

JORNADA TÉCNICA 2009

DISEÑO Y CONCEPCIÓN DE PUENTES DE CARRETERA

CONCEPCIÓN Y DISEÑO DE PUENTES MIXTOS Y METÁLICOS

LUIS MATUTE RUBIO

IDEAM S.A.

RESUMEN

Los puentes mixtos y metálicos de carretera en España han evolucionado, durante los últimos 40 años, desde un papel meramente testimonial y de carácter excepcional, hasta lograr un porcentaje significativo dentro de la construcción de puentes, especialmente en luces medias y grandes. Actualmente, aunque, las soluciones en hormigón pretensado son difícilmente batibles en luces pequeñas, las estructuras mixtas permiten aportar soluciones técnicas y económicamente competitivas, permitiendo ganancias en plazos, ahorro en medios auxiliares y garantía de calidad en la ejecución, lo que le otorga ventajas en numerosas ocasiones.

PALABRAS CLAVE

Puentes mixtos, puentes metálicos, empuje de puentes mixtos, arcos mixtos.

1. INTRODUCCIÓN

Las actuales tendencias en el proyecto y construcción de puentes mixtos en España se inician en los últimos años 60 y primeros de los 70, a partir de las obras de los ingenieros J.A Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón, sin olvidar las ideas preliminares establecidas por D. Eduardo Torroja.

Estas primeras realizaciones, aunque esporádicas dentro de las soluciones de hormigón, constituyeron obras muy relevantes, en muchos casos 10 ó 15 años por delante del desarrollo europeo en el campo de los puentes mixtos.



Fig.1 y 2: Puentes de Juan Bravo y del Diablo (cortesía de MC2/Ideam)

La aportación de la doble acción mixta, con el hormigonado de los fondos de los cajones en la zona de flexión negativa, generalizada en España desde los años 80, apenas se comenzó a utilizar en Europa 10 ó 15 años después. Las importantes reducciones de espesor de metal en paneles comprimidos y las mejoras en ductilidad e inestabilidad de paneles, abrieron en su día un importante campo a la estructura metálica, en colaboración ventajosa con el hormigón.

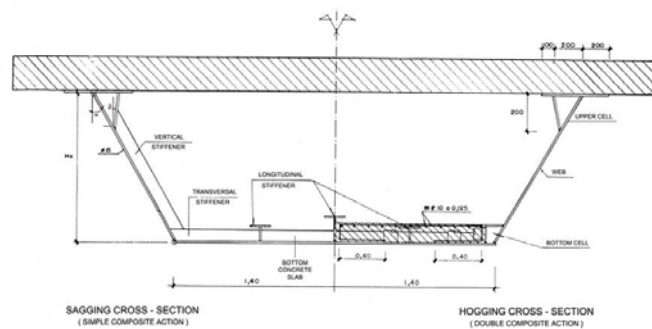


Fig.3: Doble acción mixta en sección cajón

Con estos antecedentes, el importante impulso al desarrollo de infraestructuras promovido en España durante la última década, ha obligado a hacer frente a una demanda de prestaciones técnicas y ritmos de ejecución con pocas vistas en el ámbito internacional.

Adicionalmente, las mayores exigencias de seguridad en el trazado y la minimización de las afecciones medioambientales han exigido, con cada vez mayor frecuencia, soluciones de puentes con luces de más de 100 m, con alturas de pilas de más de 100 m.

Por otra parte, la construcción de estructuras sobre vías de comunicación con alta densidad de tráfico, con enlaces a múltiples niveles, obliga a procesos constructivos que minimicen las afecciones sobre las vías existentes.

Es en este entorno donde los puentes metálicos y mixtos encuentran su acomodo y muestran sus ventajas. La variedad de tipologías y diseños, los variados procesos constructivos, la posibilidad de una asociación "ad hoc" con el hormigón, han abierto el espacio en que se debe situar la ingeniería de puentes mixtos y metálicos en el futuro.

- Campo de luces medias y medio-altas, entre 60 y 120 m de luz, que quedan fuera de las soluciones prefabricadas o con autocimbras

convencionales de hormigón donde la ligereza de la sección metálica frente al hormigón.

- Actuaciones sobre vías de alta capacidad o ferrocarril, o en zonas urbanas, donde la urgencia de minimizar la afección de los procesos constructivos favorecen soluciones metálicas, con montajes rápidos, limpios y seguros.
- En el campo de las luces altas, el menor peso del acero permite reducir el coste y magnitud de los sistemas auxiliares de montaje y permite la innovación en los más variados procesos constructivos.

