado, cuyo protagonismo se desvanece irremediamente frente al vano principal, se ejecutaron mediante dos cimbras autolanzables superiores, una vez ejecutadas las cimentaciones y las pilas de estos vanos.

© 2020 Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Publicado por Cinter Divulgación Técnica S.L.L. Todos los derechos reservados.

PALABRAS CLAVE: Autocimbra superior, pórticos de apoyo, lanzamiento, cabrestante, riostras.

### ABSTRACT

The construction of the approach spans of the High Speed Viaduct over the Almonte River was performed previously to the construction of the main span of the viaduct, consisting on an upper deck concrete arch to bridge the river. These approach 45 m spans, whose prominence vanish irretrievably against the main span, were built by means of two overhead movable scaffolding system, once the foundations and the piers were constructed.

© 2020 Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Published by Cinter Divulgación Técnica S.L.L. All rights reserved.

KEYWORDS: Overhead Movable Scaffolding System, Tower cross-beam assembly, launch cycle, winch, deck diaphragm.

## 1. INTRODUCCIÓN

En un tramo del corredor de Alta Velocidad que se está ejecutando entre Madrid y Badajoz (y que presumiblemente en un futuro conecte las capitales europeas de Madrid y Lisboa), situado en la localidad cacereña de Garrovillas de Alconétar, se ha construido el viaducto de Almonte, ubicado en la cola del embalse de Alcántara, en la desembocadura del río Almonte. Se trata de un viaducto de casi 1 000 m de longitud con un arco central de hormigón de tablero superior para salvar el río (cuya anchura ronda los 400 m en su desembocadura), condición indispensable desde los estudios previos de soluciones, al estar el viaducto enclavado en una zona de alto valor medioambiental. Para llegar al tramo central principal del viaducto se han ejecutado viaductos de aproximación en ambos márgenes, de longitudes de 259 y 349 m respectivamente.

Tanto el tablero de los vanos de aproximación como el tablero sobre el arco, de sección cajón de hormigón postesado, se han ejecutado empleando una autocimbra superior por margen. Inicialmente la ejecución de los tableros estaba prevista mediante el empleo de autocimbras inferiores, pero la coyuntura de mercado hizo que fuera necesario cambiar el sistema constructivo.

Para la ejecución del tablero de los vanos de acceso con autocimbras superiores se contrató a la empresa AP Bridge Construction System (BCS), de amplia experiencia en el sector y con sede en Lisboa.

En el presente artículo se analiza pormenorizadamente la ejecución de los viaductos de acceso del viaducto principal de Almonte, prestando especial atención a los tableros y a las máquinas empleadas en su ejecución y al ciclo normal de trabajo de una autocimbra superior para la ejecución de un vano tipo.

\* Persona de contacto / Corresponding author.  
Correo-e / email: [dcarnerop@fcc.es](mailto:dcarnerop@fcc.es) (David Carnero)



Figura 1. Imágenes aéreas de la ejecución de los vanos de los margen sur y norte con autocimbra superior.

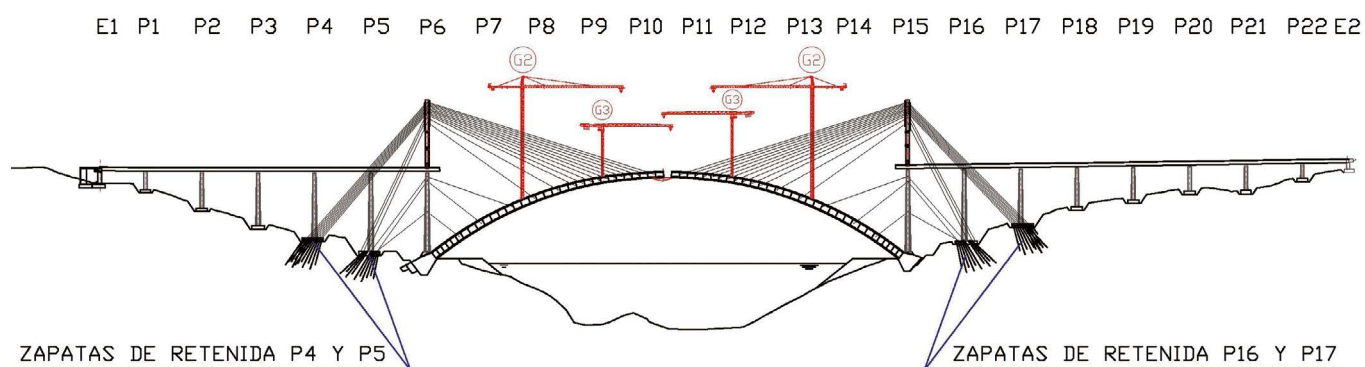


Figura 2. Perfil longitudinal del viaducto de Almonte en construcción.

Por otro lado, se ha puesto especial énfasis en aquellos aspectos del procedimiento constructivo que difieren respecto de la ejecución de un tablero ferroviario continuo convencional de la misma sección transversal.

## 2. EJECUCIÓN DE CIMENTACIONES Y PILAS DE LOS VIADUCTOS DE ACCESO

### 2.1. Ejecución de cimentaciones

#### 2.1.1. Zapatas de pilas P1, P2, P3, P18, P19, P20, P21 y P22 (zapatas normales)

Se trata de las zapatas de las pilas de todos los vanos de acceso salvo las tres últimas pilas por margen. Estas tres últimas pilas por margen se cimentan sobre la zapata del arco y sobre las dos zapatas de retenida respectivamente, encargadas de contrarrestar el peso del arco en voladizo. La ejecución de estas zapatas se describirá en el siguiente subcapítulo, mientras que la ejecución de las zapatas del arco se verá en el artículo dedicado a la construcción del arco.

Todas estas cimentaciones se resolvieron con cimentaciones directas sobre pizarra no meteorizada. Estas zapatas se

dimensionaron para una tensión admisible de 600 kPa y sus dimensiones son variables en función de la altura de la pila. Su ejecución no planteó ningún problema distinto al que nos podemos encontrar en la ejecución de una zapata estándar en cualquier viaducto.

#### 1.1.1. Zapatas de retenida (pilas P4, P5, P16 Y P17)

Se trata de las cimentaciones de las dos pilas anteriores a la pila principal sobre la cimentación del arco en cada uno de los dos márgenes. La misión de estas zapatas de retenida, además de ser cimentación de la pila soportada, es servir de anclaje al sistema de atirantamiento provisional necesario para ejecutar el arco, sin permitir ningún movimiento en la estructura. En la siguiente figura se puede apreciar la posición de las zapatas de retenida en el viaducto.

Las particularidades de estas zapatas con respecto a las zapatas del resto de pilas son las siguientes:

- Se realizó un tratamiento del terreno con inyecciones tubo-manguito a presión variable en función del tramo con lechada de cemento, ya que estas zapatas estarían sometidas a mayores esfuerzos durante la construcción del viaducto, que el resto de cimentaciones.
- Se realizaron 60 anclajes al terreno de  $12\Phi 0.6''$  en cada una de las 4 zapatas con longitudes de bulbo de 16 m y longitudes libres comprendidas entre 6 y 10 m, depen-

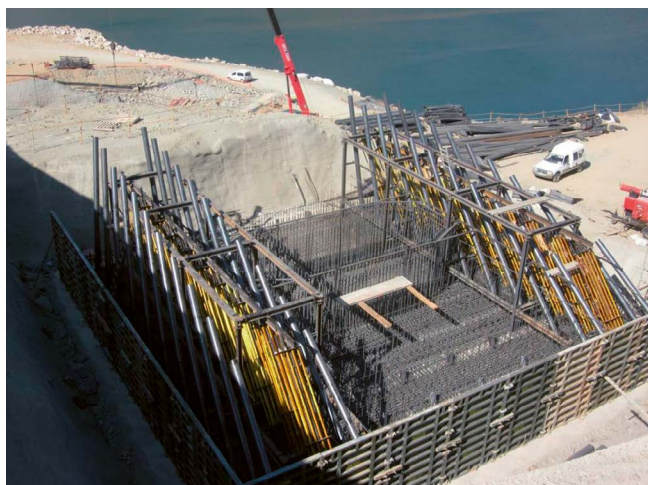


Figura 3. Ejecución de la zapata de retenida de la pila P5 del margen norte.

diendo del anclaje considerado. Dichos anclajes se iban tesando por fases a 2 000 KN cada uno. Para la ejecución de estos anclajes, se decidió dejar una serie de tuberías embebidas en la zapata, para ejecutar los anclajes después de hormigonar la zapata, desde la cara superior de esta.

- Se dispusieron barras de acero activo de alto límite elástico con la inclinación y azimut adecuados en cada caso, de forma que sirvieran de anclaje de las distintas familias de los tirantes de retenida. Para el correcto montaje de estas barras se diseñó una estructura auxiliar que quedaría embebida en la zapata y permitiría el posicionamiento exacto de cada grupo de barras. Dicha estructura se utilizó también para el posicionamiento de los pasatubos necesarios para la ejecución de los anclajes al terreno.

## 2.2. Ejecución de las pilas de vanos de acceso

Para la ejecución de las pilas del viaducto de Almonte se utilizó un encofrado modular trepante especialmente diseñado para la geometría variable de estas. El modo de ejecución de estas pilas es el habitual en estos casos:

- Desencofrado de la trepa anterior.
- Desmontaje y montaje de plataformas de trepado en la trepa a ejecutar.
- Premontaje de la ferralla en un bastidor ubicado en el suelo.
- Montaje del encofrado interior con la ayuda de medios de elevación.
- Montaje de la ferralla premontada solapando el armado vertical con el dejado en la trepa anterior.
- Montaje del encofrado exterior con la ayuda de medios de elevación.
- Hormigonado de la trepa con bombeo o con medios auxiliares de elevación (en función de la altura de la trepa en cuestión).

El rendimiento medio obtenido en la ejecución de las pilas de los tramos de acceso del viaducto de Almonte fue de una trepa cada dos días por cada equipo de encofrado, equipo formado por 6 oficiales encofradores y 5 oficiales ferrallistas.

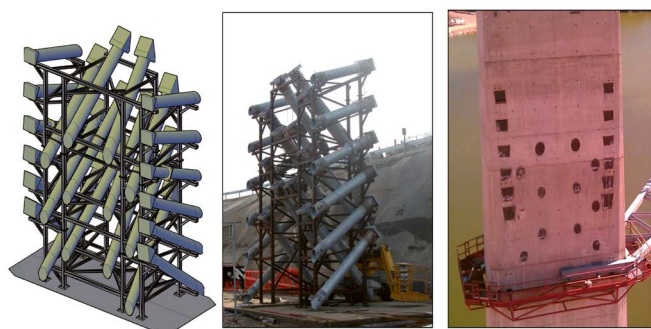


Figura 4. Estructura auxiliar para el posicionamiento de las tuberías en las pilas P6 y P15.

Cabe reseñar como factor diferenciador respecto de la ejecución de una pila estándar el procedimiento de ejecución de las trepas superiores de las pilas sobre las cimentaciones del arco (P6 y P15), trepas en las que, además de ser macizas, era necesario disponer una serie de tuberías que permitieran posteriormente el cruce de las 8 primeras familias de tirantes a través de las pilas. Dichas tuberías debían tener un determinado azimut e inclinación con un error inferior a 0.5°. Para ello se diseñó una estructura auxiliar que asegurara la correcta geometría de las tuberías en su posición definitiva. Se realizaron distintos modelos 3D para analizar la interferencia entre dichas tuberías y el armado de la pila.

