

Los puentes arco de época romana



Manuel Durán

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

E.I.C. Durán S.L.

Resumen

A lo largo de este pequeño artículo se expone el gran invento constructivo que en la historia de la humanidad significó el descubrimiento de la bóveda como un eficaz sistema de generación de un espacio bajo ella, que servía tanto para realizar la cubrición de un edificio como salvar un obstáculo y permitir el paso sobre ella. Desde un posible origen mesopotámico y la propagación de su técnica constructiva por todo el Oriente Próximo, el arco llegó a los griegos y posteriormente a los romanos que supieron llevarla a las cotas más altas de eficacia y, sin duda, de belleza. El arco, la bóveda y la cúpula construidas por Roma fueron un logro excepcional que marca un hito en la historia de la construcción.

Palabras clave

Arco, bóveda, puente, obra pública, romano, fábrica, identificación

Abstract

This brief article pays homage to the great invention in the history of humanity implied by the discovery of the vault as an effective means of generating a space below the same and serving both to cover a building and to span and provide passage over gaps and barriers. Supposedly initiated in Mesopotamia and technically developed throughout the Near East, the arch was brought to the Greeks and then to the Romans who took it up to its highest level of efficiency and beauty. The arch, vault and dome built by the Romans were exceptional feats that serve as a landmark in the history of building.

Keywords

Arch, vault, bridge, public works, Roman, masonry, identification

Roma impulsó, a lo largo de su historia, la construcción de numerosas obras públicas que no sólo fueron fundamentales para el desarrollo y mantenimiento de la vasta y compleja administración que impuso en un extenso territorio, sino que cumplieron con el objetivo de convertirlas en los símbolos del orgullo y grandeza del pueblo romano.

Una de las obras públicas más notables fueron los caminos, construidos para que los desplazamientos fuesen rápidos, confortables y seguros. La apropiada elección de los corredores territoriales les permitió llevarlos en derecha, con reducidas pendientes a su paso por los puentes de montaña para su mayor comodidad. Eran caminos anchos, bien drenados, elevados del terreno circundante y con una plataforma formada por varias capas granulares –similares a las base de las modernas carreteras y autovías– extendidas y compactadas sobre un cimiento de piedras de buen tamaño.

No quedaron atrás la calidad y eficacia constructiva de los puentes edificados por todo el Imperio, que tuvieron un gran reconocimiento y admiración desde el mismo momento de su construcción. Se valoraba su utilidad para cruzar un río y eliminar el riesgo que suponía hacerlo a pie o en barca, además de ver en ellos la grandeza y el poder de Roma. Han llegado hasta la actualidad como paradigmas de una obra bien construida y resistente.

Las bases técnico-constructivas que emplearon en su construcción les sirvieron para desarrollar diversas tipologías y eficaces procedimientos que hicieron posible que un buen número de puentes se hayan conservado en buen estado, como los puentes de Alcántara, Salamanca o Bibei, por citar sólo algunos de la antigua Hispania. Esta aspiración a que durasen por toda la eternidad, al igual que su imperio, está reflejada en la frase ‘*pontem perpetui mansurum in saecula mundi*’, “puente destinado a durar por siempre en los siglos del mundo”, de un texto copiado



Fig. 1. Foto de Ponte Bibei realizada por Laurent



Fig. 2. Bóvedas de los almacenes del Ramesseum en Tebas, Egipto (Foto M. Durán)

en tiempos de Isabel II de otro anterior y grabado en unas placas de mármol en el templo del puente.

Las técnicas constructivas de los puentes, que destacan por la soberbia utilización de las bóvedas de dovelas pétreas, fueron aprendidas de los constructores o arquitectos griegos que ya manejaban estos procedimientos con pericia en la época helenística (siglo III a.C.). Es muy probable que, a su vez, las aprendieran de los países de Oriente Próximo y Egipto gracias a los contactos que mantuvieron desde comienzos del primer milenio antes de Cristo.

