

LOS PUENTES ROMANOS: PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN

Manuel Durán Fuentes

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.

Universidad de A Coruña



La construcción de obras públicas en los territorios conquistados por Roma fue imprescindible para el desarrollo y el mantenimiento de la compleja administración que, con el ejército al frente – ejemplo de preparación y disciplina– se impuso en una gran extensión, básicamente mediterránea, que abarcó gran

parte de Europa, Anatolia, Oriente Medio y la franja marítima del norte de África. Con especial atención cuidaron sus infraestructuras viarias imprescindibles para la rápida comunicación con la metrópoli, el control del territorio y la asimilación económica, social y cultural de los pueblos conquistados. Esta extensa red viaria fue realizada por una ingeniería muy desarrollada que materializó una planificación realizada con objetivos muy parecidos a los actuales, como son la comodidad del viajero, la facilidad de la rodadura y la velocidad. La elección correcta de corredores territoriales, la derecha en el trazado, la eliminación de obstáculos naturales que les llevó a construir túneles o a realizar importantes movimientos de tierras, la limitación de las pendientes longitudinales, la amplitud de la calzada y el desarrollo de unos firmes resistentes de varias capas granulares y el especial cuidado de drenaje tanto longitudinal como transversal, han conseguido que los caminos romanos sigan despertando nuestra admiración.

En la construcción de puentes también alcanzaron un gran nivel técnico tanto en el diseño como en la construcción, pues su objetivo era preciso puesto que debían ser símbolos de la *maiestas imperii* y la *publica magnificentia* del pueblo romano. Fueron ejecutados de manera sólida y estable, sin concesiones a la ligereza y con una clara intención de que durasen 'por siempre en los siglos del mundo' como dejó escrito el arquitecto *Caius Iulius Lacer*, constructor del puente de Alcántara. Esta buena ejecución, en general apreciable en todas sus obras, les ha llevado a convertirse a lo largo del tiempo en paradigmas de obras resistentes, duraderas y bellas. Es un tipo de obra de la que todo el mundo se siente orgulloso de tener en su territorio.

Este orgullo es, entre otras causas, la justificación de los numerosos errores en la correcta identificación de estos puentes por lo que numerosas obras medievales e incluso modernas son etiquetadas como romanas. De aquella lejana época no quedan noticias de estas obras y su identificación sólo es posible analizando las fábricas conservadas. Sin este análisis lo habitual es que una obra que sea antigua con arquería de medio punto de piedra sea considerada romana. No ha faltado el erudito que para justificar la existencia de una vía romana ha otorgado a los puentes que hallaba en su trazado el adjetivo de "romano", basándose únicamente en su ojo "clínico", en la denominación tradicional o en unos presuntos "fundamentos romanos". Estos hechos, tengo que reconocer, me han hecho viajar inútilmente a muchos lugares de la península.

Al analizar de un modo sistemático las fábricas de los verdaderos puentes romanos, tanto de Hispania como del resto del Imperio, se detectan que las obras las abordaron con un espíritu eminentemente práctico que les llevó a aplicar sistemáticamente unos tipos de diseños y soluciones constructivas similares en todo el imperio, sin que no falten variaciones de tipo regional pero la mayoría de las veces de segundo orden.

Mayoritariamente emplearon fábricas de sillería de piedra, aunque no faltan obras en las que se usaron mamposterías acuñada o/y hormigonada, y masas de

hormigón puzolánico o de cal. Son las de sillería en las que nos vamos a centrar por cuanto hasta ahora, son las que podemos intentar su identificación como obra romana, con bastante posibilidad de acierto. Y esto es así posible porque la sillería de piedra, a diferencia de otro tipo de material, conserva unas características y singularidades constructivas que son muy útiles para ese propósito.

¿Cómo consiguieron esta relativa uniformidad de tipos, materiales, sistemas y disposiciones constructivas? Como ya expresó Viollet-le-Duc “*los romanos debían tener un espíritu demasiado normativo y una mentalidad demasiado recta, eran demasiado buenos administradores como para realizar construcciones inútiles*”. Además una buena justificación la podemos hallar en primer lugar, en la existencia de diversos profesionales vinculados a la construcción de las obras públicas, entre los que destaca el arquitecto, profesional bien formado y regido por normas corporativas (¿emanadas de un *collegium* específico?), que pudo ejercer de forma civil y liberal contratado por empresarios de la construcción pero que también pudo estar encuadrado como militar en unidades específicas del ejército (p.e. en la *vexillatio* que construyó o reparó el puente acueducto de Cesárea Marítima en Israel). En segundo lugar parece lógico pensar en la existencia de un aprendizaje reglado y bien implantado que permitía la transmisión de los conocimientos obtenidos de los éxitos y fracasos de experiencias anteriores, de su propia práctica constructiva o de otros pueblos. Desconocemos si hubo escuelas concretas en las que se impartían estos conocimientos o bien eran transmitidos en el seno de equipos o grupos donde el maestro constructor enseñaba a sus aprendices, de un modo similar a lo que sucedería posteriormente en la Edad Media.



