

PUENTE MIXTO SOBRE EL RÍO NALÓN

Francisco MILLANES MATO

Dr. Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Presidente

general@ideam.es

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de Proyectos

miguel.ortega@ideam.es

Javier PASCUAL SANTOS

Dr. Ingeniero de Caminos

Resumen

El presente artículo describe las alternativas de las soluciones bijácenas mixtas frente los cajones mixtos convencionales empleados en puentes de carretera, incidiendo en las ventajas del empleo de la doble acción mixta con el desarrollo de la solución bijácena francesa en la alternativa del "cajón estricto".

El Puente sobre el río Nalón en las obras de duplicación de calzada de la carretera AS-17 entre Avilés-Puerto de Tarna, en el tramo Riaño-Sama, Asturias, proyectado por IDEAM es un ejemplo del desarrollo de esta tecnología en un puente con un vano central mixto de 110 m de luz, y vanos laterales de hormigón pretensado de 27,5 m.

La descompensación del vano central frente a los laterales obliga a plantear apoyos invertidos en estribos, que reaccionan contra el tiro.

Se describe así mismo el proceso constructivo seguido para ejecutar el viaducto, y diferentes detalles como los marcos de rigidización transversales en H y los detalles de anclaje de las unidades de pretensado en la zona metálica.

Palabras Clave: Puente mixto de carretera, solución bijácena-cajón estricto, sección distorsionable, marcos en H, apoyos inversos en estribos.

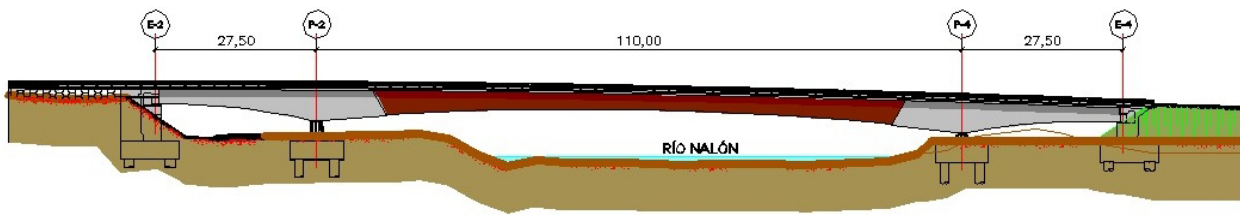
1. Descripción del Puente.

El puente sobre el río Nalón proyectado por IDEAM se localiza en las obras de duplicación de la carretera AS-17, en Asturias, España.

Se trata de dos puentes paralelos, decalados 7 m por el cruce oblicuo del río Nalón. La oblicuidad del río con el eje del trazado, unos 45°, así como la anchura del cauce, obligaron a una luz central de 110 m para poder salvar el río sin colocar ninguna pila intermedia. Los vanos de compensación laterales son simétricos con una luz de 27,5 m. (*Fig. 1a y 1b*)

Al tratarse de una estructura con la rasante muy baja, con los vanos laterales en zonas de desmontes sobre el terreno natural se hizo necesario buscar una solución estructural que minimizase los cantos del tablero. Se planteó así una solución de canto variable, con los vanos laterales más un tramo del vano central mediante una sección clásica en cajón de hormigón pretensado, y el resto del vano central mediante una sección mixta en "cajón estricto".

En las referencias 1 a 4 se puede encontrar más información sobre otros puentes mixtos de carretera proyectados por IDEAM en la misma tipología.



Figs. 1a y 1b: Alzado y vista del Puente sobre el Río Nalón concluido.

1.1. Descripción del tramo central mixto.

El vano central de 110 m de luz lo conforma en su tramo central, de 91,20 m, una sección mixta bijnácena, en la tipología de "cajón estricto". Desde el empotramiento de las vigas mixtas en el cajón de hormigón hay 18 m de zona con doble acción mixta, con hormigón de fondo con espesor variable entre 0,50 y 0,25 m. Los 50 m centrales del puente son dos vigas mixtas conectadas a la losa superior trabajando de forma independiente creando un cajón abierto distorsionable. El cierre inferior se materializa mediante unas prelosas prefabricadas estrictas dispuestas sin conexión para permitir simplemente que la sección sea interiormente visitable e inspeccionable.

