

# VIADUCTO SOBRE EL RÍO NALÓN EN LA AUTOVÍA DEL CANTABRICO (A-8)

**Julio MARTÍNEZ CALZÓN**

Dr. Ingeniero de Caminos

MC2 Estudio de Ingeniería, S.L.

Director

mc2@mc2.es

**Álvaro SERRANO CORRAL**

Ingeniero de Caminos

MC2 Estudio de Ingeniería, S.L.

Ingeniero

alvaro.serrano@mc2.es

**Carlos CASTAÑÓN JIMÉNEZ**

Ingeniero de Caminos

MC2 Estudio de Ingeniería, S.L.

Ingeniero

carlos.castanon@mc2.es

## Resumen

El Viaducto sobre el río Nalón es la principal estructura del tramo Soto del Barco–Muros de Nalón de la Autovía del Cantábrico (A-8). Este viaducto de más de 1100 m de longitud y con un tablero único de 27 m de ancho, tiene vanos tipo de luz 60 m y un vano principal, correspondiente al cruce del cauce del río Nalón de 124 m salvado mediante una solución tipo pórtico mixto con las pilas empotradas en el tablero y pretensadas.

La sección transversal es un cajón estricto mixto en el que se ha eliminado la chapa central del fondo del cajón metálico en la cercanía de las pilas, de forma que permite la visión del hormigón de fondo. La anchura total del tablero se consigue mediante un sistema híbrido de costilla y jabcón.

La construcción se ha realizado mediante la técnica de lanzamiento del cajón metálico desde los estribos y posterior ejecución de la losa de hormigón del tablero, siendo de particular interés el lanzamiento del tramo correspondiente al vano principal de canto variable.

**Palabras Clave:** Puente, pórtico, acción mixta, cajón estricto, lanzamiento, empuje acompasado, acero, patch loading.

## 1. Introducción

El viaducto sobre el río Nalón forma parte del tramo Soto del Barco – Muros de Nalón de la Autovía del Cantábrico (A-8), y salva el cauce principal y la vega de inundación del río Nalón, ya cerca de su desembocadura.

La longitud total del viaducto es de 1100.852 m con los siguientes vanos: 13 x 60 m + 76 m + 124 m + 76 m + 44.852 m, siendo la anchura del tablero 27 m [1].

## 2. Descripción del sistema estructural

### 2.1 Sistema resistente longitudinal

Longitudinalmente la estructura del viaducto se puede dividir en dos tramos separados por una junta de dilatación, situada sobre la pila P-11.

1. Un tramo de acceso de planta circular y 11 vanos de 60 m de luz dando un total de 660 m de longitud, sobre la vega del río, con una sección transversal de canto constante de 3.0 m.
2. Un tramo recto de 440.852 m de longitud que cruza el cauce principal del río Nalón. La zona central de este tramo es un pórtico de carácter mixto formado por un cajón metálico de canto variable y dos pilas de carácter escultórico realizadas con hormigón pretensado, en cada una de las orillas del río. El tramo se completa con varios vanos de menor luz y canto constante a ambos lados del principal.

El conjunto de las tres zonas indicadas determina la longitud total del Viaducto de 1100.852 m.

Los apoyos se han diseñado en todos los casos mediante dispositivos tipo POT y las juntas presentan una disposición convencional en ambos estribos, pero exigen, sin embargo, en la junta ubicada cercana a la mitad del puente un

tratamiento específico, para albergar en la zona de la losa del tablero los grandes espesores y anchuras requeridas para tal elemento.

