

VERSATILIDAD FORMAL Y FUNCIONAL DE PASARELAS Y PUENTES MIXTOS

Juan Luis Bellod, Peter Tanner
CESMA Ingenieros
C/ Villa de Marín 6, Local 4. 28029 Madrid
e-mail: cesma@acttec.com

Resumen

A través de un conjunto de pasarelas y puentes mixtos, proyectados por CESMA Ingenieros, se pone de manifiesto la enorme versatilidad formal y funcional que puede presentar esta tipología estructural cuya popularidad no ha dejado de crecer en los últimos años. Se muestran diversos sistemas longitudinales, viga continua, pórtico, arco o estructuras atirantadas. También en sentido transversal existe una gran variedad de soluciones, adaptando la sección de un puente o de una pasarela a las circunstancias particulares de cada caso. Por último, las posibilidades que brindan los procesos de montaje de la estructura metálica y el posterior hormigonado de la losa incrementan más todavía el atractivo de la solución mixta para las pasarelas y los puentes, especialmente en los casos con exigentes condiciones de borde.

1. Introducción

En el marco del proyecto de la mayoría de los puentes y pasarelas, el problema principal reside en la traducción geométrica de los condicionantes funcionales a una solución estructural que resulte consistente. No obstante, en un número creciente de casos, a esta dificultad básica se le añaden una serie de requisitos, frecuentemente contradictorios, que inciden de manera decisiva en la adopción de la solución estructural. Requisitos de este tipo son, por ejemplo, los relacionados con la obra, con los métodos de construcción, con los condicionantes económicos, o con los plazos de ejecución. Además, por parte de muchos usuarios y numerosas administraciones existe una creciente demanda de algo más que puentes estrictamente funcionales [1]. También deben ser estéticamente atractivos, y eso sin incrementar su coste.

Una de las características más destacadas de las pasarelas y los puentes mixtos reside en su potencial de adaptación a las más diversas condiciones de borde. Proporcionan una gran libertad para la adopción de conceptos estructurales que conduzcan a soluciones a la vez económicas y de un alto valor estético, teniendo en cuenta las complejas interacciones entre geometría, funcionalidad, y métodos de fabricación y montaje. Esta característica se presenta a través de una

serie de realizaciones, divididas en pasos superiores y puentes (apartado 2), puentes para tráfico ferroviario (apartado 3), viaductos para tráfico viario (apartado 4) y pasarelas (apartado 5).

2. Pasos superiores y puentes

2.1. Pasos superiores en la autovía de Valencia

En el tramo Minglanilla-Caudete de las Fuentes de la Autovía Madrid-Valencia se han construido cinco pasos superiores formados por una viga cajón mixta continua de una célula y canto variable, con un vano central de 37 m y vanos laterales de 16 m. El canto variable se materializa por sendos acartelamientos curvos desde la pila hasta 1/5 de la luz del vano central.

El desequilibrio entre los vanos laterales y el vano central determinó el empotramiento del tablero en el estribo. Esta tipología estructural denominada puente integral, de uso frecuente en bastantes países de nuestro entorno, apenas se ha utilizado en España. Entre otras ventajas elimina la disposición, y por tanto la conservación de los apoyos de neopreno y de las juntas de dilatación en estribos. También mejora la funcionalidad del tablero en el encuentro con el terraplén al reducir los efectos dinámicos debidos al paso de los vehículos.

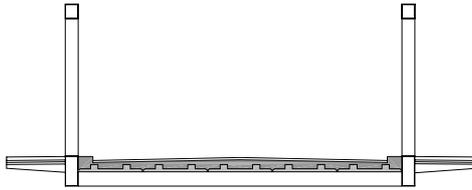
El hormigonado de la losa en la zona entre almas se ejecuta sobre una prelosa no colaborante, apoyada en las platabandas superiores, y en la zona de vuelos sobre un encofrado sustentado por una estructura auxiliar apoyada sobre el cajón metálico.



