

## III CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS

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



### Realizaciones



## PASO SUPERIOR 7. AUTOVÍA LEON-BURGOS. TRAMO MELGAR - VILLANUEVA

José Antonio **CRESPO MARTÍNEZ**<sup>1</sup>, Domingo **LORENZO ESPERANTE**<sup>2</sup>  
José Ramón **GONZÁLEZ DE CANGAS**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, MSc. SILGA, S.L.

<sup>2</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. SILGA, S.L.

<sup>3</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. SILGA, S.L.

## **RESUMEN**

Se presentan en esta comunicación las características principales de la estructura del denominado Paso Superior 7 sobre la autovía León Burgos, incluida dentro del tramo Melgar de Fernamental – Villanueva de Argaño.

## **PALABRAS CLAVE**

Mixto, Pórtico, Bijácena

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el año 2001, el ente público GICAL (Gestión de Infraestructuras de Castilla y León), dirigido por D. Antonio Bocanegra Diego, sacó a concurso de Construcción el tramo Melgar de Fernamental – Villanueva de Argaño, con el que se completaba la autovía León – Burgos. El concurso admitía la presentación de variantes, y de la mano de DRAGADOS, representada en este caso por su Gerente para Castilla y León, D. Santiago Martín Moyano, y el Jefe de los Servicios Técnicos de la delegación, D. Miguel Herrero Hermoso, SILGA intervino en la presentación de alternativas a las estructuras del Proyecto Original. Entre ellas se encontraba la que es objeto de esta comunicación.

El Proyecto, realizado por la empresa APIA XXI, preveía para el Paso Superior 7 un arco de hormigón armado cuyo encaje resultaba correcto y a cuyo desarrollo, en cuanto a cálculo y planos se refiere, no cabía poner objeción alguna. Existía, sin embargo, una incertidumbre, ya detectada en la fase de Proyecto, que era la referente al terreno de cimentación. El emplazamiento presentaba una intercalación de estratos competentes con otros de menor capacidad, donde no quedaba del todo clara su idoneidad para acomodar las cargas provenientes del arco. Aunque se realizaron los pertinentes estudios geotécnicos, persistía la duda de si el terreno que finalmente se encontrase resultaría adecuado o no. Por esa razón estaba prevista una partida para posibles actuaciones de mejora del terreno.

En esas circunstancias podía resultar procedente estudiar una alternativa para la estructura con el propósito de contar con una tipología menos sensible a las incertidumbres citadas respecto del terreno de cimentación.

Se presentaron diversos diseños en los que se tuvo en cuenta el deseo de GICAL de realizar tipologías estructurales que se saliesen de lo convencional. La variante finalmente aceptada (fig. 1) era formalmente igual a la hoy construida, con la única diferencia de que estaba pensada como estructura de hormigón pretensado.



**Figura 1. Propuesta para el Concurso**

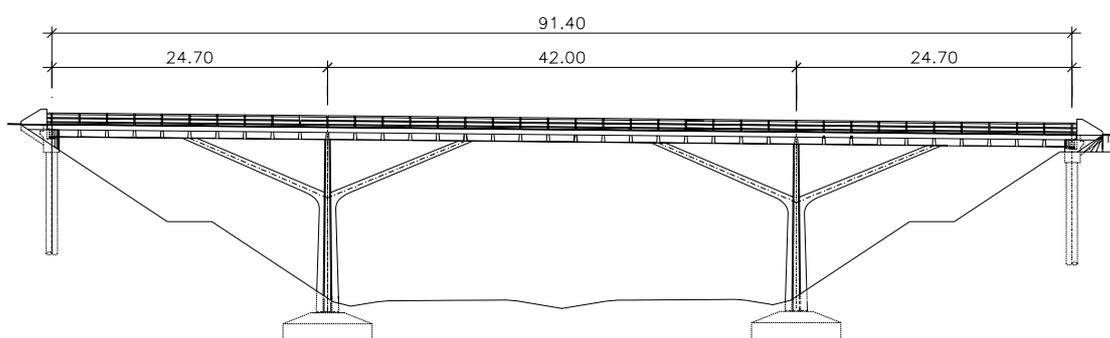
En el apartado siguiente se describe la justificación de la solución adoptada junto con el proceso que condujo al diseño finalmente ejecutado, una vez que DRAGADOS resultó adjudicataria del tramo.