Estas últimas trepas era necesario ferrallarlas *in situ*, debido a la imposibilidad de montar la ferralla premontada al interferir con las tuberías necesarias para el paso de las 8 primeras familias de tirantes.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL TABLERO DE LOS VANOS DE ACCESO

Los vanos de aproximación del viaducto de Almonte son 6 por el margen norte y 8 por el margen sur, todos ellos de luz constante e igual a 45 m, con excepción de los vanos extremos cuya luz es de 36 m. La sección transversal del tablero es una sección cajón de 14 m de ancho y 3.10 m de canto de hormigón postesado con 6 tendones con trazado parabólico de 27 cordones de  $\Phi 0.6''$  cada uno, por cada alma de la sección.

El peso propio aproximado de la sección es de 250 KN/ml, teniendo en general la losa inferior un espesor de 0.35 m en la zona central y la losa superior de 0.30 m en la zona central, mientras que el espesor genérico de los hastiales es de 0.55 m.

El tablero de los vanos de acceso se ejecutó por fases por medio de una cimbra autolanzable de celosía superior por margen, trabajando como biapoyada entre dos pilas consecutivas. La primera fase de hormigonado de los vanos de acceso comprendía el tablero entre el estribo y la primera pila, estando la junta de hormigonado situada a 1/5 de la luz del primer vano desde la pila. El resto de fases de hormigonado iba desde la junta de hormigonado situada a 1/5 de la luz de una pila hasta 1/5 de la luz de la siguiente, siendo por tanto en general las fases de 45 m.

La continuidad del pretensado en los frentes de fase se resuelve por medio de cruces de vainas en una zona próxima al

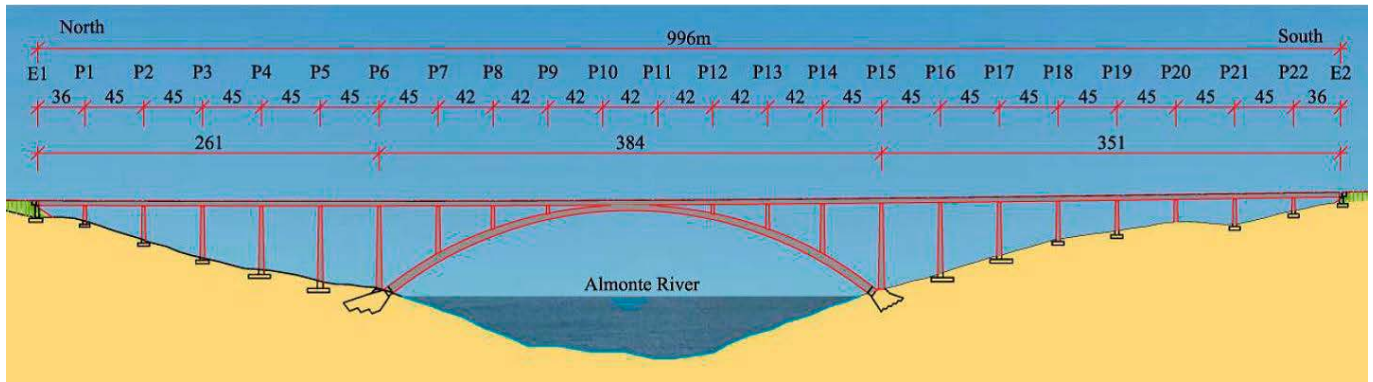


Figura 5. Perfil longitudinal del viaducto de Almonte.

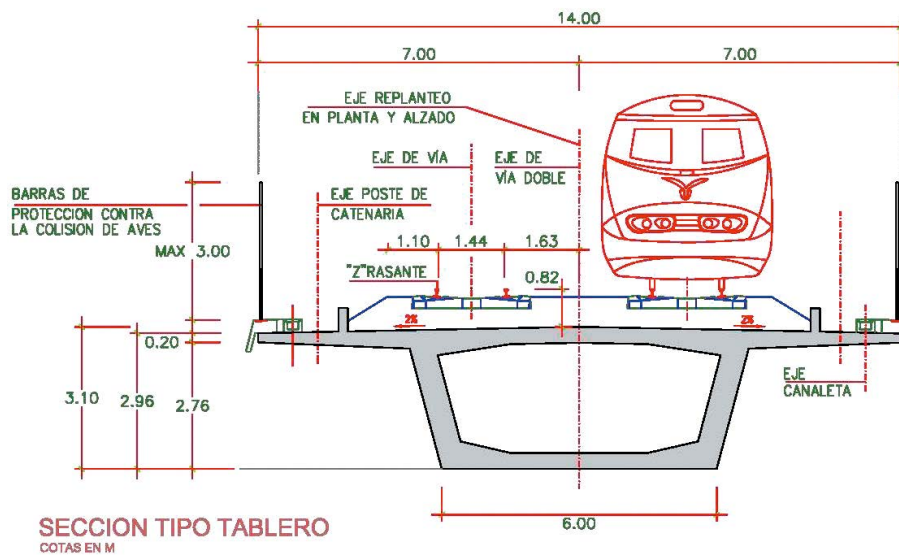


Figura 6. Sección transversal tipo del tablero de los vanos de acceso del viaducto de Almonte.

frente de fase, zona en donde se amplía generosamente el espesor de los hastiales en una cierta longitud para poder permitir el cruce del pretensado de una fase con el pretensado de la siguiente, sin necesidad de utilizar acopladores en los núcleos de tesado.

En cuanto a la configuración longitudinal del puente frente a fuerzas horizontales, se ha tenido que optar por tener un punto fijo que fuera evolutivo con el procedimiento constructivo. Esto es debido a que la configuración estructural del puente va cambiando a lo largo del procedimiento constructivo, teniendo que adaptarse el punto fijo a estos cambios. La evolución del punto fijo a lo largo de la construcción del viaducto es la siguiente:

- Inicialmente, para la ejecución de los vanos de acceso, se dispone de un punto fijo en los estribos E1 y E2.
- Para la ejecución del arco, fue necesario trasladar los puntos fijos a las pilas principales, para evitar movimientos en la torre de atirantamiento (y por lo tanto en el arco) durante la construcción del arco en voladizo.
- Finalmente, como ya se ha comentado, se desplaza el punto fijo a la sección central en la que confluyen arco y tablero, de forma que las fuerzas longitudinales del puente en servicio (principalmente debidas al frenado y arranque

del tren) puedan ser transmitidas por el arco hasta la cimentación de este.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS

Tal y como se ha comentado anteriormente, el tablero de los vanos de aproximación del viaducto de Almonte se han ejecutado mediante una autocimbra superior autoportante y autolanzable por margen. Estas cimbras están formadas por una viga celosía situada por encima del tablero a ejecutar, de la que cuelga el encofrado de fondo que permite la ejecución de dicho tablero. Para la ejecución de un vano, la autocimbra se apoya sobre el tablero ya ejecutado, a la altura de la pila precedente, y sobre la pila siguiente.

La principal característica de las autocimbras, tanto superiores como inferiores, es la de ser capaces de sustentar como biapoyadas el peso fresco del hormigón de un vano, teniendo la posibilidad de avanzar autónomamente de un vano al siguiente, sin la ayuda de medios de elevación auxiliares, una vez que el vano precedente haya alcanzado la resistencia requerida y se

haya procedido a su postesado, en su caso. Este tipo de sistema constructivo permite construir tableros de hormigón armado o pretensado vano a vano, de una forma totalmente libre e independiente de los obstáculos o dificultades que plantee la zona atravesada, sin necesidad de medios auxiliares de elevación adicionales, permitiendo el acceso de materiales, equipos y mano de obra al frente de trabajo sobre los vanos previamente ejecutados y a través de la propia autocimbra.

Las principales diferencias de una autocimbra superior con una autocimbra inferior son las siguientes [1]:

- Las autocimbras superiores reducen el gálibo inferior bajo el tablero en ejecución, puesto que lo único que hay por debajo del tablero en sí es la estructura de encofrado, estando todo el sistema portante por encima. Este hecho hace que estas autocimbras sean muy apropiadas en puentes largos con pilas muy bajas que no permitan emplear una autocimbra inferior por gálibo y en los que un sistema convencional de cimbra no sea posible y/o rentable.
- En las autocimbras superiores, el suministro de materiales se realiza por el tablero, a través de diversos sistemas de polipastos incorporados en la propia cimbra. En las autocimbras inferiores, lo normal es que el suministro de materiales se haga desde abajo, ya que suele requerir de medios auxiliares de elevación menos importantes. Si las pilas son muy altas, el suministro de materiales desde abajo suele ser inviable, por lo que las autocimbras superiores cobran ventaja en esta situación.
- Las autocimbras superiores producen más interferencias con el tablero en ejecución que las autocimbras inferiores. Esto es debido a que el sistema de apoyos de la autocimbra debe atravesar la riostra de pila, para lo que es preciso dejar una serie de huecos en el tablero, que luego es necesario cerrar. Si además se ejecuta el tablero en una única fase, como es el caso de los tableros de Almonte, será preciso prever el paso del encofrado interior por la riostra de pila, para lo que será preciso hormigonar la riostra en dos fases.
- El sistema de encofrado de las autocimbras superiores es mucho más complicado que el de las autocimbras inferiores, ya que este sistema debe ir colgado de la viga principal, en lugar de simplemente apoyado sobre esta. Además debe ser capaz de abrirse en el desencofrado para permitir el avance de la cimbra al siguiente vano. Como se verá posteriormente el sistema de encofrado de las autocimbras superiores suele resolverse con estructuras metálicas capaces de ser accionadas hidráulicamente para permitir su movimiento.
- Las autocimbras superiores son bastante más pesadas que las autocimbras inferiores, ya que la transferencia del peso del hormigón fresco no es tan directa como en el caso de las autocimbras inferiores. Por otro lado, aunque directamente relacionado con lo anterior, las acciones de la autocimbra sobre las pilas suele ser mucho mayor en el caso de las autocimbras superiores, aspecto que es preciso considerar en el cálculo.
- Como consecuencia directa del punto anterior, el montaje de las autocimbras superiores es mucho más complicado que en las autocimbras inferiores. Además, los sistemas hidráulicos de tiro y de apertura de encofrados son también mucho más complicados en el caso de las au-

tocimbras superiores, aspecto que también deriva en un montaje más farragoso que en el caso de las autocimbras inferiores

- En las autocimbras inferiores habitualmente se deja una ventana en los últimos metros de la pila que permita apoyar unas ménsulas auxiliares para servir de apoyo a la cimbra, ventana que puede ser estéticamente inconveniente. En el caso de las autocimbras superiores, tan solo es necesario dejar una serie de barras de anclaje en el capitel de la pila, barras que pueden cortarse una vez ejecutado el tablero.

Como se puede ver ambos sistemas presentan sus ventajas y sus inconvenientes. En el caso del viaducto de Almonte, las cimbras superiores se adaptaron a las necesidades de la obra, principalmente porque debido a la altura de las pilas más altas la construcción de los vanos de acceso pudo independizarse de los trabajos en el suelo [2].

### 3.1. Viga principal

La viga principal es el elemento encargado de resistir los esfuerzos provenientes del peso propio de la autocimbra y por supuesto del peso del hormigón fresco de un vano. Se trata de una viga celosía en cajón con un canto de 6.50 m y un ancho de 4.50 m.

La viga principal consta también de una serie de brazos atirantados, cuya principal misión es suspender el encofrado exterior del tablero, transmitiendo las fuerzas provenientes del peso propio del hormigón fresco a la viga principal.

En general estas vigas se diseñan de forma modular para que su longitud pueda ser adaptada a viaductos de distintas luces. En el caso del viaducto de Almonte, las vigas principales están montadas con 19 módulos de 4.50 m conectados mediante uniones atornilladas, llegando a tener una longitud de más de 100 m, si tenemos en cuenta la cola y la nariz de la viga principal.