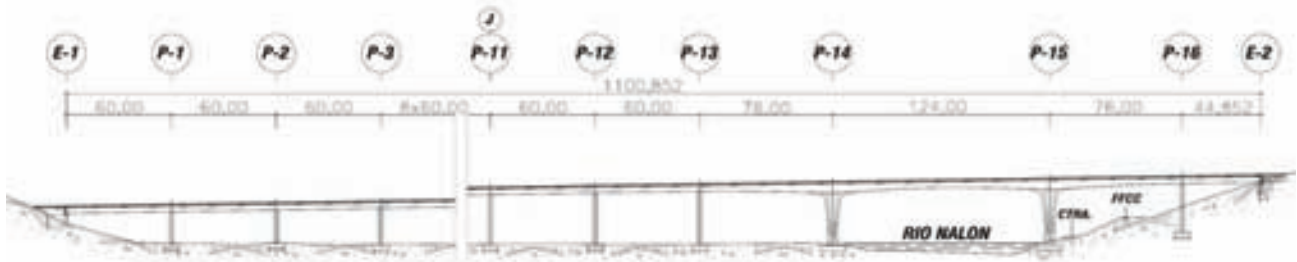


Fig. 1 Alzado del viaducto.

Así pues, las pilas principales reciben todo el conjunto de solicitaciones longitudinales provocadas por el tablero del tramo de puente entre P11 y E2, mientras que las pilas tipo tan solo están sometidas a las acciones transversales y a las componentes longitudinales provocadas por el rozamiento producido por los movimientos parásitos de los apoyos bajo las solicitaciones permanentes.

En el caso de la estructura entre E1 y P11, se producen análogas condiciones, siendo transferidas a dicho estribo E-1 las incidencias longitudinales de todas las pilas tipo de esta parte del puente.

## 2.2 Sección transversal: Cajón estricto mixto

La sección transversal del viaducto es un 'cajón estricto mixto', una solución integradora entre las soluciones de tipo bijácena (doble viga principal armada) y las de cajón cerrado; tomando las cualidades de cada una de ellas, con un aprovechamiento máximo del hormigón y del acero constituyentes de la sección [2], [3].

El objetivo de esta disposición de elementos es minimizar la parte de acero estructural que no sea estrictamente necesaria. Por esta causa, la estructura presenta en la zona de momentos negativos sobre las pilas, losas de hormigón in situ realizadas mediante encofrados inferiores sustentados en las platabandas inferiores que forman las alas metálicas de la viga cajón en estas zonas. Dichas platabandas presentan un ancho constante de 0.85 m cada una, en la mayor parte del viaducto, y espesores variables según zonas.

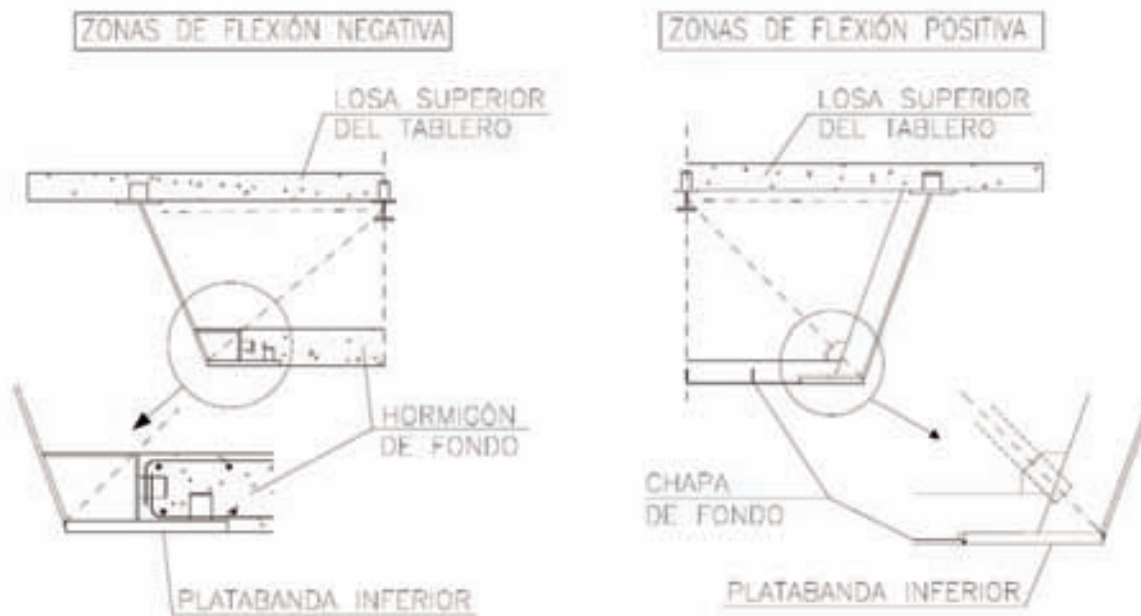


Fig. 2 Cajón estricto mixto.

