

Puentes mixtos en Trubia-Llera

José Romo Martín
Alejandro Pérez Caldentey
Javier Antón Díaz
Francisco Prieto Aguilera
Julio Sánchez Delgado



RESUMEN

La autovía CN-634 entre Trubia y Llera discurre por un terreno sumamente accidentado. Ello ha obligado a proyectar numerosos viaductos con fuertes condicionantes geográficos y medioambientales. Las soluciones adoptadas consisten en puentes mixtos de sección bijácena de luces máximas de 81 metros. En la elección de la tipología estructural ha sido decisivo el proceso constructivo que debía ser compatible con las posibilidades de la obra. Los condicionantes de espacio han hecho necesario hacer modificaciones en la construcción prevista inicialmente, teniendo como premisa fundamental la seguridad de la obra.

1. ENCUADRE DEL PROYECTO

Este proyecto se encuadra dentro de la autovía CN-634 en su tramo entre Trubia y Llera en la provincia de Asturias. El terreno por el que discurre la vía es muy accidentado, lo que ha dado lugar a la necesidad de construir numerosas estructuras (viaductos y túneles) para dotar a la vía de una velocidad de proyecto de 120 km/h. El proyecto, desarrollado por FHECOR Ingenieros Consultores, consta de seis estructuras (tres en cada calzada). Cuatro de ellas sobre el río Nora (llamadas Nora 1 y Nora 2 en cada calzada) y dos sobre el arroyo del Fuejo. La longitud de los viaductos oscila entre 205 y 280 metros. Y el ancho de todos ellos es de 12.0 metros. La altura máxima sobre el suelo es de 40 metros aproximadamente.

Puentes mixtos en Trubia-LLera

La construcción corre a cargo de la UTE Trubia – Llera formada por las empresas Aldesa, Tapusa y Dicaminos. La construcción y montaje de la estructura metálica la ha llevado a cabo Joama, S.L.

Entre los condicionantes que se imponían a este proyecto se encontraban, además de los citados geográficos, los condicionantes medioambientales, en cuanto la Declaración de Impacto Ambiental imponía la necesidad de respetar la vegetación de ribera alejando las pilas próximas al cauce más de 5 metros de la misma. Esto daba lugar a estructuras que, en el caso de los viaductos “Nora 2”, superaban los 80 metros de luz principal.

Además de los condicionantes propios de todo proyecto, se tuvieron en cuenta las características de la zona en la que se ubica la obra. En el corazón de Asturias, muy cerca de Oviedo, las ventajas de la construcción metálica eran mayores que en otro lugar, donde el alto precio del acero hace que este material deba ser empleado únicamente cuando sus ventajas constructivas sean realmente determinantes.

2. ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la elección de la tipología estructural tuvo un peso muy importante el proceso constructivo que habría de seguirse. La posibilidad de ejecutar las estructuras mediante cimbra convencional no era aconsejable porque la altura máxima de los viaductos superaba los 40 metros, además de tener que saltar el río Nora, de un ancho aproximado de 60 metros teniendo en cuenta el esviaje del cruce. Igualmente la autocimbra no era posible, puesto que la luz máxima de 81 metros suponía el empleo de autocimbras no disponibles actualmente en el mercado español.

Otros procedimientos constructivos especiales, como el empuje de los tableros tampoco resultaban adecuados, puesto que algunos viaductos, como el Nora 2 en ambas calzadas, se encuentran entre un corto falso túnel a continuación de los viaductos Nora 1 y un túnel a partir del estribo 2, por lo que montar el parque de fabricación y empuje necesario no era posible por la falta de espacio.

Por tanto, entre todas las posibilidades analizadas se encontraba como más ventajosa la prefabricación, esto es,

Puentes mixtos en Trubia-Llera

construir la estructura ajena a la obra y montarla mediante medios simples que fueran compatibles con el espacio, con las fuertes laderas y los cauces de los ríos. Lógicamente la prefabricación en hormigón se antojaba muy difícil pues las luces máximas de 81 metros suponían un peso de estructura muy importante, incompatible con la maquinaria disponible para su montaje. Por todo ello y por encontrarse la obra en Asturias, zona muy industrial, se presentó la alternativa de la solución mixta como la más ventajosa desde todos los puntos de vista.