El canto en el centro del vano central es de 2,45 m para las vigas metálicas más la losa superior de 0,30 m, lo que supone una relación canto de metal/luz de 1/44,9 y una relación canto total/luz de 1/40. En la zona del empotramiento de la sección metálica con el cajón de hormigón el canto de metal es de 3,95 m, (Fig. 2). El canto de la sección de hormigón en pila es de 5,50 m, lo que supone una relación canto/luz en apoyos de 1/20. (Fig. 5)

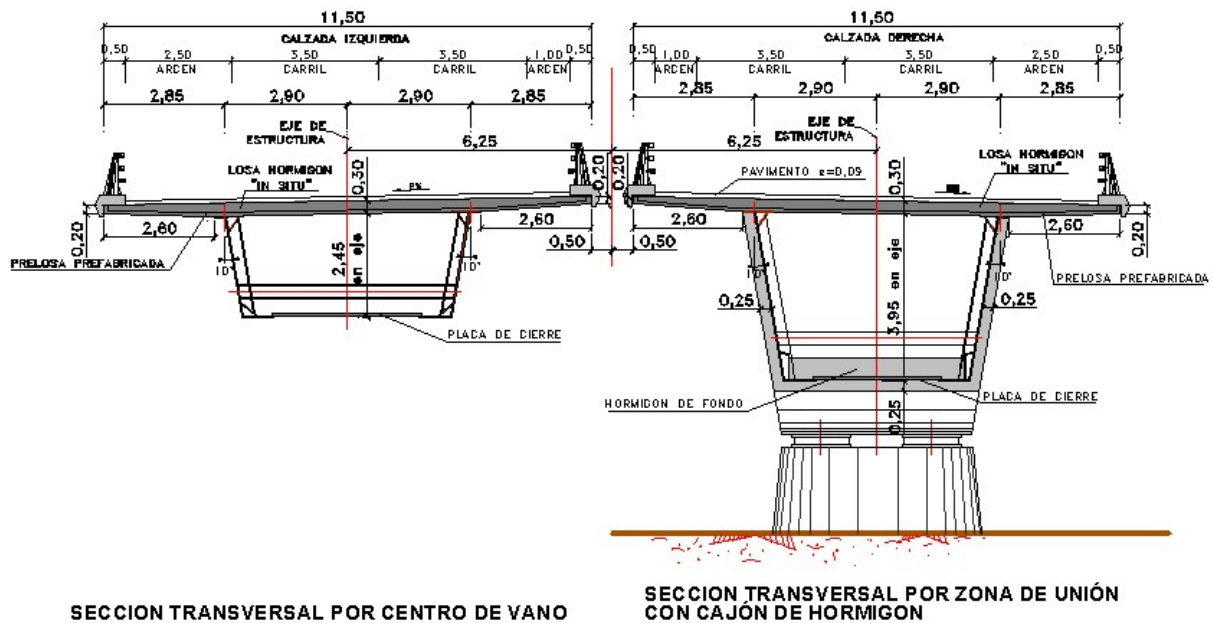


Fig. 2: Secciones tipo por zona mixta.

En la figura 2 se pueden apreciar las secciones transversales tipo del tramo central mixto. Las vigas metálicas que componen la sección transversal del "cajón estricto", tienen las almas inclinadas 10° respecto de la vertical, y presentan una separación superior constante de 5,8 m.

Las platabandas superiores las componen desde el centro del vano hacia los arranques, chapas de 20 a 35 mm de espesor. Los espesores del alma varían entre 15 mm y 20 mm, y las platabandas inferiores se proyectan con chapas de 25 a 40 mm.