En las zonas de centros de vanos, el sistema cajón se cierra inferiormente mediante chapas de espesor relativamente reducido, unidas longitudinalmente a las platabandas inferiores y debidamente rigidizadas longitudinal y transversalmente, mediante los elementos modulares de los diafragmas de celosía y rigidizadores intermedios.

En las zonas de transición entre zonas de apoyo en pila y zonas de centros de vano, existen ambos tipos de elementos: chapa metálica inferior y losa de hormigón de fondo, estando ambos vinculados mediante las oportunas conexiones; y sirviendo de fase de transferencia de esfuerzos entre ambos subsistemas.

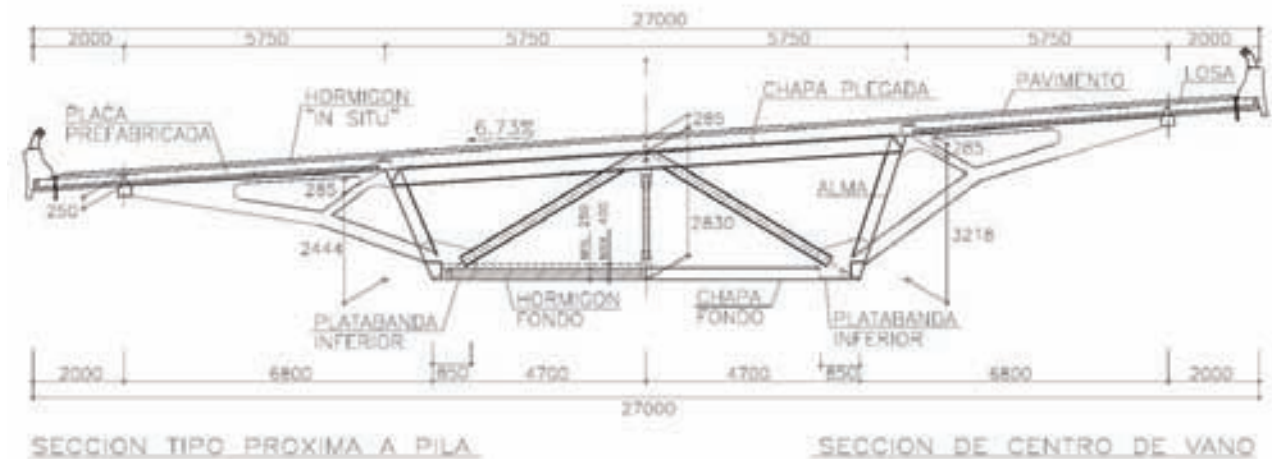


Fig. 3 Secciones del tablero del tramo de canto constante.

El canto total de la pieza mixta en su eje longitudinal central es de 3.0 m en la zona de canto constante y variable entre este valor y un máximo de 5.0 m en el eje de las pilas principales; y nuevamente variable para alcanzar el centro del vano principal con un canto de 3.20 m. El ancho superior del cajón es de 11.50 m, constante en todo el viaducto. El ancho inferior es 9.40 m en la zona de canto constante y llega hasta un mínimo de 7.20 m en el eje de las pilas principales de forma que la inclinación de las almas se mantiene constante en todo el viaducto. El fondo del cajón es horizontal y el peralte se consigue variando ligeramente la inclinación de las almas, que tienen diferente altura.

El sistema metálico se completa con unas celosías en Cruz de San Andrés situadas en la parte alta de la viga cajón metálica, que poseen un módulo global de 8.0 m; es decir, con cruce de sus diagonales en el eje del perfil central.