El arco pudo haberse desarrollado por primera vez en Mesopotamia ya que es en esta zona de los valles de los ríos Tigris y Éufrates donde se han hallado los restos más antiguos de bóvedas de principios del III milenio antes de Cristo. Es posible que esta técnica constructiva derivase a Egipto, o bien que se generase de forma autónoma pues también se conservan arcos y bóvedas contruidos con adobes de principios del III milenio a.C., por ejemplo las bóvedas de algunas tumbas de Abydos pertenecientes a la I y II dinastía (3137-2778 a.C.). Son muy conocidas las bóvedas de adobes de

los almacenes del templo construido por el faraón Ramsés III (1184-1153 a.C.) en Tebas, el llamado Ramesseum (Fig. 2).

Es precisamente en este templo donde se conservan las que han sido consideradas como las primeras bóvedas realizadas con dovelas de piedra (Fig. 4). Se trata de las bóvedas



Fig. 4. Una de las capillas abovedadas, la llamada de Amenardis (Foto M. Durán)



Fig. 3. Capillas de las Divinas Adoratrices de Amón del Ramesseum en Tebas, Egipto (Foto M. Durán)

existentes en las capillas de las Divinas Adoratrices de Amón, construidas durante la dinastía XXV (712-664 a.C.) (Fig. 3).

Los puentes arco romanos

La ingeniería romana fue desarrollada por técnicos capaces y experimentados, muy identificados con los objetivos que, según Marco Vitrubio Polión, debían reunir todas las construcciones públicas, de seguridad, utilidad y belleza (De Architectura, libro I, cap. VI). No se conoce la profesión de este autor, aunque se cree que fue un arquitecto que recogió en su obra, única de este tipo que se ha conservado, una buena parte de los conocimientos que sobre arquitectura y construcción había en tiempos del fundador del Imperio romano, el emperador Octavio Augusto (30 a.C.- 14 d.C.).

La característica más destacable del puente romano es la utilización preferente de arcos semicirculares de piedra con dovelas radiales, muy fáciles de diseñar y tallar. Se aprecia la maestría de quien ha comprendido su funcionamiento resistente y su comportamiento estructural, que tuvo como resultado obras de una gran monumentalidad por su esbeltez, tamaño o por el atrevimiento constructivo. En la figura 5, se ve el alzado aguas arriba de A Ponte Velha de Vila Formosa que, a parte de que sus arcos conservan su directriz circular casi perfecta, también ha conseguido mantener su geometría inicial de precisión, como lo demuestra el hecho de que después de dos mil años de vida útil y de haber sufrido un seísmo como el ocurrido en Lisboa en 1755, los centros de tres de sus seis arcos semicirculares están a la misma cota expresada en milímetros y la máxima diferencia entre ellos es de 11 centímetros. Estos datos han sido extraídos del levanta-

miento topográfico con estación láser que se realizó en 1996. La longitud del puente es de unos 120 metros y la luz de las seis bóvedas es prácticamente la misma de unos 8,90 metros.

El enigma de la construcción y funcionamiento de los arcos, fomentado por el sigilo profesional que perduró durante siglos, mantuvo el asombro permanente no sólo del ciudadano normal pues viajeros ilustrados así lo han dejado por escrito. El historiador Ambrosio de Morales se quedó asombrado ante el puente romano de Alcántara (Fig. 6) puesto que, según sus palabras, es una “obra de tanta braveza y *magestad* (sic) que pone espanto a quien la ve y se tiene por una de las grandes maravillas que puede haber en edificio”.

Tampoco fue pequeña la admiración de los arquitectos renacentistas italianos que consideraron modélicos el puente de madera de Julio César sobre el Rin y el de Augusto en Rímíni, o la de los francmasones franceses de los siglos XVII y XVIII que visitaron los puentes romanos de la Provenza para conocer los procedimientos y el diseño empleados. Se conservan numerosas inscripciones con sus nombres y la fecha de la estancia además de sus grabados gremiales (Fig.7).

Por lo general, si un puente romano ha perdurado es porque se construyó en un lugar con unas buenas condiciones geotécnicas, con un acertado diseño desde un punto de vista hidráulico y con una construcción resistente y bien trabada. Pero a la vista del escaso número de obras de fábrica identificadas como romanas en Hispania –unas cuarenta hasta



Fig. 5. A Ponte Velha de Vila Formosa, en Portugal, construido con una gran precisión en el siglo I d.C. (Foto M. Durán)



Fig. 6. Alzado aguas arriba del puente de Alcántara, Cáceres (Foto M. Durán)



Fig. 7. Grabado masón en el pretil del puente adosado al acueducto romano de Pont du Gard, Francia (Foto M. Durán)



Fig. 8. Ruinas del Pont Ambroix en la Vía Domicia, Francia (Foto M. Durán)

ahora– se puede pensar que se construyeron pocos, ya que son obras de relativo alto coste económico y tecnológico, o bien que muchas de ellas han sucumbido (Fig. 8).