Si estamos realizando el hormigonado de un vano comprendido entre las pilas  $n-1$  y  $n$ , la viga principal, posicionada sobre dichas pilas, debe tener una longitud tal que permita llegar a la pila  $n+1$ . Esta longitud de la viga principal está motivada por las siguientes razones:

- a) En el lanzamiento debe poder apoyarse en la pila delantera para no entrar en una situación límite de desequilibrio.
- b) El peso propio de la viga principal en el vano siguiente al vano hormigonado ayuda a reducir el momento positivo inducido por el peso propio del hormigón, ya que al no estar apoyada la viga principal en la pila  $n+1$  durante el hormigonado, trabaja en voladizo desde la pila  $n$ .
- c) Permite tener un acceso para poder montar y desmontar el pórtico delantero en la pila  $n+1$ , operación que se va realizando a la vez que se va ejecutando el vano entre las pilas  $n-1$  y  $n$ .

La viga principal consta tanto de una nariz trasera como de una nariz delantera mecánica de lanzamiento que puede estar abierta o cerrada, permitiendo realizar tanto el montaje o desmontaje del pórtico delantero como el lanzamiento de la autocimbra (asegurando el apoyo de esta en el pórtico delantero en el comienzo del lanzamiento).



Figura 7. Viga principal de la Autocimbras empleadas en los vanos de acceso (Modelo 3D e imagen aérea).

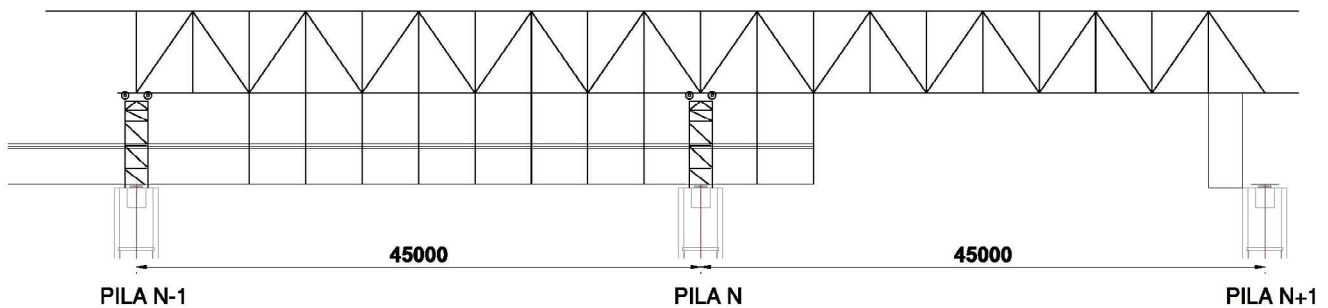


Figura 8. Autocimbra en posición de hormigonado.

Cabe mencionar que, en general, la viga principal de una autocimbra superior puede ser utilizada tanto como cimbra autolanzable para la ejecución *in situ* de tableros de hormigón, como viga lanzadora de vigas o dovelas prefabricadas.

Las vigas principales de las autocimbras que han ejecutado los vanos de acceso del viaducto de Almonte tienen un peso aproximado de 3 400 kN cada una y permiten ejecutar vanos de hasta 54 m de luz con cargas de hasta 360 kN/ml (teniendo en cuenta tanto el peso propio del encofrado como del hormigón fresco).

La viga principal de una autocimbra superior debe ser dimensionada tanto para la fase estática en que tiene que resistir el peso propio del hormigón fresco, como para la fase de lanzamiento, fase en que, aunque las cargas son menores, puede inducir esfuerzos mayores en determinadas barras como consecuencia de una configuración estructural en la que los apoyos no están necesariamente en los nudos de la viga celosía.

Es importante reseñar la importancia que tiene la carga de viento en el dimensionamiento de la viga principal de una autocimbra superior. Para ello distinguimos 4 situaciones de viento distintas, en función de la fase y del viento considerado [3]:

a) Viento de servicio de hasta 36 km/h (10 m/s) en situación de hormigonado: La viga principal funciona con normalidad simplemente biapoyada. No se debe iniciar un hormigonado si la previsión de viento es superior a los 36 km/h.

- b) Viento de servicio de hasta 36 km/h (10 m/s) en situación de lanzamiento: La viga principal estará inicialmente apoyada en tres pórticos, pasando a estar apoyada en únicamente dos en los últimos 18 m del lanzamiento. De la misma forma que el caso anterior debe asegurarse que no va a haber vientos superiores durante el tiempo que dura el lanzamiento.
- c) Viento accidental de hasta 72 km/h (20 m/s) en situación de curado del hormigón: Si se prevén vientos superiores en las 72 h posteriores al hormigonado (antes de realizar el tesado del vano), deberá apoyarse la viga en 3 apoyos, tesando la nariz a la pila.
- d) Viento accidental de hasta 150 km/h (42 m/s) en cimbra fuera de servicio: De la misma forma que en el caso anterior, deberán tomarse medidas excepcionales (además de mantener la cimbra fuera de servicio) en caso de que se prevean vientos superiores durante la ejecución del viaducto.

Por esta razón es muy importante que las autocimbras estén equipadas con un anemómetro y se trabaje con las previsiones de viento en caso de lanzamiento u hormigonado.

### 3.2. Pórticos de apoyo

Permiten el apoyo de la viga principal de la autocimbra sobre el tablero ejecutado o sobre pilas, en función del pórtico con-



Figura 9. Pórtico de apoyo trasero empleado en la ejecución de los vanos de acceso del Margen Sur.

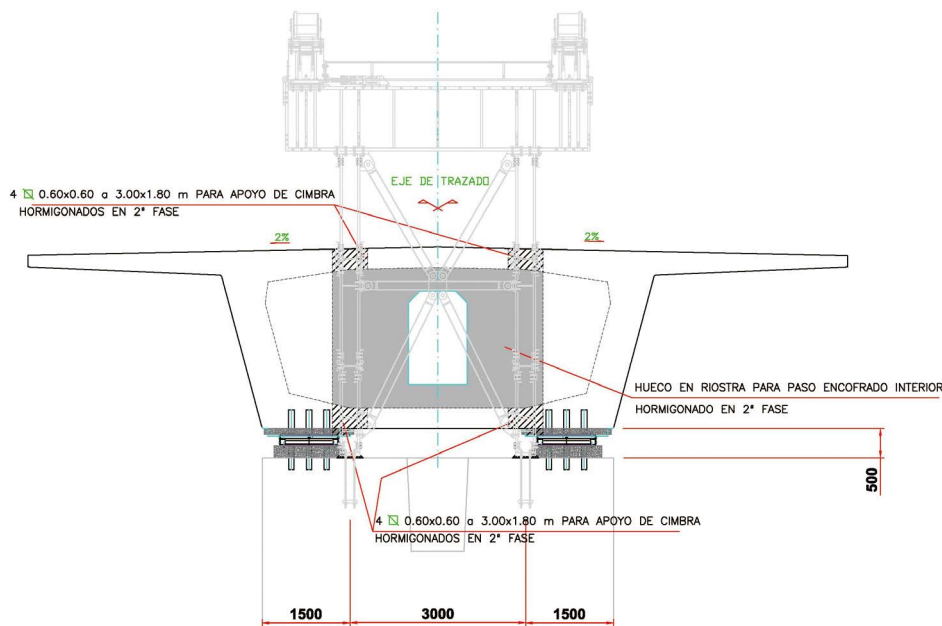


Figura 10. Interferencia entre el tablero en ejecución y el pórtico de apoyo de pila.

siderado, transmitiendo las cargas derivadas del hormigonado del vano a la subestructura del viaducto. Estos pórticos siguen el mismo concepto modular que la viga principal, haciendo muy versátil su adaptación a distintos tipos de pilas y tableros.

### 3.2.1. Pórtico de apoyo trasero

El pórtico trasero está constituido por una viga transversal, encastrada mediante uniones atornilladas en la viga principal, apoyada sobre dos patas, que a su vez apoyan sobre un balancín hidráulico montado con dos rodamientos en línea. Este balancín hidráulico es un elemento esencial de la autocimbra, ya que permite el apoyo de la viga principal sobre el tablero hormigonado en todo momento, garantizando una presión idéntica en cada uno de los rodamientos en línea contra el suelo.

Al estar unido solidariamente a la viga principal, el pórtico se mueve con esta en la fase de lanzamiento, desplazándose las ruedas sobre el tablero hormigonado.

Este sistema de gatos hidráulicos permite, además de conocer en todo momento la reacción de la autocimbra en ese punto, corregir con facilidad las cotas de lanzamiento y nivelar la autocimbra una vez cerrado el encofrado.

En la fase de hormigonado, el balancín hidráulico debe ser calzado (y/o anclado) contra el tablero, de forma que las ruedas no apoyen en este, materializándose de esta forma el apoyo trasero de la viga principal en fase de hormigonado.

### 3.2.2. pórtico de apoyo sobre pilas convencionales

Se trata del apoyo delantero de la autocimbra, concebido para transmitir las cargas resistidas por la viga principal a la pila, durante las fases de hormigonado y lanzamiento. En el caso de las autocimbras superiores el apoyo de la autocimbra sobre pila debe hacerse en el espacio que luego ocupará el tablero, produciéndose una interferencia clara con este. Esta interferencia se resuelve dejando un hueco en la riostra de pila por cada uno de los cuatro



Figura 11. Pórtico de apoyo de pila empleado en la ejecución de los vanos de acceso.

montantes de los que dispone el pórtico de apoyo, siendo necesario su posterior hormigonado una vez ejecutado el tablero.

El pórtico sobre pila está compuesto por cuatro patas o montantes, arriostradas entre sí y ancladas a la parte superior de la pila, mediante barras de acero dejadas embebidas en el hormigón, sobre los que apoyan dos vigas transversales, conformándose de esta forma dos pórticos arriostrados. Encima de estas vigas se disponen los balancines hidráulicos que permiten la rodadura de la autocimbra en fase de avance y su posterior nivelación.

Durante la fase de lanzamiento los cordones inferiores de la viga principal apoyan sobre los rodamientos del pórtico de pila. Cuando finaliza el lanzamiento y se cierra el encofrado se nivela la autocimbra con ayuda de los cilindros dispuestos

tanto en el pórtico trasero como en el pórtico de pila. Y finalmente, en fase de hormigonado cada cordón inferior de la viga principal de la autocimbra se apoya sobre dos pequeñas columnas centradas en el pórtico de pila y separadas entre sí en longitudinal 800 mm, permitiendo el apoyo del nudo de la viga celosía sobre el pórtico de pila.

### 3.2.3. Pórtico de apoyo sobre pilas principales (P6 y P15)

Para la ejecución del último vano de los vanos de aproximación por ambos márgenes (vanos comprendidos entre las pilas 5-6 y 15-16) fue preciso situar el pórtico de apoyo de pila en las pilas principales (P6 y P15). Sobre estas pilas se situó durante el proceso constructivo del arco un pilono metálico necesario para el anclaje de las familias de tirantes 9 a 26 encargadas de contrarrestar el peso del arco en voladizo desde la dovela 16 hasta la clave (más de la mitad del voladizo). El anclaje de los tirantes en esta torre hace que baje un axil muy importante por el pilono durante la construcción del voladizo. Por esta razón fue preciso montar unos apoyos POT de grandes dimensiones, que pudieran recoger ese axil, para posteriormente sustituirlos por unos apoyos POT más convencionales. La situación en planta de estos apoyos POT sobre el capitel de las pilas principales hizo que no fuera viable el montaje de un pórtico de pila convencional.