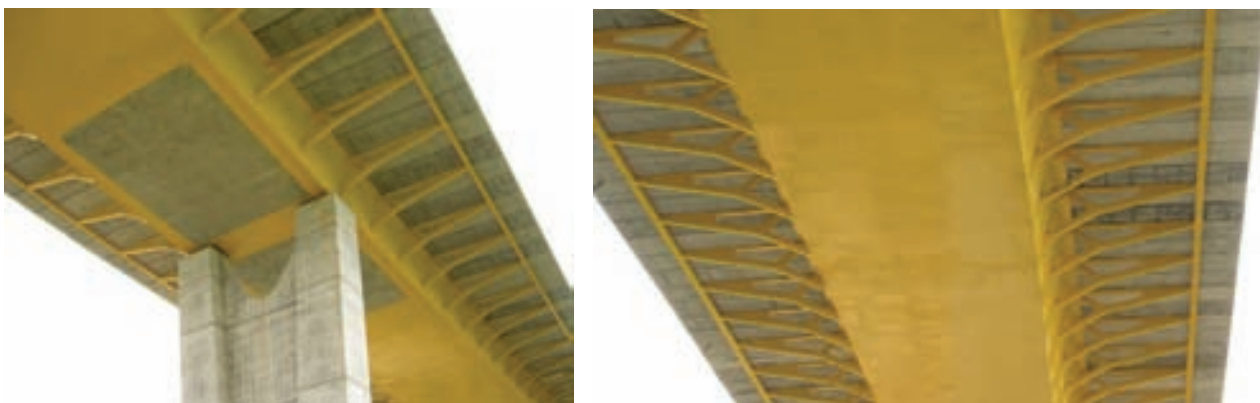
En el fondo del cajón de las zonas curvas en planta, también se sitúan diagonales y montantes metálicos, para mantener el cierre de la sección en tales zonas curvas y permitir la transferencia del flujo de tensiones tangenciales de la torsión uniforme, garantizada por la apropiada presencia de los diafragmas antidistorsión. En las zonas rectas, por el contrario, sólo se sitúan en la parte inferior montantes transversales, ya que la sección de hormigón de fondo o la chapa en las zonas centrales, según los lugares, son suficientes para resistir la torsión en la fase de sección completa.



Fig. 4 Vista interior del tablero. Diafragmas.

La plataforma sobre el tablero está constituida por una losa de hormigón armado de canto constante de 0.25 m de espesor eficaz, que se apoya transversalmente en cinco líneas longitudinales separadas 5.75 m entre sí, y que se prolongan en dos voladizos laterales de 2.0 m cada uno, para completar los 27.0 m de la anchura total de dicha losa.

Las dos líneas de apoyo exteriores de la losa están formadas por perfiles tubulares rectangulares de 0.30 m de anchura y 0.25 m de canto, conectados a la losa para constituir elementos mixtos continuos longitudinales. Estos perfiles están recogidos por elementos híbridos costilla-jabalcón, separados entre sí 4.0 m y que se continúan por el interior de la sección con un sistema de celosía que efectúa la tarea de transferencia entre ambos lados, y entrega de reacciones a la viga cajón; así mismo estos elementos en celosía funcionan como elementos antidistorsión de la sección trapecial de la misma, y sustentan un perfil longitudinal central, también mixto y conectado a la losa que recibe, para formar la tercera de las líneas de apoyo de dicha losa y transmitir sus reacciones al sistema de la viga cajón principal, a través de las diagonales previstas en las celosías transversales antes citadas.



*Fig. 5 Fondo de cajón en zonas de pila (izq) y en zonas de centro de vano (dcha). Sistema de costilla jabalcón.*

Tanto este perfil como los dos tubulares laterales antes descritos, y tal como se ha indicado, están conectados a la losa para formar vigas continuas mixtas con vanos de 4.0 m de luz, con el objetivo de reducir su incidencia a la vez que se reducen las solicitaciones de fatiga, logrando además un magnífico arriostramiento de todos los elementos metálicos secundarios al conjunto principal resistente.

