

# El legado compositivo de los puentes romanos

## The architectural legacy of Roman bridges

**Jorge Bernabéu Larena.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Fundación Miguel Aguiló, Escuela Ingenieros de Caminos, Madrid (España). jorge.bernabeu@upm.es

**Ana Berrocal Menárguez.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Fundación Miguel Aguiló, Escuela Ingenieros de Caminos, Madrid (España). anabelen.berrocal@upm.es

**Miguel Aguiló Alonso.** Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Fundación Miguel Aguiló, Escuela Ingenieros de Caminos, Madrid (España). maguilo@grupoacs.com

**Resumen:** Se realiza una indagación sobre la composición formal de los puentes de piedra estudiando especialmente sus raíces romanas. Recoge las influencias del diseño de los puentes romanos en cuanto estructuras hidráulicas y resistentes, donde se hacen patentes criterios de jerarquía, simetría, ornato y rasantes que han tenido una importancia decisiva en los puentes de piedra posteriores <sup>(1)</sup>.

**Palabras Clave:** Puentes; Diseño estructural; Composición; Patrimonio; Estética; Construcción romana

**Abstract:** The article examines the formal composition of stone bridges with particular reference to their Roman roots. The author considers the design influences of Roman bridges as hydraulic and resistant structures and where criteria of hierarchy, symmetry, ornament and line are clearly seen to have had a determining role in the design of later stone bridges.

**Keywords:** Bridges; Structural design; Composition; Heritage; Aesthetics; Roman building

### 1. Introducción

Los puentes romanos han sido objeto de numerosos estudios desde todos los puntos de vista. Predominan los de intención histórica o patrimonial, enfocados a su descripción, datación, catalogación y comprensión. Otro gran grupo de investigaciones se ocupa de los materiales y procesos constructivos, con especial atención a los tipos de fábrica empleados y a las características constructivas peculiares de cada ejemplo concreto, a menudo utilizadas como prueba para su datación. En escasas ocasiones, los puentes romanos han sido estudiados desde un punto de vista estilístico, aspecto habitualmente subsumido o derivado de lo técnico.

Son menos frecuentes, sin embargo, los trabajos destinados al estudio de la composición o manera en que se organizan los distintos componentes de los puentes romanos, la cual tuvo una indudable repercusión en la composición de los puentes posteriores. Los diseños romanos fueron tomados como modelos por todas las

culturas posteriores, tanto por su potencialidad estética como por su presencia durante siglos en el panorama de lo construido. De alguna manera, los constructores romanos supieron considerar las necesidades derivadas de la función de los puentes y de las propias exigencias de su construcción, de una manera especialmente consistente con las formas que les dieron.

Cualquier observación apresurada de los puentes de piedra construidos en los quince siglos posteriores a los romanos pone de manifiesto indudables similitudes con las formas romanas. De hecho, son muchos los puentes medievales o posteriores que son llamados romanos o considerados como tal por su gran parecido. Y son necesarios muchos conocimientos para distinguir si realmente lo son, asunto en el que se ha volcado una enorme dedicación y que sigue siendo objeto de discusiones puntuales en algunos casos.

Sin embargo, la menor calidad técnica, tanto de materiales como de perfección constructiva, atribuida con mayor o menor fundamento a los puentes medie-

(1) Este artículo es una elaboración escrita posterior de la ponencia presentada en el Seminario Puente de Alcántara: Restauración de puentes romanos, organizado por la Fundación San Benito de Alcántara, celebrado los días 24 y 25 de abril de 2007 en el Convento de San Benito en Alcántara.



Fig. 1. Puente de Lutyens sobre el Runnymede.

vales, sigue gravitando como una carga en su valoración estética, cuando muchas veces son de gran interés. Se valora lo romano y, cuando no está claro que un puente lo sea, se le califica algo despectivamente como medieval.

