

## Construcción de puentes arco



**Luis M. Viartola Laborda**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director Técnico de Dragados

### Resumen

Es quizá en los puentes arco donde más claramente destaca la importancia que tiene el proceso constructivo en la concepción y viabilidad de un puente. En este artículo se hace un recorrido por la evolución de los procedimientos de construcción de arcos a lo largo de la historia, y cómo esta evolución ha ido impulsando, a su vez, el desarrollo de la tipología del puente arco para situarla como una alternativa viable en el desafío de las grandes luces. Se cuenta en la actualidad con un amplio abanico de procedimientos para construir arcos cuya combinación con materiales resistentes de mejores prestaciones hace prever una importante evolución de estos puentes en el futuro.

### Palabras clave

Arco, construcción, historia, cimbra, autocimbra, voladizos sucesivos, hormigón, acero

### Abstract

*It is perhaps in arch bridges that we may best appreciate the importance of the building process in the design and viability of a bridge. This article outlines the evolution in the construction of arches throughout history and how this evolution, in turn, has marked the development of the characteristics of the arch bridge to the extent that it may now be considered as a feasible alternative for large span bridges. There are currently a wide range of procedures to construct arches and their combination with high performance materials makes it possible to foresee considerable development in these bridges in the future.*

### Keywords

*Arch, construction, history, formwork, self-climbing formwork, incremental launch, concrete, steel*

### Introducción

El arco es una estructura que resiste por forma y, por tanto, mientras no está acabada no es capaz de resistirse a sí misma, de ahí la importancia que en el caso de los arcos tiene el procedimiento constructivo, cuya correcta elección está íntimamente ligada a la viabilidad del arco como solución.

Hay, principalmente, dos formas de enfrentarse a la construcción de un arco. La primera de ellas consiste en utilizar un medio de sacrificio que sea capaz de resistir todo el peso del arco hasta que éste, una vez finalizado, sea capaz de soportarse por sí mismo. El medio de sacrificio por excelencia ha sido la cimbra, no sólo en la construcción de arcos, y su uso ha sido el método tradicional de construcción desde los primeros arcos de piedra de la antigüedad clásica.

El otro planteamiento busca el aprovechamiento de la capacidad resistente de las secciones parciales de la estructura durante la etapa del proceso constructivo que, a través de

esquemas estructurales evolutivos, culminan el cierre de una estructura que alberga el arco ya conformado. En este grupo se engloban los procedimientos basados en la construcción por voladizos sucesivos, con o sin recurso a elementos resistentes y dispositivos auxiliares. Fue a finales del siglo XIX, con la construcción del puente sobre el río Mississippi en San Luis, cuando se utilizó, por primera vez, procedimiento de montaje por voladizos sucesivos en sus tres arcos, de 157 m de luz máxima, conformados por celosías de tubos metálicos.

A partir de ese momento ambos procedimientos han convivido, pero con un claro desplazamiento de las cimbras a favor de sistemas constructivos evolutivos. A continuación, se exponen alguno de los hitos relevantes en la construcción de arcos a lo largo de su historia que, a través de soluciones innovadoras, han elevado la base de un conocimiento que ha permitido a los arcos seguir presentes hoy en día en el desafío de las grandes luces.



Fig. 1. Puente de los franceses



Fig. 2. Puente Eads o de San Luis sobre el río Mississippi



Fig. 3. Cimbra de Salginatobel

### Las cimbras

Los primeros arcos, formados por dovelas de piedra, se construían recurriendo a cimbras de madera, el único procedimiento disponible para la construcción de arcos hasta finales del siglo XIX.





Fig. 4. Cimbra del puente de Plougastel

Con la aparición del hormigón, “piedra hecha por el hombre” que decía Steinman, los arcos construidos con este nuevo material adoptaron la tecnología clásica usada en los puentes de piedra, a los que se asimilaban inicialmente.

La madera, que casi había desaparecido como material de construcción de puentes, encuentra en las cimbras, particularmente en las cimbras para arcos de hormigón, una nueva oportunidad de desarrollo. Surgieron diversas tipologías de cimbras, desde las clásicas de palizadas con pies derechos o de recogida, a cimbras de celosía más evolucionadas.

