

Arcos con tablero intermedio en España en la primera mitad del siglo XX

Francisco Javier Rubiato Lacambra

Este estudio sigue la línea de investigación emprendida hace ya muchos años por la Historia de la Construcción de puentes en nuestro país. La selección de este tipo de puente «arco con tablero intermedio» se produce al indagar en el origen de las estructuras que aquí se muestran. Nos llama la atención: la época de su construcción, el atractivo de la misma, lo novedoso de su configuración para la etapa histórica de su ejecución en relación con el material utilizado, y lo escaso de la utilización de esta tipología en nuestro país.

Empezando por la última cuestión. La escasez de dicha tipología en nuestro territorio, llevó a buscar otras estructuras similares. Tras realizar un rastreo, sólo se localizaron cuatro obras de semejantes características en todo el territorio nacional. Es posible que algún caso haya quedado atrás, aunque creemos que no. Este hecho advierte en sí mismo de la singularidad de estos ejemplos.

En segundo lugar, en lo que concierne a lo novedoso, en las fuentes documentales de la época se señala la innovación que supone la utilización de este esquema estructural. Siendo lo habitual, en el caso de la inversión de posición entre el arco y el tablero, que el arco se encontrara con el tablero en la base de sus arranques, uniendo los mismos. Actúa así como tirante que ayuda en la cohesión del conjunto frenando los empujes horizontales del arco. Como es sabido, este modelo se conoce con el nombre inglés de Bow-string. El tablero convertido en tirante, transforma el arco en su forma de actuar en una viga, de modo que

los resultados tensionales son verticales y no horizontales como cabría esperar de un arco.

Por otro lado, la utilización de este esquema estructural vino de la mano de un material específico: el metal y más concretamente del acero. Multitud de estructuras Bow-string han poblado los paisajes de medio mundo y también de España, dando servicio tanto a ferrocarril, sobre todo al principio, como con posterioridad, también a la carretera.

La disposición del tablero superando la altura de los arranques del arco, pero no la flecha, supone además de una novedad, un cambio conceptual, en cuanto al esquema resistente de la estructura. A esto hay que añadir que en las estructuras que aquí tratamos, el material utilizado no es metálico, sino hormigón armado, por lo que el funcionamiento estructural nada tiene que ver con el esquema de arco atirantado clásico. Este motivo fue otra de las cuestiones que atrajo la atención en nuestra investigación.

En tercer lugar, se trata de estructuras sin duda atractivas, en parte por lo novedoso que tienen, no sólo desde el punto de vista estructural y técnico, ya señalado, sino por la forma que generan en sí mismas. Su perfil, o silueta, frente a la obra tradicional de fábrica que limita los arcos por debajo del tablero, y también frente a la obra metálica por su solidez y contundencia. Además, es de destacar el ajuste con el entorno en que se enclavan, a pesar de las muy distintas ubicaciones, con medios físicos diferenciados, ofreciendo un diálogo correcto con el paisaje que las rodea.

En último lugar, aunque no menos interesante, llama la atención el hecho de la concentración de su realización en una etapa histórica muy determinada y el abandono posterior de la tipología, recuperada sólo en fechas muy recientes. De este modo, a excepción de la primera estructura, realizada a mediados de los años veinte, las otras tres, que aquí se presentan fueron construidas en una complicada etapa: la posguerra de nuestro país. Época difícil, de escasez de materiales, aunque de abundante mano de obra. Todo esto llevó a observar el interés por estos puentes.

MARCO INTERNACIONAL

Dentro del panorama de la construcción de puentes, el tipo «arco con tablero intermedio» tiene su máximo exponente en los siguientes grandes puentes metálicos: el Hell Gate proyectado por G. Lindeltal en el East River, en Nueva York, para ferrocarril y construido en 1916 para salvar una luz de 303 m. El puente de Sidney, en Australia, concebido por J.J. Bradfiel y proyectado por Freemann y G. Roberst; puente mixto carretero y de ferrocarril, construido entre 1923 y 1932, que salva 503 m de luz evitando así un gran rodeo por la bahía. Y el de Bayona, en el estrecho de Kill Van Kull, entre Nueva York y Nueva Jersey, en EEUU, proyecto de Otman H. Amman, destinado a tráfico rodado, por tanto algo más ligero que el australiano con una luz de 503, 23 m. Inaugurado sólo unos días antes lo que le llevó a arrebatar el record de luz al de Sidney.