Para poder apoyar la viga principal de la autocimbra en las pilas principales se diseñó un sistema de patas y arriostramiento que se adaptara a la geometría libre del capitel. En el siguiente croquis se puede ver cómo se resolvió el apoyo de la autocimbra en las pilas principales.

### 3.3. Encofrado exterior

El encofrado exterior está compuesto por 22 módulos de encofrado independientes que son unidos entre sí mediante

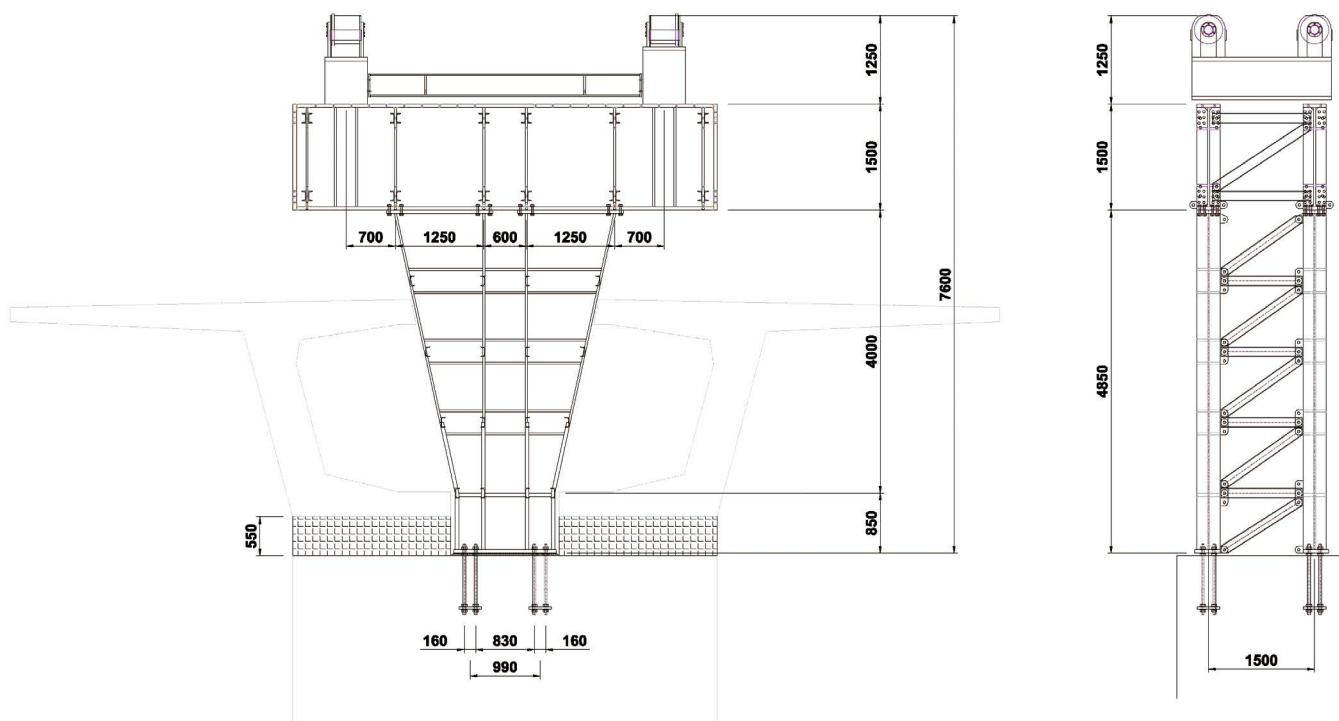


Figura 12. Croquis del pórtico de apoyo en pilas principales (P6 y P15).



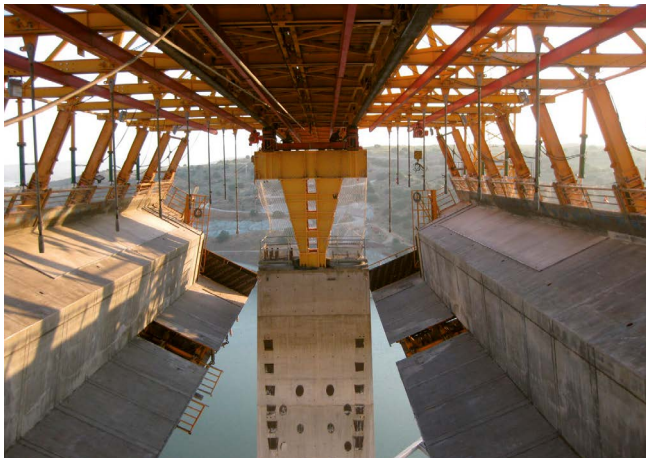


Figura 13. Pórtico de apoyo sobre pila P15.



Figura 14. Imagen autocimbra con el encofrado exterior abierto.

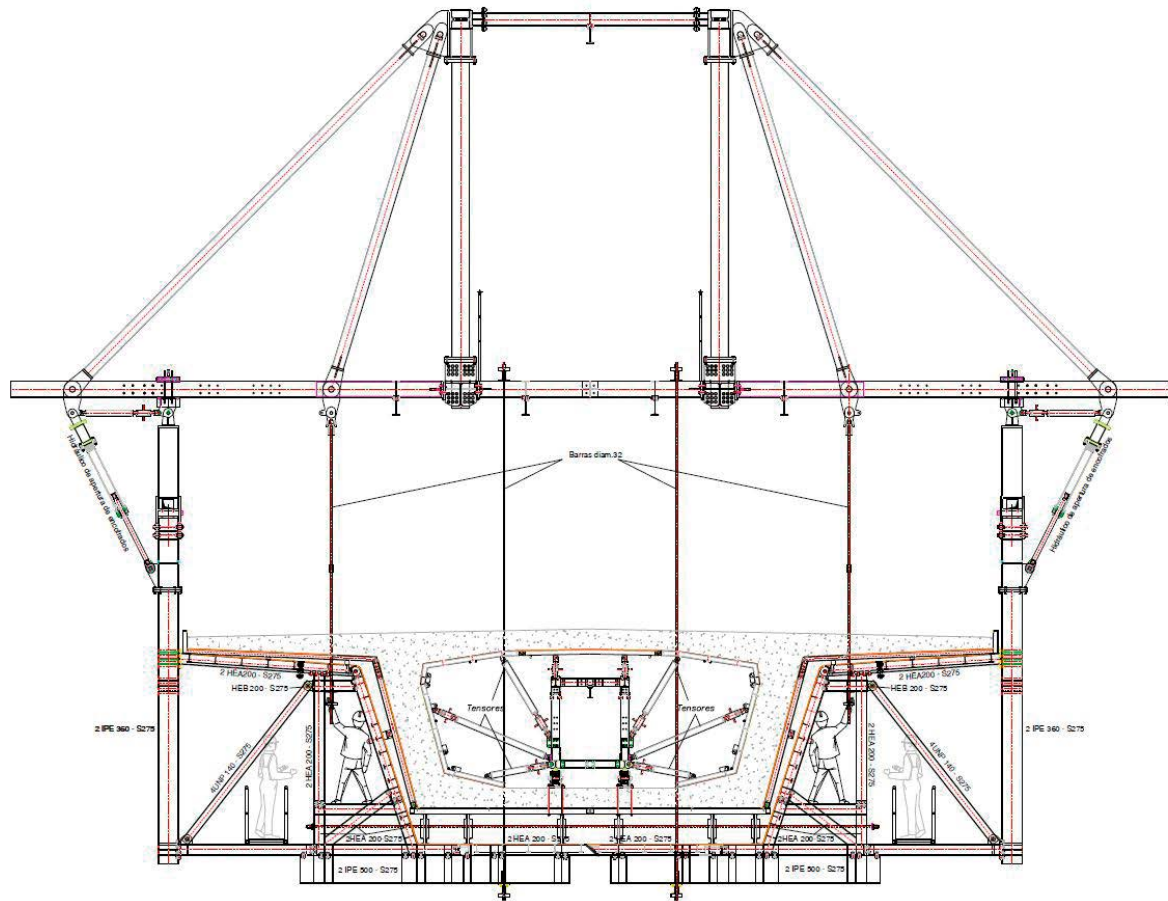


Figura 15. Croquis de la estructura soporte del encofrado de la autocimbra del margen norte.

uniones atornilladas. Transversalmente, este encofrado está suspendido de montantes con accionamiento hidráulico en cada extremo, que permiten la apertura o cierre del encofrado de manera sincronizada y en poco tiempo. Para el hormigonado, el encofrado precisa de la colocación de cuatro líneas de barras de acero de alto límite elástico, para reforzar la suspensión del encofrado a la viga principal.

Una vez realizado el cierre hidráulico del encofrado es preciso unir los módulos de ambos lados con barras de pretensar, de forma que no se pudiera producir la apertura de este durante el hormigonado

Los módulos de encofrado poseen plataformas de trabajo, que permiten el acceso del personal al exterior del encofrado, para la realización de distintas actividades necesarias en el ciclo. Por otro lado, en el último módulo de encofrado también se dispone de una plataforma de trabajo, desde donde se realizará el tesado del vano.

La estructura soporte de la chapa metálica que hará las veces de encofrado de la sección cajón debe ser adaptada para cada proyecto. En el caso del viaducto de Almonte se ha contado con dos estructuras soporte del encofrado distintas en ambos márgenes, ya que ambas estructuras venían adaptadas de distintas obras.

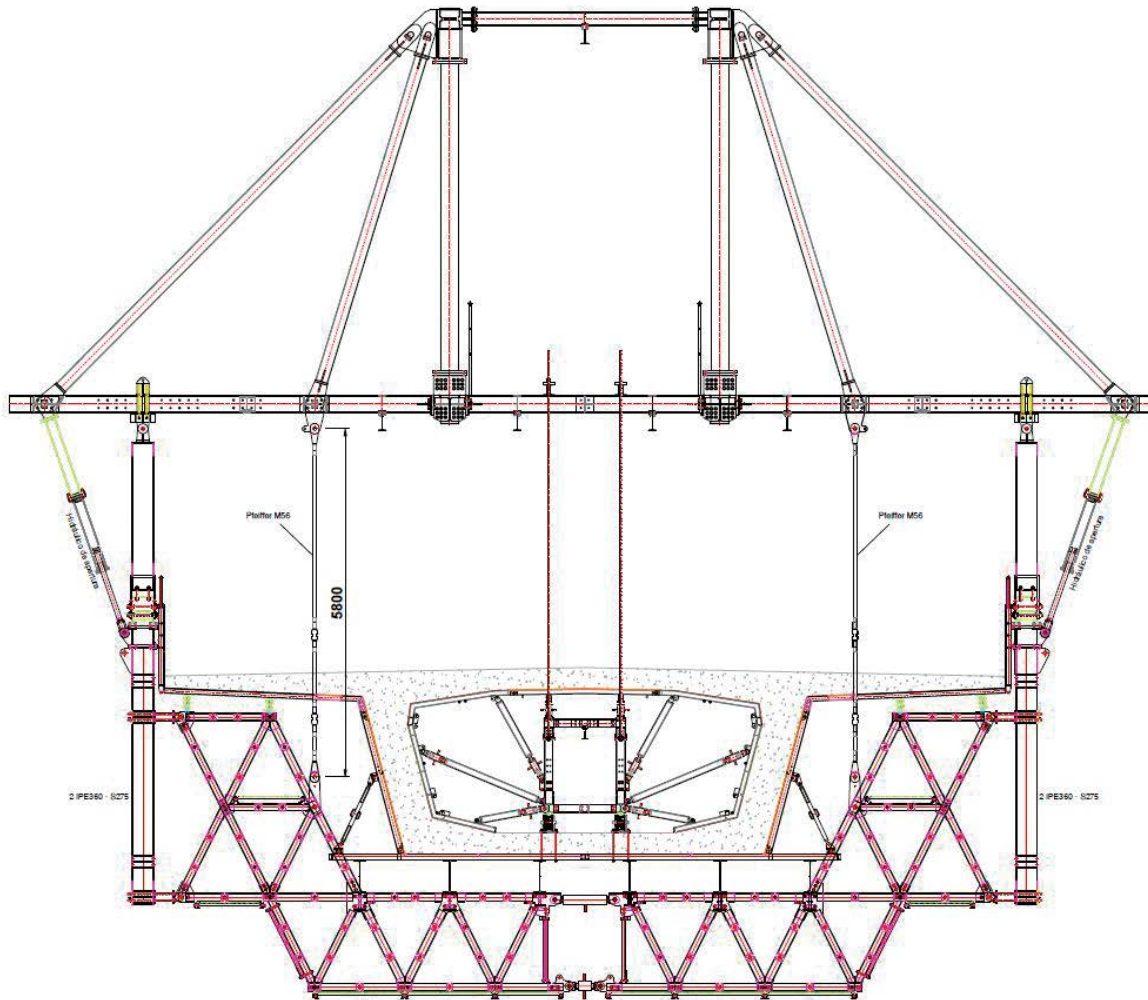


Figura 16. Croquis de la estructura soporte del encofrado de la autocimbra del margen Sur.