Una vez decidida la solución de la construcción mixta surgía otra gran incógnita. Esta hacía referencia a la propia tipología, es decir, puente en sección cajón o puente de vigas. Ambas soluciones eran igualmente válidas. Finalmente la solución fue un puente de dos vigas por los siguientes motivos:

- Los puentes de vigas en sección bífoca suponen una cuantía de acero estructural ligeramente inferior a los puentes en sección cajón. Esto repercutía tanto en el precio final como en el peso a movilizar.
- Un posible inconveniente de los puentes bífoca frente a los cajones es la estética, tanto por las formas como por el aumento de canto. En este caso la gran altura de los puentes sobre el terreno y la ausencia de vías importantes que discurren por abajo hacen que el puente no vaya a ser un obstáculo visual.
- También la solución de dos vigas permite la utilización de unos medios de montaje menos potentes debido a la posibilidad de elevar una viga independientemente de la otra, algo que no habría sido posible para una solución en cajón.



Figura 1. Viaducto Nora 1. Vistas inferior y superior durante la construcción

Puentes mixtos en Trubia-LLera

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

El tablero de todos los viaductos presenta sección bífoca de 12.0 metros de ancho con separación entre vigas de 6.60 metros. Las características principales de los viaductos son las que se muestran en la tabla 1.

Las vigas se encuentran arriostradas cada 6.0 metros por diafragmas transversales formados por perfiles armados. En toda la estructura metálica se ha empleado acero autopatinable S-355J2G4 para espesores menores de 50 mm. Cuando el espesor supera ese valor (realmente llega a 80 mm de espesor máximo) el acero es S-355K2G3 para evitar problemas de resiliencia.



Figura 2. Viaducto Nora 1. Detalles de la estructura metálica

| Viaducto, calzada | Luz máxima [m] | Canto metal, espesor losa, Canto total [m] | Esbeltez | Cuantía de acero estructural [kg/m ²] | Altura máxima de pila [m] |
|-------------------|----------------|--|----------|---|---------------------------|
| Nora 1, Derecha | 62.0 | 2.80; 0.30; 3.10 | 1/20.0 | 177.2 | 37.82 |
| Nora 1, Izquierda | 69.0 | 2.80; 0.30; 3.10 | 1/22.3 | 192.0 | 39.96 |
| Nora 2, Derecha | 81.0 | 2.80; 0.30; 3.10 | 1/26.1 | 190.8 | 36.56 |
| Nora 2, Izquierda | 81.0 | 2.80; 0.30; 3.10 | 1/26.1 | 188.5 | 36.13 |
| Fuejo, Derecha | 47.0 | 1.90; 0.30; 2.20 | 1/21.4 | 143.6 | 29.92 |
| Fuejo, Izquierda | 47.0 | 1.90; 0.30; 2.20 | 1/21.4 | 143.6 | 26.44 |

Tabla 1. Características principales de las estructuras.

Los espesores del alma variables entre 15 y 30 mm hicieron necesario el empleo de rigidizadores verticales cada 3.0 metros, de modo que el panel era prácticamente cuadrado, y rigidizadores longitudinales formados por perfiles armados similares a IPE-300 en zona de momentos positivos (rigidizador superior) y HEB-330 en zona de momentos negativos (rigidizador inferior).

Puentes mixtos en Trubia-Llera

Las cuantías de acero obtenidas son acordes a las ofrecidas por la bibliografía.

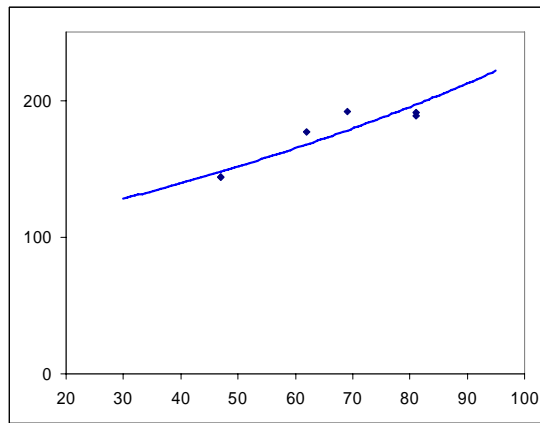
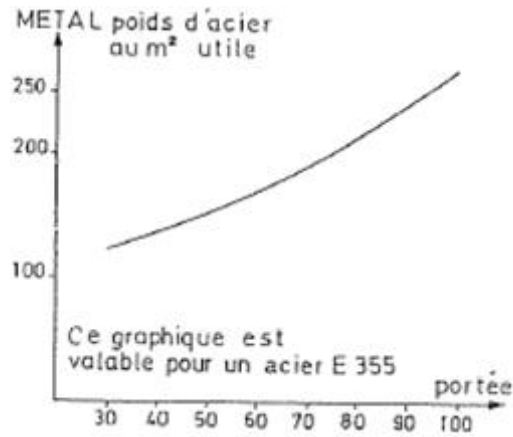


Figura 3. Cuantías: Izq. Según SETRA para $c/L = 1/28$ (ver [1]); Der. Datos de proyecto.