La idea, concebida en este contexto, de salvar grandes luces con el tipo de gran arco con tablero intermedio y rebajamiento adecuado sería utilizada en el futuro. Así, Freyssinet, para el Congreso de Ingeniería de Lieja de 1930, presentó la idea de la posible realización de un arco de 1000 metros de luz. En ese momento no se preveía la expansión de una tipología que estaba todavía incipiente, pero que, a partir de la Segunda Guerra Mundial tendría una expansión inusitada. Nos referimos al puente atirantado. Este nuevo tipo, con sus múltiples variantes, vendrá a ocupar el importante segmento entre luces medias y grandes. Sus múltiples posibilidades en configuración poblarán nuestras autopistas y autopistas, y también nuestras ciudades.

Pero estos grandes ejemplos son de puentes metálicos, y este estudio trata de puentes de hormigón armado. La construcción con este material fue propia

de Europa. En nuestro continente se realizaron varias estructuras. Por países, fue en Italia donde se construyó el primero, el de Villa-Santina, sobre el Tagliamento, construido en 1916, según proyecto del ingeniero Mario Baroni. Se trataba de un arco solidario a los estribos que conseguía 38,40 m de luz. También en Italia se construyó el puente de Sequqls, en el torrente de Meduna, en 1921. Se componía de tres arcos triarticulados con luces de 46,20-56,00-46,20 m. y aprovechaba las fundaciones de un puente metálico construido en 1875 y destruido en la guerra del 14 por los austriacos. Sin embargo, fue en Francia donde se construyeron más puentes de este tipo. El primero en construirse fue el de Saint-Pierre de Vauvray, obra de Freyssinet, construido en 1923, destruido en la segunda Guerra mundial y vuelto a construir después. Es un arco de 131,80 m de luz y 25 de flecha, empotrado, y presenta la singularidad de ser el primer puente que se construyó con arcos huecos. El puente de Port-d'Agries, sobre el Lot, fue construido en 1925. Se trata de un arco de 91 m de luz, con una estructura triarticulada. Tiene la particularidad, además de disponer la péndolas oblicuas, de situar las tres articulaciones por debajo del tablero y ninguna en la clave de los arcos. Se crea de este modo una autocompresión por gravedad. En 1929 se construyó el puente sobre el Oise en Conflansfin d'Oise, con una luz de 126 m. Era un arco empotrado con menor sección en los arranques. Fue destruido en 1940. El puente de Castel-Morón fue construido en 1933. Es un arco rebajado que consigue saltar una luz de 143,35 m. Las péndolas de las que se suspende el tablero están dispuestas de modo oblicuo. Es una estructura triarticulada. Por último, el puente de la Roche-Guyon, construido en 1934, se trataba de un arco rebajado a 1/7 que alcanzaba los 161,40 m de luz, por lo que fue record en este tipo de puentes y material. Fue proyectado por R. Vallette. Se trataba de la primera aplicación integral del estudio científico del arco, con arcos de espesor menor en los arranques que en la clave. Fue volado en 1940.

Por citar otros países de nuestro entorno, pero con ejemplos de menor importancia que los que se acaban de citar, es de destacar el puente sobre el río Váh, en Pistany, Chequia, construido en 1931, con un arco empotrado de 53,40 m de luz y 10 de flecha. Y en Suiza, el antiguo puente de Chippis, sobre el Ródano, para ferrocarril, era un arco empotrado de 60,44 m de luz.

En nuestro país fueron cuatro los puentes construidos de este tipo. Por orden cronológico son: el puente sobre el río Narcea en Requejo, Asturias; el de Sástago sobre el Ebro, en la provincia de Zaragoza; el de Mora de Ebro, sobre el mismo río, en Tarragona; y el de Peñafiel, sobre el Duero, en Valladolid.

PUENTE DEL NARCEA

El puente sobre el río Narcea en Requejo, Asturias, sirve a una carretera local de Cornellana a Cangas de Tineo. Fue proyectado por el ingeniero Ildefonso Sánchez del Río. Se construyó entre 1929 y 1930. Se trata del primer puente de tipo arco con tablero intermedio de hormigón armado construido en España. Ante las fuertes crecidas del Narcea y lo que suponía construir unas fundaciones y pilas que resistieran a las mismas, el ingeniero optó por la solución de utilizar un gran arco que anclase su bases en los márgenes del cauce, evitando así en lo posible el embate de las aguas. Para hacer más efectiva la estructura eligió el tipo de arco empotrado en los arranques y articulado en la clave. Esta solución fue pionera en su momento. Frente los arcos triarticulados, esta novedad suponía una mejor resistencia a las cargas verticales y a los esfuerzos horizontales.