Los ingenieros que construyeron las obras públicas pertenecían, en ocasiones, al personal técnico del ejército –tal como ha quedado grabado en diversas inscripciones halladas en el África Proconsular, Egipto y Siria– pero también podían estar contratados por empresas de construcción de carácter privado a las que el Estado les adjudicaban contratos para este tipo de obras. En la construcción del Pont del Diable en Martorell (Barcelona) pudo intervenir personal militar, en concreto de las legiones IIII Macedónica, la VI Victrix y la X Gemina, que dejaron grabados, en algunos sillares, sus numerales representativos (Fig. 9).



Fig. 9. Numeral girado de la Legio VI Victrix en un sillar del Pont del Diable en Martorell, Barcelona (Foto M. Durán)



Fig. 10. Buena cimentación del puente de Segura (Cáceres-Portugal) en la roca del cauce (Foto M. Durán)

Desde épocas republicanas se tienen noticias de la participación de civiles como empresarios en la construcción de obras públicas; por ejemplo, en un texto de Tito Livio *–Ab urbe condita–* se menciona la elección de dos censores, Q. Fulvius Flaccus y A. Postumius Albinusque, que fueron los primeros que contrataron la construcción de vías y puentes en el año 174 a.C. Estas empresas eran las *societates publicanorum*, sociedades asentistas que desarrollaban dentro del Estado romano esta actividad constructora que, según Plutarco, eran las adjudicatarias de contratos licitados por las ciudades siempre que su oferta fuese la mejor, a menor precio y en el plazo más corto.

La construcción de un puente de arco romano

La existencia de crecidas condicionó el diseño del puente en cuanto a su composición –número, luces y alturas de los arcos–, cuestiones muy importantes para la conservación de la obra pues afectaba directamente al nivel de las perturbaciones en el régimen fluvial del río, producidas por su construcción, al ser la causa principal de la socavación de las cepas que producía su ruina. Una forma segura de evitar ese fenómeno era construirlo en suelo firme, a ser posible en aquellas zonas del cauce en las que aflorase roca, pues su cohesión y dureza resistían la acción erosiva del agua.

Cuando el puente tenía que emplazarse en una zona de suelo flojo y sin condiciones adecuadas recurrieron, básicamente,

a dos soluciones: la primera consistía en sanear el terreno para cimentarlo superficialmente, y la segunda en llevar la cimentación a estratos más profundos y resistentes. En el primer procedimiento sustituían una parte de suelo por un relleno de escollera o de hormigón, tal como el que se conserva bajo el enlosado de cimentación del tramo izquierdo del puente sobre el Guadiana, en Mérida (Fig. 11).

La cimentación profunda la abordaban de dos formas: o bien procedían a excavar hasta las capas más compactas con ayuda de entibaciones en tierra y con ataguías de tierra o tablestacas de madera si era en medio del río y bombas aspirantes para achicar el agua del interior, o bien realizaban un pilotaje con postes de madera que clavaban hasta alcanzar las capas duras o agotar la capacidad de hincas del martinete; sobre estos pilotes construían un encepado y sobre él colocaban la fábrica. Esta última técnica fue muy empleada en el norte y centro de Europa, pero se desconoce si en Hispania se empleó en algún caso ya que no se han encontrado vestigios.