### 3.3.1. Autocimbra norte

En el caso de la autocimbra que ejecutó los vanos del margen norte, la estructura soporte del encofrado estaba constituida por perfiles HEB, HEA e IPE que posibilitan entre otras funciones, servir de apoyo a los cierres de la chapa de encofrado. Esta configuración de la estructura soporte del encofrado no permitía el acceso a personal por debajo del encofrado exterior de la losa inferior, por lo que el cierre del módulo de un lado contra el contrario debía hacerse con barras largas desde la pasarela exterior.

### 3.3.2. Autocimbra sur

La estructura soporte del encofrado de la autocimbra que ejecutó los vanos de acceso del margen sur estaba basada en celosías planas a modo de costillas arriostradas entre sí dentro del mismo módulo. Este tipo de estructura soporte posibilita el acceso de personal a lo largo de todo el encofrado exterior, realizándose la unión entre módulos de ambos lados por medio de un pasador, el cual se puede colocar fácilmente desde las pasarelas inferiores.

### 3.4. encofrado interior

Cabe reseñar que el tablero del viaducto de Almonte se ejecutaba vano a vano, hormigonando toda la sección transversal en

una única fase. Este hecho condiciona totalmente el diseño del encofrado interior, ya que este debe ser apto para encofrar toda la célula interior del cajón, siendo además capaz de plegarse para, cuando se lance a la fase siguiente, pasar a través de las riostras de pila (riostras que no obstante será necesario dividir su ejecución en dos fases).

En el caso del viaducto de Almonte se ha utilizado un carro plegable de encofrado interior forrado con chapa metálica. El encofrado interior está compuesto por 12 módulos independientes, estando cada módulo compuesto por una estructura metálica principal y por siete paneles articulados forrados de chapa que permiten ser recogidos o abiertos en función de la fase considerada. Durante el avance del encofrado interior desde el vano anterior al vano en ejecución los paneles deben estar recogidos para poder pasar por la riostra de la pila, mientras que una vez posicionado en su sitio los paneles deben abrirse para materializar el encofrado interior de la sección cajón.

Como se ha comentado anteriormente, debido a la ejecución del tablero del viaducto de Almonte con un carro de encofrado interior de este tipo, ha sido preciso ejecutar la riostra de tablero sobre pila en una segunda fase, ya que, aunque el carro de encofrado pasa recogido a través de esta, las dimensiones del carro recogido son muy superiores al hueco de hombre definitivo que hay que dejar en las riostras (como es lógico

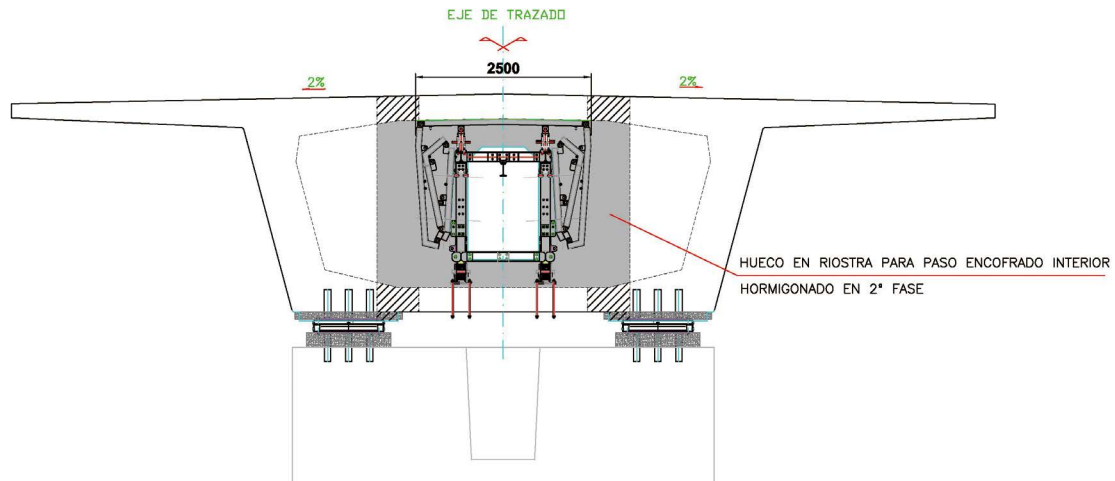


Figura 17. Huevo en riostra para el paso del carro de encofrado interior.

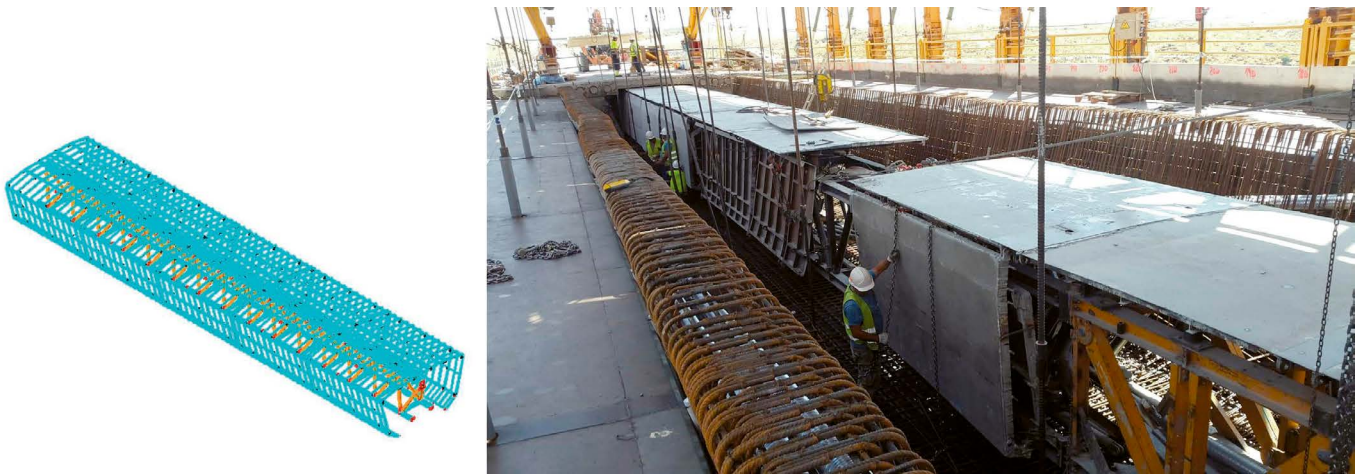


Figura 18. Modelo 3D e imagen real del carro de encofrado interior empleado en la ejecución del tablero.



Figura 19. Ejecución en segunda fase de una riostra de pila tipo.

por otra parte, ya que las dimensiones de este son de apenas 1.00x1.80). En la parte inferior de la estructura soporte se encuentran los carriles de la estructura que permiten el movimiento del carro de encofrado sobre unas ruedas previamente instaladas en la parte inferior del tablero.

Una vez avanzado y abierto el carro de encofrado en su posición definitiva de hormigonado, la estructura debe ser sus-

pendida mediante barras de acero de alto límite elástico a la viga principal, de forma que este no transmita el peso del hormigón a la estructura soporte del encofrado, sino que la carga vaya directamente a la viga principal.

Como la riostra se ejecuta en dos fases, hubo que estudiar su comportamiento en primera fase con las cargas de la cimbra. En esa situación el viento transversal generaba un torsor en la riostra que obligó a un refuerzo de armado en su cara inferior.

Para permitir el hormigonado en segunda fase de la riostra de pila, fue necesario disponer juntas de hormigonado intencionadamente rugosas, junto con acopladores mecánicos de la armadura pasiva interrumpida en la junta de hormigonado. De esta forma se conseguía transmitir el rasante en las juntas.

### 3.5. Maquinaria

#### 3.5.1. Sistema de apertura de encofrado exterior y nariz de lanzamiento

El sistema de apertura del encofrado exterior consta de 2 centrales hidráulicas responsables de la conversión de energía eléctrica en energía hidráulica.

Estas centrales, constituidas por un motor eléctrico que transmite el movimiento a una bomba hidráulica de caudal variable y émbolo axial, envían caudal a los cilindros hidráulicos.

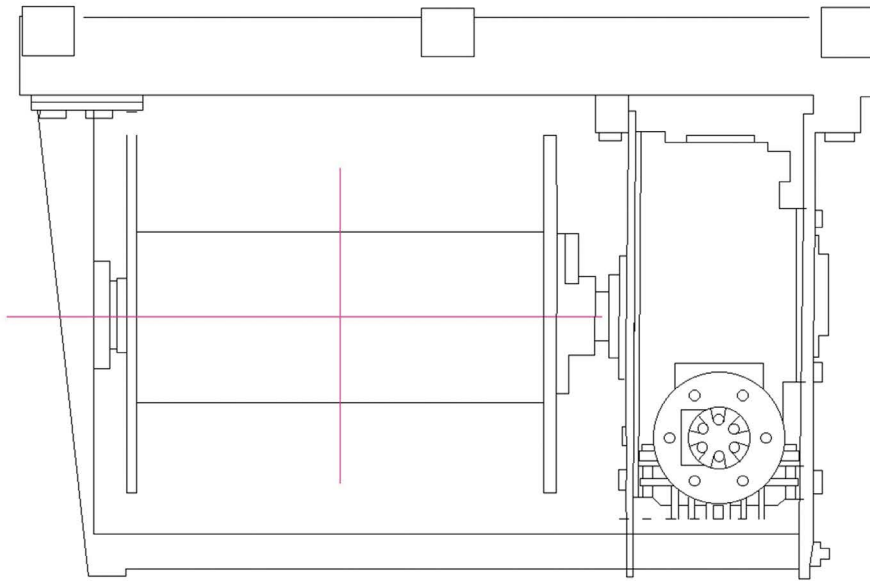


Figura 20. Cabrestante electro-hidráulico de tiro.

cos que convierten la energía hidráulica en la energía mecánica necesaria para realizar la apertura del encofrado exterior o de los cuchillos de la nariz de lanzamiento. Estos cilindros son capaces de desarrollar una fuerza de hasta 240 KN. Cada una de las dos centrales hidráulicas controla la apertura independiente de un lado, aunque si es necesario se pueden controlar ambos lados desde una misma central.