A continuación se dispusieron prelasas de 8 cm de espesor, que actúan como encofrado perdido colaborante. Sobre ellas se terminaba de hormigonar la losa superior de espesor variable de 15 cm en los voladizos a 30 cm sobre las vigas y 22 cm entre vigas.



Figura 4. Viaducto Nora 1. Detalles de la prelosa

Puentes mixtos en Trubia-Llera

Las pilas son de hormigón armado. Inicialmente se diseñaron todas en sección cajón (dimensiones de 4.0 x 2.0 con espesor de pared de 30 cm en los viaductos Nora 1 y Nora 2 y de 4.0 x 1.5 con espesor de pared de 30 cm en los viaductos sobre el arroyo del Fuejo), pero la obra solicitó hacer macizas las pilas del viaducto del arroyo del Fuejo por problemas constructivos.

Las pilas se encuentran coronadas por un capitel metálico relleno de hormigón para poder situar los apoyos con la separación adecuada de 6.60 metros.



Figura 5. Viaducto Nora 1. Aspecto de la pila con dintel metálico.

Los estribos son cerrados con cimentación directa en los viaductos Nora 1, Nora 2 y arroyo del Fuejo (sólo estribo 1). Los estribos 2 de los viaductos del arroyo del Fuejo son estructuras de suelo reforzado.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo adoptado en el proyecto era sumamente simple: Consistía en situar mediante grúas los vanos completos estableciendo la continuidad a quintos de luz. Esto incluía, por tanto, las dos vigas junto con todos los rigidizadores y diafragmas además de un arriostramiento provisional formado por cruces de San Andrés de $\square 25$. Una vez colocada la estructura metálica se dispondrían las prelasas para terminar de hormigonar el tablero.

Puentes mixtos en Trubia-LLera

4.1. Montaje de la estructura metálica

Cuando el espacio en obra disponible, teniendo en cuenta el cauce del río, las vías de circulación y el terreno realmente expropiado, permitía armar las dos vigas con todos los diafragmas intermedios, así se hizo facilitando la construcción. Este fue el caso de los viaductos Nora 1 y algunos tramos de los viaductos Nora 2. Además, hay que tener presente que la capacidad de las grúas que se podía emplear era limitada y podía no ser suficiente para todos los tramos previstos.



Figura 6. Izquierda - Viaducto Nora 1. Tramo preparado para su izado. Derecha - Viaducto Nora 2. Tramo montándose con una grúa

No obstante, una vez conocidas las condiciones reales en obra relativas al espacio disponible, se vio que no siempre era posible izar ambas vigas de manera conjunta con todos los diafragmas dispuestos, lo que obligó a estudiar alternativas compatibles con las posibilidades reales de la obra. Ello obligó a izar en numerosos casos las vigas de manera independiente. Este fue el caso de los viaductos Nora 2, donde el ancho del río, las carreteras paralelas al río y la estrecha franja expropiada hacía imposible disponer del sitio necesario para armar las vigas con los diafragmas, situar las grúas y levantar el conjunto a su posición definitiva.

En este caso lo primordial era garantizar la seguridad. En primer lugar había que asegurar que las solicitaciones a que se iba a someter a las vigas eran compatibles con un nivel de seguridad adecuado. En segundo lugar había que evitar la caída accidental de cualquier parte de la estructura. En este sentido lo que se hizo fue tener permanentemente las vigas sujetas hasta que la estructura estuviera completa. Así las vigas no se soltaban de la grúa hasta que estuvieran soldadas al estribo, a la pila o a las vigas montadas previamente, según los casos y arriostradas entre sí mediante diafragmas transversales.



Figura 7 Izq. Viaducto Nora 2. Izado de una viga en vano extremo. Der. Viaducto Nora 2. Izado de una viga en vano central.