Los *architecti* son los técnicos más reconocidos en el ámbito de la construcción clásica, ya conocidos en Grecia en tiempos de Herodoto, como Eupalinos de Megara al que le atribuye la construcción del largo túnel para el abastecimiento de agua a Samos. Eran los autores de los proyectos, la *forma*, formados por los

planos pintados y anotados, *picta et adnotata*, los presupuestos y las prescripciones de cómo debían hacerse las obras. Además de intervenir en la contratación de la obra, el replanteo y la ejecución, estaban encargados del cuidado de los obreros, la recepción de los materiales en la obra, la verificación y recepción de los trabajos y el libramiento de las autorizaciones de pago. Para marcar las grandes líneas de la obra, sobre todo si era compleja, podía echar mano de maquetas a escala, y para los detalles del proyecto se auxiliaba de dibujos.

Tanto en la República como posteriormente en el Imperio intervinieron en la construcción de obras públicas civiles y empresas, como los censores *Q. Fulvius Flaccus* y *A. Postumius Albinus* que contrataron la construcción de vías y puentes en el año 174 a. C. Pero sin duda una organización que resultó decisiva en el éxito de la ejecución de las obras romanas fue el ejército, gracias a la preparación de sus hombres y mandos, organización y capacidad de provisión de medios. Por ejemplo en la instrucción de los soldados se incluía la construcción y el mantenimiento de vías y puentes, pues estas actividades les mantenían entrenados. Había una circunstancia añadida puesto que constituían una mano de

obra cualificada y económica para el promotor, que generalmente era el propio emperador. Frontino afirmaba que los legionarios debían saber construir los puentes más rápido que sus enemigos para mostrarles su superioridad y hacerles caer en el desánimo. Estas prácticas también eran importantes para las campañas militares en las que, en ocasiones, tenían que construir puentes de una gran envergadura y en condiciones duras, como el que realizó el arquitecto Apolodoro de Damasco sobre el río Danubio en la campaña de Trajano contra los Dacios. En otras ocasiones, el ejército sólo ponía a disposición de la obra sus arquitectos, que se desplazaban enviados desde Roma o desde las unidades militares acantonadas en algún punto próximo. En la Hispania romana conocemos los nombres de algunos arquitectos nativos, como el lusitano Gaius Sevius Lupus, que levantó la linterna llamada de Hércules de A Coruña, única romana que todavía está en uso y recientemente declarada (2009) por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad, o Gaius Iulius Lacer que construyó el puente de Alcántara. A pesar del escaso conocimiento sobre la actividad y la actuación de estos técnicos nativos, probablemente fueron abundantes si se toma en consideración las informaciones de las cartas que Plinio El Joven envió a Trajano desde Bitinia al inicio de su cargo de gobernador, solicitando el traslado de técnicos desde Roma. El emperador le contesta que se sirva de los arquitectos locales, que no le pueden faltar, pues no hay provincia que no los tenga expertos y de talento, "a menos que pienses que es más rápido enviarlos de Roma, cuando incluso es habitual que vengan a nosotros de Grecia".



Puente de Alcántara

Hubo otros técnicos, quizá de menor rango que los arquitectos, como el agrimensor que medía los terrenos, el *librator* con funciones similares a los modernos topógrafos, los *calculatores* que manejaban el *abacus*, los *lapidari* que trabajaban la piedra, etc. El agrimensor más conocido fue Frontino, que escribió un tratado sobre el abastecimiento de agua a Roma, *De aquaeductu urbis Romae*, en el que detalla la construcción de los nueve acueductos de Roma desde el 312 a.C. al 52, y la administración de las aguas por ellos transportados. Eran profesionales muy demandados como reflejan las peticiones de Plinio El Joven a Trajano. Un *librator* conocido por la epigrafía fue el militar *Nonius Datus* que realizó la comprobación de las nivelaciones del acueducto de la *Colonia Iulia Augusta Saldae*.

La mano de obra no especializada estuvo formada por ciudadanos encuadrados en diversos *collegii*, por hombres de la milicia, prisioneros de guerra y por esclavos. También se recurrieron a la utilización forzada de determinadas

capas sociales con la institución de la prestación personal, *sordida munera*, para realizar toda clase de cometidos como, por ejemplo, la preparación de la cal destinada a las necesidades del Estado. En principio los sujetos sometidos a la prestación personal de trabajo eran todos los habitantes del Imperio, excepto los funcionarios, los oficiales del ejército y los sacerdotes.

El proyecto

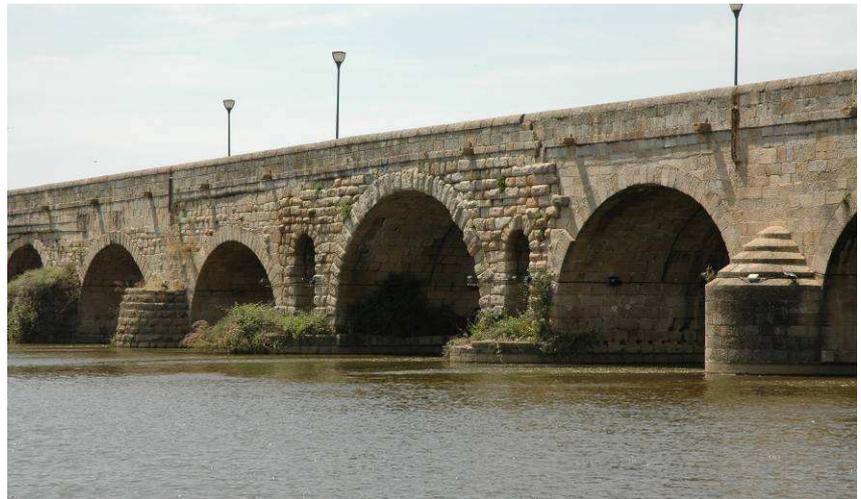
El P. Pontones definía en el siglo XVIII a los puentes como “unos caminos sobre las aguas que se han de juntar con los de la tierra” por permitir la continuidad a los caminos. Su construcción es necesaria para que el camino supere el obstáculo que le supone la existencia de un río o un barranco. La morfología del territorio les confiere carácter y unicidad, mientras que la obra aporta al lugar un nuevo valor paisajístico. Para ello es definitivo el gusto y acierto del proyectista que cuenta con la ayuda de la tecnología de su tiempo; cuando termina su construcción es cuando la obra adquiere su fuerza, al transformar el entorno y crear un nuevo paisaje.