La cimbra del puente de Salginatobel en Schiers (Suiza) sirve de ejemplo para evidenciar cómo se incrementaban las dificultades para materializar la cimbra conforme aumentaban la luz y la altura del arco, y cómo el problema para la construcción del arco residía, básicamente, en la construcción de la cimbra.

Estas nuevas exigencias hicieron que se volcaran en el diseño de las cimbras grandes dosis de ingenio, probablemente mayores que en el de la estructura definitiva del arco al que sirven, dando lugar a estructuras magníficas que por desgracia estaban condenadas a desaparecer. Se trasladaban a la construcción de este medio de sacrificio todas las dificultades de la construcción del arco, aprovechando la ventaja de la ligereza de la madera o el acero que las constituía, que simplificaba las labores de montaje y los medios necesarios para el mismo.

En 1930 se finaliza el puente de Plougastel sobre el río Elorn en Francia, formado por tres arcos de hormigón armado de 186 m de luz, con proyecto de E. Freyssinet y construido por la empresa Limousin. La cimbra utilizada constituye quizá una de las estructuras de madera más destacadas de la historia de la construcción. Fue concebida por el propio Freyssinet quien desarrolló un sistema de maderas delgadas claveteadas cuyas juntas se recibían con mortero. Tiene 176 m de luz, y estructuralmente era un arco de madera con atirantamiento inferior. Se utilizó en los tres arcos del puente, para lo que se trasladaba flotando apoyada en sus extremos sobre unas pontonas de hormigón.

En la Segunda Guerra Mundial, una explosión destruyó uno de sus tres arcos y en 1950 se abordó su reconstrucción para la que, tras un estudio de diversas alternativas, se concluyó que la mejor opción era la misma que sirvió para su levantamiento inicial, por lo que se construyó de nuevo una cimbra de madera con atirantamiento inferior como la ideada veinte años atrás.

Una cimbra similar a la de Plougastel se utilizó en 1938 para la construcción del puente de Sando en Suecia, un arco de hormigón llamado a ser *ré cord* del mundo con sus 264 m de luz. La cimbra colapsó durante el hormigonado por lo que hubo de diseñarse una segunda cimbra, estabilizada lateralmente y mucho más rígida que la inicial, con la que en 1943 pudo finalmente completarse el arco.

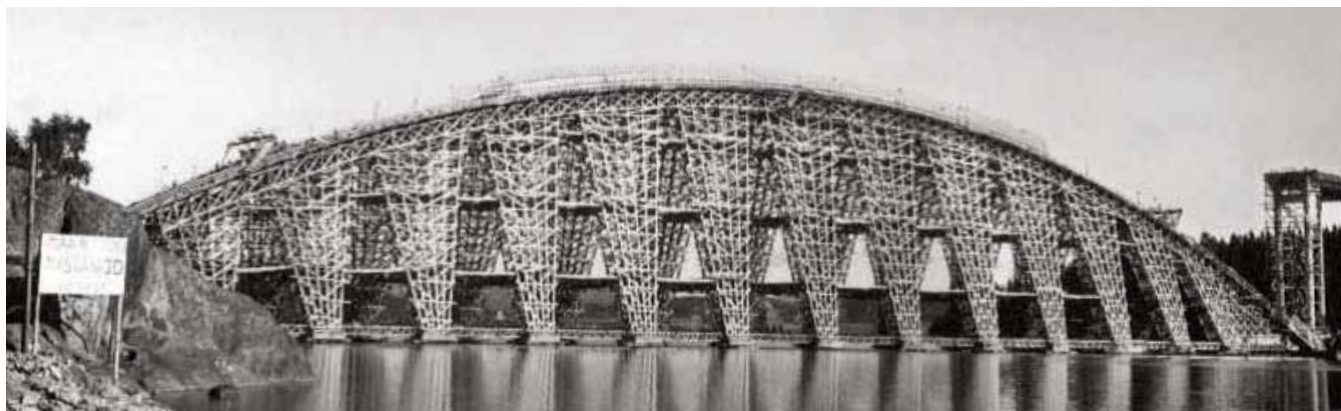


Fig. 5. Puente de Sando (Suecia), segunda cimbra



Fig. 6. Posicionamiento de la cimbra del puente de Longeray (Francia)

Otro caso interesante es el del puente de Longeray sobre el Ródano, un arco modesto de 60 m de luz finalizado también en 1943, donde la cimbra de madera se fabricó por mitades en ambas márgenes del río en posición vertical y se colocó mediante el procedimiento de volteo o abatimiento de semiarcos.