Los dos restantes apoyos de la losa los proporcionan las dos platabandas superiores de la viga cajón, a la cual dicha losa se conecta en forma expresa para constituir la sección transversal mixta fundamental.

La ejecución de la citada losa del tablero presenta dos zonas bien diferenciadas:

1. Una central, ejecutada in situ, que utiliza como encofrado perdido una chapa plegada de 1.5 mm de espesor apoyada en las celosías interiores y en perfiles intermedios auxiliares, para lograr una luz de 2.0 m perfectamente adecuada a la ejecución de este tipo de elementos autoportantes.
2. Otra, formada por los laterales, que se constituye mediante placas prefabricadas semirresistentes armadas nervadas, colaborantes con el hormigón in situ necesario para completar el espesor total de los 0.25 m eficaces de la losa. Dichas losas prefabricadas incluyen en el extremo exterior, un elemento de tabique vertical, de forma que el sistema en estos puntos no requiere ningún tipo de elemento adicional de encofrado, y la realización es absolutamente sistemática.

### **2.3 Vano y pilas principales**

El vano principal de 124 m salva el cauce del río Nalón apoyándose exclusivamente en sus orillas en dos pilas principales que conforman un sistema estructural de pórtico, junto con el tablero.

Estas pilas principales son parte fundamental en el conjunto del diseño, además de ser piezas estructurales muy importantes. La altura de las mismas es de aproximadamente 32 m entre el encepado y el fondo de la viga cajón del tablero.

Dicha altura está subdividida en dos zonas de trabajo muy diferentes en sentido longitudinal, aún cuando en dirección transversal apenas existan diferencias externas. Estas dos zonas son:

1. Zonas de fuste inferior único, constituidas por una sección en cajón formada por dos grandes lajas o "tablas", frontal y dorsal en sentido longitudinal del puente, de espesor constante y ancho también constante de 6.0 m, separadas por dos tabiques de 0.40 m de espesor. La altura de este fuste es de 9 m aproximadamente, estando en la parte superior, de 1.50 m de espesor, macizado el hueco de la zona entre almas y alas.
2. Zona de bielas, por encima de dicha zona macizada, la sección se abre suavemente en dos bielas de sección inicial en T y luego rectangular como resultado de la continuidad de las alas de la sección del fuste, y el macizado y corte del alma entre tablas. A una cierta altura el alma de la T desaparece y sólo continúan las tablas. A partir de otro punto situado más arriba, comienzan a variar ligeramente de espesor para alcanzar un máximo de espesor de 1.60 m y, a partir de este punto, aumentar muy rápidamente tal espesor pasando a ser realmente un acartabonamiento curvo que lleva a unir las bielas así descritas al fondo de hormigón de la viga cajón. El ancho de tales cartelas de 6.0 m es coincidente con el fondo del dintel y con la anchura de coronación de las bielas. Estas dos bielas están levemente inclinadas formando una V muy cerrada pero suficientemente marcada para ofrecer un esquema muy proporcionado.

La conexión de las pilas principales terminadas en las bielas con el cajón mixto se efectúa a través de tres mamparos de transferencia:

1. Uno mixto que recoge los momentos negativos producidos por la biela comprimida y traslada las reacciones a las almas de la viga cajón (MPP1).
2. Otro metálico que recoge la mayor parte de las potentes acciones de la biela traccionada a través del pretensado de la familia de cables de pretensar situada en el interior de la biela traccionada (MPP2).
3. Un tercero, de hormigón armado y canto relativamente pequeño, cercano a los 2 m, que recoge con flexión positiva las acciones transmitidas por la armadura pasiva de la biela de tracción, y las transfiere, asimismo, a las almas de la gran viga cajón (MPP3).