## **2. CONSIDERACIONES RESPECTO DEL DISEÑO**

El poco sugerente nombre de Paso Superior 7 denomina una estructura que, dentro del tramo, presentaba las mayores posibilidades de elección de un diseño vistoso para los usuarios de la autovía. El paso se sitúa en una zona de trazado en desmonte de altura aproximada de 15 m. Es también el punto alto del trazado y cruce entre dos valles.

Las posibilidades que ofrece un emplazamiento como ese son múltiples, y la forma elegida ha sido el resultado de la búsqueda de la mayor esbeltez posible para conseguir así una gran transparencia. Una vez descartada la posibilidad

de soportes en la mediana, la luz efectiva mínima que había que salvar estaba en el entorno de los 42 m. Para esa luz existen diversas alternativas que conducen a tableros de pequeño canto, y la elegida logra ese objetivo por el procedimiento de cortar la luz efectiva mediante la configuración de un pórtico de puntales inclinados. De esa manera se reduce cada tramo a unos 17 m de luz a efectos de flexión, lo que permite un canto muy pequeño, de 1.05 m. Es decir, se puede alcanzar una esbeltez de 1:40 entre ejes de apoyo, lo que resulta prácticamente imposible en tableros de carretera con esquema estructural tipo viga.

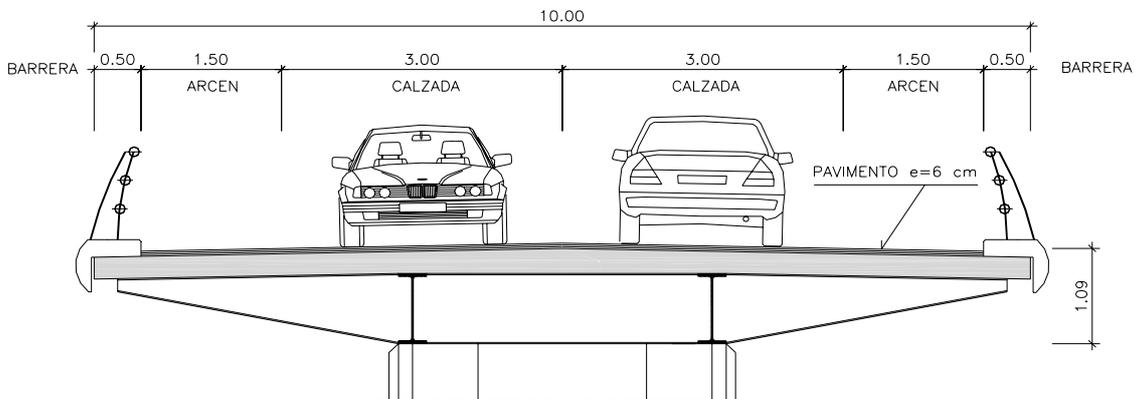


**Figura 2. Alzado**

Otra forma de apreciar el comportamiento estructural de esta tipología es asimilándola a una viga de canto variable cuya dimensión sobre pilas es equivalente a la distancia entre la fibra superior del tablero y la inferior del arranque de los puntales.

Como ya se ha citado anteriormente, en un principio se planteó la estructura en hormigón pretensado. Una vez adjudicada la obra, los servicios técnicos de DRAGADOS sugirieron la posibilidad de modificar el diseño original hacia una estructura mixta, por sus ventajas relativas a la rapidez de construcción.