Ya en 1953 se finalizaron los arcos de hormigón de la Guaira en las proximidades de Caracas (Venezuela), construidos



Fig. 7. Cimbra de La Guaira



Fig. 8. Cimbra de la Arrábida

por Campenon Bernard, con Jean Muller al frente, bajo la dirección de E. Freyssinet. El arco de mayor luz alcanzaba los 152 m de luz y colapsó en 2006 por el empuje desestabilizador de su ladera sur. El sistema utilizado para el posicionamiento de la cimbra fue también novedoso como combinación de dos procedimientos diferentes: el de avance en voladizo con atirantamiento desde las pilas laterales para los arranques de la cimbra, mientras que la parte central era, como en Plougastel, un arco de madera con atirantamiento inferior que se izaba a su posición definitiva por medio de un sistema de gatos dispuestos en los extremos de los tramos volados.

Un sistema similar, pero con una cimbra metálica, se utilizó para los dos arcos del puente de la Arrábida en Portugal, de 270 m, finalizados en 1963.

Aunque todas estas cimbras hayan desaparecido, el esfuerzo invertido en ellas no fue en vano pues, como se verá posteriormente, muchos de los sistemas ideados para la construcción de las cimbras se utilizan en la actualidad directamente como procedimientos para la construcción de arcos.

### Autocimbras

La irrupción del acero como material para la construcción de arcos, permitió ampliar el escenario de posibilidades para abordar el reto de su construcción. El acero ofrecía piezas más ligeras y fáciles de montar, con capacidad de resistir axiles, flexiones y cortantes desde el mismo momento de su colocación, capacidad que se podía aprovechar para prescindir de las cimbras durante su montaje, usando en su lugar elementos y dispositivos temporales más sencillos.

Basándose en estos principios, fue el ingeniero austriaco Joseph Melan quien patentó, en 1892, un sistema constructivo, denominado sistema Melan, de armadura rígida o autocimbra para arcos de hormigón. El procedimiento consiste en construir en primer lugar un arco metálico ligero con capacidad para soportar su peso propio y el del hormigón del arco definitivo, que queda luego embebido en el arco como armadura. Los primeros arcos construidos con este sistema se terminaron en 1894 y 1895 en los Estados Unidos: se trata de dos realizaciones modestas, los puentes Rock Rapids, en Iowa, y Stockbridge, en Massachusetts, que enseguida llamaron la atención por su esbeltez. El sistema se extendió rápidamente, sobre todo en Norteamérica, pero también en Europa, donde quizá la realización más destacada sea el arco del Ammer en Echelsbach, de 130 m de luz y construido en 1929.



Fig. 9. Viaducto de Martín Gil sobre el embalse del Esla

En España, este mismo sistema fue utilizado por Ribera, del que obtuvo en 1902 patente de invención, que sostenía que nunca tuvo conocimiento previo de los desarrollos de J. Melan y que sólo se enteró de ellos posteriormente<sup>1</sup>.

Con este procedimiento, que se incluyó en los Modelos Oficiales de Puentes, se construyeron muchos puentes arco en nuestro país, con el puente de María Cristina en San Sebastián, el de San Telmo en Sevilla o el del Manzanal sobre el Esla en Palencia, como ejemplos destacados.

Pero la realización española por excelencia utilizando este sistema constructivo es el puente de Martín Gil sobre el Esla, de 210 m de luz, que fue el arco de hormigón de mayor luz cuando se terminó en 1942, debido al retraso en la construcción del puente de Sando. Su proyecto inicial de 1930, año en que se finalizó el puente de Plougastel, se aprobó en 1932 y contemplaba la ejecución del arco de hormigón armado sobre una cimbra de madera. El proyecto lo realizaron Francisco Martín Gil, Francisco Castellón, César Villalba, Antonio Salazar y Eduardo Torroja, que se hizo cargo de la obra al fallecer el ingeniero que da nombre a la obra. La construcción se inició en 1934 y tuvo que suspenderse tras estallar la guerra civil, con parte de los accesos construidos, terminados los arranques del arco y la cimbra colocada.