La luz del arco es de 41 m. El tablero suspendido de péndolas verticales, también de hormigón es un simple forjado, sin vigas ni viguetas. Las aceras van en voladizo. Los arcos atraviesan el tablero. Para la época supuso una gran novedad que no fueran arriostrados en la zona superior. El único arrostamiento que tienen es el que produce el propio tablero.

Lo más destacado de la estructura era la articulación única. Esta se sitúa en la clave. En el proyecto se justificó su utilización por diferentes motivos: en primer lugar, facilitar el amoldamiento del arco sin causar peligro para su estabilidad ante pequeñas variaciones o asientos en los estribos. Como segunda razón, localizar la curva de presión en un punto como es la clave. En tercer puesto, para disminuir en menos de la mitad los momentos debidos a la temperatura con relación al arco totalmente empotrado. En cuarto lugar, para facilitar la ejecución de la articulación que, además, es una sola. En quinto y último puesto, por la disposición racional y lógica de la articulación pues al autor le parecía poco lógico colocar articulación en los arranques.

La articulación que se empleó en origen era del tipo Mesnager. Se trata de un cilindro metálico que actuaba a modo de rótula protegido por dos semicilindros de Uralita. Para evitar la oxidación del cilindro, éste se recubrió con una cuerda embreada que impermeabilizaba el mecanismo.

El puente sigue sirviendo en la actualidad, llegando hasta nosotros en un magnífico estado gracias a las constantes labores de limpieza y mantenimiento. (figura 1)



Figura 1
Puente sobre el río Narcea en Requejo, Asturias. Archivo autor

PUENTE DE SÁSTAGO

El primitivo puente en principio servía a la carretera de tercer orden de Sastago a Bujaroz, hoy denominada A-2105. En la actualidad forma parte de la carretera autonómica A-221 de Quinto a Maella que se prolonga hasta Batea, ya en la comunidad autónoma de Cataluña, con la denominación de C-221. La redacción del proyecto corrió a cargo de José Solana, joven ingeniero que falleció prematuramente antes de ultimar su labor. Solana dejó toda la configuración y cálculos perfectamente establecidos por lo que fue respetado el proyecto en su memoria. Salvo las pequeñas modificaciones precisas del replanteo y ejecución de una obra.

Como punto elegido para el emplazamiento de la estructura se seleccionó una zona asimétrica del curso del río. La ladera izquierda es bastante escarpada, mientras que la margen derecha es llana. Los mate-

riales con que están constituidas ambas márgenes también son diferentes. La margen izquierda está formada por capas horizontales que alternan margas y areniscas miocénicas, mientras que la derecha está constituida por materiales blandos, tales como limos arcillas acarreados por el río. Un dato a favor de la ubicación es la estabilidad del cauce en dicho punto, encajado entre ambas orillas. Por otra parte permite que la cota de la estructura esté a más de dos metros por encima del nivel de las máximas avenidas.

Estudiando el terreno se observó que el desagüe lineal debía de ser de 200 metros lo que marcó la longitud del puente a construir. La tipología elegida para la construcción de este puente fue la de Cantilever¹. La obra fue terminada en Julio de 1926². Estuvo en servicio sin presentar ningún tipo de problemas hasta la primavera de 1938 en que fue destruida a consecuencia de la guerra que asoló España.

Inmediatamente después de controlada la zona por el ejército nacional, el 18 de octubre de 1938 desde la Jefatura Provincial de Caminos se iniciaron los estudios para la reconstrucción. Para la redacción del proyecto fue designado Eduardo Serrano Suñer. En la memoria, tras un detenido análisis de la situación, se conservan fotografías del estado en que quedó el puente tras la voladura, y previa consulta de empresas especializadas en obra metálica, como eran Talleres Zorzolla de Bilbao y la Sociedad Euskalduna a las que se pidió presupuesto de la construcción de una nueva celosía metálica con y sin el aprovechamiento del material inutilizado, sólo la segunda compañía se interesó en el aprovechamiento del metal. El presupuesto ascendía a 1.190.000 pesetas aproximadamente si se hacía de nuevo, y si se aprovechaba lo destruido descendía a 984.000 pesetas. Se trataba de un presupuesto muy elevado para el momento. Presupuesto muy similar costaría un puente nuevo, incluso aún en el caso de no aprovechar ni estribos y pilas, y hacer una nueva distribución de vanos.