La madera fue un material muy empleado en los puentes provisionales, por su abundancia, por su fácil corte y trabajo, y por la posibilidad de fabricar piezas pequeñas y ensamblarlas para componer una estructura estable. Se desconoce si su construcción era habitual pues es reducido el número de restos arqueológicos localizados,



Fig. 11. Cimentación artificial de hormigón de cal y canto bajo las pilas del puente de Mérida en la margen derecha del río Guadiana (Foto M. Durán)



Fig. 12. Relleno de hormigón de una pila del puente de A Pontóriga, en Ourense (Foto M. Durán)



Fig. 13. Probable puente romano de Cotobro, realizado con mampostería hidráulica, en Almuñecar, Granada (Foto M. Durán)

especialmente en Hispania donde el número es muy escaso. Se supone su existencia en varios lugares, pero sólo se conocen dos en los que se han localizados vestigios, uno en la provincia de Ourense sobre el río Sil, el puente de A Pontóriga, del que únicamente se conservan los macizos interiores de hormigón de sus pilas. Según el ingeniero de Caminos Segundo Alvarado, la luz mayor de los arcos de celosía de madera era la del central que alcanzó los 24,80 metros. El otro puente estaba en la desembocadura del río Bidasoa en la antigua ciudad de Oiasso, la actual Irún, cimentado sobre pilotes de madera cuyos arranques se conservan hincados en el lecho fangoso.

El material más empleado en los puentes de arco romanos fue la piedra, por su abundancia y sus buenas condiciones de resistencia y durabilidad. En general, este material se empleó en sillerías aparejadas en seco, con juntas bien labradas que aseguraban un buen contacto entre las piezas. Sin duda también emplearon este material en obras de mampostería, colocada, en este caso sí, con mortero de cal hidráulica (Fig. 13).

Un número menor de puentes, a la vista de los ejemplares conservados, fueron construidos con ladrillo u hormigón en masa, a pesar que este material fue empleado con profusión en la edificación de bóvedas y cúpulas. Sólo se conserva un puente construido con hormigón en la antigua isla de Torre Astura, cerca de Neptuno (Italia), que

facilitaba el paso de personas y la conducción de agua a una antigua piscifactoría romana (Fig. 14).

En Hispania, la única obra de ladrillo reconocida como romana es una pequeña alcantarilla de Mérida (Fig. 15), de 4,10 metros de luz, que perteneció a una vía que unía esta ciudad con Olisipo, la actual Lisboa. Quizá este uso tan limitado se deba a que era considerado como un material no muy adecuado en este tipo de obras o porque no existían industrias capaces de suministrarlo con la calidad y en la cantidad necesarias.

El arco circular alcanzó en los puentes romanos su pleno desarrollo funcional, estructural y estético, ya fuese con directriz de medio punto –la forma más habitual– o rebajada. Posiblemente consideraron la primera como la solución más estable al creer –erróneamente– que transmitían verticalmente las cargas a la cimentación. La experiencia de fracasos por un estribado insuficiente les debió llevar al cuestionamiento de las bóvedas rebajadas, que ya construyeron en época tardorrepública, como en el Ponte de San Lorenzo, en la actual ciudad italiana de Padua. En España, la única bóveda rebajada original la conserva A Ponte Pedriña (Fig. 16), de unos 14,00 metros de luz, actualmente sumergida en el embalse de As Conchas (Ourense), por la que pasaba una de las vías, la nº 18, del Itinerario de Antonino, que enlazaba Bracara Augusta (Braga-Portugal) con Asturica Augusta (Astorga).



Fig. 14. Puente de Torre Astura realizado con hormigón de cal (Foto M. Durán)



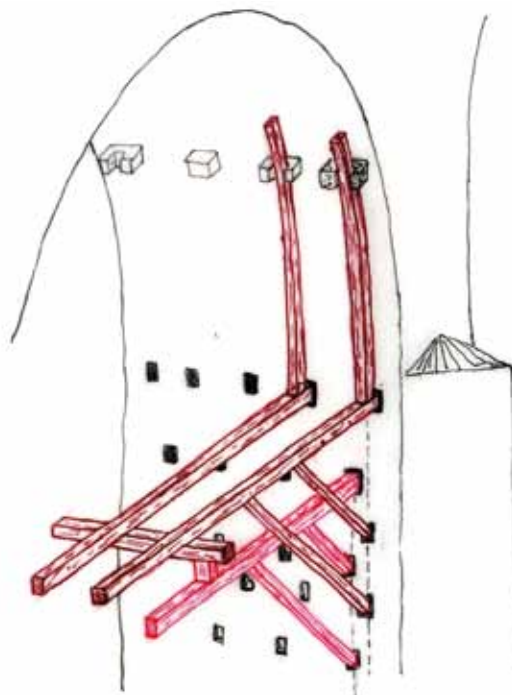
Fig. 15. Rosca interior de ladrillo de la bóveda y dovelas de piedra en la boquilla aguas abajo de la Alcantarilla de Mérida (Foto M. Durán)