En la reanudación de los trabajos, en 1939, se decidió prescindir de la cimbra, debido a su defectuoso estado, y adoptar el método constructivo de armadura rígida o autocimbra. En este caso, la cimbra se colocó con medios muy sencillos, un

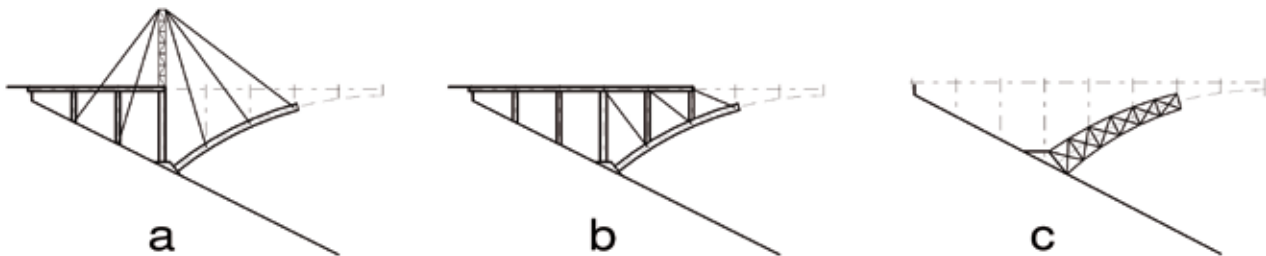


Fig. 10. Esquemas evolutivos

cable tendido y sus correspondientes pendolones. Quizá una de las principales aportaciones de este puente fue la detallada secuencia de hormigonado que se siguió para aligerar al máximo el peso de la cimbra metálica hasta los 500 kg/m. El hormigonado se iniciaba convirtiendo en mixtos los cordones de la celosía metálica para reclamar su concurso en la resistencia de las siguientes fases de forma que el peso del hormigón de estas nuevas etapas recaía no sobre la celosía metálica sino sobre un arco mixto de capacidad resistente creciente.

### Construcción por voladizos sucesivos

Como se ha dicho anteriormente, fue en el puente de San Luis, también llamado de Eads –en honor al Capitán James Eads que fue el artífice de este proyecto–, en el que se utilizó por primera vez el procedimiento de voladizos sucesivos para construir sus tres arcos. El puente se finalizó en 1874 y la audacia de esta empresa caló en los ingenieros de la época que empezaron a usar este nuevo procedimiento profusamente, y no sólo en arcos. Cabe destacar que sólo nueve años después de la finalización del Eads se inició, usando el método de voladizos sucesivos, el puente de ferrocarril sobre el Firth of Forth, que con sus 561 m, se alzó con el liderazgo en la tipología de puentes viga.

En el puente de San Luis se combinaban el avance por voladizos dobles compensados y el avance por voladizo simple. Así, los arcos del Eads se construían avanzando de forma compensada desde las pilas centrales, y de forma simple desde las pilas extremas del tramo principal, compensando estos voladizos extremos con la parte de estructura de acceso ya construida. Para ello, se recurría a unas torres provisionales de madera sobre las pilas desde las que se atirantaban los voladizos en varios niveles conforme avanzaba la construcción.

Pero el método de avance por voladizos sucesivos no siempre necesita recurrir a una torre o mástil de atirantamiento. En el caso de los arcos de tablero superior pueden conseguirse grandes voladizos configurando durante el proceso construc-

tivo una viga de celosía temporal en la que su cordón inferior comprimido es el propio arco, el cordón superior traccionado es el tablero, o un tirante que lo sustituya durante la construcción, y como elementos para transmitir el cortante entre ambos cordones se cuenta con las pilastras del arco trabajando a compresión y unas diagonales provisionales trabajando a tracción que triangulan los trapecios formados por el tablero, el arco y las pilastras. Y también, en algunos casos, como en los grandes arcos de celosía metálica, la propia celosía es capaz de por sí sola de soportar el voladizo máximo previo al cierre sin necesidad de elementos auxiliares.