Para el tablero se propuso la solución bixágena que, para facilitar la ejecución, se mantuvo en dimensiones para las que existen perfiles laminados. Aun estando fuera de lo habitual, no resulta difícil encontrar HEB-800 como los finalmente dispuestos. Aunque el ancho del tablero, 10.0 m, puede acomodar una losa apoyada únicamente en las vigas principales, por razones estéticas se prefirió disponer vigas transversales de forma que la losa se hormigone sobre prelosas dispuestas en sentido longitudinal.



**Figura 3. Sección transversal**

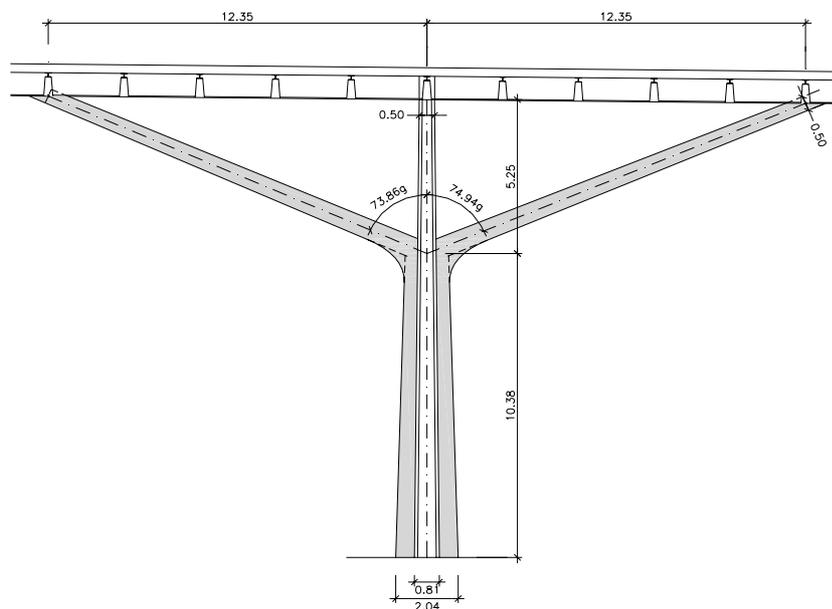
A partir de este punto las posibilidades de combinar el hormigón y el acero en el resto de la estructura eran múltiples. La combinación de ambos materiales no sólo tiene sentido estructural sino que ofrece soluciones estéticas muy interesantes. La desventaja es que, salvo para formas muy sencillas, los elementos resultantes dan lugar a detalles de cierta complejidad. Se pierde, en alguna medida, la mayor sencillez de ejecución asociada a una estructura metálica pura. Por ejemplo, puede tener mucho sentido estructural diseñar los puntales como mixtos, pero tanto los propios detalles de la conexión entre el hormigón y el acero, como la del puntal con el tablero, hacen perder en parte las ventajas asociadas al ahorro de acero respecto del puntal metálico puro.

Estos aspectos se pusieron de manifiesto durante esa fase inicial en la que entre los servicios técnicos de DRAGADOS y SILGA se estuvieron barajando diferentes configuraciones. Durante todo este trabajo, tanto de diseño como de seguimiento posterior de la obra, tuvo un papel destacado por parte de DRAGADOS D. Francisco Quintero Moreno, tristemente fallecido a finales de 2004.

Se realizaron montajes en tres dimensiones de las diferentes alternativas y el resultado se presentó a la Dirección de Obra que no puso objeciones al cambio de hormigón pretensado a estructura mixta, apreciando que no había merma alguna en cuanto a las calidades formales de la estructura. A partir de ese momento SILGA se encargó del desarrollo de detalle del Proyecto.