2.2. Puente arco sobre el río Tenaia, Amorebieta

La estructura, concebida como doble arco superior con tirante inferior, se adapta a las desfavorables condiciones geotécnicas, transmitiendo únicamente reacciones verticales al terreno. Las estructuras convencionales con esta tipología requieren elementos de compresión cuyas dimensiones pueden ser importantes. La disposición de diagonales rígidas de conexión entre cada arco y su tirante permite una reducción considerable de la excentricidad del esfuerzo axial de compresión, traduciéndose en una mayor esbeltez de los arcos.

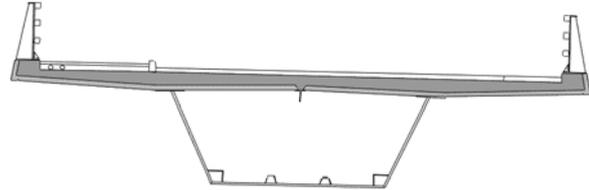
El tablero está resuelto con un conjunto de vigas mixtas transversales, que se prolongan por ambos lados del puente en forma de ménsulas, sirviendo de soporte a las aceras. De este modo los arcos separan físicamente el tráfico peatonal del tráfico rodado y se logra una mejora funcional del puente.



2.3. Puente del enlace de Ugasko

El puente del enlace de Ugasko permite el paso de un ramal sobre el tronco principal de la Autopista de los túneles de Artxanda. Se ha proyectado un cajón mixto de un solo vano de 47 m de luz y canto variable. El tablero está rígidamente unido a los estribos huecos constituidos por una losa que soporta las cargas de tráfico, empotrada en sendos muros que ocultan la caída de tierras y forman un recinto cerrado en cuyo interior se dispone un relleno que sirve de contrapeso.

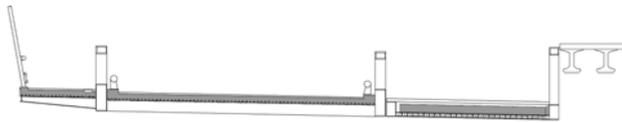
El cajón metálico está formado por una chapa inferior de ancho constante y dos almas inclinadas y rematadas con sendas platabandas superiores sobre las que se dispone la conexión con la losa de hormigón armado de canto variable. Su construcción se realizó con prelasas colaborantes sobre las que se vierte el hormigón in situ.



2.4. Sustitución del puente de San Agustín en Puertollano

La sustitución del antiguo puente de San Agustín situado en el casco urbano de Puertollano (Ciudad Real) sobre la actual línea del AVE Madrid-Sevilla, debía eliminar el estrechamiento de la calle a su paso sobre las vías e integrar urbanísticamente otro puente próximo - construido en paralelo recientemente, aunque nunca utilizado- cuyo plano horizontal estaba muy por encima de la actual calle de fuerte pendiente.

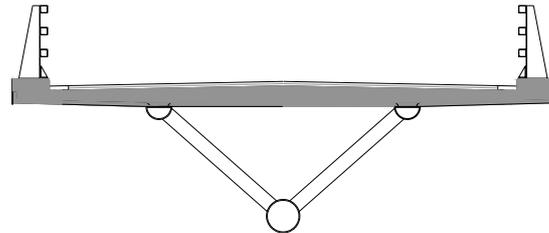
La solución propuesta contempla crear un amplio paso peatonal al mismo nivel, pero independizado del tráfico de vehículos, mediante la disposición de unas celosías metálicas. Dichos elementos emergen de uno de los extremos del puente y se apoyan visualmente en las líneas tangentes de ambos tableros, acompañando al peatón en todo su recorrido. El objetivo último era conseguir un diseño de carácter unitario que ordenase esta trama urbana tan particular.