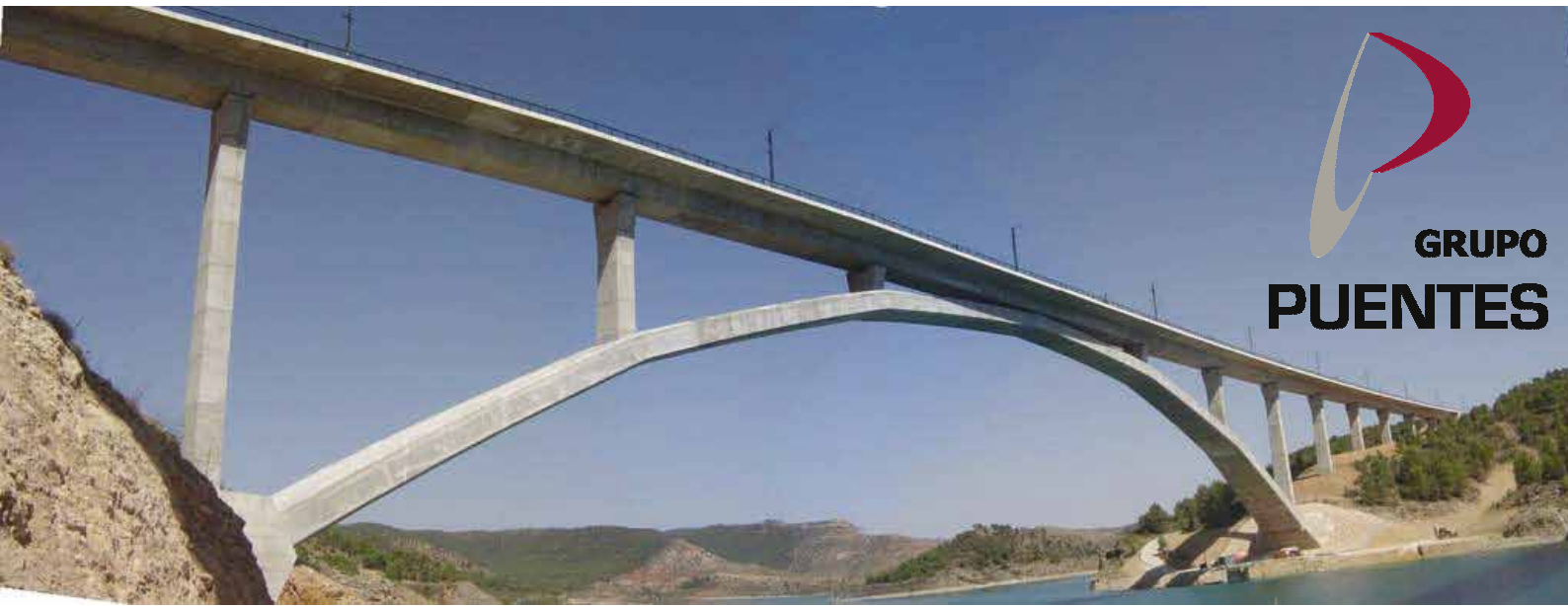
Así nos encontramos con tres variantes de un mismo procedimiento, el de los voladizos sucesivos, en función de los elementos auxiliares adicionales requeridos por el arco para poder alcanzar en el esquema estructural de ménsula el centro de su luz.

De todos ellos, el uso de torres de atirantamiento ha sido, y es, el más utilizado y se ha usado tanto en puentes de hormigón como en puentes metálicos.



Fig. 11. New River Gorge





  
**GRUPO  
PUENTES**







Fig. 12. Lupu

Dependiendo del peralte del arco, la función del mástil de atirantamiento podía desempeñarla el pilar extremo del arco. Están los ejemplos históricos del puente de María Pía, en Portugal de 160 m de luz, terminado en 1877, y el de Garabit en Francia de 165 m de luz, terminado en 1884, que se sucedieron como los arcos de mayor luz en su momento. En ambos casos, con proyecto de Eiffel, la pila extrema se estabilizaba horizontalmente con el tablero de los vanos de acceso. También destaca el arco de New River Gorge, en West Virginia, en el que se utilizaba como elemento de retenida un sistema de atirantamiento independiente del tablero, que discurría paralelo al mismo. Este puente fue con sus 518 m de luz record de mundo desde el año 1977 en que finalizó su construcción hasta el año 2003, cuando fue superado por los 550 m del puente de Lupu sobre el río Huangpu, en Shanghai.