En general el puente es una obra humana que responde a un acto de voluntad consciente por el cual su autor desea darle una tipología estructural determinada que resuelva la continuidad del camino de la mejor forma posible. En el caso de los puentes romanos se aprecia en ellos el carácter práctico de sus constructores, su gusto por las cosas sencillas, bien realizadas, y el deseo de que su ejecución fuese útil, rápida y económica.

En el planteamiento del proyecto y proceso constructivo de un puente, los ingenieros romanos estudiaban y resolvían una serie de problemas previos ineludibles como la elección del lugar de implantación, de los materiales a emplear y de la composición formal de la obra. La existencia de un buen firme en un lugar determinado y la abundancia de un tipo de materia prima permitían dar rápida solución a parte de estos planteamientos previos. La composición formal dependería de la forma topográfica del lugar y de las experiencias constructivas

del maestro o arquitecto. En la toma de estas decisiones iniciales también entraban en juego la finalidad constructiva del puente, ya que podía deberse a un hecho puntual como una campaña militar, o bien a la necesidad de establecer una comunicación más duradera. También el factor económico influía más de lo que se piensa, ya que la idea preconcebida de que los recursos eran muy grandes y que no eran determinantes, no es correcta. Ya el ingeniero francés Augusto Choisy escribió que “el genio de los romanos siempre supo conciliar la pasión por las grandes empresas con la economía; el tamaño con la elaboración de métodos de fácil ejecución”.

Los condicionamientos básicos en la elección del emplazamiento de un puente fueron el trazado de la vía, la existencia de una población ribereña o la fundación de una nueva ciudad o colonia. En el primer caso el cruce del río con la vía era lo que predeterminaba la ubicación de la obra que posteriormente se concretaba en función de la forma topográfica del cauce y las características geotécnicas del terreno. Como dice el ingeniero Eugenio Rivera “ya de antiguo se situaban los puentes en los estrechamientos de los ríos, donde las márgenes suelen ser más firmes”. En estos lugares las obras eran más cortas, económicas y duraderas y el trazado del camino se adaptaba al puente y no al revés. En los otros dos casos la implantación estaba más obligada por la situación del núcleo de población que obligaba a los constructores a forzar la solución técnica. Recuérdese el puente sobre el



Puente de Mérida

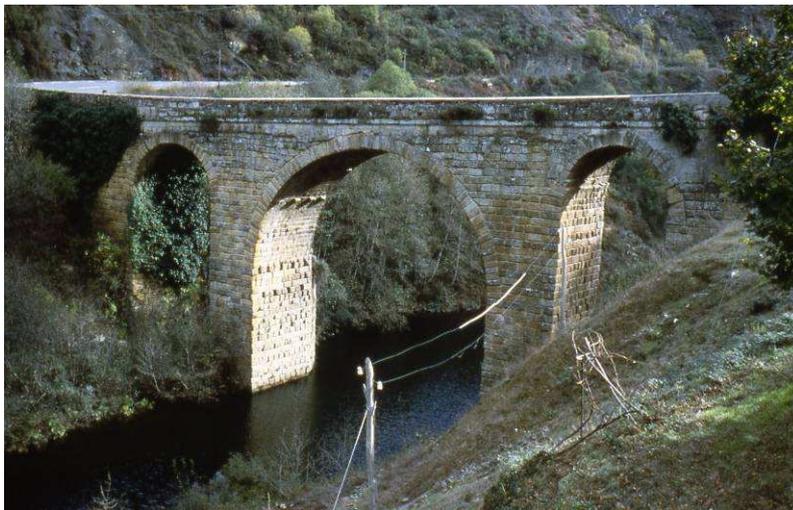
Guadiana en Mérida construido en una de las salidas de la ciudad que obligó a mejorar la cimentación en algunos tramos del cauce y a construirlo con una gran longitud dada la configuración del valle en este lugar.

En los casos en los que el constructor podía elegir el lugar eran las condiciones geotécnicas y configuración del cauce las determinantes en su decisión. El afloramiento de roca le despejaba las dudas ya que de este modo se aseguraba a la obra una mayor durabilidad y permanencia a lo largo del tiempo. Era buscada con determinación y conocimientos específicos, gracias a los cuales se lograba construir en las zonas de mejores condiciones geológicas. Por ejemplo el puente de Alcántara (Cáceres) se construyó sobre el río Tajo en el lugar más idóneo desde el punto de vista topográfico y geotécnico, en un crestón del duro complejo pre-cámbrico esquisto-grauváquico (arenisca) de la zona y en la parte más estrecha del cauce. El ingeniero de caminos D. Nicolás Navalón que participó en la construcción del embalse de Alcántara en los años sesenta, nos comentó que la mejor ubicación para la presa por las mismas razones, hubiese sido precisamente donde está construido el puente. Pero no siempre se lograba este empeño y la ausencia de buenas condiciones del terreno ha provocado muchos deterioros en la fábrica y en ocasiones la total desaparición de los puentes construidos, por ejemplo en la vertiente mediterránea de la Península, con fenómenos de tremendas arrolladas (las gotas frías) a comienzos del otoño.