2.5. Puente de la Venta del Jamón

La estructura, concebida como una celosía mixta, permite salvar un desnivel de unos 25 m sobre la carretera AS-18 en Asturias. Las desfavorables condiciones geotécnicas de las laderas impiden cualquier solución tipo arco o pórtico con pilas inclinadas. En estas condiciones, es preciso acudir a un puente convencional de tres vanos, disponiendo las pilas a media ladera. Frente a una solución de cajón mixto, frecuente en nuestro país, se ha optado por una tipología de celosía mixta con un perfil tubular circular como único cordón inferior, del cual arrancan las diagonales también tubulares y situadas en dos planos. Los cordones superiores están formados por semitubos circulares cerrados por una chapa y sobre la que se disponen los dispositivos de conexión con la losa de hormigón del tablero. Su construcción se realiza con prelasas colaborantes sobre las que se vierte el hormigón “in situ”.

Las pilas son mixtas, con sección metálica hueca rellena de hormigón. Su forma rectangular se remata en los extremos con sendos semicírculos que alivian la sensación de pesadez y anuncian las formas circulares del resto del puente.

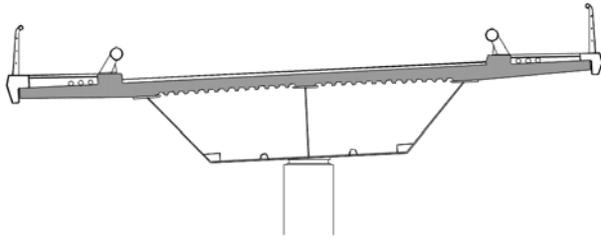


2.6. Puente sobre rambla en Santa Eulalia

La variante de Santa Eulalia en Ibiza ha exigido la construcción de un puente sobre una rambla próxima al mar. La solución estructural escogida consiste en un cajón mixto de dos células y canto variable con un vano central de 34 m y vanos laterales de 12 m. La descompensación entre las luces de los vanos laterales y el central ha llevado a adoptar una solución de puente integral, sin juntas, empotrando el tablero a los estribos que están formados por muros de reducido espesor y gran flexibilidad.

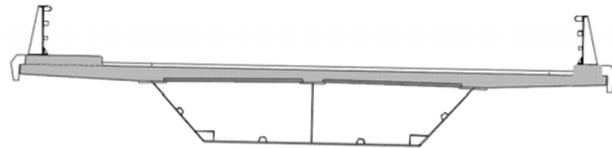
La barrera dispuesta en el borde interior de la acera está formada por un tubo de gran diámetro. Las barandillas se conforman por medio de montantes verticales, tensores horizontales de acero inoxidable y pasamanos de madera.

El proceso constructivo preveía el apeo del cajón metálico en el vano central y el cimbrado de los vuelos de la losa. En la zona entre almas el hormigonado de la losa se efectuó sobre una chapa grecada.



2.7. Rotonda elevada en Santa Ponça

El desdoblamiento de la carretera C-719 en las proximidades de Santa Ponça ha requerido la construcción de una rotonda elevada resuelta por medio de dos estructuras integrales, formadas por una viga cajón mixta empotrada en los estribos con un único vano de 30 m de luz. La curvatura en planta y la disposición de los estribos, paralelos a la calzada inferior, determinan un fuerte esviaje del tablero. El empotramiento del tablero en el estribo sólo es efectivo para la sobrecarga, lo que ha exigido una ejecución basada en este concepto.



2.8. Puente y pasarela peatonal en la Avenida de Córdoba

La remodelación de la Avenida de Córdoba en Madrid ha requerido la construcción de una rotonda elevada de gran diámetro resuelta por medio de dos estructuras formadas por dos vigas cajón mixtas apoyadas en los estribos con un único vano de 31 m de luz media. La curvatura en planta y la disposición de los estribos, paralelos a la calzada inferior determinan un fuerte esviaje del tablero. El desvío del tráfico bajo el puente permitió el apeo del cajón metálico y el cimbrado de la losa. En la zona entre almas el hormigonado se efectuó sobre encofrado perdido. Paralelamente al tráfico de vehículos de la calzada y a 4 m de ella se disponía un paseo peatonal de 5 m de ancho que había que dar continuidad en la zona de paso sobre la avenida de Córdoba, disponiendo una pasarela peatonal formada por un cajón metálico con canto hacia arriba y un conjunto de vigas mixtas transversales de canto variable empotradas inferiormente y sobre las que discurría el tráfico peatonal. La zona de separación entre la calzada y el paseo queda cubierta por un conjunto de vigas transversales prolongación de las vigas que soportan la losa de la pasarela y que se unen en sentido longitudinal por un nervio metálico.