Fig. 16. Alzado aguas abajo de A Ponte Pedriña, Ourense (Foto Archivo Central, Ministerio de Cultura, Caja 88048, exp. N° 14)

Para construir las bóvedas utilizaban cimbras de madera compuestas por varias cerchas curvadas con la forma de la futura bóveda. Generalmente el tirante inferior de cada cercha penetraba en unos huecos o mechinales existentes en la parte superior de las cepas, a nivel del arranque del arco (figuras 17 y 18). En esta fotografía del Ponte Bibei (Ourense) se ven otros dispositivos constructivos para incrementar la resistencia del armazón de madera de la bóveda central de 18,76 metros –una luz considerable para la época sólo superada por los cuatro arcos del Ponte de Alcántara y el

que posiblemente tuvo el Ponte Cigarrosa (Ourense)– y un espesor de la rosca extraordinariamente pequeño de 0,90 metros. Su relación con la luz es de $1/20,8$ que representa una extremada delgadez pues sólo hay que recordar el límite recomendado en el siglo XVIII era de $1/15$. El valor medio de los puentes romanos de la antigua Hispania es de $1/10$. Las fábricas de sillería de los puentes romanos cumplieron con los tres criterios que deben reunir todas las estructuras: la resistencia para soportar las cargas y la rigidez para que no se deformase excesivamente se consiguieron



Figs. 17 y 18. Mechinales de apoyo de la cimbra y andamios, apoyos en forma de cuña para los jabalcones de apeo del tirante y sillares salientes en el intradós de la bóveda para arriostramiento lateral de las cerchas, del arco central de Ponte Bibei, Ourense (Foto y dibujo M. Durán)

con los materiales empleados, cuyas tensiones de rotura son muy superiores a las de trabajo, y con la forma de colocarlos. Resisten mejor y son más rígidas si las piezas se colocan juntas con las caras de contacto finamente trabajadas, en seco, sin ripios ni mortero. El tercer criterio de estabilidad de la obra, el más incierto, lo consiguieron con la forma, las correctas dimensiones y el aparejo de las piezas.

El dimensionamiento se realizó con ayuda de unas acertadas relaciones aritméticas y geométricas que ligaban unas medidas con otras, obtenidas a lo largo de muchos años de éxitos y fracasos constructivos (esta forma de diseñar se mantuvo hasta finales del siglo XIX). En lo que respecta a las bóvedas, tuvieron un amplio conocimiento de su funcionamiento estructural que les permitió desarrollar varios sistemas para mejorar su estabilidad. El más acertado fue el descubierto en A Ponte Freixo (Ourense) (Fig. 19), consistente en el arrimo de unas hiladas de sillares en el trasdós de las partes bajas de los arcos. Hoy se sabe que este incremento parcial del grosor de la rosca de un arco de medio punto favorece su estabilidad.

Para facilitar el tránsito por el puente, los ingenieros consideraron más adecuado darle a la plataforma una rasante horizontal, además de mantener en ella la amplitud de la vía. Una anchura de 6,00 m –unos 20 pies romanos– es muy frecuente en los puentes conservados a lo largo del antiguo imperio. En Hispania oscila entre 4,60 y 7,80 metros del puente de Alcántara, siendo la anchura media de 5,83 metros. Poco se sabe cómo era el pavimento de la calzada, si hubo o no andenes, y cómo eran la forma y las dimensiones de los pretilos, pues apenas quedan vestigios en los puentes de Hispania y muy pocos en los del resto del Imperio.