La disposición de un plazo de ejecución más o menos amplio, en consonancia con la finalidad constructiva del puente, repercutía en la elección de un material u otro. La madera, siempre que la hubiese en el entorno de la obra, era el material más idóneo para los puentes que se tuviesen que ejecutar con rapidez. De ellos apenas quedan restos, como los rellenos de hormigón de las pilas de A Pontóriga (Ourense), pero su tipología la conocemos gracias a la Columna de Trajano del Foro Imperial de Roma. Labrados en su fuste se aprecian diversos modelos formados básicamente por una plataforma de vigas de madera apoyada en barcas ancladas o en caballetes de madera (el modelo más famoso es el que construyó Julio Cesar sobre el Rhin y que detalló en su obra "La guerra de

las Galias”), y una plataforma formada por arcos rebajados de celosía de madera (el construido por el arquitecto Apolodoro de Damasco sobre el río Danubio) apoyados en pilas de piedra. La fábrica de piedra, ladrillo u hormigón exigía un mayor plazo de ejecución que podía tener en aquellos casos de construcción planificada de una vía. Pensamos en la *Vía Nova*, la número 18 del Itinerario de Antonino, la tercera y más moderna de las que unían *Bracara* y *Asturica*, construida en tiempos de Tito y Domiciano con un trazado perfectamente planificado y con la ejecución de puentes de piedra de una gran calidad terminados en tiempos de Trajano, que sin duda sustituyeron a unos primeros provisionales de madera.

Una cuestión básica en el diseño de cualquier puente es darle el desagüe necesario para dejar bajo él las mayores crecidas del río. Conocer esta sección ha constituido un problema teórico pues hasta hace poco la ingeniería hidráulica no disponía de suficiente formulación matemática para todos los factores que intervienen en la determinación del máximo caudal a evacuar. Todavía en los años treinta del pasado siglo el ingeniero José Eugenio Ribera reflejaba el estado de la cuestión al estudiar los hundimientos de puentes por la socavación de las cepas producida por la alta velocidad de las aguas cuando sus desagües eran



Puente de Bibei

insuficientes. Ribera desconfiaba de las teorías hidráulicas de la época porque no las consideraba aplicables por parecerle algo fantásticas, y recomendaba confiar en la información extraída de los puentes inmediatos y en los datos de las mayores crecidas obtenidos de la gente del lugar. Quizá los

ingenieros romanos tuviesen en cuenta en los proyectos de sus puentes unas

recomendaciones similares a estas, visibles en los éxitos obtenidos en algunos de ellos como el de Alcántara o el Bibei, que posiblemente nunca fueron rebasados por ninguna crecida. Carlos Fernández Casado refiriéndose al puente de Alcántara escribió que su tamaño “a primera vista parece desproporcionado a las condiciones hidráulicas del río, pero en cuanto se pone en relación con el nivel de máximas avenidas destaca su adecuación funcional” y el acierto de su diseño.

Para mejorar el comportamiento hidráulico del puente durante las crecidas la ingeniería romana les dotó de dos elementos compositivos: el tajamar (con plantas semicirculares o triangulares) en el frente de las pilas y los muros de encauzamiento en la parte aguas arriba de los estribos.

Conocidos los condicionantes que marcaban el desagüe del puente y decidida la altura del mismo, el arquitecto tenía que definir su composición formal. Este momento vendría marcado por su propia experiencia, el presupuesto, los medios humanos y los materiales disponibles, y por las propias limitaciones de la práctica constructiva como el espesor de las pilas y las luces máximas de las bóvedas. Con carácter general Vitrubio aconsejaba que las edificaciones cumpliesen tres exigencias: *firmitas, utilitas, venustas*, es decir solidez, utilidad y belleza. El concepto teórico de la disposición constructiva era lo que denominaba y describía, con cierta confusión, la *symmetria*, que no es lo que actualmente entendemos por simetría, sino que se refería a que todas las partes debían estar relacionadas entre sí por su participación en un módulo de medida común, que es la base de sus dimensiones. Mediante estas *conveniens consensus* entre las partes y el todo se consigue, según Vitrubio, la *eurhythmia*. Las relaciones de medidas se determinaban mediante la aritmética “que resuelven intrincados problemas de las proporciones” o la geometría.