La rigidización de la sección transversal la componen los marcos transversales en H dispuestos cada 5,375 m, y los rigidizadores verticales de alma cada 1,79 m. Como puede apreciarse en la figura 3 la estructura metálica queda reducida su mínima expresión, con dos vigas rigidizadas, unos perfiles transversales en los marcos en H, y una sencilla celosía superior para resistir las acciones del viento durante el montaje.



Fig. 3: Vista interior de la sección metálica en taller.

1.2. Descripción de los vanos laterales de hormigón.

Los vanos laterales de 27,5 m son de hormigón (Fig. 4) mediante una sección cajón pretensada. El canto en el arranque en estribos es de 2,75 m, y el canto en la pila de 5,50 m. La sección transversal presenta almas de 0,40 m de espesor, una losa superior de 0,42 m en la zona entre almas, con voladizos de espesor variable entre 0,30 y 0,20 m, y una tabla inferior de espesor variable entre 0,35 m en estribos y 0,90 m sobre pila. La sección interior del cajón se acartela en los 0,75 m junto a las almas aumentando el espesor de las tablas en 0,25 m. (Fig. 5)



Fig. 4: Vista de uno de los vanos laterales de hormigón con 27.5 m de luz.

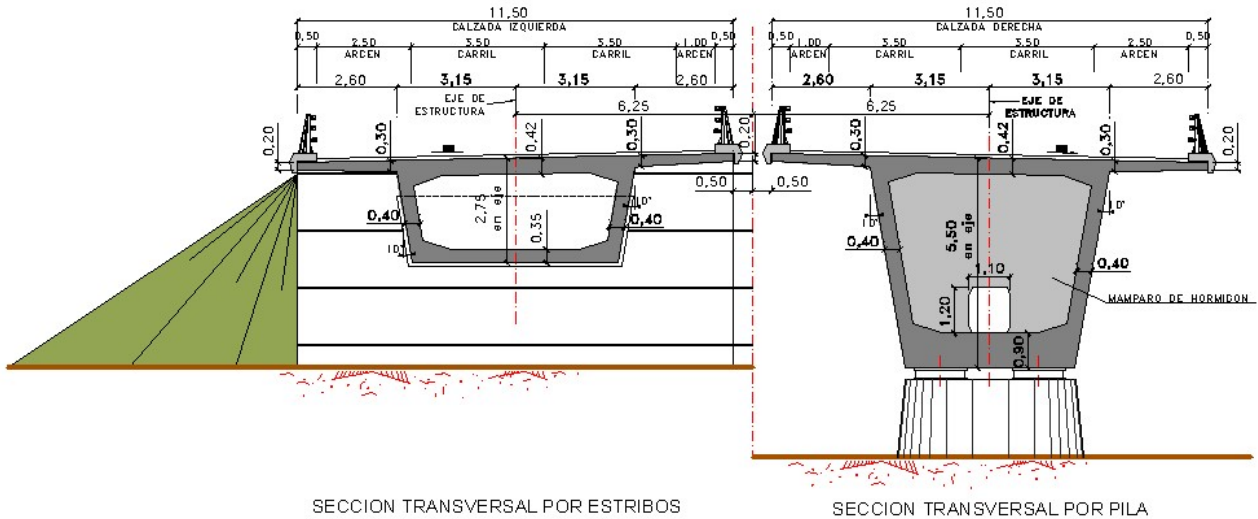


Fig. 5: Secciones tipo por zona de hormigón

Tal y como ya se ha descrito la sección cajón de hormigón vuela desde el eje de la pila hacia el centro del vano 9,40 m en su parte superior y 12 m en la inferior, dibujando así un plano inclinado en la intersección con la zona metálica (Figs. 1a, 1b y 4). El cajón de hormigón se pretensa mediante 18 unidades de pretensado de 24 torones de f 0,6".

Sobre pilas se ejecutan mamparos macizos de hormigón con un paso de hombre para hacer completamente visitable el tablero por el interior, y en la zona del extremo del hormigón en contacto con la zona metálica se materializa otro mamparo macizo inclinado de hormigón con paso de hombre con idéntica función.