Fig. 13. Chaotianmen

Tanto Lupu, como el arco de Chaotianmen sobre el río Yangtze, en Chongqing, que con dos metros más de luz ostenta el liderazgo de los puentes arco desde su finalización en 2009, se construyeron recurriendo al sistema de torres provisionales de atirantamiento. En el caso de Lupu, con un atirantamiento muy cerrado debido a la esbeltez de la sección del arco, formado por dos vigas cajón de alma llena, y en el caso de Chaotianmen con un atirantamiento más ligero gracias a que la capacidad resistente de la sección en celosía permitía mayores tramos de voladizo entre tirantes.

La triangulación interna del sistema arco-tablero fue el sistema elegido para construir, entre otros, los arcos KRK en Croacia. Se



Fig. 14. Arcos KRK





Fig. 15. Arco de los Tilos



Fig. 16. Viaducto del río Ulla

terminaron en 1980 y el mayor de ellos, con 390 m de luz (413 m si se tiene en cuenta la longitud del puntal que une el arranque del arco con la cimentación) fue el de mayor luz en hormigón hasta que los superó el puente de Wanxian. Se utilizaron tirantes provisionales tanto para las diagonales temporales como para el tirante superior que, una vez cerrado el arco, se retiró para y se construir el tablero definitivo de hormigón.

Cada vez en más casos se utiliza el tablero definitivo para desempeñar las labores de tirante durante la etapa constructiva. Aunque este sistema es más propio de los puentes de tablero metálico o mixto, también se extiende al caso de tableros de hormigón. Como ejemplo de los primeros figura el arco de los Tilos, de 255 m luz, terminado en 2004 y situado en la isla de La

Palma, en el que el tirante de construcción está formado por la parte metálica definitiva de su tablero mixto. Mientras que en la construcción del arco del Ulla para la LAV Santiago-Orense, de 170 m de luz y finalizado en 2011, se utilizó como tirante el propio tablero de hormigón anclado a los estribos.

El avance en ménsula del propio arco sin necesidad de elementos adicionales fue el método utilizado en la construcción del puente sobre la bahía de Sídney, de 503 m de luz, finalizado en 1932. El puente de Sídney tuvo como predecesor al de Hell Gate, en Nueva York, de 298 m de luz, que se había construido en 1917 también en ménsula, aunque utilizando torres de atirantamiento para los primeros tramos junto a los arranques que también se empotraron provisionalmente, y como sucesor con



Fig. 17. Puente de Sídney



Fig. 18. Puente de Bayonne



Fig. 19. Pasarela sobre el río Lérez, Pontevedra. 1997

510 m de luz, al puente de Bayonne, también en Nueva York, que aunque se finalizó el mismo año que Sídney, su construcción se había iniciado en 1928, cinco años después de aquél. En Sídney se empotró el arco en arranques mediante el anclaje del cordón superior de la celosía al terreno, de forma que pudiera soportar las tracciones de su trabajo en voladizo, mientras que en Bayonne se recurrió a apuntalamientos provisionales que se iban desplazando conforme avanzaba el voladizo.

### Otros métodos de construcción

Muchos de los procedimientos que, al margen de las cimbras o los voladizos sucesivos, se utilizan hoy en día para construir arcos tienen su origen, como se decía anteriormente, en aquéllos que se idearon para la construcción de las cimbras.

Así, en la cimbra de Plougastel estaría el antecedente del posicionamiento de estructuras en tipología de arco-tirante por medios de traslación, bien flotantes o rodantes. Como ejemplos en los



Fig. 20. Arco de Bonpas. TGV Mediterranee





Fig. 21. Arco de Lanjarón

que se utilizó un medio flotante estarían la pasadera de la Barqueta, en Sevilla, de 180 m de luz y finalizada en 1992, o la más modesta sobre el río Lérez, en Pontevedra. El arco de Bonpas para el TGV Lyon-Marsella o el Monastery Bridge en Irlanda serían los ejemplos de posicionamiento utilizando medios rodantes.

Otro ejemplo de este tipo es el proceso de lanzamiento que se utilizó para posicionar el arco de Lanjarón, de 140 m de luz, en el que uno de sus extremos se movía sobre carriles de rodadura mientras que el otro era suspendido desde una torre dispuesta en el estribo opuesto.