Era muy importante la experiencia acumulada de los arquitectos y la transmisión de la misma con una enseñanza reglada y una adecuada normativa. Sobre esto escribía en fechas tan recientes como 1936 Eugenio Rivera, “*no motejemos a la experiencia y al empirismo, que es resultante de aquella;*

copiemos lo que han hecho otros, y no recurramos al cálculo sino con una fe proporcional a nuestra confianza en sus hipótesis”, o el Padre Pontones en el siglo XVIII que aconsejaba *“seguir las huellas ya pisadas para buscar el acierto que otros han conseguido”*. El gran mérito de los constructores romanos fue haber sido pioneros en esta especialidad constructiva sin apenas precedentes en los que inspirarse, superando de un modo práctico las dificultades que todavía existían a principios del siglo XVIII y que el ingeniero francés Henri Gautier reflejaba en cuestiones tan fundamentales como eran el espesor de los estribos, muros y pilas, el espesor de las bóvedas y la elección de la directriz más idónea de las bóvedas. Hasta fechas muy recientes estas cuestiones fueron resueltas gracias a sencillas reglas proporcionales, aritméticas o geométricas, extraídas de la experiencia constructiva, que vinculaban unas con otras (p.e. el espesor de la bóveda dependía de su luz, el espesor del estribo se determinaba geoméricamente en función de la luz y la forma de una bóveda, etc.).

En la composición formal de algunos puentes de *Hispania* parece que utilizaron algunos diseños geométricos, a la vista de algunas especulaciones hechas al respecto. En el puente Bibeí parece haberse utilizado como módulo constructivo el espesor de las pilas y en los puentes Freixo y Alcántara se ha detectado que algunas de sus dimensiones están relacionadas según la razón áurea.

La construcción

Superada la fase de proyecto y pasando a la fase constructiva de los puentes de época romana, creemos que las pretensiones fundamentales del constructor eran realizar una obra resistente, duradera, económica, adaptada al fin y a ser posible bella para lo cual tuvo un desinterés hacia el ornato excesivo y un claro gusto hacia las líneas sencillas y el ordenamiento de las partes compositivas.

Para conseguir una obra resistente se exigió darle la mejor cimentación posible, bien asentándola directamente sobre un terreno firme o en caso de que no lo fuese mejorándolo con la sustitución de su capa superficial por otra de escollera (Alcántara) u hormigón en masa (Mérida). En caso de que el terreno fuese muy deficiente recurrieron a cimentaciones profundas mediante la hincada de pilotes con la punta reforzada con azúchales metálicos (Puente de Tréveris). Vitruvio aconseja, en este caso, proceder a hincar *“estacas de chopo, de olivo o de roble, chamuscadas, metiéndolas a golpe de máquina”*.

Parte resistente de la obra eran las pilas y los estribos, las cepas como los denominan los tratados antiguos de arquitectura, que tienen la función de transmitir al terreno las cargas muertas o permanentes y las sobrecargas del puente, a través de las bóvedas que sobre ellos se apoyan. Los estribos reciben el empuje inclinado de una bóveda que debe equilibrarlo con su peso, transmitiendo a la cimentación la resultante de todas las fuerzas presentes. En cambio las pilas, sobre todo si las luces de las bóvedas adyacentes son iguales, reciben empujes equilibrados con componentes horizontales que se contrarrestan entre sí. Esto permite disminuir su espesor pues necesita menos materia para alojar la resultante de los empujes en su interior ya que ésta es prácticamente vertical. Nada sabían los arquitectos romanos de empujes –entendidos como vectores- y de resultantes –la composición de fuerzas se desarrolló en el siglo XVII- pero sí tuvieron una gran experiencia sobre el comportamiento estructural de las pilas que les permitió diseñar puentes en época tardo-republicana con bóvedas rebajadas y pilas de gran delgadez con relación a la luz de los arcos –p.e. el puente de San Lorenzo de Padua- que todavía hoy causa admiración. Fueron modelos con un diseño muy avanzado para su tiempo que solo la ingeniería del siglo XVIII consiguió igualar.

Para que la fábrica de un puente romano sea resistente, rígida y estable - principios básicos de toda estructura- los ingenieros de aquella época desarrollaron varios sistemas constructivos originales y eficaces. Para darle una mayor resistencia la aparejaron en seco o a hueso, sin juntas de mortero de cal

ni cuñas entre las piezas con lo que consiguieron que la fábrica tuviese una resistencia parecida a la de la propia piedra, bastante mayor a la obtenida si se dispusieran juntas de mortero o cuñas como en la época medieval. El segundo criterio estructural -la rigidez- el material pétreo con el que está construida la fábrica lo cumple sobradamente, pero al estar simplemente acumulado en seco creyeron necesario incrementar la trabazón o firmeza entre los sillares para resistir mejor los embates de las aguas crecidas del río, los inevitables asentos de las fábricas (una estructura asienta durante unos 30 años después de ser construida) o las ondas deformadoras de los seísmos.

Uno de los sistemas de trabar las fábricas consistió en el grapado entre sí de los sillares con enlaces, grapas o espigos de madera dura, hierro o incluso mármol, de formas variadas, alojados en agujeros y sellados con plomo fundido. Esta técnica la pudieron exportar de la construcción persa, griega o egipcia, pues en ellas se utilizó desde el siglo V a.C. e incluso antes, como puede verse en el palacio de Darío en Persépolis o en Saqqara, Luxor, Edfú o Kom-Ombo, fundamentalmente con forma de doble cola de milano. Con estas grapas, sobre



todo las de madera, consiguieron trabar la sillería pero con uniones dúctiles que



no la rompen en caso de existir desplazamientos. A pesar de esto también dispusieron frecuentemente grapas de hierro en forma de U, T o doble T, que gracias al emplomado

disponían de cierta capacidad de absorber pequeños movimientos de la fábrica. El saqueo de estas piezas metálicas en la Edad Media fue muy habitual –en casi todos los monumentos romanos se ven los huecos practicados en las juntas- y es raro verlas en los puentes (p.e. el Afrin en Siria) y en otros edificios (p.e. Porta Negra de Trier en Alemania) de la parte europea del Imperio. Es más frecuente encontrarlas en cimentaciones de edificios de la parte oriental. En otros puentes solo quedan las huellas de su existencia en sus agujeros de empotramiento, como en el Ponte Navea (Ourense) o en el portugués Ponte de Pedra.