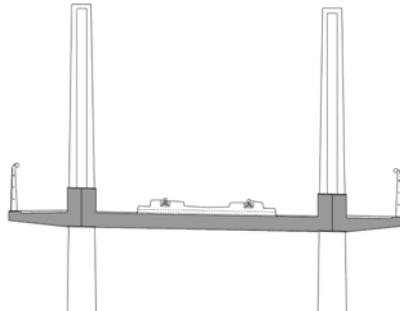


3. Puentes para tráfico ferroviario

3.1. Puente extradosado con tablero mixto en Zaragoza

Situado en las inmediaciones de la nueva estación de Alta Velocidad Delicias-Zaragoza, este puente de planta curva y fuerte esviaje respecto a las 8 vías que cruza sostiene una vía de maniobra y sendas pasarelas de mantenimiento. El esviaje y la disposición lateral de las pilas determinan el alzado del conjunto caracterizado por tres pares de triángulos, formado cada uno de ellos por dos tirantes y el tablero [2].

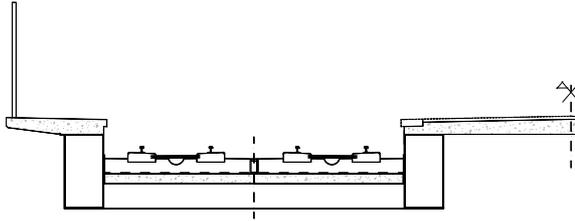
El tablero mixto de 8,2 m de ancho está constituido por dos jácenas separadas 5,2 m y una losa inferior de hormigón armado con ménsulas de 1,5 m en ambos lados. La vía del tren se aloja entre las vigas longitudinales antepechadas, separando físicamente el personal de mantenimiento del tráfico ferroviario. La longitud total del puente de 124 m se divide en cuatro vanos y cada viga se apoya en pilas circulares mixtas, alineadas con las vías y esviadas respecto al tablero sobre el que se elevan 4,4 m. La disposición de tirantes rígidos que conectan la cabeza de cada pila con la viga correspondiente permite limitar el canto de las vigas a 800 mm. La estabilidad fuera del plano se alcanza uniendo el tablero con las pilas formando unos marcos que resisten la fuerza centrífuga.



3.2. Intercambiador Sierra de Guadalupe en Vallecas

El Intercambiador de Sierra Guadalupe en Vallecas permite la comunicación entre la línea de ferrocarril de cercanías y la línea I de Metro. Entre las obras realizadas destaca una estructura mixta sobre la rotonda que rodea el Intercambiador y que permite el paso de cuatro vías de ferrocarril. El gálibo muy estricto, que exigía un canto reducido, y las condiciones de ejecución por fases con cortes y desvíos del tráfico ferroviario propiciaban la adopción de una solución de cajones mixtos unidos inferiormente por vigas transversales mixtas sobre las que se montaba la vía. La losa superior de hormigón servía de andén y zona de espera de los viajeros.

El tablero es mixto, constituido por un cajón metálico de canto constante y sección rectangular y una losa de hormigón con prelasas colaborantes sobre las que se vierte el hormigón in situ. En la zona del encuentro con las pilas se establece una doble acción mixta hormigonando el fondo del cajón metálico. Las pilas son circulares de hormigón armado.



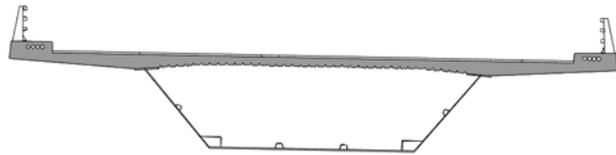
4. Viaductos para tráfico viario

4.1. Puente cajón mixto sobre el río Besós en Mollet

El puente de Mollet, de una longitud total de 334 m, permite la comunicación entre Mollet del Vallès y Martorell cruzando la Autopista A-17, la futura línea de alta velocidad Madrid-Barcelona y el río Besós. Con una fuerte curvatura en planta y un ancho de plataforma variable entre 15 y 22 m, el puente se ha concebido como una viga mixta continua de canto variable, con un cajón metálico trapezoidal y una losa de hormigón con vuelos de 4 m.