2. SOLUCIONES EN LUCES MEDIAS

Aunque ya desde hace tiempo se proyectan soluciones mixtas en este rango de luces, en los últimos tiempos se han desarrollado innovaciones estéticas y técnicas que han dado un nuevo impulso a las soluciones mixtas.

Los puentes mixtos están mostrando su efectividad para resolver pasos superiores sobre autovía y, en los últimos años, han encontrado un campo importante en las glorietas elevadas, donde la flexibilidad geométrica del metal permite solucionar casi cualquier geometría.

Las secciones transversales son en estos casos cajones cerrados, con un cajón único, con o sin jabalcones, o cajones múltiples en función del ancho del tablero.

Dentro de este campo se encuentran soluciones que integran las pilas en la dinámica de la glorieta.

Fig. 4 IGNACIO

También dentro del campo de los pasos superiores sobre autovía las exigencias de trazado dan lugar a luces de 60 m o más con cierta frecuencia,

debido a los cruces esviados o curvos de los ramales. En estos casos, los cajones mixtos de canto variable con doble acción mixta, con cuantías en torno a 160 kg/m^2 de acero estructural, resultan muy competitivos tanto económicamente como desde el punto de vista del montaje.



Fig. 6 IGNACIO

Fig.5 y 6: Enlace de Viana en Logroño y Puente sobre la N-II en Madrid

Además de los puentes sobre viales, los puentes mixtos son altamente competitivos en el caso de luces medias, con soluciones en dintel de canto variable.

Además de la solución ya clásica en cajón, en los últimos años se han desarrollado, para puentes en tramos rectos rectos, puentes mixtos con solución doble viga (al estilo bi-poutre francés)

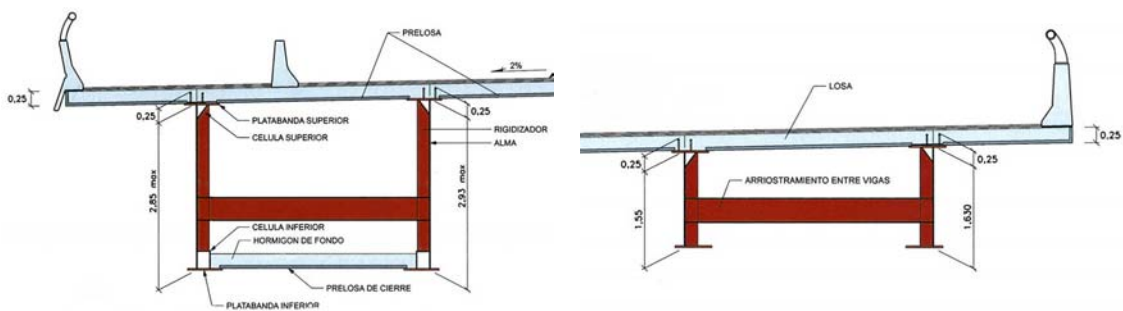


Fig.7 y 8:

Esta sección presenta, frente al tradicional cajón mixto, importantes ventajas:

- Fabricación totalmente automatizada de las vigas portantes, con el siguiente ahorro en el precio final del acero.
- Radical reducción de las necesidades de rigidización.
- Simplificación en los detalles de soldadura.
- Reducción de los arriostramientos transversales



Fig.9: Viaducto sobre el río Jarama



Fig.10 y 11: Viaducto Betxi-Borriol. Montaje de sección doble viga



La ligereza de esta tipología permite a su vez montajes por empuje altamente competitivos. Pueden realizarse empujes que incluyan incluso la losa inferior y las prelasas superiores, con rendimientos de 6/10 m hora, lo que permite el paso, con reducidos costes y afecciones al tráfico, sobre carreteras, líneas de ferrocarril o zonas habitadas.



Fig.12 y 13: Viaducto empujado del Picado (cortesía de Fhecor/Dragados)

3. PUENTES DE GRANDES LUCES

Es en este campo, donde la reducción del peso del acero repercute decisivamente en el coste de los elementos y sistemas auxiliares de montaje, donde las estructuras mixtas han extendido últimamente su campo de aplicación a prácticamente todas las tipologías estructurales.

En algunos casos, como las celosías y arcos, el impulso de las soluciones mixtas ha sido básico para el renacimiento de las tipologías.

A su vez, el uso integrado de soluciones de hormigón armado y pretensado con sistemas mixtos en soluciones híbridas, permite el máximo aprovechamiento de las potencialidades resistentes, estéticas y constructivas de ambos materiales.