Otro sistema menos frecuente era aumentar la trabazón con engatillados en la sillería (p.e. catedral siria de Bosra) o en la colocación de piezas de piedra en forma de doble T, T, o U, a modo de llaves de amarre. Ejemplos de estas disposiciones son como las piezas en U dispuestas en las claves de Pont du Gard, o las enclavadas en el piso-techo de las bóvedas del faro romano de Hércules de A Coruña. Los engatillados fueron utilizados casi exclusivamente en época romana en dinteles adovelados de puertas de edificios, con precedentes en la construcción egipcia y griega (templo de Juno de Agrigento), para evitar el deslizamiento de las dovelas entre sí cuando se produjesen movimientos de los estribos. Algunos dinteles con dovelas engatilladas se conservan en las puertas

del Palacio de Diocleciano en Spalato, la actual ciudad croata de Split, en una puerta de *Tarraco* o en el teatro de Orange en Francia. Son más frecuentes en zonas del antiguo Imperio Oriental (p.e en Hieropolis) en los territorios bizantinos (Tumba de Teodorico en Ravena) y posteriormente en la construcción otomana. Los engatillados que podemos ver en dos puentes considerados romanos de Córdoba, los de Villa del Río y Los Pedroches, ante la falta de otros ejemplos en todo el Imperio y el hecho de que en esta zona estuvo bajo dominio de los Omeyyas que procedían de Siria, nos ha hecho dudar del origen romano de las fábricas actuales y nos inclinamos más a que sean unas reconstrucciones realizadas por alarifes árabes con técnicas constructivas bizantinas sobre sus cimentaciones romanas. La singularidad del estribado de un arco sobre el dovelaje del arquillo y la estrechez (45 cm) del pilar que sostiene a ambos, con precedentes en la construcción oriental bizantina, nos refuerza esta opinión.

Otro de los sistemas para darle trabazón a la fábrica era disponer tizones que asegurasen y estabilizasen los forros de sillería de las fábricas. Es una característica muy romana la disposición de hiladas alternas de sogas y tizones, heredada de la construcción egipcia y griega. La idea pudo surgir al tratar de imitar en las fábricas de piedra los sistemas empleados en las construcciones con troncos de madera o de ladrillo; en las piezas se cruzaban en capas alternas para obtener mejores resistencias. El historiador italiano Lugli lo ha denominado 'sistema romano' por su presencia frecuente en el *opus quadratum* de muchas obras. Posteriormente se sigue utilizando en la parte oriental mediterránea y en el llamado *opus gallicum* con piezas de madera atravesando de lado a lado la fábrica. Este sistema de tizones se completaba con la ejecución del relleno interior, que mejoró mucho cuando el material granular fue sustituido por 'entripados' de sillería o de hormigón dispuesto en capas. Un buen ejemplo lo proporcionan los rellenos del puente de Alcántara que según el ingeniero Pelilla, eran de sillería o los de hormigón del puente de Mérida.

La característica más destacada y que ya hemos resaltado de los puentes romanos es la sabia utilización de las estructuras arqueadas de fábrica y su

espléndido y meritorio desarrollo a lo largo del tiempo pues partían de unos antecedentes muy limitados. Sin conocer la curva antifunicular de las cargas soportadas ni la línea de empujes, cuya formulación teórica se desarrolló en la primera mitad del siglo XIX, los romanos emplearon la bóveda con la maestría de quien ha comprendido su correcto funcionamiento estructural, consiguiendo no sólo el fin constructivo sino también una indudable calidad estética. Como ya hemos visto emplearon mayoritariamente los arcos de medio punto y en menor medida bóvedas con directrices circulares rebajadas que se ajustan mucho mejor a la curva antifunicular de las cargas permanentes pero con el inconveniente de producir un mayor empuje horizontal en los estribos.

En nuestros estudios no hemos hallado ninguna bóveda articulada ni con grandes deformaciones, a diferencia de los arcos de los puentes medievales y modernos en los que la presencia de rotulaciones y 'aplanamientos' parciales de la directriz son relativamente frecuentes. Esta ausencia es debida, en primer lugar, a que las bóvedas tienen suficiente espesor para su estabilidad al alojar con holgura en su interior las posibles líneas de empujes, y en segundo lugar por estar bien estribadas. El acertado criterio de diseño, en cuanto a sus dimensiones, la correcta forma de su directriz y la buena calidad de construcción han hecho que las bóvedas romanas sean estables frente a las cargas, los asientos y las deformaciones de sus cepas.

Para mejorar la estabilidad de las bóvedas los constructores romanos idearon algunas 'mejoras' que consistían fundamentalmente en incrementar en la zona baja de los arcos -donde es más necesario- el espesor de la rosca (p.e en Freixo, Caparra o Chaves) o en todo su desarrollo con la colocación de dos roscas de dovelas (p.e. Alcántara), o la ejecución de muros longitudinales dentro del tímpano que arriostrasen la parte inferior de las bóvedas entre sí. El 'entripado' de sillería o de hormigón en masa también mejora mucho la estabilidad de las bóvedas.