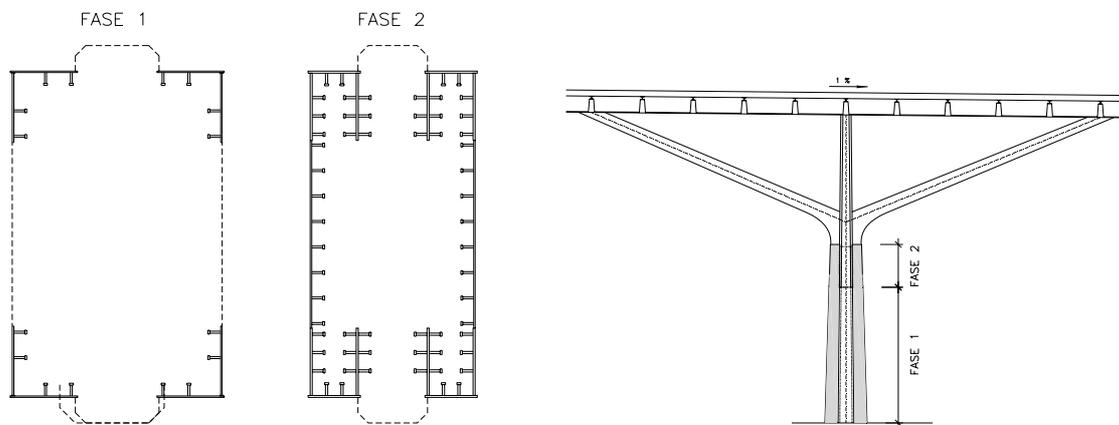
La solución finalmente adoptada parte de unos puntales inclinados metálicos de sección cajón. Su encuentro con el tablero no reviste mayor complicación, puesto que se trata de elementos metálicos. En el tablero se organizó una viga riostra transversal cuya función es la de transmitir la fuerza de los puntales a las vigas del tablero y la losa superior.

El diseño de la pila es con sección cruciforme. Unos de los brazos de esa cruz, el transversal, sube hasta el tablero, proporcionándole un apoyo intermedio adicional en una zona en la que a la flexión local hay que añadir la tracción originada por la inclinación de los puntales. Este elemento, visualmente de hormigón en toda la altura, al llegar al tablero abraza a una viga transversal y se conecta formando el apoyo. Hubiera sido más sencillo rematar el fuste en unos apoyos convencionales, pero, a nuestro modo de ver, el conjunto perdía monolitismo y resultaba poco convincente. El otro brazo de la cruz que compone la sección de la pila es el que, llegado a un punto, se separa formando los puntales. Visto desde la autovía ese elemento parece de acero, aunque en realidad es mixto. Se forma, en definitiva, una pila en la que los distintos colores del acero y hormigón, combinados con las propias formas, dan lugar a un diseño que consideramos estéticamente agraciado.