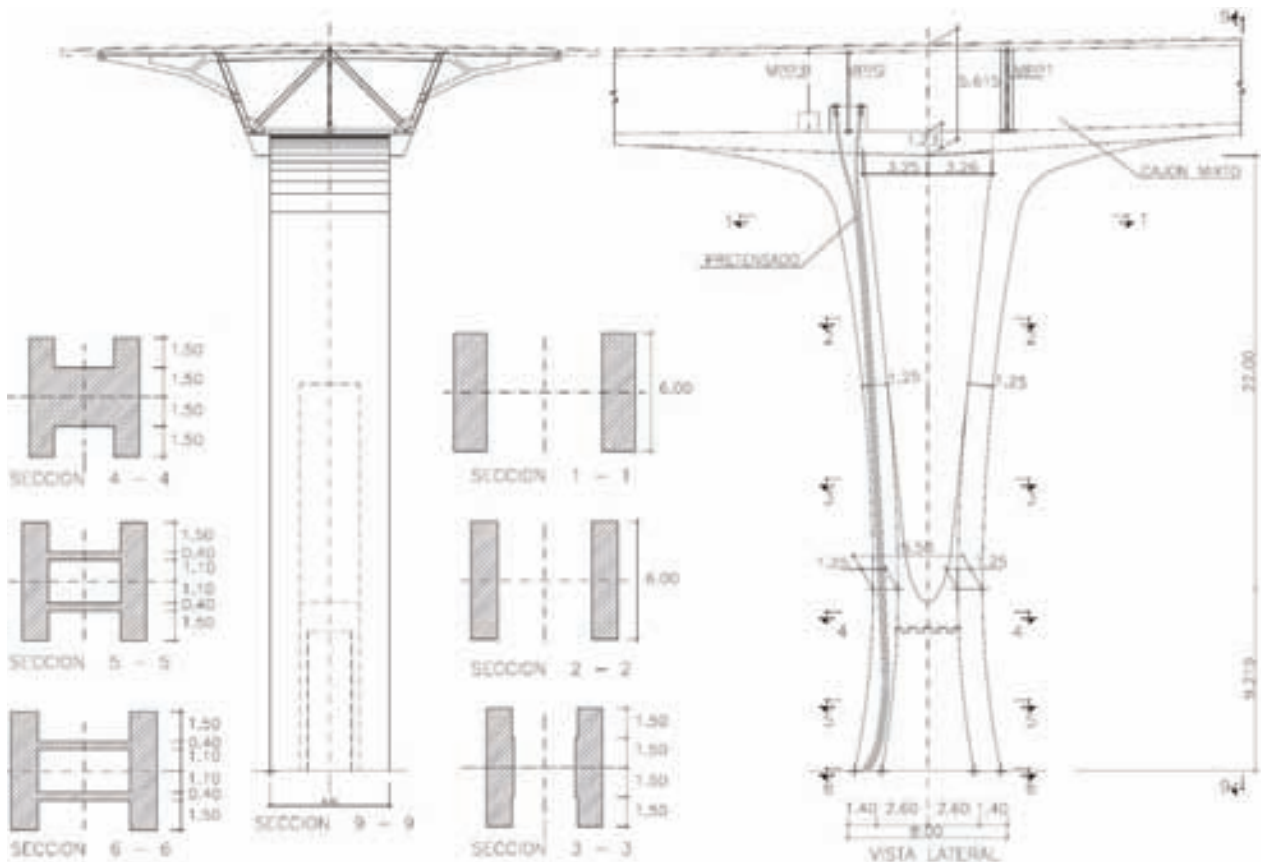


Fig. 6 Pilas principales.

Como ha quedado dicho, el elemento biela traccionada incluye un pretensado constituido por 10 unidades de pretensado de  $19\phi 0.6''$  cada una de ellas, ancladas activamente en su extremo superior, en elementos que permiten una perfecta transferencia al mamparo en el que se anclan. En el extremo inferior los anclajes alcanzan el encepado de cimentación donde se sitúan los anclajes pasivos, mediante cajetines simples de recepción de los conos, cordones y cuñas, de forma de permitir un enfilado apropiado al final de la ejecución de la pila, sin tener que dejar colocada durante la ejecución del hormigonado de la biela las armaduras de pretensar; sino tan solo, las vainas debidamente protegidas.