Decidido que no se realizaría una solución metálica, se autorizó el desguace de los restos de la estructura anterior. El 18 de agosto de 1938 se realizó la primera subasta para asignar los trabajos. Quedó desierta. Con posterioridad fue adjudicada a Pedro Lucas López. Las tareas de desguace fueron muy penosas pues se produjeron tres riadas en ese periodo.

En la concepción del futuro puente, una vez descartado el tipo Cantilever original, se barajaron dos soluciones en hormigón armado. La primera, un

puente que sólo aprovechaba los estribos del anterior, constaba de cuatro arcos, no se definió si empujados o articulados, de 50 metros de luz entre ejes y real de 46 metros con un rebajamiento de 1/10. La segunda consistía en aprovechar estribos y pilas y, por tanto, construir una estructura de tres arcos desiguales, los extremos de 60 metros de luz y el central de 80. Ambas presentaban ventajas e inconvenientes. La primera solución, un puente con tablero superior y algo más alta la rasante, presentaba la ventaja de conseguir un mejor desagüe, pero a cambio resultaba con mayor coste. Además los estribos existentes resultaban estrechos y era necesario reforzarlos para resistir mejor los empujes del tablero. En cuanto a la segunda, se trataba de tres tramos formados cada uno de ellos por dos arcos paralelos arriostrados entre sí por medio de viguetas. El tablero era intermedio. Se tanteó la posibilidad de que los arcos fueran empujados o triarticulados. Se vio que era mejor esta segunda opción. Así, la luz real de los vanos laterales desde la rótula sería de 56 metros y la del principal de 76 metros. Los arcos descansaban sobre ménsulas. Los laterales debían de tener para un mejor funcionamiento un rebaje de $\frac{1}{10}$. Esta solución tenía la ventaja de aprovechar todos los apoyos, o al menos sus cimentaciones, pero el inconveniente de un peor desagüe. Fue la solución elegida. El nuevo puente quedaba pues configurado con una longitud de desagüe de 200 metros y tres arcos de hormigón armado con tablero intermedio con luces de 60, 80 y 60m. Dado que los arcos arrancan de la zona inferior de las pilas y que éstas eran muy estrechas para que los empujes desiguales no pusieran en peligro la estabilidad de las pilas y sus cimientos, se decidió reforzar tanto los zócalos como el fuste. Se ensancharon ligeramente para dar mayor robustez. La anchura total del tablero es de 8,80 m. y la anchura libre de la calzada es de 5,50 m., pero hay que descontar el grosor de los dos arcos, 0,90 metros, que conforman cada tramo. Las aceras están formadas por voladizos de 0,75 metros de anchura dispuestas en exterior de los arcos. El tablero cuelga de los arcos por medio de péndolas también en hormigón armado. Para realizar las articulaciones de los arcos, como en el caso anterior, se utilizó el sistema Mesnager. Hay que reseñar que se sustituyó la placa delgada del centro de la articulación por palastros de 20 milímetros de espesor³.

El proyecto fue presentado el 7 de marzo de 1939. Se presupuestó en 801.675,66 pesetas y para la contra-

ta en 865.809,71 pesetas, resultando sensiblemente inferior a lo que hubiera supuesto la construcción de una celosía metálica. Fue presentado al Ministerio en un informe fechado el 9 de marzo de 1939. El proyecto fue aprobado y se procedió a su construcción. En el mismo proyecto se proponía para la construcción llamar a los destajistas que pudieran realizar mejor la obra.

Fue necesaria la demolición parcial de las pilas para engrosarlas e introducir la ferralla que sustentaba las ménsulas de arranque de los arcos. Con posterioridad se realizó el cimbrado de los arcos introduciendo en las pilas el armazón para después ser todo hormigonado. Mas tarde colgado de las péndulas se construyó el tablero.

La obra fue posible ejecutarla de este modo gracias a la abundante mano de obra y lo económico que resultaba en aquella etapa. En la actualidad sería impensable. El puente fue inaugurado a principios de los años cuarenta. Hoy sigue prestando servicio y es ejemplo indiscutible de un modo de hacer ya olvidado. (figura 2).



Figura 2
Puente de Sástago, sobre el Ebro en la provincia de Zaragoza. Archivo autor

PUENTE DE MORA DE EBRO

El motivo de la construcción del puente fue agilizar la comunicación entre las localidades de Mora de Ebro y Mora la Nova, ambas ribereñas del Ebro. El antecedente más remoto del puente fue un paso de barcas (Madoz). Como precedente del primer paso fijo que se proyectó hay que remontarse a 1871, pero no fue hasta 1901 cuando se proyectó el primer paso

definitivo, obra de José Eugenio Ribera⁴. Se trataba de un puente metálico que se concebía como una viga celosía, tipo Warren⁵.