4.2. Dificultades del montaje

Los mayores problemas durante el montaje podían surgir al intentar izar de una sola pieza la viga del vano principal de 80 metros de longitud. Éstas presentaban una curvatura en planta importante (radio de 700 metros):



Figura 8. Viaducto Nora 2. Vigas de 80 metros de longitud del vano central

La curvatura en planta planteaba problemas por torsión. La torsión general de la viga se debía resolver situando

los puntos de izado alineados con el centro de gravedad de la viga. Éste no era fácil de conocer por la disposición excéntrica de los rigidizadores. Los cálculos efectuados mostraban que los puntos de izado debían separarse 62 metros, dejando voladizos de 9.0 metros.

De esta forma el giro de la viga se anulaba. Pero el problema siguiente era la torsión que cada sección de la viga experimentaba por el hecho de encontrarse excéntrica respecto a la línea de unión de los apoyos. Por tratarse de una viga en doble T el mecanismo de resistencia a la torsión es básicamente no uniforme y se traduce en la aparición de un bimomento, generando esfuerzos de flexión de las alas de la viga:

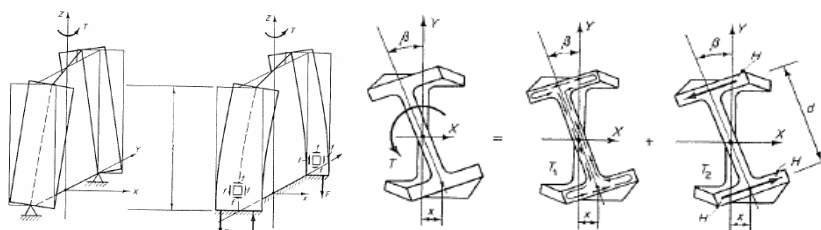


Figura 9. Mecanismo de resistencia a la torsión no uniforme (Obtenido de [2]).

Puentes mixtos en Trubia-LLera

Con las dimensiones de las alas (superior de 500 mm de ancho e inferior de 700 mm de ancho) el bimomento suponía unas tensiones extraordinariamente elevadas, incompatibles con la resistencia del material. El cálculo tensional efectuado mostraba que la luz de la viga sometida a torsión no uniforme no podía ser superior a 35 metros. Por ello el montaje de la viga de 80 metros de longitud sólo era posible disponiendo varios puntos de izado que requerían la presencia de, al menos, dos grúas de gran tonelaje. Esto era incompatible con las características propias de la obra, tanto en disponibilidad de medios como en espacio físico para situar las grúas. De esta forma se tuvo que recurrir a cortar las vigas ya preparadas para izarlas en dos tramos, el mayor de ellos de 50 metros, de forma que mediante una única grúa (y dos puntos de izado) se respetaba la condición deducida del cálculo.



Figura 10. Primer tramo sobre pila

Así el tramo previsto de 80 metros que cubría $\frac{4}{5}$ del vano principal y $\frac{1}{5}$ del vano siguiente se dividió en dos tramos. El primero se montó sobre la pila y dos torres provisionales, cubriendo un quinto de cada vano a cada lado de la pila.

A continuación se procedió con el siguiente vano que llegaba hasta el estribo, de forma que las torres provisionales quedarán libres de carga al estar concluida esta fase.



Figura 11. Montaje del último vano.

Puentes mixtos en
Trubia-LLera

De esta forma las vigas de 50 metros de longitud que cubrían los $\frac{3}{5}$ del vano principal se montaban cuando los tramos adyacentes estaban concluidos, pues ya se habían colocado los diafragmas intermedios. Se subió la primera viga y se soldó a los tramos adyacentes disponiendo una grúa en el punto medio, porque la luz de 50 metros era excesiva frente a los esfuerzos de torsión. De esta forma la luz a torsión era de 25 metros, compatible con la resistencia de la viga.



Figura 12. Montaje del último vano. Viga 1.

Por último, se izaba la viga interior. Hasta que esta viga no estaba soldada a los tramos adyacentes y arriostrada con la viga exterior por medio de diafragmas transversales no se soltaban las grúas



Figura 13. Montaje del último vano. Viga 2.



Figura 14. Montaje del último vano. Vigas independientes sujetas mediante las grúas.

Puentes mixtos en
Trubia-LLera

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] “Ponts mixtes acier-beton bipoutres. guide de conception”. Service d’études techniques des routes et autoroutes (SETRA). Direction des routes. Ministère de l’urbanisme du logement et des transports.

[2] Mc Guire, W.: “Steel structures”. Prentice Hall. 1968

[3] Dubas, P. y Gehri, E.: “Behaviour and design of steel plated structures”. ECCS, 1986.

[4] Timoshenko, S. y Goodier, J.N.: Theory of elasticity. McGraw-Hill, 1951.