Cada cilindro hidráulico está conectado a una válvula, desde la cual se puede activar o anular el funcionamiento del mismo en cualquier situación de forma independiente unos de otros.

### 3.5.2. Sistema de avance de autocimbra

Para realizar el avance de la autocimbra se utiliza un cabrestante electro-hidráulico, alimentado con una central hidráulica. Dicho cabrestante, cuya capacidad de tiro es de 100 KN, está situado en la parte trasera de la viga principal y se encuentra anclado mediante un cable con gancho al pórtico de pila, el cual se encuentra anclado a la pila. Al accionar el cabrestante el cable se va recogiendo, produciéndose el avance de la autocimbra.

La fuerza de este cabrestante debe ser capaz de vencer el rozamiento estático (el cual puede estimarse conservadoramente en un 3%), suponiendo que la autocimbra rueda tanto en su parte trasera, como sobre el pórtico de pila.

Cuando es necesaria más capacidad de tiro se hace una multiplicación con juegos de poleas y reenvíos, obteniendo así más capacidad de tiro. En el caso de las autocimbras utilizadas en la ejecución de los tableros de Almonte, se utilizó un único reenvío, puesto que la fuerza de empuje se estimó en algo menos de 200 KN. Al ser la pendiente descendente en ambos márgenes, el cable del cabrestante pasaba por una polea por delante de la pila N y el conjunto de poleas formando el reenvío pasaba por delante de ese pórtico.

### 3.5.3. Sistema mecánico de avance de encofrado interior

Al igual que en el caso anterior, para realizar el avance del encofrado interior se utiliza un cabrestante eléctrico de 5 ton y trácteles mecánicos para evitar el acodamiento de la estructura. El punto fijo de tiro es el pórtico de pila, donde se anclan cabrestantes y trácteles.

### 3.5.4. Medios mecánicos propios de manipulación de cargas

Para la manipulación de cargas en la autocimbra se utilizan una serie de polipastos eléctricos sobre carriles, que pueden ser desplazados a lo largo de la viga principal. Distinguimos dos niveles de manipulación de cargas:

- a) Interior de la viga principal: Anclado al cordón superior se dispone un monorraíl equipado con un polipasto eléctrico de capacidad de elevación de hasta 50 KN que permite el desplazamiento de cargas dentro del cajón abierto. Este monorraíl sirve principalmente para trasladar los elementos de los pórticos de pila hasta el frente.
- b) Cordón inferior de la viga principal: De la misma forma que en el caso anterior, anclado al cordón inferior de la viga principal se encuentran 4 monorraíles equipados con polipastos eléctricos capaces de elevar una carga de hasta 30 KN cada uno. Estos equipos sirven para la manipulación de cargas sobre el encofrado a lo largo del ciclo de trabajo. La existencia de estos polipastos permitió una cierta prefabricación de la ferralla del tablero, como se verá más adelante.

## 4. MONTAJE DE LAS AUTOCIMBRAS

Sin duda uno de los puntos débiles de las autocimbras superiores en los estudios de soluciones para la ejecución de table-



Figura 21. Imagen aérea del montaje del encofrado Exterior en la Autocimbra Sur.

ros de viaductos es el montaje. El montaje de estas máquinas suele ser complicado, haciendo que únicamente sea rentable emplear autocimbras superiores a partir de una determinada longitud de puente, superior a la que hace rentable el uso de autocimbras inferiores.

El montaje de las autocimbras que realizaron los vanos de acceso del viaducto de Almonte supuso las siguientes fases de trabajo:

- a) Implantación, preparación de la plataforma de trabajo y de zonas de acopio y control topográfico: La topografía marca previamente las cotas de implantación y control el montaje y la ejecución. El montaje de las autocimbras se realizó en sendas plataformas ubicadas tras los estribos. En dichas plataformas se ejecutaron una serie de zapatas para el apoyo de pórticos provisionales sobre los que se montaron la viga principal
- b) Montaje de la viga principal: La viga principal se monta sobre los rodillos de los apoyos de los pórticos y sobre apoyos provisionales en las zonas de uniones longitudinales, comenzando el montaje por el centro de gravedad del conjunto. Como se ha comentado anteriormente, la estructura metálica de la viga principal está dividida en módulos de 9 m. La parte delantera, llamada nariz de lanzamiento y la parte trasera, forman un todo con la viga principal y se montan una vez finalizado el montaje de los módulos. En la zona donde el encofrado cuelga de la viga principal es necesario disponer los brazos laterales y tirantes encargados de suspender el encofrado exterior.
- c) Montaje del apoyo tras el estribo y del pórtico de la primera pila. Avance: Una vez finalizado el montaje de la viga principal, es necesario montar los apoyos necesarios para el avance de la autocimbra hasta el primer vano. Ambos apoyos deberán colocarse con precisión, ya que su cota marcará la cota de la viga principal en la posición de

hormigonado del primer vano. Finalizado el montaje de los apoyos de estribo y pila se procede al avance de la viga principal hasta su ubicación en la posición de hormigonado del primer vano.

- d) Montaje del encofrado exterior: Una vez posicionada la viga principal en el primer vano, se procede al montaje del encofrado exterior, previamente premontados en el suelo en módulos de 4.5 m, divididos en dos mitades, izquierda y derecha. En el caso del viaducto de Almonte, fue necesario montar una estructura auxiliar para el hormigonado de la pequeña rebanada de tablero entre el primer módulo de encofrado y el estribo, al no ser la luz del primer vano múltiplo de la dimensión longitudinal de los módulos del encofrado
- e) Montaje de instalaciones eléctricas e hidráulicas. Protecciones colectivas: Por último se procede al montaje de la maquinaria necesaria para la explotación de la autocimbra (generador, cabrestante, centrales y cuadros eléctricos), así como al montaje de accesos y barandillas, que permitan la explotación de la máquina en condiciones adecuadas de seguridad.

## 5. PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN DE LOS VANOS DE ACCESO

El procedimiento general del ciclo consiste en la apertura de encofrados y lanzamiento, posicionamiento y nivelación de la autocimbra y ejecución propiamente dicha del vano una vez cerrados los encofrados [4]. En la ejecución de un vano tipo mediante una autocimbra superior se suele hablar de rendimientos por vano de entre 1 y 3 semanas, en función de la

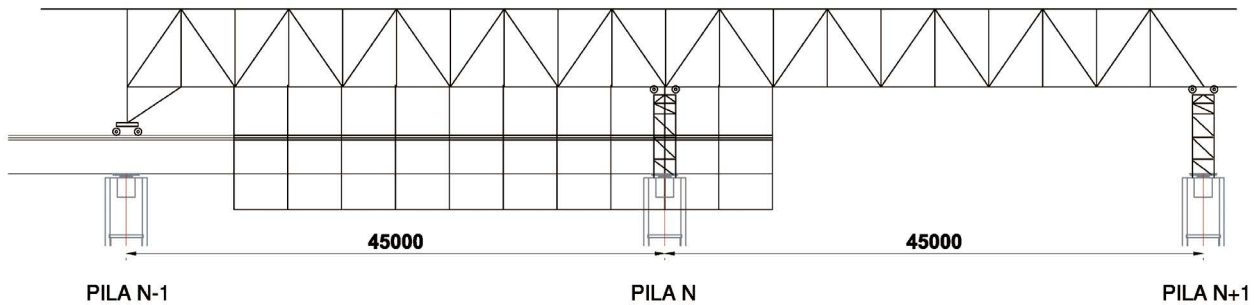


Figura 22. Inicio del primer lanzamiento de 27 m.

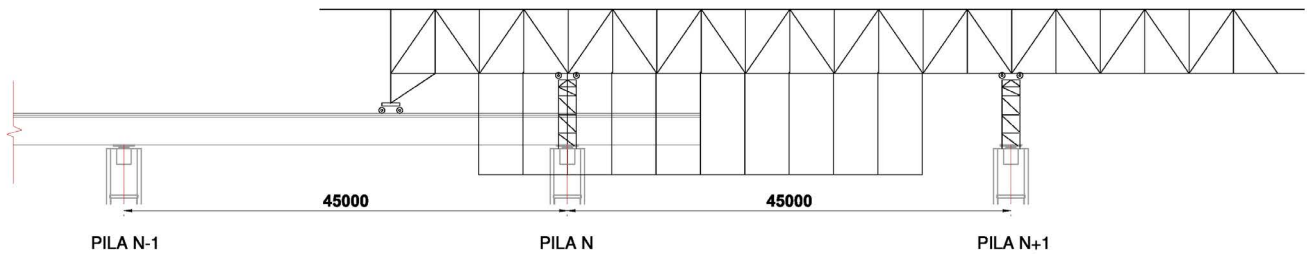


Figura 23. Inicio del segundo lanzamiento de 18 m.

complicación de la ferralla y de la gente y turnos dispuestos. Para conseguir el anhelado rendimiento de 1 semana por ciclo se necesita conseguir los siguientes aspectos:

- Simplificación e industrialización de la ferralla en la medida de lo posible, haciendo especial hincapié en la riostra, cruce de vainas y prefabricación de los hastiales del tablero.
- Turnos de trabajo 24 h en ciertos trabajos (ferralla, apertura de encofrado interior, desencofrado,...)
- Adecuar el ciclo para conseguir hormigonar los viernes, de forma que durante el fin de semana se realice el curado y se ejecuten los trabajos de tesado y desencofrado del vano (para intentar realizar los trabajos que menos personal requieren el fin de semana)
- Adecuación del número de trabajadores a los trabajos a desarrollar. En el caso del viaducto de Almonte, el número medio de trabajadores por turno en la autocimbra era de 24 por el día y 16 por la noche.

Como en todo trabajo cíclico, existe una determinada curva de aprendizaje, de forma que en la ejecución de los primeros vanos la duración del ciclo suele ser mayor hasta alcanzar el rendimiento deseado. En el caso de los vanos de aproximación del viaducto de Almonte la duración del ciclo en los primeros vanos fue de algo más de 3 semanas alcanzando los 9 días de trabajo en los últimos vanos, pudiendo hablarse de un rendimiento medio de 2 semanas por vano.

### 5.1. Apertura del encofrado exterior

Antes de la apertura del encofrado exterior, deben quitarse las barras de cuelgue que soportan el encofrado exterior, algo que no debe realizarse hasta haber realizado el tesado del vano. Una vez retiradas las barras de cuelgue desde los pasillos interiores de la autocimbra, es preciso descender la viga principal

de cara a que la barra o bulón de unión entre los módulos de encofrado izquierdo y derecho, deje de estar en carga y pueda quitarse. Realizados todos estos trabajos se procede a la apertura del encofrado accionando los 26 cilindros hidráulicos de 24 toneladas dispuestos en los brazos de los que suspende el encofrado exterior.

## 5.2. Lanzamiento

### 5.2.1. Preparación del lanzamiento

Abierto el encofrado exterior, se comienza a preparar la autocimbra para el lanzamiento. Esta fase previa de preparación consiste en sustituir los montantes de apoyo de la viga situados en los dos apoyos existentes en la fase de hormigonado (apoyo trasero y apoyo de pila) por los balancines con las ruedas sobre las que va a deslizar el cordón inferior de la viga principal. Además se apoyará la nariz de la viga principal en el pórtico de la pila siguiente (n+1), para lo que será necesario cerrar los cuchillos de la nariz de lanzamiento.