El paso sobre la autopista exigía un vano lateral de 60 m de luz, igual a los adyacentes. Con el fin de atenuar las desventajas de esta distribución de luces sin incrementar las dimensiones de la sección, se optó por un empotramiento parcial de la viga mixta en el estribo. A estos efectos, se voló el cajón sobre la línea de apoyos disponiendo cables de anclaje activos en el trasdós del estribo. El hormigonado de la losa se efectuó sobre una chapa grecada en la zona entre almas y con la ayuda de un carro de avance en los vuelos.

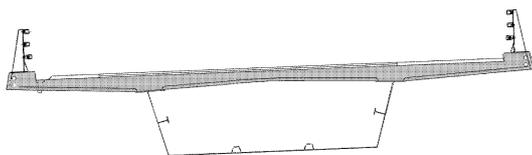
Las pilas están formadas por dos fustes poligonales de hormigón conectados por una doble pared mixta de acero-hormigón.



4.2. Viaductos de Vega de Anzo y Barrera

La variante de la CN-634 en el tramo: Llera-Grado en Asturias ha requerido la construcción de dos importantes viaductos de 195 m de longitud distribuidos en tres vanos con una luz máxima del vano central de 79 m con una leve curvatura en planta y una plataforma constante de 15,4 m. El puente se ha concebido como una viga continua mixta de canto variable, con un cajón metálico

trapezoidal y una losa de hormigón con vuelos de 4,1 m. Las pilas son de hormigón armado y están formadas por dos fustes troncocónicos de 1/25 de pendiente y 25 m de altura máxima.

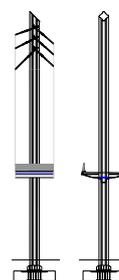


5. Pasarelas

5.1. Pasarela atirantada mixta en la Orotava

La pasarela atirantada construida en La Orotava (Tenerife) tiene un vano principal de 55 m y un vano lateral de 22 m. Para la suspensión del tablero se dispone un plano de tres tirantes en semiarpa y dos planos de tres cables de retenida, también en semiarpa, que se anclan en el tablero y equilibran la fuerza horizontal transmitida por los tirantes del vano principal. La fuerza vertical transmitida por los cables de retenida pasa, a través de una pila-tirante a un contrapeso formado por un cajón de hormigón relleno de grava. Las cargas horizontales longitudinales se transmiten al estribo situado en el extremo del vano principal a través de dos tirantes.

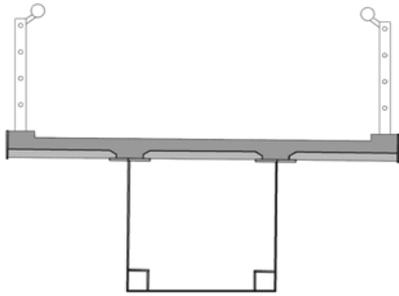
El tablero sólo transmite cargas verticales al pilono que está formado por un cajón metálico cuadrado relleno de hormigón y unos nervios metálicos cilíndricos dispuestos en cada cara. El tablero está constituido por un cajón metálico trapezoidal abierto con un alma central y dos almas laterales fuertemente inclinadas conectadas a una losa hormigonada sobre una chapa grecada apoyada en los diafragmas.