La identificación del origen romano de un puente de fábrica

El reconocimiento del origen romano de un puente de fábrica no presenta mucha dificultad si está construido de sillería, pues tanto su labra, como el aparejo y su construcción poseen unas características propias que ayudan a ello. Además es muy probable que también se hallen otros pequeños detalles que resultan definitivos, como son las muescas practicadas en los bordes o en los lechos de los



Fig. 19. Refuerzo interior de las bóvedas con unas hiladas de sillares adosadas a la rosca para mejorar su estabilidad en la Ponte Freixo, Ourense (Foto M. Durán)



Fig. 20. Detalle de la losa de cimentación de la pila nº 2 del puente de Alcántara, con una línea de replanteo, muescas de palanca y mortajas de enlaces de doble cola de milano (Foto M. Durán)

rubricaingenieria.es

 RÚBRICA PUENTES

- Diseño y fabricación de equipos especiales para puentes por método de voladizos sucesivos •



rubrica,
Soluciones de ingeniería inteligente

Puente arco ferroviario sobre río Tajo

Equipos especiales para ejecución del arco del puente (320m) sobre el río Tajo, para la LAV Madrid - Extremadura.

Alsina
SOLUCIONES EN ENCOFRADOS

Distribuidor Oficial para Internacional

sillares para remover con una palanca las piezas de la hilada superior hasta colocarlas en sus sitios definitivos.

La presencia de enlaces entre sillares contiguos con forma de doble cola de milano es un detalle casi definitivo para identificar la obra romana. No lo es tanto la presencia de grapas metálicas en la fábrica. Para el ingeniero romano fue importante dar a las partes de la estructura más afectadas por la fuerza de las aguas, como eran la cimentación y la parte baja de las cepas, una trabazón flexible, mediante piezas de madera dura, para evitar la rotura de los sillares enlazados si experimentaban pequeños desplazamientos por asientos o seísmos.

También para darle a la fábrica una buena firmeza alternaron, con relativa frecuencia, hiladas de sillares colocados a soga y a tizón (Fig. 21).

Para finalizar, hay otros detalles constructivos como el almohadillado de la sillería y la presencia de cornisas rectas o molduradas, o los agujeros para facilitar el uso de tenazas en el manejo de las piezas, que también pueden indicar el origen romano de un puente antiguo. **ROP**



Fig. 21. Fábrica romana en la parte posterior de la pila central de A Ponte Freixo, con hiladas alternas de sillares normalizados de 1x1x3 pies dispuestos a soga y a tizón (Foto M. Durán)

Referencias

- Arenas de Pablo, J.J. (2002). Caminos en el aire. Los puentes. Tomos I y II. Colección Ciencias, Humanidades e Ingeniería. Colegio de Ingenieros de Caminos. Madrid.
- Alvarado Blanco, S. (1979). "A Pontóriga. Sobre los restos de un antiguo puente romano cerca de Sobradelo de Valdeorras". Boletín Auriense, tomo IX. Ourense.
- Fernández Casado, C. (1980). Historia del puente en España. Puentes Romanos. Instituto Eduardo Torroja. Madrid.
- Fernández Troyano, L. (1999). Tierra sobre agua. Visión histórica universal de los puentes. Colegio de Ingenieros de Caminos. Colección de Ciencias y Humanidades n.º 55. Madrid.
- Galliazzo, V. (1994). *I ponti romani*. II, pp. 70-71, Venecia. Ediciones Canova
- Durán Fuentes, M. (2003). "An endeavour to identify roman bridges built in former Hispania". *Proceedings of the First International Congress on Construction History*. Instituto Juan de Herrera. Madrid.
- Durán Fuentes, M. (2005). La construcción de puentes romanos en Hispania. pp. 199-201. Santiago. Xunta de Galicia.
- Durán Fuentes, M. (2006). "Estudio sobre las bóvedas de los puentes romanos". Actas del III Congreso: las obras públicas romanas en Hispania. Astorga.
- Durán Fuentes, M. ; Ferrer Sierra, S. (2013). A Ponte Vella de Lugo. Arqueología e enxeñaría histórica. Traballo de Arqueología, n.º 4. Concello de Lugo
- Liz Guiral, J. (1988). El puente de Alcántara: Arqueología e historia. CEHOPU. Madrid.
- Mesqui, J. (1986). *Le pont en France avant le temps des ingénieurs*. París: Ed. Picard.
- O'Connor, C. (1993). *Roman Bridges*. Cambridge University Press.
- Urteaga, M. (2001). "El puente romano del Bidasoa". Boletín Arkeolan, 10, 18-21. Irún (Guipúzcoa).