Al tratarse de una estructura con vanos muy descompensados, con un vano central de 110 m, y vanos laterales de 27,5 m (25% de la luz del central), el apoyo del puente en estribos produce levantamientos incluso bajo las acciones del peso propio. Para resolver esta cuestión se ha diseñado un cajeadado en estribos para permitir que parte del cajón se introduzca a modo de apoyo a media madera invertido con la disposición de unos apoyos inversos (apoyos superiores definitivos) que trabajasen siempre a compresión. Los apoyos inferiores trabajan solamente a compresión de forma temporal hasta que se cierra el vano central y se colocan las prelasas superiores. (Fig. 6)

Bajo la acción del peso propio completo del tablero la reacción de levantamiento entre los dos apoyos de un estribo es de -3256 kN, mientras que en cargas permanentes es de -4953 kN.

Tras los apoyos de estribos se ha diseñado una galería dentro del cuerpo del espaldón del estribo (Fig. 6), con acceso superior desde la acera exterior, para así poder revisar y sustituir los apoyos desde su interior.

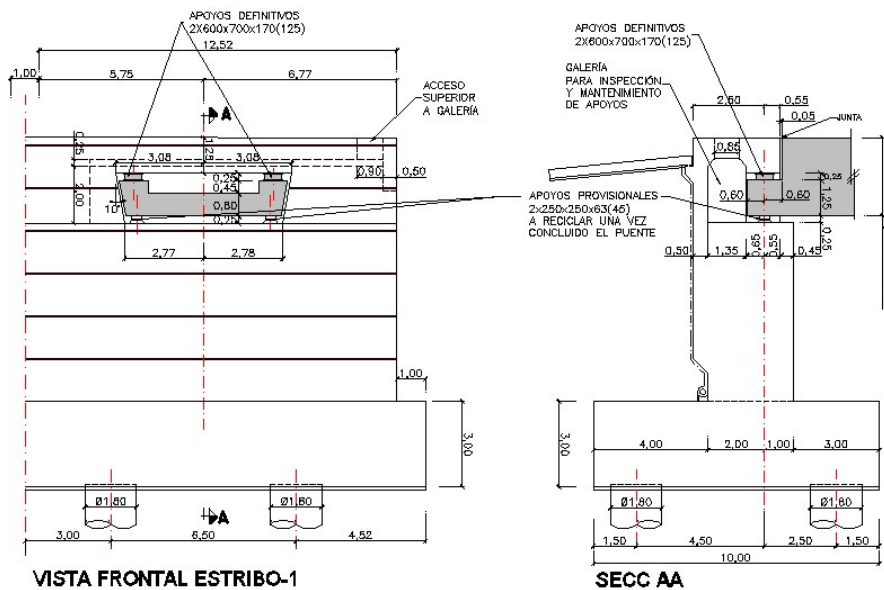


Fig. 6: Vista del alzado y sección de los estribos con los detalles de los apoyos inversos.

2. Proceso constructivo.

En primer lugar se realizan las cimentaciones pilotadas y los alzados de pilas y estribos. Se han empleado 4 pilotes de 1,80 m de diámetro en cada una de las pilas y otros 4 pilotes del mismo diámetro en cada uno de los estribos.

Los estribos se ejecutan en dos fases. En la primera fase se ejecuta el cuerpo del estribo y los alzados de los muros laterales hasta la cota del apoyo inferior del cajón de hormigón, y una vez que se ha cimbrado, ferrallado y hormigonado el cajón de hormigón, se ejecuta la parte superior del estribo que hace de tope para resistir el tiro de los apoyos inversos. (Fig. 6)

Concluida la subestructura, se procede a ejecutar "in situ" el vano lateral de 27,5 m de luz más el voladizo (de 9,4 m en la parte superior y de 12,0 m en la inferior) del cajón de hormigón de canto variable. (Fig. 4 y 7)