Las luces de los arcos generalmente no son grandes pues tienen valores modestos. El 90 % de los puentes estudiados por el ingeniero inglés O'Connor tienen arcos con luces menores a 21 m y el 70% no alcanzan los 12,50 m. Según los datos que poseemos de los puentes de *Hispania* (muestra de 117 valores) el 80% de ellos tienen luces comprendidas entre los 6 y 10 m. El valor medio de la muestra es 9,62 m. La mayor luz de los puentes romanos peninsulares la tiene de Alcántara con un vano de 28,80 m. aunque el antiguo romano de Ourense pudo alcanzar los 33 o 34 metros. Este valor estaría próximo a los 36,65 metros del arco de San Martín de Aosta, posiblemente la mayor luz alcanzada por un puente romano.

La clave puede destacarse del resto de las dovelas de las boquillas por el tamaño, el color (Ponte Pietra de Aosta y puente Nona cerca de Roma en la Vía Praenestina), por estar más saliente (Ponte Pedriña) o por estar decorada (cabeza de toro en el puente Nomentano de Roma, o la corona cívica de hojas de roble y un vaso de sacrificios en el puente de Rimini).

La parte interior de las bóvedas de los puentes normalmente está ejecutada por hiladas de dovelas con las juntas encontradas (matajunta). Es poco frecuente que esté formada por anillos adosados unos a otros, como las que se conservan en puentes de la Gallia Narbonensis como el puente de Boisseron, cerca de Montpellier y el de Sommières (Gard). Un puente con bóveda mixta la conserva el puente francés de Vaisson-la-Romaine, en la que los anillos independientes forman la parte central entre riñones. Otra forma singular de construir las bóvedas consiste en arcos independientes con un material de relleno entre ellos, que pueden o no sobresalir en el intradós, entre los que destacan una bóveda del viaducto de Narni y el arco del puente de San Martín de Aosta.

La parte superior del puente es la plataforma, formada por los andenes, la calzada y los pretilos o barandas. Con mucha frecuencia en esta época la rasante es horizontal o con una doble pendiente muy pequeña como la que tuvo el puente de Alcántara o algo más apreciable como varios tramos del puente de Mérida. Una

forma mixta, horizontal sobre la arquería y en rampa en los accesos, también la emplearon, por ejemplo en puente de Augusto o Tiberio de Rimini (Italia). Siglos más tarde este diseño fue considerado modélico por el arquitecto renacentista Palladio.

La calzada era amplia -no como las de los puentes medievales construidos con criterios menos ambiciosos - pues mantenían la anchura de la vía de unos 6,00 metros. Por tanto una característica de estos puentes es su anchura; en una muestra de 146 puentes el 81,50 % de ellos superan los 5,00 metros, y solo el 5% es inferior a 4,00 metros. No suelen conservarse los pavimentos originales puesto que se deterioraban con facilidad por el uso y eran sustituidos por otros. Según el profesor Galliazzo el pavimento original del puente de Rimini era de losas colocadas en espina, y el del Ponte Elio era de losetas poligonales de piedra. En ocasiones el pavimento desaparecido nunca fue repuesto por lo que se circuló por el trasdós de las bóvedas que fue desgastándose por el paso de los carros (Ponte do Arquinho) o por la pezuña de las caballerías (puente de Carmona). También pudo ser rebajado intencionadamente para facilitar el tránsito como puede verse en el puente Flavio de Saint-Chamas, en el que se llegó a rebajar 70 centímetros el espesor de la bóveda.

Son muy escasos los puentes que conservan las aceras originales, pues eran elementos que las grandes crecidas arrastraban o fueron saqueados para su utilización en otras edificaciones. Conocemos las aceras de algunos puentes como el de Alcántara y Albarregas por dibujos del viajero Laborde, pero no sabemos si son las originales o de reconstrucciones posteriores. Con respecto a los pretilos originales, los *parapetti*, son también muy escasos los puentes que los conservan. De sillares puestos de canto son los del puente de Augusto de Rimini rematados en baquetón. Un tipo singular es el que tuvo el puente Fabricio de Roma, según Galliazzo formado por planchas metálicas, de bronce o de hierro probablemente caladas, sostenidas de trecho en trecho por una pequeñas pilastras cuadradas rematadas con un busto cuadriforme del dios Hermes o Jano, dos de las cuales

todavía se conservan encastradas en los pretiles actuales y en las que se ven las ranuras laterales donde se alojaban las citadas planchas.

En la cuestión del ornato prevaleció el gusto sencillo de los ingenieros romanos ya que según Auguste Choisy supieron, a diferencia de los griegos, separar la construcción de la arquitectura, pues su carácter eminentemente práctico les llevó a despreocuparse de los detalles ornamentales. Por esta razón no abundan los elementos decorativos.

El rústico almohadillado de la sillería fue el recurso más empleado para conseguir un efecto de robustez y un juego de luces y sombras que encajaba con el gusto romano. También lo empleó la construcción clásica griega que a su vez lo tomó prestado de la egipcia.