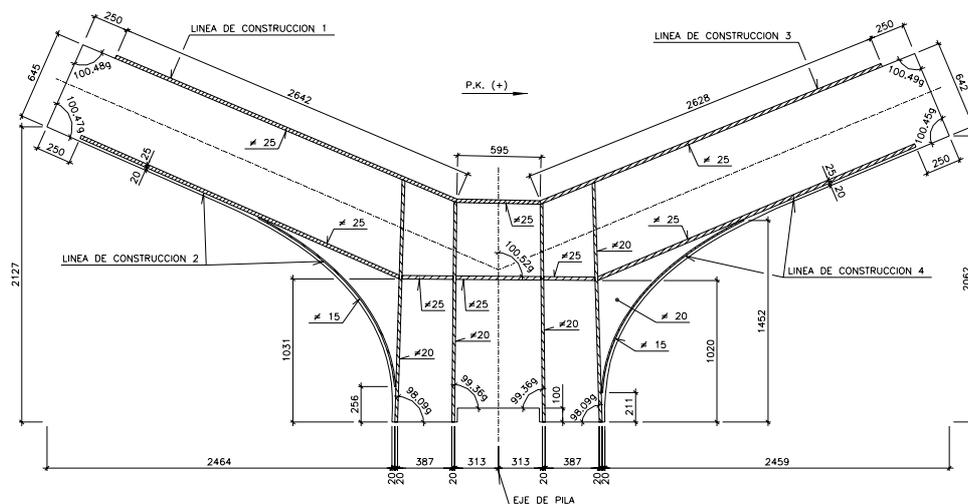


**Figura 4. Alzado de pila**

El punto potencialmente más problemático es la transmisión de los esfuerzos de los puntales hacia la pila. Se pretendía evitar, en lo posible, zonas de ejecución compleja, por lo que se desechó, por ejemplo, crear una zona de conexión interior a los propios puntales, debido a las previsibles dificultades de hormigonado. La solución finalmente adoptada se basa en conectar cada puntal con el opuesto, manteniendo la sección metálica. Así, la componente horizontal de los axiles se transmite directamente de puntal a puntal y otro tanto sucede con los momentos locales de los puntales, quedando únicamente la componente vertical para ser transmitida a la pila. Esto se realiza a través de una células metálicas, con conectores interiores tipo Nelson en la altura necesaria, que se rellenan de hormigón. Al hacerse en una primera fase y en sentido vertical, el hormigonado y compactación resultan muy sencillos. El conjunto de los puntales se suelda a los bordes superiores de esas células en el momento de su colocación. Por seguridad adicional, las células se continúan hasta la base del fuste formando únicamente las esquinas de la pila, pero dotadas de conexión al hormigón. La cimentación es directa mediante zapatas.



**Figura 5. Pilas. Fases 1 y 2**



**Figura 6. Pilas. Fase 3 (detalle)**

Los estribos son sencillos cabezales pilotados y se sitúan en la coronación de los desmontes. Las aletas se prolongan por encima del nivel de la rasante para configurar un remate de la barrera que siempre hemos encontrado estéticamente satisfactorio.

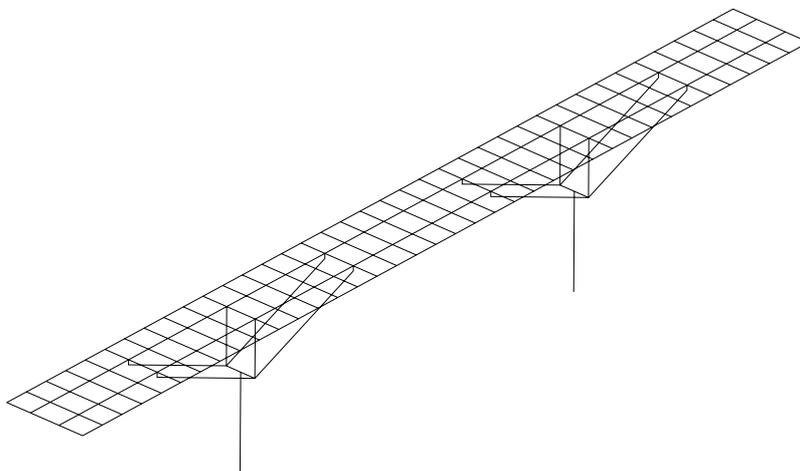
Un punto destacable son los apoyos del estribo. El cálculo indicaba que la reacción podía ser negativa, y cualquier solución de las habituales en estos casos tenía sus inconvenientes. La opción elegida es la más sencilla de todas, puesto que se limita a disponer un apoyo tipo POT con capacidad de soportar cargas ascendentes a través de una pestañas que, partiendo de la cazoleta inferior, abrazan el pistón superior. La viga riostra del tablero se diseña para permitir la colocación de gatos para una futura sustitución de los apoyos.



**Foto 1. Detalle de apoyo**

## 2. DESARROLLO DEL CÁLCULO

El análisis general de esfuerzos se basó en un modelo espacial de barras como el recogido en la figura siguiente.