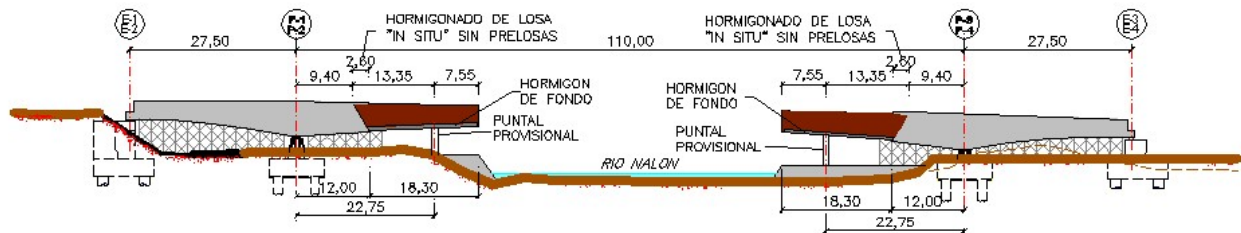


Fig. 7: Ejecución de vanos laterales en hormigón, y colocación del primer tramo metálico apeado.

Con el vano lateral de hormigón ferrallado, se procede a colocar el primer tramo metálico de 20,90 m de longitud, apeado en el extremo de la cimbra del cajón de hormigón y en unos puntales provisionales dispuestos a 22,75 m del eje de las pilas. (Fig. 6)

El tramo lateral metálico de 43 t de peso se trasporta completamente montado, con las dos vigas metálicas y la rigidización interior.

Las grandes dimensiones de la pieza lateral con un canto máximo de 3,95 m, y un ancho total en cabeza de 5,80 m más los vuelos a cada lado de las platabandas superiores de 0,25 m, podrían obligar a transportar cada viga tumbada de forma independiente y materializar la unión mediante los marcos transversales en H en obra. Sin embargo gracias a que se trata de un cajón abierto inferiormente, el taller metálico planteó un transporte especial haciendo que los apoyos de las góndolas quedasen en un nivel intermedio ajustando al máximo la altura del transporte para así evitar problemas de gálibos verticales (Fig. 8).



Fig. 8: Transporte del primer tramo metálico.



Fig. 9: Vista de los 2 tramos laterales apeados.

Con los tramos laterales colocados en su posición definitiva (Fig. 9) se procede a concluir totalmente el ferrallado de los cajones de hormigón, y a la colocación de las vainas y anclajes del pretensado, para hormigonar el cajón de los vanos laterales, y posteriormente ferrallar y hormigonar la zona de hormigón de fondo de los tramos metálicos laterales apeados. (Fig. 10)

Con los vanos laterales todavía cimbrados, se procede a realizar el recrecio de la segunda fase de estribos, para materializar el apoyo invertido, que evite el levantamiento de los apoyos en estribos del vano lateral debido a la descompensación de luces con el vano central, como ya se ha descrito.

Una vez que los estribos están concluidos, con los apoyos inversos colocados, se procede a realizar el tesado del cajón de hormigón (Fig. 10). Ocho unidades de pretensado se anclan en el extremo del cajón de hormigón, y las 10 restantes

se anclan en tres secciones diferentes en el tramo metálico, pretensando el metal contra el cajón de hormigón, cosiendo la junta. El pretensado produce el desapeo de la estructura metálica, al levantarse unos 70 mm sobre el puntal extremo, dejando un voladizo libre de 30 m desde la pila hacia el centro del puente.