El procedimiento del volteo o abatimiento de semiarcos, tiene también su referente en la cimbra de Longeray. Se utilizó, por vez primera, como procedimiento de construcción para el arco definitivo por Morandi en la pasarela sobre el Lussia en Italia y posteriormente en el puente sobre el río Storms, en Sudáfrica, ambos en 1954. Hoy tenemos excelentes ejemplos españoles contruidos con este sistema, como el arco para el ferrocarril metropolitano sobre el río Nervión o los arcos utilizados como puntos fijos en los viaductos para el ferrocarril de alta velocidad. El arco de Alconétar sobre el embalse de Alcántara es también un ejemplo de la aplicación de este sistema de volteo precedido de una ingeniosa maniobra para el emplazamiento de los semiarcos sobre sus arranques.

Mientras que el método utilizado para la construcción de las cimbras de La Guaira o Arrábida está en el origen del proce-

dimiento usado para construir el puente arco de la Vicaría, entre otros.

#### Situación actual y evolución futura

Como se ha expuesto anteriormente, la correcta elección del procedimiento constructivo es determinante para hacer del arco una solución viable. De hecho, la evolución en los procedimientos de construcción de los arcos hay que analizarla ligada a la evolución del arco en todos sus aspectos: morfológicos, de tipo, o en sus materiales constitutivos. Y viceversa, la evolución a la que estamos asistiendo en los arcos está condicionada por su proceso constructivo, muy enfocada a simplificarlo en la medida de lo posible.

Como muestra de este binomio que forman el arco y su proceso constructivo, y de la influencia de este último, se podría citar el resurgimiento de los arcos mixtos en las dos últimas décadas, debido a las ventajas que esta tipología aporta al proceso constructivo. La presencia del acero como elemento portante de las fases constructivas y el hormigón, sumado al acero, como materiales resistentes de las compresiones de servicio, configura un escenario que simplifica la construcción sin perder la ventaja que históricamente ha aportado el hormigón como elemento más apropiado para el trabajo a compresión propio de los arcos.

La evolución en los arcos contruidos con tubos metálicos rellenos de hormigón (CFST por sus iniciales en inglés) es un





Fig. 22. Arco de Alconétar



Fig. 23. Arco de la Vicaría



claro exponente de esta tendencia. Puede considerarse como una evolución del procedimiento de autocimbra desarrollado a finales del siglo XIX por Joseph Melan, y que ha encontrado su campo de desarrollo en la mejora de las prestaciones de los materiales, tanto en resistencia como en su mejor aptitud para la puesta en obra.

La parte metálica del arco se construye por avance por voladizos sucesivos, que es el procedimiento más utilizado para la construcción de arcos en la actualidad, quedando las cimbras relegadas a las luces pequeñas y medias. Una vez finalizado el arco, además de servir de estructura portante, los tubos metálicos que lo forman son a su vez el encofrado para el hormigón. El tubo se rellena con hormigón autocompactante, de sencilla puesta en obra, y su capacidad resistente en la sección mixta se ve muy incrementada por el confinamiento que le proporciona el tubo metálico.

El puente de Wanxian, un arco de hormigón que, con sus 420 m de luz, es el más grande del mundo desde su finalización en 1997. Se construyó con un sistema muy similar al utilizado en Martín Gil, con la diferencia de que la autocimbra era una celosía de tubos metálicos que, una vez alcanzada la forma resistente de arco, se rellenaron de hormigón para hacer frente, como estructura mixta, a la carga del hormigón del arco definitivo.

En 2005 se finalizó el puente de Wushan, situado en Chongqing (China), que tiene 460 m de luz, y puede considerarse como una evolución del puente de Wanxian desde el punto de vista constructivo. En este caso, la celosía de tubos metálicos no



Fig. 24. Puente de Wanxian

queda embebida en un hormigón exterior. Las dimensiones de los tubos, de hasta 1.200 mm de diámetro, permiten que el hormigón que rellena su interior sea capaz por sí solo, junto con el acero, de resistir toda la carga del arco definitivo aprovechando, como se ha dicho, la ventaja de su confinamiento.