La línea del lanzamiento debe ser calculada y replanteada por topografía. La secuencia de actuación es la siguiente:

1. Poner en carga los gatos centrales y quitar calzos de hormigonado, actuando los gatos como pequeñas rótulas, absorbiendo los giros longitudinales.
2. Apoyar el pórtico trasero sobre las dos ruedas, que funcionan así como un balancín hidráulico.
3. Apoyar la nariz sobre los balancines situados en el pórtico de la pila siguiente (tras haber cerrado los cuchillos de la nariz). En este apoyo deben situarse los gatos 2 o 3 centímetros por debajo por seguridad.
4. Sustituir en el apoyo sobre la pila del vano ya hormigonado los gatos por los balancines. De la misma forma que en el caso anterior, se sitúan los gatos por debajo de la viga como medida de seguridad.

### 5.2.2. Primer lanzamiento – 27 m

En esta primera fase de lanzamiento se avanzarán 27 m. Para ello se utiliza el cabrestante hidráulico de 10 toneladas con un reenvío para conseguir las 20 toneladas necesarias de tiro. Dicho cabrestante situado en la parte trasera se ancla al pórtico de pila y al empezar a recoger cable, la autocimbra avanzará. El cable del cabrestante debe permanecer amarrado en tensión durante todas las operaciones del ciclo.

En las operaciones de lanzamiento, la viga está retenida en todo momento por una cadena adicional de capacidad suficiente, que va acompañando el movimiento de la cimbra, de forma que en caso de que el cable del cabrestante partiera, la viga pueda ser frenada por la cadena. Todos los lanzamientos deben hacerse por tramos de 4.5 m, comprobando tras ese movimiento el estado de los apoyos y de las alineaciones.

Terminado ese primer avance, se levanta la cota del apoyo sobre la pila del vano hormigonado, de forma que despeguen las ruedas del apoyo trasero. De esta forma se evita que la viga quede apoyada únicamente sobre el apoyo trasero y el delantero, al despegarse del intermedio. Esta situación podría llevar a la rotura de la autocimbra y provocar daños en el tablero ya hormigonado, al crecer enormemente la reacción del apoyo trasero, que se va paseando por todo el vano.

### 5.2.3. Segundo lanzamiento – 18 m

En la segunda fase de lanzamiento se avanzan los 18 metros restantes. Con este lanzamiento, el apoyo trasero llega hasta la altura del apoyo de pila ya hormigonado. En esta posición y con la viga ya apoyada sobre los apoyos situados sobre las dos pilas, se asegura la correcta alineación en planta de la viga con respecto al eje del viaducto, actuando sobre los gatos de ripado transversal si fuera necesario. En ese momento se bajan las ruedas del apoyo sobre la pila del vano ya hormigonado, hasta que apoyen en el tablero, momento en que se procede a la transferencia de carga del apoyo de pila al trasero para su posterior desmontaje.

Una vez situada la viga en su posición de hormigonado se procede a elevarla con los gatos hidráulicos hasta su cota definitiva y se procede de manera inversa a la preparación del lanzamiento, sustituyendo las ruedas por los montantes, de forma que durante el hormigonado la reacción del apoyo baje por los montantes.

### 5.3. Cierre del encofrado exterior

Apoyada la viga en los apoyos trasero y delantero de pila, y realizada la nivelación de esta, se procede al cierre del encofrado exterior de forma sincronizada en ambos lados, evitando de esta forma los desequilibrios transversales. El cierre del encofrado se realiza siguiendo los mismos pasos que la apertura, en orden inverso. Terminada la maniobra se procede al montaje de las barras de cuelgue que sustentarán el encofrado durante el hormigonado.

Simultáneamente se coloca el pórtico de pila recién desmontado en la próxima pila, para lo que se utiliza el polipasto eléctrico del nivel superior. De esta forma, el tablero ya hormigonado queda libre de obstáculos, permitiendo un acceso libre a los materiales de construcción necesarios para la ejecución del nuevo vano.

Por último, cerrado el encofrado exterior, se realizan los remates de encofrado necesarios en la pila, así como el montaje de



Figura 24. Ferrallado de un vano.

los apoyos POT. Por otro lado es necesario realizar los últimos ajustes en materia de topografía, corrigiendo las cotas del encofrado exterior mediante las barras de cuelgue que lo sustentan.

Para evitar la existencia de un pequeño escalón entre el vano anterior y el vano en ejecución se procede al anclaje del encofrado exterior al hormigón del tablero del vano anterior a una distancia reducida, de forma que la posible deformación de la chapa de encofrado no produzca una irregularidad en la junta entre vanos.

### 5.4. Ferrallado y encofrado interior

Preparado el encofrado exterior, pueden dar comienzo los trabajos correspondientes propiamente al ciclo de ejecución en sí de un vano tipo. Este ciclo comprende una serie de actividades interconectadas:

- Montaje de la ferralla de la riostra sobre la pila y de la zona de cruce de vainas *in situ*.
- Montaje de la ferralla premontada de los hastiales del cajón con ayuda de los polipastos del nivel inferior.
- Ferrallado *in situ* de la losa inferior del cajón.
- Montaje y conexión de las vainas de pretensado, dejando previstos los tubos de purga de la inyección de lechada.
- Colocación de las ruedas del encofrado interior sobre el armado de la losa inferior.
- Enfilado de los cables de tesado a través de las vainas.
- Avance del encofrado interior con la ayuda de cabrestante y apertura.
- Remates de encofrado en zona de solape y en zona de cruce de vainas.
- Ferrallado de la losa superior.
- Nivelación topográfica de la cara superior de cara al hormigonado.

### 5.5. Hormigonado

Una vez finalizadas las actividades propias del ciclo, únicamente resta por realizar el hormigonado del vano. El hormigonado de los vanos con autocimbra superior debe realizarse por medio de 2 autobombas (o bombas estáticas) colocadas por detrás

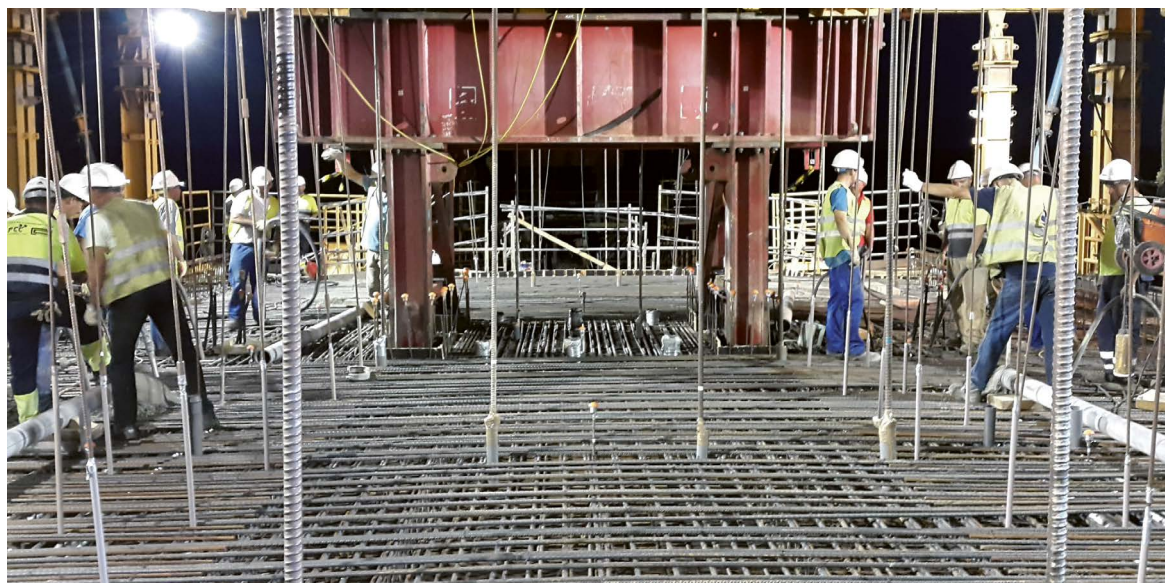


Figura 25. Hormigonado de un vano tipo.

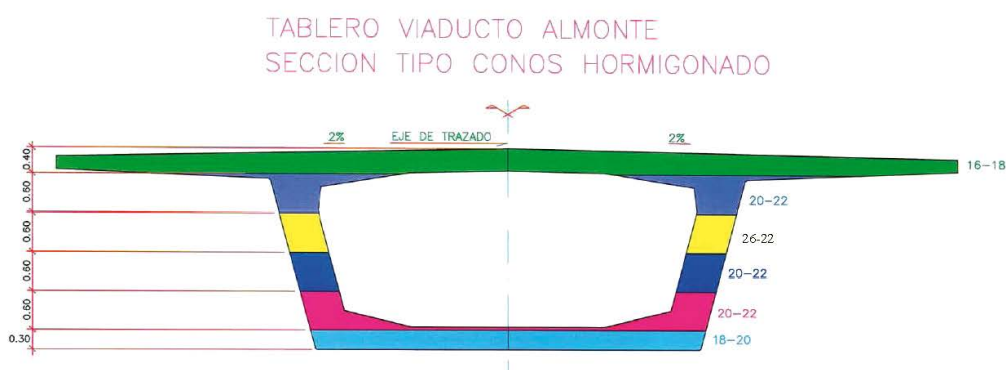


Figura 26. Tongadas de hormigonado del tablero y consistencia del hormigón.

de la autocimbra y conectadas a sendas tuberías desmontables dispuestas en la losa superior en la zona de los hastiales. Todo el vertido de hormigón se realiza desde la losa superior, a través de los hastiales del cajón.

El hormigonado del tablero de un vano se realiza en una sola fase pero se desarrolla por tongadas continuas empezando en la pila y desmontando tuberías hasta la junta con el vano anterior. Es importante diferenciar la consistencia del hormigón en función de la tongada considerada.

En primer lugar se ejecuta la tongada correspondiente a la losa inferior del tablero. Debido a que el hormigonado de esta tongada es lento es necesario ir refrescando de vez en cuando la junta para evitar juntas frías en el hormigonado. Cuando se realiza el vertido de la siguiente tongada ya se ha reducido enormemente la consistencia del hormigón de la losa inferior, impidiendo que se sifone el hormigón en la losa.

Los hastiales se ejecutan en 3-4 tongadas con un cono bastante fluido que permita un vibrado cómodo con vibradores de lanza desde la parte superior. Ambos hastiales deben ser hormigonados de la forma más simétrica posible. Después de la ejecución de cada tongada, debe montarse de nuevo toda la línea de tubería hasta el frente para continuar con una nueva tongada.

Por último, el hormigonado finaliza con la tongada corres-

pondiente a la losa superior. Conforme el hormigonado va terminando por secciones, se va realizando el acabado con reglas llanas y posteriormente el curado del hormigón, para el que se emplean productos químicos para impedir la evaporación de agua en la medida de lo posible, mejorando de esta forma el acabado superficial. Para evitar la pérdida de agua, en las siguientes 48 h se tapa la losa superior del tablero con geotextiles manteniendo una humedad adecuada en la superficie. El ritmo de hormigonado es de aproximadamente 40-50 m<sup>3</sup>/h considerando ambas bombas.

Durante el hormigonado deben controlarse las flechas de la autocimbra, existiendo unos valores de alarma, a partir de los cuales debe pararse el hormigonado y analizar qué circunstancias anómalas se están dando.

### 5.6. Curado del hormigón

El tiempo de curado del hormigón fue de 36 h, momento en que el hormigón solía alcanzar el 80% de su resistencia característica. Para verificar que se había alcanzado el 80% de la resistencia característica se extraían series de 6 probetas de los últimos camiones hormigonera, realizando el control estadístico expuesto en el artículo 86.5.3 de la EHE [5].





Figura 27. Apoyos POT provisionales de pila P15.