La elección del emplazamiento del puente fue estudiado con todo detalle. Para ello se tuvo en cuenta cuatro puntos que se tomaron como fundamentales. En primer lugar, que la zona reuniera las condiciones adecuadas. Se tendría en cuenta así, que el terreno estuviera constituido por un fuerte conglomerado y por otro, que el cauce estuviera lo más encajado posible. En segundo lugar, que el trazado de la carretera entre las dos localidades tuviera la menor distancia posible. En tercer lugar, que las expropiaciones en la ubicación señalada se redujeran al mínimo, y en cuarto, y último lugar que el acceso a la localidad de Mora de Ebro fuera lo más cómodo posible⁶.

Durante la batalla del Ebro en la guerra civil resultó completamente destruido. Controlada la zona por el ejército nacional se procedió a la realización de un nuevo proyecto. Como en el caso anterior fue redactado por Eduardo Serrano Suñer. Quedó aprobado el 18 de agosto de 1939. Debido a la precaria situación económica del país y a la escasez de metal se optó por una solución de hormigón armado que resultaba más asequible. A pesar del cambio, la solución adoptada aprovechaba las fundaciones preexistente de pilas y estribos, con lo que se conseguía economizar gastos. El proyecto se conformaba como un puente de cinco tramos, formados cada uno de ellos por dos arcos paralelos de hormigón armado arriostrados entre sí por medio de viguetas en la zona superior. La distancia entre los arcos es de 6,30 metros. Para que la cota del nivel de la rasante del tablero fuera adecuada al terreno circundante, se optó porque el tablero fuera intermedio. Como en el puente de Sástago, del mismo tipo, se estudiaron las alternativas de que los arcos fueran empotrados o triarticulados. Igual que en el caso aragonés, se creyó más conveniente la segunda opción. De este modo la luz real de los vanos queda reducida. Los arcos descansan sobre ménsulas. La solución tenía la ventaja de aprovechar todas las fundaciones. De esta forma, el nuevo puente quedaba configurado con una longitud de desagüe de 273,60 metros y cinco arcos con tablero intermedio con luces de 46, 65; 60,02; 60,55; 59,55 y 46,79 m. La longitud total incluida los estribos es de 303,50 metros. Los arcos arrancan de la zona intermedia de las pilas por lo que se decidió reforzar para no poner en peligro su estabilidad. Su anchura en la base es de

3,80 metros y en la coronación 2,50 metros. El tablero se apoya en la zona de las pilas y cuelga de los arcos por medio de las péndolas de hormigón armado. El tablero extiende su superficie más allá del espacio comprendido entre los arcos. La anchura total que alcanza es de 7,80 metros. Siendo el espacio entre los arcos, de 6,00m., destinado a la calzada y el voladizo o exterior destinado a aceras peatonales, de 1,20 metros de ancho. La flecha de la riostra situada casi en los riñones de los arcos es de 5,30 metros.

Los arcos, como se ha dicho, se apoyan sobre las pilas. Las cuales están construidas en hormigón armado siguiendo un modelo tradicional. Son de planta rectangular dispuestas perpendicularmente al tablero y presentan los frentes, tanto de aguas arriba como abajo, redondeados. El alzado lo presentan ligeramente en talud, siendo su longitud de base de 11,60 m., mientras que en la coronación es dos metros menor, así cuenta con 9,60 m. En cuanto a su anchura, sucede lo mismo, como se ha comentado anteriormente. En lo referente a los estribos, también son de fábrica, pero combinan el hormigón armado en sus frentes, donde arrancan los arcos con la piedra de mampostería concertada a modo de nido de abeja en los paramentos laterales. (figura 3)

El tablero está formado por una losa de hormigón armado reforzada por una cercha que coincide en la zona superior con la péndola de la que cuelga y la riostra de la zona superior del arco. El pretil es metálico, formado por tres tubos paralelos. El original, en la actualidad, ha sido sustituido por otro no galvani-



Figura 3
Puente de Mora de Ebro, sobre el Ebro en Tarragona. Archivo autor

zado de similares características. Las articulaciones, como fue habitual en aquellos tiempos, fueron realizadas utilizando el sistema Mesnager.