5.2. Pasarela peatonal sobre el río Sil en Ponferrada

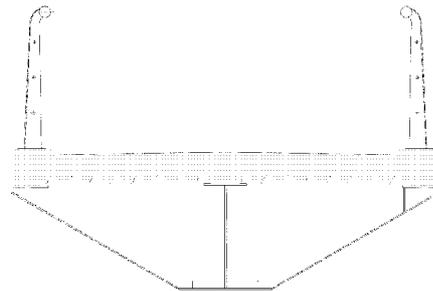
La pasarela peatonal en Ponferrada (León) se ha construido en el marco de la recuperación de las márgenes del río Sil. La concepción como pórtico con pilas inclinadas permite reducir la luz central, obteniendo vanos con luces económicas en toda la longitud (20 – 34 – 20 m). La activación del empuje horizontal a través de la inclinación de las pilas conduce a una redistribución favorable de los momentos en el tablero. El empotramiento del tablero en las pilas permite incrementar su esbeltez en el centro del vano.

El tablero es mixto, constituido por un cajón metálico de canto variable y una losa de hormigón con prelasas colaborantes de 2,9 m de ancho sobre las que se vierte el hormigón "in situ". En la zona del encuentro con las pilas se establece una doble acción mixta hormigonando el fondo del cajón metálico. Las pilas son metálicas con una sección variable en cajón, disminuyendo la rigidez a flexión hacia la cimentación. El desvío de las fuerzas en el encuentro entre pilas y dintel se asegura mediante unos diafragmas adaptados al flujo de las fuerzas.



5.3. Pasarela peatonal en Santa Ponça

Completa la intervención de la rotonda en Santa Ponça, una pasarela peatonal de tres vanos con una luz máxima de 33 m, de tipología mixta, constituida por un cajón metálico de canto constante y forjado mixto con chapa grecada apoyada en los diafragmas. Las pilas rectangulares mixtas están formadas por dos platabandas laterales que se prolongan en el interior del cajón empotrando las pilas a éste.



5.4. Pasarela peatonal en Cuenca

Sobre la CN-320 se ha proyectado y construido una pasarela peatonal que comunica los barrios de Villaluz y Villarromán en Cuenca. La estructura está concebida como una viga cajón de canto variable con una luz principal de 37.4 m que salva la carretera y un vano lateral muy descompensado de 7.5 m que determina el empotramiento de la viga en el apoyo intermedio. El apoyo extremo del vano mayor se materializa por medio de una pila octogonal empotrada al tablero. El apoyo del vano menor se realiza sobre una pila arbórea de 3 ramas de hormigón armado, unidas al cajón metálico en los extremos más alejados por medio de barras pretensadas.

El ancho de la pasarela es constante en la zona de mayor luz y variable en la zona final entre las ramas de la pila de hormigón.

Por razones formales las almas del cajón metálico tienen una fuerte curvatura lo que unido al canto variable determina una geometría muy atractiva y complicada. La losa de hormigón ocupa todo el ancho superior del cajón metálico y está conectada a las alas y diafragmas transversales. Como encofrado se ha utilizado una chapa grecada colaborante.



6. Observaciones finales

Por regla general, unas condiciones de contorno que impliquen grandes dificultades en el momento de adoptar una solución estructural para una pasarela o un puente, se suelen percibir como molestas. Sin embargo, condiciones de este tipo a menudo se pueden revelar como un catalizador para una solución estructural especialmente consistente, o incluso innovadora.

Es en estas circunstancias en las que el recurso a una solución mixta resulta particularmente indicado. Efectivamente, la posibilidad de combinar dos materiales tan complementarios como son el acero y el hormigón, aprovechando las ventajas de cada uno de ellos y de los dos en conjunto, brinda un amplio espectro de soluciones conceptuales y formales que se pueden adaptar con facilidad a las más diversas circunstancias. Por este motivo, los puentes mixtos permiten traducir con éxito unos condicionantes de gran complejidad en soluciones estructurales que conjugan de manera óptima fiabilidad, funcionalidad, economía y estética.

7. Referencias

- [1] KUMARASENA S., McCABE R., ZOLI T. and PATE D. *Zakim, Bunker Hill Bridge, Boston, Massachusetts*, Structural Engineering International, Vol. 13, No. 2, 2003, pp. 90-94.
- [2] TANNER, P. and BELLOD, J.L. *Salto del Carnero railway bridge. Concept and design*. In: Steel bridges extend structural limits, Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier OTUA (Ed.), Paris, 2004.