Habiendo pasado 12 h desde el final del hormigonado se empezaban a aflojar y retirar las barras transversales de unión del encofrado interior y se aflojaba el encofrado interior del alma, pudiendo despegar dicho encofrado a partir de las 16-20 h, para poder verificar el estado de las almas del cajón de cara al pretensado de la sección.

### 5.7. Tesado

Una vez autorizado el tesado, este se realizaba desde la plataforma delantera del primer módulo de encofrado. Para la operación de tesado se utilizaban los gatos multifilares suspendidos de los polipastos situados en los carriles exteriores de la viga. La operación de tesado (6 tendones por cada alma) solía tener una duración comprendida entre las 8 y las 12 horas.

## 6. EJECUCIÓN DEL ÚLTIMO VANO DE LOS VANOS DE ACCESO (P5-P6 Y P15-P16)

Las grandes cargas que la riostra del tablero debía ser capaz de transmitir a las pilas principales (y estas a las cimentaciones del arco) durante la construcción del arco hacen que esta riostra (y todo el último vano en general) sea completamente diferente a las riostras tipo. Estas cargas eran no solo las verticales provenientes del pilono, sino también las horizontales, puesto que los puntos fijos del tablero durante la ejecución del arco fueron, como veremos posteriormente, los apoyos del tablero en las pilas P6 y P15.

Las particularidades del último de los vanos de acceso por cada margen son las siguientes:

- **Apoyos POT provisionales en P6 y P15.** Las dimensiones de los apoyos POT provisionales en P6 y P15, necesarias para soportar las grandes cargas que bajan por la torre de atirantamiento, hacen necesaria su sustitución para faci-

litar su mantenimiento en fase de explotación. Esta operación de sustitución obliga a dejar un hueco en el tablero para facilitar dicha operación en su momento. Como vimos en el apartado 3.2.3, los apoyos POT provisionales, también condicionaron el pórtico sobre el que se apoyó la autocimbra para la ejecución del último vano de acceso.

- **Pórtico especial de apoyo de la autocimbra.** Como se ha comentado anteriormente, el pórtico sobre el que se apoya la autocimbra para la ejecución del último vano de acceso es distinto al empleado en los otros vanos de acceso debido a las grandes dimensiones de los apoyos POT provisionales que se montaron en las pilas 6 y 15. Estas dimensiones hacen que el pórtico fuera más estrecho abajo y por lo tanto tienen más sección transversal de acero para soportar las cargas. Esta sección condiciona el hueco necesario en el tablero para el paso del pórtico, no siendo posible dejar 4 huecos de 0.60x0.60 para las cuatro patas del pórtico, sino que fue preciso dejar un hueco único en la riostra para el paso del pórtico completo.
- **Retirada del carro de encofrado interior.** Al tratarse del último vano de acceso es necesario sacar el encofrado interior, para lo que se dejó un hueco en la losa superior para el paso de este.
- **Barras Macalloy embebidas en la riostra,** necesarias para el anclaje de la torre provisional de atirantamiento y de las estructuras auxiliares de izado. Estas barras se posicionaron con la ayuda de una estructura auxiliar de posicionamiento colocada con topografía.
- **Geometría de la riostra.** Como hemos comentado anteriormente, al soportar cargas mucho mayores (las que bajan por la torre de atirantamiento y las debidas al punto fijo) a las soportadas por una riostra tipo, fue necesario modificar la geometría y el armado de la riostra de tablero sobre las pilas 6 y 15. El ancho de la riostra del tablero sobre las pilas 6 y 15 es de 5.00 m en vez de los 2.50 m de una riostra sobre una pila tipo.



Figura 28. Barras Macalloy embebidas en la riostra de la pila P15 para el anclaje de la torre.

- **Pretensado transversal en la riostra.** Para mejorar el comportamiento frente a flexiones transversales de la sección fue necesario introducir un pretensado transversal en las riostras sobre las pilas 6 y 15. Este pretensado transversal hizo necesario aumentar el espesor de losa superior del tablero (lo cual solo puede hacerse hacia abajo), cambio en la geometría que implicó un cambio en el encofrado exterior de la autocimbra (en los dos barcos de encofrado centrales de pila).
- **Cambio de punto fijo del tablero a las Pilas 6 y 15.** Para materializar el punto fijo del tablero en las pilas 6 y 15 se introdujo un elemento pasador, el cual debía atravesar tanto el hueco de hombre de la pila como parte del tablero. Este elemento debía introducirse desde la parte superior del tablero, para lo cual se dejó un hueco que atravesara toda la riostra hasta la losa superior. Dicho hueco debía cerrarse cuando se desmontara el elemento pasador.
- **Huecos en las alas del tablero para el paso de los tirantes de retenida.** Los tirantes de retenida que iban a la torre de atirantamiento (familias R9 a R26) atravesaban las alas del tablero a través de dos huecos dejados en las alas del tablero. Uno de los huecos caía en la riostra de las pilas 5 y 16 (y por tanto en el vano anterior al último vano de acceso), mientras que el otro hueco (de 8 m de largo) caía en medio del último vano de acceso. Estos huecos se cerraron posteriormente con una estructura auxiliar, una vez desmontadas las familias de retenida correspondientes.

Todas estas peculiaridades hacen que el hormigonado del último vano debiera subdividirse en una serie de fases.



Figura 29. Pretensado transversal de la riostra de la pila P6.

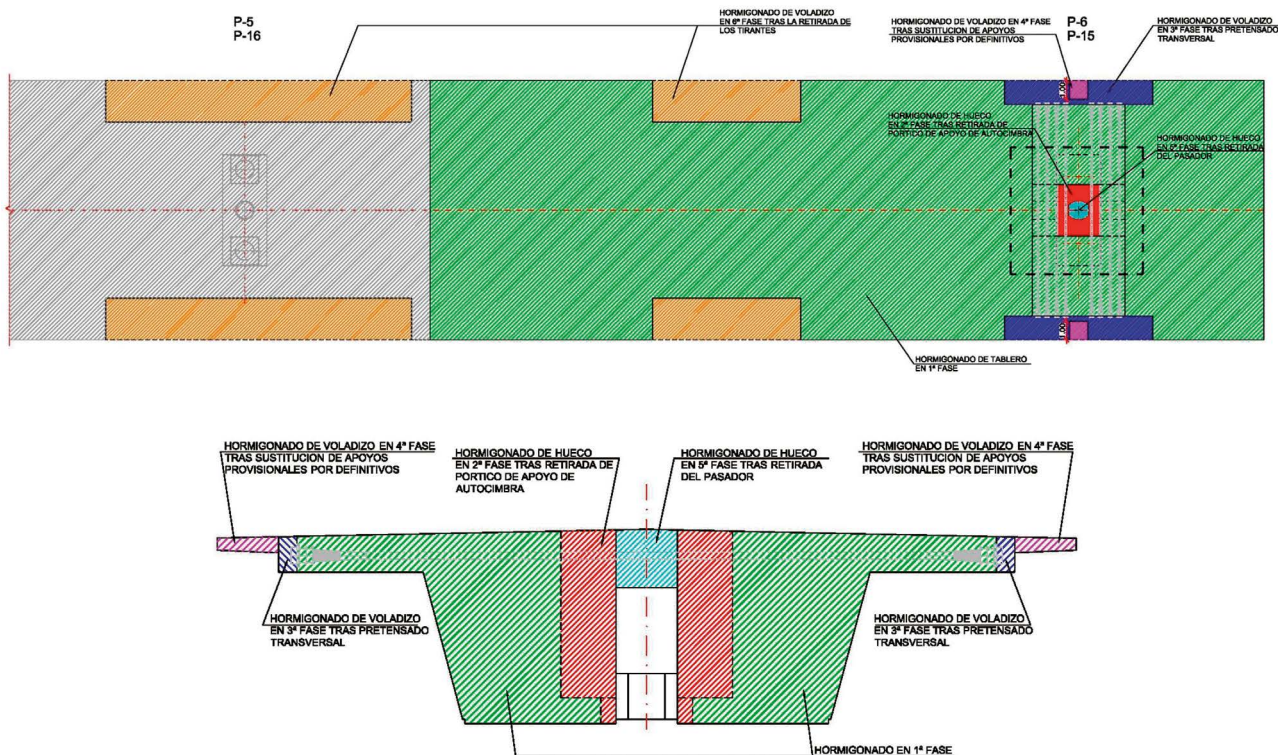


Figura 30. Fases de ejecución del último vano de los vanos de acceso.

## 7. RETROCESO Y DESMONTAJE DE AUTOCIMBRAS

Finalizada la ejecución de los vanos de acceso fue necesario el retroceso y desmontaje parcial de las autocimbras, de cara a continuar con la ejecución del viaducto. Una vez finalizado el arco y las pilastras, y desmontado el sistema de atirantamiento y las torres provisionales, se procedió a volver a montar las autocimbras de cara a la ejecución de los vanos sobre el arco (asunto tratado en otro artículo).

El retroceso de las autocimbras hasta los últimos vanos contra los estribos se hizo siguiendo el mismo proceso que el descrito en el procedimiento de ejecución de los vanos de acceso para el lanzamiento, pero en orden inverso. En primer lugar se realizaba un lanzamiento de 18 m aproximadamente hasta que la viga principal empezaba a apoyar en el pórtico trasero, y por último se realizaba el lanzamiento restante, apoyando la autocimbra en la pila intermedia y el apoyo trasero. Todos los apoyos de la autocimbra en el retroceso de esta se realizaron sobre el tablero ya ejecutado.

Una vez situadas las autocimbras en el primer vano de acceso ejecutado por cada margen, da comienzo el desmontaje parcial de las autocimbras, el cual se realizó aproximadamente en el orden inverso al descrito en el capítulo relativo al montaje. Cabe reseñar que en el caso de la autocimbra del margen sur, tan solo se desmontó el encofrado exterior, quedándose la autocimbra sobre las zapatas provisionales en espera de la ejecución de los vanos sobre el arco, mientras que en el caso de la autocimbra que ejecutó los vanos de acceso del margen norte, fue desmontada enteramente y transportada a otra obra, siendo necesario la llegada de otra autocimbra una vez finalizado el arco, para la ejecución de los vanos centrales.

## 8. CONCLUSIONES

El viaducto de Almonte consta de un tramo principal sobre el río de 384 m de luz y dos tramos de acceso por margen hasta llegar al tramo principal de 259 y 349 m respectivamente. La construcción de estos tramos de acceso se realizó de manera paralela a la ejecución de las cimentaciones y arranques del arco, ya que existía poca interferencia entre ambos trabajos.

Para la ejecución de los vanos de acceso del viaducto de Almonte se emplearon dos autocimbras superiores, cimbras que permitieron independizar la ejecución de los vanos de acceso del suelo. El rendimiento medio en la ejecución de los vanos de acceso con estas autocimbras fue de 2 semanas por vano y máquina.

### Referencias

- [1] PAULO J. DA SOUSA CRUZ, DAN M. FRANGOPOL, LUIS C. CANTO NEVES "Advances in Bridge Maintenance, Safety Management, and Life-Cycle Performance, Set of Book & CD-ROM: Proceedings of the Third International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management", 16-19 July 2006, Porto, Portugal - IABMAS '06, p. 817-818
- [2] POVOAS, A. The utilization of movable scaffolding systems in large spans. Structural Engineering International 22, p. 395-400.
- [3] SEOPAN y CONFEDERACIÓN NACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN. Manual de cimbras autolanzables, Tornapunta Ediciones, octubre 2015, p. 79-80
- [4] ROSIGNOLI, M. "Bridge Construction Equipment" published by ICE Publishing, Thomas Telford Limited 2013, p. 99-165
- [5] EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural. Centro de publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento del gobierno de España. Artículo 86.5.4, p 407-410