Para buscar una empresa que construyera el puente se convocó una subasta con fecha de 30 de diciembre de 1939⁷. No hubo postor alguno para la misma. Por lo que fue necesario anunciar nueva subasta para el 22 de junio de 1940⁸. En este segundo intento la obra fue adjudicada a la empresa «Cubiertas y tejados, S.A.», que fue el único postor. Las obras comenzaron el 12 de agosto de 1940 con el compromiso de un plazo de ejecución de 18 meses. Por lo que se preveían estuvieran terminadas para el 11 de febrero de 1942. Pero la ejecución se prolongó más tiempo. Fueron necesarias tres prórrogas. La primera de ocho meses, concedida el 25 de marzo de 1942; la segunda de seis meses, concedida el 23 de noviembre del mismo año; y la tercera de tres meses, dada el 20 de abril de 1943.

Las causas de dichos retrasos son variados, como aparecen reflejados en los informes consultados en la documentación original, la dificultad de los trabajos, el retraso en el suministro de materiales, la escasez de mano de obra, y los contratiempos de índole natural tales como las avenidas del río y las heladas en invierno. Ninguna de estas causas fueron imputables a la contrata, por lo que no llevó aparejada penalización alguna.

De este modo, la recepción definitiva de las obras se hizo con fecha de 8 de septiembre de 1944. La carestía de los materiales y la prolongación en el tiempo de la construcción obligó a aprobar un presupuesto adicional. El presupuesto total, incluido el adicional, ascendió a 2.191.879,48 pesetas. En este presupuesto estaba incluido también el proyecto de iluminación de 26 de mayo de 1944⁹.

Años más tarde las necesidades de tránsito hicieron aconsejable construir un nuevo puente aguas abajo. El buen estado de esta estructura, su situación, casi en el mismo centro de Mora de Ebro, hace que esté en plenitud de uso.

EL PUENTE DE PEÑAFIEL

En Peñafiel, sobre el Duero, en la provincia de Valladolid, existe un puente cuyo origen se pierde en el tiempo. Se tienen noticias de algunas reparaciones. Entre las que destaca la realizada en 1619 como recoge Aramburu-Zabala y otras más recientes de las que hay constancia en el archivo provincial. La nece-

sidad de la mejora de las comunicaciones llevó a la construcción de una nueva obra, que es uno de los objetos de este estudio.

El puente que aquí nos interesa tiene un origen más reciente. Fue proyectado por el ingeniero Cesar Villalba Granda en 1941. Él mismo dirigió las obras desde la Jefatura de Puentes y Estructuras del Ministerio de Fomento. Las obras concluyeron en el invierno de 1943. En este caso toda la estructura se construyó ex-novo, pues fue conservado el viejo puente, por lo que hubo que construir por entero toda la cimentación.

A juicio del autor, varias eran las características más destacadas de esta obra: desde el punto de vista estructural, la elección de arcos empotrados con tablero intermedio, y la disposición del piso con junta central; y desde el punto de vista de la ejecución, la elección del tipo de armadura de montaje, rígida y construida con electrosoldadura en taller y montada con pernos.

El nuevo puente está compuesto por una estructura continua hiperestática de hormigón armado que alcanza los 156 metros de longitud total. Tiene un desagüe lineal útil de 116,70m. Consta de tres arcos de hormigón rebajados a /de 40 m. de luz. La disposición del tablero, como en los otros tres casos, es intermedio. Los arcos se apoyan sobre pilas y estribos de hormigón en masa. El tablero está dispuesto con junta central, y cuelga del arco mediante unas péndolas, por supuesto de hormigón, separadas entre sí 3,10 m. El tablero se compone de un entramado de viguetas. Las perpendiculares enlazan por debajo del mismo con las péndolas abrazando. Tanto calzada como aceras peatonales quedan limitadas por los arcos, por lo que, en este caso, no existen voladizos. A cambio, en el alzado de la estructura, el engarce de las péndolas con el tablero crea un ritmo muy interesante. Además de que la imagen del arco resalta en relación al conjunto de la estructura.