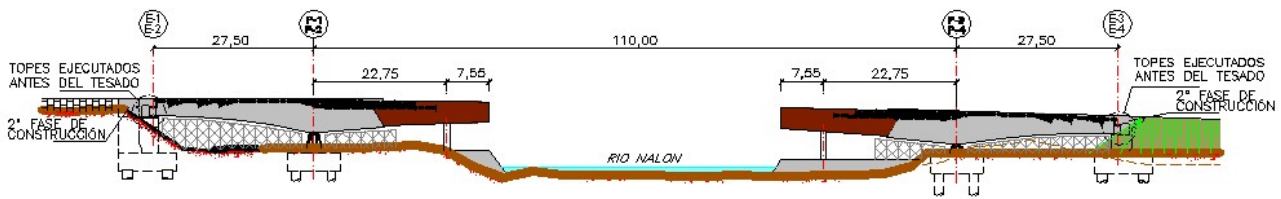


Fig. 10: Ejecución de segunda fase de estribos con apoyos inversos, y pretensado del vano lateral.

El tramo metálico que falta por colocar en el centro del vano, tiene una longitud total de 50 m y 95 t. de peso, y se transporta a obra en dos tramos de 25 m totalmente concluidos cada uno de ellos. Con esta tipología y el proceso constructivo planteado, las uniones soldadas en obra se reducen a realizar en el suelo sobre una bancada la unión entre los dos tramos del transporte central, más las dos uniones entre el tramo central y los laterales, minimizando así las soldaduras en obra, más complicadas de ejecutar y controlar que en taller.

En la figura 11 se puede ver la vista interior del "cajón estricto" en la zona del centro del vano. La sencillez de los arriostramientos en los marcos transversales en H deja una sección transversal interior muy limpia y sencilla de inspeccionar y revisar.

Durante la fase de ejecución de las obras el Contratista decidió cambiar por razones constructivas el cierre inferior del "cajón estricto" que en proyecto se materializaba mediante la disposición de prelasas de hormigón discontinuas sin ningún tipo de conexión con la estructura metálica, por unas chapas de acero rigidizadas (Fig. 11). El cierre inferior sigue siendo un mero cierre formal para permitir que el puente sea interiormente visitable para realizar labores de inspección y mantenimiento.



Fig. 11: Vista interior del centro de vano.



Fig. 12: Vista del primer puente con las prelasas colocadas.

Con la estructura metálica concluida se procede a colocar las prelasas prefabricadas, con el ancho completo de la losa superior. En la figura 12 se aprecia el primer viaducto con todas las prelasas ya colocadas.

Concluida la colocación de prelasas, se ferralla la losa superior en el tramo sobre las dos vigas metálicas, y se hormigonan los 86 m centrales conectando la losa a las vigas metálicas materializando la sección mixta, dejando la estructura del viaducto concluida, para finalizar con las operaciones de acabados.

De forma simultánea a la ejecución del primer viaducto se va ejecutando el segundo Puente (Fig. 13) paralelo de manera decalada en el tiempo para así poder reutilizar los medios auxiliares empleados en el primero. En las figura 14 se aprecian los dos viaductos concluidos.



Fig. 13: Vista del segundo en fase de ejecución.



Fig. 14: Vistas de los viaductos concluidos.

3. Detalle de los Marcos Transversales.

El tramo mixto del viaducto se ha concebido considerando que las dos vigas mixtas trabajan separadas con un comportamiento como sección bijácena abierta, hasta la zona de unión con el cajón de hormigón.

Para mejorar el comportamiento de la zona mixta con esfuerzos negativos se ha materializado una doble acción mixta, pero manteniendo el concepto de sección bijácena. Esto es, aunque tengamos doble acción mixta en una cierta zona con continuidad del hormigón de fondo, ésta se ha considerado exclusivamente a efectos de la mejora que supone en la seguridad y respuesta última y en servicio de los elementos mixtos sometidos a flexión, pero no se ha considerado la rigidez a torsión del cajón mixto cerrado en la respuesta a cargas excéntricas.

Las dos vigas se arriostran entre sí mediante los marcos de arriostramiento en H, dispuestos cada 5,375 m (Fig. 15), incluso en las zonas de negativos donde se cierra el ala inferior con la doble acción mixta.