El puente de Wushan, que se situó justo detrás del puente de Sídney, consiguió la inclusión de los arcos de tubos metálicos rellenos de hormigón en un rango de luces hasta entonces reservado a los arcos metálicos. Tan sólo unos años después, en 2012, se finalizó el arco de Bosiden sobre el río Yangzte en Sichuan (China), con una solución muy parecida a la utilizada en Wushan. En este caso, la luz del



Fig. 25. Puente de Wushan

arco se incrementó hasta los 530 m, lo que lo coloca como tercer puente arco de mayor luz tras Chaotianmen y Lupu, y fue la constatación de que esta tipología de puentes arco CFST está ahí por méritos propios.

Esta experiencia de los arcos con tubos metálicos rellenos de hormigón muestra cómo los procedimientos constructivos de puentes arco se encuentran en un proceso de actua-

lización y mejora permanente, adecuándose a las técnicas y medios disponibles. Todo hace pensar que la adopción de nuevos materiales más ligeros, las mayores prestaciones de los materiales convencionales y el incremento en la capacidad de los medios auxiliares traerán consigo, como así ha sido hasta ahora, una mejora progresiva de los procedimientos constructivos actuales y, con ella, veremos a los puentes arco superar sus propios límites. **ROP**



Fig. 26. Puente de Bosiden

#### Notas

(1) Para facilitarnos la construcción de los arcos de H.A. y liberarnos al mismo tiempo de la onerosa tutela de las patentes de Hennebique, de que era entonces uno de los concesionarios, el autor obtuvo en 1902 patente de invención por veinte años (ya caducada) por este sistema de armaduras para arcos. Con estas disposiciones ha construido todos los puentes arco que tuvo ocasión de proyectar, y asimismo los propuso para los modelos oficiales de puentes en arco para carreteras y caminos vecinales, cuya redacción le encomendó la Dirección de Obras Públicas, que describiremos en el capítulo siguiente. Posteriormente se enteró de que el ingeniero austriaco Melan aplicó igual procedimiento en algunos puentes, cuyo empleo se extendió en Alemania y América con el nombre de sistema Melan, aunque con menores ventajas que en España por ser en aquellos países mucho más barata la madera.

#### Referencias

- Arenas de Pablo, Juan José et al. "Puente de la Barqueta". Sevilla-Puentes del 92. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1992.
- Del Valle Pérez, José Andrés, et al. "Viaducto sobre el río Ulla". Hormigón y Acero, nº 258. ACHE, 2010.
- Manterola, Javier. "Situación actual del puente arco". Informes de la Construcción, Vol. 40 n.º 398. CSIC, 1988
- Fernández Troyano, Leonardo. "Tierra sobre el Agua. Visión Histórica Universal de los Puentes". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1999.
- Fernández Troyano, Leonardo et al. "Puentes arco sobre el río Nervión en Bilbao para el ferrocarril metropolitano de la Ciudad". Revista de Obras Públicas, nº 3445. 2004.
- Llombart Jaques, José A. et al. "Puente sobre el río Tajo, en el embalse de Alcántara (Arcos de Alconétar)". Hormigón y acero, nº 242. ACHE, 2006
- Pérez-Fadón Martínez, Santiago et al. "El Arco de los Tilos en la Isla de La Palma (Canarias)". Hormigón y acero, Nº 236. ACHE, 2005.

- Pérez-Fadón Martínez, Santiago et al. "Puente arco de la Vicaría". Hormigón y acero, Nº 255. ACHE, 2010.

- Ramondenc, Philippe et al. "Le bow-string de Bonpas sur le péage de l'A7 à l'échangeur d'Avignon". Pont métalliques, bulletin 19, 1999.

- Ribera, José Eugenio. "Puentes de Fábrica y Hormigón Armado. Tomo IV. Puentes de Hormigón Armado. Obras Especiales". Madrid, 1932

- Serna García-Conde, José et al. "Los puentes del Tren". Fundación Esteyco, 2006

- Siegrist Ridruejo, Guillermo. "Arco de Almonte. Autovía de la Plata." Hormigón y Acero, nº 240. ACHE, 2006

- Steinman, David B. et al. "Puentes y sus constructores". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001.

- Torroja, Eduardo. "Razón y ser de los tipos estructurales". Ed. 4ª. Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, 1976.

- Viartola Laborda, Luis M. "La industrialización de los procesos de construcción de puentes y su evolución". La vida de los puentes. AEC. San Sebastián, 2005