La mayor singularidad, desde nuestro punto de vista, en relación al hecho estructural, es la construcción de los arcos con ausencia de articulaciones. Este hecho convierte al puente en una estructura monolítica. La causa de esta característica la explica Villalba. Según él utilizar el arco con tres articulaciones sólo tiene sentido en la construcción de arcos de gran luz y cimentaciones no muy fijas. Estaba en la convicción que de no ser así es preferible el arco empotrado. Escribe «El estudio de las deformaciones plásticas del hormigón ha permitido apreciar los inconvenientes del arco triarticulado, entre ellos el

peligro de pandeo, a que lleva el efecto de la plasticidad»¹⁰. Añade citando a Sejourne que «Las articulaciones no definen un punto del paso de la línea de presiones, sino una zona de paso y, contra lo que se podía creer, este paso está mejor definido en los arcos empotrados»¹¹. Hoy no se piensa de igual forma.

Elegido el emplazamiento aguas arriba del viejo puente, el proceso de construcción fue iniciado con la ejecución de los cimientos por medio de la hinca de cajones con aire comprimido. Realizadas las fundaciones, se procedió al levantamiento de las pilas y la construcción de ambos estribos. Sobre el remate superior de la pila o imposta se asientan las armaduras metálicas rígidas que conforman la estructura interna de los arcos. El almacén de péndolas, vigas transversales, así como los perfiles longitudinales del tablero fueron colgados de la estructura metálica de los arcos. Una vez colocada in situ toda la estructura interna se realizó el encofrado, en fases por arcos gemelos. Se procedió primero con los arcos y luego con resto de los elementos. Una vez terminado el tramo correspondiente se repetía la operación en el siguiente¹².

A pesar de la carencia de articulaciones, la estructura no presenta los problemas típicos de esta carencia como grietas debidas a las diferencias de los asentamientos. Ha funcionado prestando servicio hasta la actualidad. Junto con la obra antigua forma un conjunto de interés en el que se puede contrastar el diferente modo de actuar de la ingeniería a lo largo de la historia. (figura 4)



Figura 4
Puente de Peñafiel, sobre el Duero en Valladolid. Archivo Doña Carmen Villalba

A MODO DE CONCLUSIÓN

Las ventajas que suponen la construcción de este tipo estructuras son: Por un lado poder elegir el rebajamiento más conveniente de los arcos, pues, a priori, no hay inconvenientes a la hora de definir la flechas del arco ya que estas son independientes de la cita del tablero. Por otro, no cabe duda que la obra resulta más económica en cuanto a los materiales que la ejecución con metal, en general, acero. En cuanto a la ejecución, resulta más fácil, pues ésta se puede realizar al abrigo del cauce y, por tanto, también de las avenidas. En otro orden, en cuanto a la estructura, se trata de una solución conveniente por la disposición de los empujes que propicia adoptar el rebajamiento más conveniente. Por último, en cuanto a las fundaciones, permite reducir la dimensión longitudinal de los cimientos. Esta característica resulta muy interesante en caso de reconstrucciones, como sucedió en lo puentes de Sástago y Mora de Ebro. Estas ventajas explican su empleo en la etapa histórica de precariedad económica en que fueron construidas.

En cuanto a los inconvenientes también son varios, entre ellos cabe destacar: por una parte el mayor requerimiento de una mayor anchura para el total de la estructura, pues el volumen de los arcos engrosa el alzado transversal de la misma. Por otro lado, al ser enteramente de hormigón, tienen necesidad de utilizar gran cantidad de obra muerta entre los diferentes encofrados y cimbras. Esto conlleva un encarecimiento en el proceso de construcción y a la generación de gran cantidad de materiales que se desperdicia, en especial madera. Además, y en relación a esta cuestión, pero en sí mismo otro punto, requieren gran cantidad de mano de obra. Quizá es éste el motivo por el que se construyeron en ese momento los puentes y no en otro. Por último y desde el punto de vista estructural, el empleo de arcos triarticulados puede hacer peligrar el conjunto por efecto de pandeo, y en el caso contrario, la ausencia de articulaciones puede provocar fisuras por la diferenciación de asiento. Estos inconvenientes no se han dado en el caso de las cuatro estructuras que aquí se han estudiado pero sí sucedió en Italia en el Puente de Seqals ya mencionado.