La biela en compresión es exclusivamente armada, con una distribución apropiada de armadura para hacer frente a la flexocompresión y los efectos de segundo orden derivados de su esbeltez.



*Fig. 7 Pila principal (izq). Pila tipo (dcha).*

## 2.4 Pilas tipo

El resto de pilas se efectúa mediante un único elemento tipo de alturas diferentes con un máximo de unos 29 m.

Dicha pila tipo presenta una sección transversal en doble T, con cierta semejanza a la de las pilas principales, aunque dispuestas aquélla en dirección transversal y ésta en dirección longitudinal.

El ancho del fuste en su nivel superior es de 10.40 m; sobresaliendo 0.55 m a cada lado del cajón metálico, para permitir colocar los apoyos provisionales necesarios para el lanzamiento. La pila más alta tiene un ancho mínimo en su arranque de 6.40 m.

Los apoyos sobre estas pilas son en todos los casos mediante dispositivos tipo POT.

## 2.5 Estribos

Los estribos son del tipo convencional de aletas. Están formados por un elemento frontal de recepción de la viga cajón metálica, constituido por un prisma de 10.40 m de ancho en su parte superior y espesor 1.00 m, con la misma inclinación lateral que las pilas tipo. Esta pieza se yuxtapone al muro frontal del estribo creándose una especie de "pastilla" aparentemente separada de aquél por la ligera inclusión de un pequeño canal de desagüe.

Las aletas surgen de los laterales del muro frontal. Presentan una parte inicial de pared completa; con escalonados apropiados de la cimentación cuando la longitud requerida es grande, y que se adaptan al terreno para reducir al máximo sus alturas. Se completan con una forma final trapecial en voladizo saliente del tramo completo anteriormente

descrito, con el objeto de reducir excavaciones y materiales manteniendo la contención apropiada de las tierras en las zonas altas dorsales de los accesos.

El estribo de la margen izquierda (E1) es relativamente largo y con aletas de diferente longitud a uno y otro lado, debido a la disposición del terreno con una gran inclinación esviada, y a la dificultad de poder emplear terraplenes auxiliares dada la inclinación existente.

En el caso del E2 la altura es menor y más simétrica la pendiente del terreno respecto al eje del puente, lo que permite utilizar aletas de dimensiones relativamente pequeñas y voladizos más sencillos.

## 2.6 Cimentaciones

Todo el conjunto de pilas y estribos se cimenta de forma profunda mediante pilotes.

Los pilotes empleados son de gran diámetro en todos los casos, debido a la presencia de gravas y bolos en el perfil del terreno: 1.50 m en las pilas tipo, y estribo E-1; de diámetro 1.25 m en el estribo E-2; y de 2.0 m de diámetro en las pilas principales.

Todos los encepados son de tipo rígido y se sitúan con su superficie superior cubierta al menos por una capa de 50 cm que mantenga el perfil natural actual del terreno.

En las pilas principales se ha analizado la resistencia del viaducto en su estado de posible socavación global de 2.0 m, resultado adecuado el comportamiento de la estructura diseñada.

## 3. Construcción

La construcción del viaducto se ha realizado mediante lanzamiento del cajón metálico con sus piezas laterales, por empuje acompasado desde ambos estribos: una parte desde el estribo E-1 hasta un pequeño voladizo de 16 m sobre la pila P-10, coincidiendo con el final de la trayectoria curva circular de radio constante, y otra parte desde el estribo E-2 hasta el eje de la pila P-11, donde se situaría la junta de dilatación intermedia del viaducto. De este modo queda un tramo perteneciente al vano 11 de longitud 54.000 m que se iza una vez finalizados los dos empujes. Este sistema permitió la simultaneidad de lanzamiento desde los dos estribos.