**Figura 7. Modelo de cálculo**

Realmente fue necesaria la utilización de varios modelos, atendiendo a la secuencia de construcción y al carácter permanente o transitorio de las cargas: Un primer modelo con el tablero antes de hormigonar, otro con secciones mixtas a largo plazo y un tercero con secciones mixtas a corto plazo.

En el modelo resultaba determinante fijar dos cuestiones: Por un lado existe la duda de cuál es el punto que debe elegirse en el sistema de barras como conexión entre los puntales inclinados y el tablero. Se realizaron modelos de elementos finitos locales que confirmaron lo habitualmente supuesto y es que dicho punto coincide con el cruce de las líneas de centros de gravedad de ambos elementos. En este caso dichas líneas son variables de un modelo a otro.

La otra cuestión importante era la de determinar qué secciones deben considerarse como fisuradas a efectos de calcular sus características mecánicas. En tableros tipo viga es habitual suponer un 15% de la luz a cada lado del apoyo como zona fisurada, pero en este caso entra en juego la tracción en el tramo de la delta, lo que incrementa la longitud de dicha zona. La normativa RPX establece algunos criterios a este respecto. Se hizo un primer análisis que proporcionaba información sobre la zona fisurada y esos

resultados se tuvieron en cuenta posteriormente en el modelo de análisis definitivo.

El dimensionamiento se basó fundamentalmente en la normativa British Standard BS5400, Partes 3 (puentes de acero) y 5 (puentes de hormigón), complementada por la ya mencionada RPX.

El estudio del segundo orden en las pilas se hizo según la formulación de la primera norma, que se basa en el incremento de los momentos flectores de primer orden por un factor que tiene en cuenta la proporción del axil elástico de pandeo alcanzado bajo los esfuerzos de diseño. Para ello es necesario obtener en primer lugar dicho axil, lo que se llevó a cabo mediante un análisis modal.

### **3. PROCESO CONSTRUCTIVO**

La obra fue dirigida por D. José Ricardo Morte Tenor, actuando como Gerente en representación de GICAL D. Ramiro Rodríguez. Por parte de DRAGADOS intervinieron, entre otros, D. Joaquín Guerrero Coll, como Jefe de Obra, y D. Nadim Sioufi como Jefe de Producción.

Una vez realizada la cimentación de las pilas, la ejecución de los fustes se dividió en diversas fases. La primera y más sencilla consiste en el primer tramo de fuste. En esta zona la sección es fundamentalmente de hormigón armado con la presencia de chapas de acero solamente en las esquinas.

La fase siguiente presenta mayor complejidad, al tratarse de la citada zona de transmisión de los esfuerzos de los puntales, que es donde se concentra un mayor número de conectadores. La colocación y soldadura definitiva de la parte metálica debió coordinarse con el ferrallado y encofrado del resto, y el último tramo se soldaba a los extremos superiores de la fase anterior. Por último, el hormigonado del espacio entre puntales en ese arranque, ya con escasa contribución resistente, tiene menor dificultad.

A continuación se colocan los puntales con la ayuda de unos castilletes provisionales y se ejecuta el tramo vertical de la pila que llega hasta el tablero. En este caso, aunque se trata fundamentalmente de un fuste de hormigón, se decidió colocar primero unas columnas metálicas provisionales que permitiesen

cuanto antes el apoyo de la parte metálica del tablero, completando el hormigonado del fuste posteriormente, aunque antes que el de la propia losa.

El tablero se colocó por tramos, soldándose a los puntales y a las columnas citadas. Se montaron primero los vanos laterales y la parte del central correspondiente al tramo hasta los puntales, y se colocó en último término el vano central.



Foto 2. Montaje



Foto 3. Montaje

La construcción de todos los elementos metálicos se realizó en los talleres Izard, de Béjar, Salamanca.

La losa superior se hormigonó en una sola fase sobre semilosas prefabricadas de tipo celosía dispuestas en sentido longitudinal entre las costillas.



**Foto 4. Prueba de carga**



**Foto 5. Puente terminado**