Sin duda se trata de cuatro magníficos puentes, estructuras en sí muy atractivas, que en la actualidad pueden parecer arcaicas. Pero es precisamente ese aspecto lo que les confiere mayor interés. Construi-

das en una etapa difícil, de penurias económicas y dificultades en el abastecimiento de los materiales y distribución. En los cuatro casos resultan soluciones muy creativas frente a la adversidad de las circunstancias. En este sentido cabe destacar las figuras de sus proyectistas: Ildefonso Sánchez del Río, Eduardo Serrano Suñer y Cesar Villalba Granda, algo olvidados hasta este momento debido a la coincidencia del desarrollo de su actividad con momentos complicados de la vida de nuestro país y en el caso del segundo por las razones de su parentesco con el gobierno de la época

El empleo de hormigón para la construcción de arcos viene dado por la cualidad de este material para resistir compresiones. A pesar de esta cualidad, los costos cada vez más elevados que han representado el uso de medios auxiliares, cimbras, etc, propiciaron el abandono de su utilización. Sin embargo, transcurrido un tiempo, la aparición de nuevos métodos de montaje, en los que se evitan estos medios, ha revitalizado el empleo del arco de hormigón. Los puentes que acabamos de ver están muy alejados de las estructuras que se construyen en la actualidad, y por otro lado de lo que consideramos puentes históricos, pero son fruto de una búsqueda de formas y técnicas a tener en consideración.

NOTAS

1. Se trata de un tipo poco extendido a nivel mundial y aun menos frecuente en España. De hecho se trató del primer puente construido de dicho modelo en nuestro país. El tramo central se configuraba mediante dos mensuras en voladizo de 20 metros que sostenían un tramo intermedio de 40 metros.
2. El presupuesto de la ejecución de la obra ascendió a 1.385.615,08 pesetas y la contrata ascendió a 1.593.453,88 pesetas aunque el precio quedó en 1.300.262,4 pesetas. Pues la contrata hizo una rebaja de un 18,4 % en el precio final.
3. Ver detalles en «Proyecto de reconstrucción del puente sobre el río Ebro en Sástago» 1939 A.G.A. OP. 10820.
4. Para el proceso de construcción del puente anterior ver expedientes (doc de 1906 A.G.A. OP. 4146) y (1913 y 1915 A.G.A. OP. 5091 y 5045)
5. El puente estaba compuesto por cinco tramos. Los tres centrales de 60,00 m., dos en los márgenes de 48,00m. La longitud total del puente era de 276,00 metros.
6. Consultar documento firmado por el jefe de Obras Públicas de Tarragona. Esta cuestión es de interés, pues

- la estructura objeto de este estudio aprovechó las bases de este puente. (doc 14 noviembre 1907 A.G.A. OP. 4146)
7. El presupuesto de salida fue de 1.536.355,84 pesetas
 8. El presupuesto final quedó en 1. 736.082,10 pesetas
 9. El presupuesto de ejecución fue de 20.453,91 pesetas. Esta firmado por el ingeniero José María de Retes Linares. Ver A.G.A. OP. 11959.
 10. Cesar Villalba lo comparte y recoge de Lossier, H.; El desarrollo cíclico del hormigón armado *Le Génie Civil*, I, 8 de febrero de 1941
 11. Expuesto por Villalba Granda, C. en Revista obras públicas pag. 391 sep 1945
 12. Todo el proceso está gráficamente recogido en documento de archivo familiar de C. Villalba 1943.
- LISTA DE REFERENCIAS**
- Aguiló, M. 2007. *El carácter de los puentes españoles*. Madrid: ACS.
- Aguiló, M. 2008 *Forma y tipo en el arte de construir puentes*. Madrid: Abada.
- Aramburu-Zabala. 1992. La arquitectura de puentes en Castilla y León 1575-1650, 181Valladolid.
- Arenas de Pablo, J.J. 2002. *Caminos en el aire*. Madrid: C.I.C.
- Cuvillo, R. 2007. Colecciones oficiales de obras de paso. Madrid: C.I.C.
- Fernández Troyano, L. 1999. *Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes*. Madrid: C.I.C.
- Madoz, P. 1846-1850. facsímil 1985. *Diccionario geográfico-co-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Madrid.
- Mesqui, J. 1986. *Le Pont en France avant le temps des ingénieurs*. Paris.
- Rosell, J. y Carcomo, J. 1994. *Los orígenes del hormigón armado y su introducción en Vizcaya: La Fábrica Ceres de Bilbao*. Bilbao: Colegio de aparejadores del País Vasco.
- Sáenz Ridruejo, F. 1993. *Los Ingenieros de Caminos*. Madrid: C.I.C.
- Steiman, D. y Watson, S. 2005. *Puentes y sus constructores*. Madrid: C.I.C.
- VVAA. 2003 *Eugène Freyssinet. Esteyco*. Madrid.
- Zafra, J.M. 1921. *Modelos de puentes de Hormigón armado*. Madrid: E.I.C.
- Zafra, J.M. 1923. *Tratado de hormigón Armado*. Madrid.