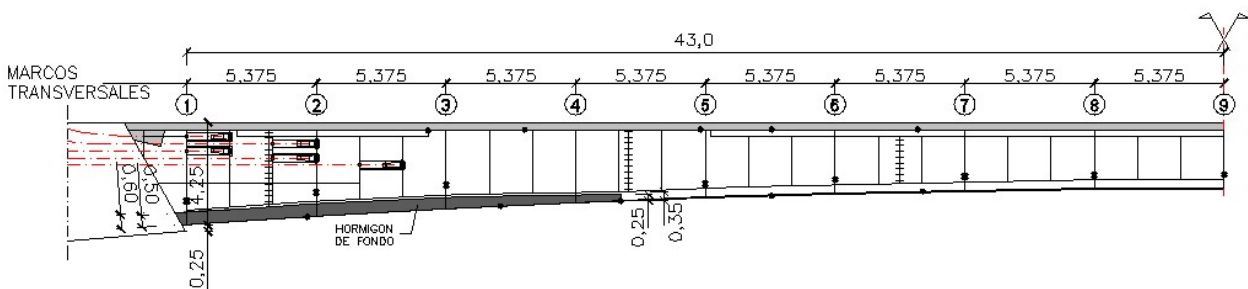


Fig. 15: Semi-alzado de la estructura metálica del vano central

En los marcos en H tipo 1 al tipo 3 (Fig. 15), el perfil transversal es un IPE 360 y se dispone a 1,00 m del ala inferior, mientras que en los marcos tipo 5 al tipo 9, el perfil transversal es un IPE 330 y se dispone a 0,60 m del ala inferior. (Fig. 16)

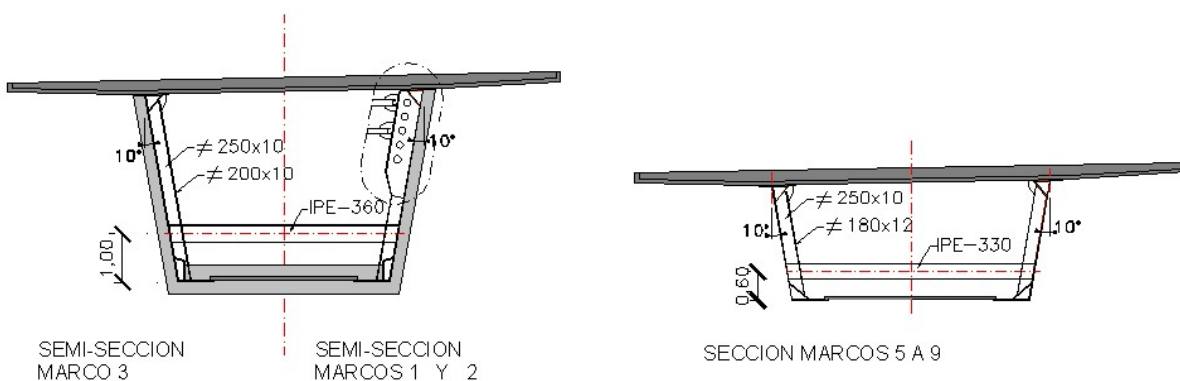


Fig. 16: Detalle de marcos transversales en H

4. Detalles de anclajes de pretensado.

Como ya se ha descrito, 10 de las 18 unidades de pretensado del cajón de hormigón pasan al tramo central mixto, y se anclan 2 en cada alma en el primer anclaje, 2 en cada alma en el segundo anclaje y una en cada alma en el tercer anclaje. (Fig. 15)

Cada unidad de pretensado se tesa a $P=4800$ kN. La carga localizada del anclaje, se transmite al alma mediante dos rigidizadores longitudinales en una longitud de 1,791 m, igual a la separación entre rigidizadores verticales. La excentricidad de 0,28 m del anclaje respecto del alma, introduce un par que es necesario recoger mediante dos fuerzas perpendiculares a los rigidizadores verticales, de valor $F(\text{kN})=750$ kN por cada unidad de pretensado en E.L.S.