Entre las realizaciones más relevantes citaremos las siguientes:

- **Soluciones celosía**

En los últimos tiempos se ha producido un auténtico resurgir de esta tipología, con luces entre 80 y 180 m.

Su eficacia resistente permite importantes economías de acero, y su estética y transparencia permiten su inserción en entornos de especial relevancia.

Se trata de estructuras en simple o doble acción mixta. Permite el uso de perfiles tubulares o de cajones de chapa, y es habitual su construcción por empuje.



Fig.14 y 15: Puente de San Vicente de la Sonsierra sobre el río Ebro y Puente del Embalse de Contreras (cortesía de MC2/Ideam/Dragados)



Fig.16 y 17: Puente Embalse García Sola (cortesía de Carlos Fernández Casado/Sacyr)

- **Soluciones arco**

Esta tipología, asociada tradicionalmente al hormigón por el trabajo a compresión de los arcos, se adapta muy favorablemente a los sistemas mixtos y metálicos. El montaje únicamente de la sección perimetral metálica permite facilitar enormemente los procesos constructivos y reducir el coste de los medios auxiliares. Una vez cerrada la clave se procede al relleno, mediante bombeo de hormigón autocompactable, del interior de la sección, conformando una sección mixta de gran capacidad.

Alternativamente se pueden plantear secciones exclusivamente metálicas, más ligeras, con cajones múltiples de secciones compactas, de forma que se pueda aprovechar el acero al máximo evitando abolladuras locales.

Encontramos aquí realizaciones que combinan acero y hormigón en diversas proporciones:

- Arco mixto con tablero superior también mixto (Ricobayo, 168 m de luz), con montaje con celosía triangular activa provisional.



Fig.18 y 19: Arco Mixto de Ricobayo (cortesía de Ferrovial-Agromán)

- Arco mixto con tablero de hormigón, con montaje parcialmente apeado (Navia 160 m de luz)



Fig.20: Viaducto de Navia (cortesía de FCC)

- Arco metálico con tablero mixto: el Puente de Alconétar, (luz 220 m), montado por un espectacular proceso por rotación y abatimiento desde ambas márgenes y posterior empuje del tablero.



Fig.21 y 22: Puente de Alconetar (cortesía de OHL/Etípsa)

- En el rango de 100-150 m resultan muy atractivos los arcos atirantados con tablero inferior (bow-string), con arcos y tirantes en sección tubular y tableros mixtos en transversal.

El sistema network, con péndolas cruzadas, permite la máxima eficiencia estructural, anulando prácticamente las flexiones y permitiendo esbelteces de hasta 1/50 en tablero y arco.



Fig.23 y 24: Puente sobre el río Deba y sobre el Guadalquivir en Palma del Río

A su vez, esta tipología permite soluciones con altos componentes estéticos y magníficas integraciones urbanísticas.



Fig.25 y 26: Puente sobre el Ebro en Logroño (cortesía de Carlos Fernández Casado) y Puente acceso de Valdebebas a Terminal T4 de Barajas

- **Soluciones ábaco**

En esta solución de la doble acción mixta no se limita al hormigonado inferior del fondo de cajón sobre apoyos sino que se muestra exteriormente con un fuerte incremento de canto en el hormigón inferior. Esto permite reducir radicalmente las flexiones positivas en centro de vano y permite alcanzar importantes esbelteces (hasta 1/50).

Por otra parte, esta solución permite combinar las diferentes texturas y acabados del acero y el hormigón, permitiendo distintas posibilidades estéticas. Adicionalmente, posibilita transiciones de vanos de hormigón a vanos mixtos, utilizando cada material de forma óptima en cada posición.



Fig.27: Puente del Arenal en Córdoba (cortesía de MC2)



Fig.28: Puente sobre el río Nalón

La solución ábaco permite potenciar las posibilidades de los procesos por empuje, limitando éste a la subsección metálica de canto constante entre extremos de ábacos, a los que se vincula monolíticamente al acabar el empuje.



Fig.29: Puente empujado de Santa Lucía en Montevideo (cortesía de MC2))

Por otra parte, no debemos olvidarnos de las posibilidades que permiten las soluciones mixtas para resolver procesos constructivos complejos. A modo de ejemplo, además del ya nombrado puente de Alconetar, se deben mencionar los sistemas de montaje con torres tiro en la margen opuesta al lanzamiento.



Fig.30 y 31: Lanzamiento del puente de Lanjarón y del Pabellón Puente de ExpoZaragoza 2008 (cortesía de Dragados)