El vano central sobre el río condiciona el empuje de la parte que se realiza desde el estribo E-2, tanto por su luz de 124 m, la de los vanos adyacentes de 76 m, el empotramiento elástico entre tablero y pilas principales P-14 y P-15 y, sobre todo, por la variación de canto tan acusada. La luz del vano principal implicó la necesidad a un apoyo intermedio provisional en el río para dividir la luz en dos tramos de 62 m. La luz de los vanos adyacentes (76 m) obligó a disponer una torre de atirantamiento y una nariz de lanzamiento de 16 m para que el primer vano que se empuja, de 60 m, complete los 76 m de dichos vanos, coincidiendo así los puntos de flexión negativa en empuje y acabado. La variación de canto obligó a dejar la pila P-16 y el estribo E-2 a una cota inferior a la definitiva para permitir el paso del tramo de tablero de mayor canto. El empotramiento entre el tablero y las pilas 14 y 15 se resuelve con un sistema de apoyo provisional en pilas para recrecer posteriormente las mismas dentro del tablero y realizar su pretensado.



Fig. 8 Lanzamiento del tablero sobre el vano principal de 124 m con una torre intermedia auxiliar.



*Fig. 8 Vista general del lanzamiento desde ambos estribos.*

La variación del canto de la zona del vano principal se resolvió adosando a los laterales del tablero y a la cota correspondiente al canto constante sendos carriles de rodadura formados por perfiles laminados apoyados mediante ménsulas dispuestas cada 4 m en la viga cajón coincidiendo con secciones de celosías interiores.

En el proceso de empuje se incluyeron los fondos de hormigón del cajón, a excepción del frontal del tramo empujado desde el estribo E1 (fondo de pila P10) que se ejecutó "in situ" una vez elevado el tramo de cierre en clotoide y efectuado la unión de continuidad en el vano V10.



*Fig. 9 Construcción de la losa superior del tablero.*

El proceso de construcción de la losa superior se realizó en dos fases para facilitar la colocación y el movimiento de placas prefabricadas sobre el viaducto; así, en una primera fase se colocó la chapa plegada central y su armadura, y se hormigonó esta zona, incluyendo o no los conectores dependiendo del tramo, para considerar en ciertos casos una sección parcial mixta; y posteriormente y desde la plataforma central ya hormigonada se procedió a la colocación de las placas prefabricadas laterales para efectuar después su hormigonado para completar la losa de estas zonas.

Una vez construido el tablero se procedió a la colocación de las barreras laterales y central, y del pavimento, para posteriormente ejecutar los distintos acabados.

Finalmente se realizó la necesaria prueba de carga previa a la puesta en servicio del viaducto, cuyos resultados coincidieron muy ajustadamente con los valores teóricos previstos.

El viaducto, junto con el tramo de autopista al que sirve, se pusieron en servicio en mayo de 2007.





*Fig. 10 Vista del viaducto en el momento de la prueba de carga.*



*Fig. 11 Viaducto terminado.*



*Fig. 12 Imagen del vano principal sobre el cauce del río Nalón terminado.*



*Fig. 13 Vista superior del viaducto y de su entorno.*

#### **4. Referencias**

- [1] MARTÍNEZ CALZÓN J., SERRANO CORRAL A., CASTAÑÓN JIMÉNEZ C., GÓMEZ NAVARRO M., "Viaduct over the Nalón River (Spain). A new experience with 'strict box' composite bridges" *Eurosteel 2008 Proceedings*, Graz, 2008.
- [2] MARTÍNEZ CALZÓN J., "Strict box composite bridges. A proposal for the optimization of materials". *Developments in Short and Medium Span Bridge Engineering' 98. The Canadian Society for Civil Engineering*, Montreal, 1998.
- [3] MARTÍNEZ CALZÓN J., "Strict box composite bridges. A new design of the optimum use of composite topology". *12<sup>th</sup> Annual International Bridge Conference. Engineering Society of Western Pennsylvania, Pittsburgh, 1994.*