El edículo más ornamental fue el arco de triunfo, construido como marco de entrada que recordaba algún acontecimiento o por simple efecto estético y monumental. En *Hispania* se conservan en el puente de Alcántara (parcialmente reconstruido en tiempos de Carlos I) y en el del Diablo de Martorell que según Galliazzo, tuvo otro arco en el estribo derecho que le daba una disposición formal similar al puente Flavio de Saint Chamas. Al parecer también tuvo un arco triunfal



el puente de Mérida en su entrada de la margen izquierda, cuyas ruinas pudo ver en el siglo XVII el historiador local Moreno de Vargas.

Otro elemento muy frecuente y característico de los puentes romanos son las impostas o cornisas que rematan y separan sus partes compositivas, y permiten detectar a simple vista, la concepción estructural empleada. Generalmente las dispusieron



en los arranques de la arquería (separa ésta de las cepas) y a ras de la calzada rematando tímpanos y manguardias. En las pilas de puentes de cierta envergadura como el puente de Alconetar y de Alcántara también las colocaron a lo largo de los paramentos de las pilas. Los tipos básicos son tres: una simple hilada de sillares ligeramente sobresalientes (tramo derecho del puente de Mérida y puente de Alcántara), con moldura recta de chaflán inverso (Caparra y Salamanca) y con molduras curvas de tipo mixto con talón y cima recta (Salamanca, Vila Formosa, Segura, Alconetar, Mérida, etc.).

La identificación de los puentes romanos de Hispania

Y para rematar se expone de modo resumido las singularidades y características constructivas que nos pueden ayudar en la identificación del origen romano de las fábricas de sillería de un puente. El tipo de labra, el aparejo y la esmerada ejecución son los primeros indicios que permiten reconocerla; la presencia de algunos agujeros y muescas y la medida de algunas dimensiones hacen el resto. La presencia de algunas de estas características no bastan para probar el origen romano de un puente, aunque las hay que son auténticas singularidades como los agujeros de enlaces de cola de milano, las muescas de borde para el uso de la palanca o la alternancia de hiladas de sogas y tizones o las grapas de doble cola de milano, la duda se reduce y la probabilidad de acierto

en el proceso de identificación se incrementa notablemente. Sería deseable cuantificarla estadísticamente pero no nos ha sido posible por carecer de series de características similares de puentes de otras épocas obtenidas de sus correspondientes sistematizaciones constructivas. Ante esto sólo podemos expresar una respuesta más o menos concluyente, a la espera de que en el futuro pueda llevarse a cabo de un modo definitivo.

Esas características y singularidades reunidas después del estudio sistemático de los puentes romanos hispánicos, son las siguientes:

- Anchura de puente superior a 4,50 metros
- Rasante horizontal o ligeramente alomada de la plataforma
- Almohadillado de la sillería
- Hiladas alternas de sillares a soga y tizón
- Huellas de llaves en forma de cola de milano
- La uniformidad del espesor de la rosca de las bóvedas
- Esmero en la ejecución del aparejo y las juntas de la sillería
- Agujeros para el *ferrei forpicis* usado en el manejo de la sillería
- Muecas de borde para la palanca
- Calidad constructiva de las fábricas
- Juntas finas en seco y sin ripios
- Ausencia de marcas de cantero

Bibliografía:

- Adam, J.P. (1996). *La construcción romana. Materiales y técnicas*. León: Editorial de los Oficios.
- Alvarado, S.; Durán, M.; Nárdiz, C. (1989). *Puentes Históricos de Galicia*. Santiago.
- Ballance, M.H. (1951). *The roman bridges of the Vía Flaminia*. Roma: The British School.

- Choisy, A. [1873] (1999). *El arte de construir en Roma*. Madrid: CEHOPU-Instituto Juan de Herrera.
- Durán Fuentes, M. (1996). "Puentes romanos peninsulares: tipología y construcción". *Actas 1er Congreso de Historia de la Construcción*. Madrid.
- Durán Fuentes, M. (2002). "Análisis constructivo de los puentes romanos". *Actas del I Congreso: las obras públicas romanas en Hispania*. Mérida.
- 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. (2004). *La construcción de puentes romanos en Hispania*. Xunta de Galicia. Santiago.
- Durán Fuentes, M. (2005). *La construcción de puentes romanos en Hispania*. 2ª Ed. corregida y aumentada. Xunta de Galicia. Santiago.
- Fernández Casado, C. (1980). *Historia del puente en España. Puentes Romanos*. Instituto Eduardo Torroja. Madrid.
- Galliazzo, V. (1995). *I ponti romani*. Venecia: Edizione Canova.
- Gazzola, P. (1963). *Ponte Pietra a Verona. Ponti Romani. I-II*. Florencia: Leo S. Olschki Editore.
- Ginouvés, R., Martin, R. (1985). *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*.
- Hellmann, M-C. (2002). *L'Architecture grecque*. París: Editions A. et J. Packard.
- Lugli, G. (1957). *La tecnica edilizia romana*. Roma: Presso G. Bardi Editore.
- Mendes Pinto, P. (1998). *Pontes Romanas de Portugal*. Associação Juventude e Património. Lisboa.

- O' Connor, C. (1993). *Roman Bridges*. Cambridge University Press.
- VV.AA. (1991 b). "Puentes I", "Puentes II" y Puentes III". *Revista O.P. Colegio de Ingenieros de caminos*. Barcelona.