Dada la magnitud de las fuerzas transversales se disponen dos tubos uniendo los dos rigidizadores verticales, en la posición de las fuerzas que equilibran el par (Fig. 17). Así el tubo dispuesto en el eje de la placa de anclaje reacciona a esa excentricidad comprimiéndose con la fuerza F , y el del extremo opuesto se tracciona con la misma fuerza.

Este mecanismo funciona con las unidades de ambos lados tesadas en posición definitiva, ya que las fuerzas de desvío en los rigidizadores arriostrados por los tubos en cada extremo son iguales, pero si se tesa la unidad de un alma sin tesar la simétrica, la excentricidad de la carga introduce una fuerza en los tubos, que no se equilibra con la opuesta y sería necesario un trabajo exclusivamente de flexión de los dos rigidizadores unidos por los tubo entre platabandas superior e inferior para resistir esa excentricidad.

Para evitar esta situación, y no penalizar los rigidizadores verticales durante la fase de tesado, en el proyecto se planteó un tesado simultáneo de las unidades de pretensado simétricas del viaducto, mediante el empleo de dos gatos de tesado sincronizados conectados a una central.



Fig. 17: Detalle de anclajes de pretensado, y tubos de arriostamiento

Aunque el mecanismo principal de resistencia de la excentricidad introducida por las unidades de pretensado, es el par de reacciones que resisten los tubos transversales, se verificó durante la fase de proyecto que los rigidizadores verticales eran capaces de asumir por flexión entre alas el tesado asimétrico de hasta el 50 % de la carga de cada unidad de pretensado.

5. Conclusiones

La alternativa del "cajón estricto" desarrolla la solución bijácena francesa, incorporando las ventajas de la doble acción mixta en las zonas de negativos, con fondos de cajón abiertos en positivos o bien mediante un mero cierre formal con prelasas estrictas para hacer la sección transversal interiormente visitable para operaciones de inspección y mantenimiento.

En función de las necesidades de rigidez a torsión de la sección transversal, se pueden platear celosías trianguladas rígidas, o bien permitir un trabajo como doble viga distorsionable con diafragmas en H, como se ha descrito en apartados anteriores.

El viaducto sobre el río Nalón, descrito en el artículo, supone el mejor ejemplo del desarrollo de esta tipología con un vano central en la tipología de "cajón estricto" con doble acción mixta, de 110 m. de luz.

6. Principales participantes

Propiedad: Gobierno del Principado de Asturias.

Concepción y Proyecto: IDEAM S.A.: Francisco Millanes, Javier Pascual, Miguel Ortega, Diego Pajuelo

Apoyo Técnico a la Obra: IDEAM S.A.: Miguel Ortega

Constructor: UTE RIAÑO-SAMA II: FCC Construcción S.A. – Alvargonzález Contratas S.A.

Servicios Técnicos de FCC: Jose A. Mtnez. Salcedo, Ignacio Pita

Taller Metálico: Mecánica de Castrillón SA

Pretensado: B.B.R.

7. Referencias

- [1] MILLANES, F.; ALONSO, M. "El Nuevo Puente Mixto de Retamar sobre el Río Guadarrama, en Madrid". *Ier Congreso de la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Sevilla. Noviembre 1999.*
- [2] MILLANES, F.; CARNERERO, A. "Puente Mixto sobre el Río Mijares en la segunda calzada de la Autovía de la Plana, tramo Betxi-Borriol". *IIer Congreso ACHE de Puentes y Estructuras. Zaragoza. Noviembre 2005.*
- [3] MILLANES, F.; MATUTE, L.; MARTÍNEZ, D. "Puente sobre el río Sella en Cangas de Onís". *IIer Congreso ACHE de Puentes y Estructuras. Zaragoza. Noviembre 2005.*
- [4] MATUTE, L.; MILLANES, F.; ANTÚNEZ, G. "4 Viaductos Mixtos en México". *IIer Congreso ACHE de Puentes y Estructuras. Zaragoza. Noviembre 2005.*