A la vista de todo ello, merece la pena referirse a la composición de los puentes romanos y apuntar los posibles rasgos que posteriormente han sido apropiados por muchos puentes posteriores para componer sus alzados.

## 2. Técnica y estética en los estudios sobre puentes romanos

Un ensayo fundamental en la consolidación de la técnica como factor clave del análisis de los puentes romanos fue el estudio de la americana Van Deman (36), cuyo método para fechar una obra se basaba exclusivamente en las características de la estructura y los materiales. Aunque su trabajo solo tocaba los puentes de manera marginal, el procedimiento se generalizó rápidamente a todo tipo de construcciones romanas. Años más tarde, este camino fue continuado por la arqueóloga americana H. E. Blake, cuyo tratado de construcción romana (6) ya incluía numerosos puentes, pero seguía sin utilizar los rasgos compositivos y estilísticos de los puentes para estudiar su origen ni para caracterizarlos de una manera crítica.

Eso puede deberse, como bien dice Gazzola en la introducción crítica que acompaña a su estudio sobre el puente de Verona, a que *cuando el monumento no puede aspirar a un puesto entre las realizaciones en clave artística y se le puede conceder solamente una matrícula de inventario para el desmesurado archivo de documentos históricos similares, el único elemento que nos puede ayudar a redactar la referencia se reduce a los datos técnicos. En este caso el factor técnico, que en la obra de arte es insignificante, adquiere un papel relevante.*

Sin embargo, el propio Gazzola apunta que *aún dada esta prevalencia, cuando el monumento no está sensibilizado a la calidad artística, el dato técnico no mejora su elocuencia y vale solo relativamente: su valor es, al contrario, tan limitado y modesto que a menudo es motivo de estorbo y de posible equívoco.* Pues el monumento que destaca por su valor artístico es el que atrae a su órbita de influencia los correspondientes documentos acreditativos, siendo luego utilizado para referenciar técnicas que han inspirado la construcción de los ejemplos menos relevantes (25).

De hecho, la consideración de los puentes como elementos patrimoniales dignos de preservación comenzó con la asimilación de algunos puentes y acueductos romanos a la categoría general de monumentos (9). El trabajo de campo de eruditos locales y viajeros es, quizás, donde primero se mencionan los puentes romanos como elementos patrimoniales. Ponz, Laborde o

Madoz son fuente de identificación de innumerables puentes en la geografía española.

Ya en el XIX, estudiosos del arte romano como Ceán (10) o Choisy (12) incluyeron los puentes en sus tratados y les dedicaron atención particularizada según su importancia. También fueron objeto de atención en los estudios sobre vías e itinerarios romanos, como la modelica descripción de la vía de Uxama (33) por el ingeniero de caminos Eduardo Saavedra, que amplió luego el foco hacia todas las Obras Públicas en su recepción como Académico.

Uno de los primeros trabajos en sumar lo técnico, lo histórico y lo artístico es el análisis de M. H. Ballace sobre los puentes de la Vía Flaminia (5). En él se examinan los puentes romanos desde una completa perspectiva que incluye el examen técnico de materiales y procesos constructivos, y un cuidadoso análisis estilístico, soportado por una sólida documentación histórica.

En España, las primeras monografías detalladas sobre puentes romanos son ya del siglo XX. Cabe mencionar la de Castañón sobre Toledo (9), la de Schulten sobre el puente de Mérida (34), la de Prieto Vives sobre el de Alconétar (31), la mención de Blázquez sobre el puente de Córdoba (7), el estudio de Fernández Villamil sobre Pontevedra (21), o las monografías de García Bellido sobre los puentes de Medellín (23) y Villa del Río (24).

De especial interés para el propósito de este trabajo son los estudios realizados por el ingeniero de caminos y humanista Carlos Fernández Casado, concretados en una Historia del puente que tenía el propósito de incluir todos los puentes españoles, pero se quedó en los puentes romanos con inclusión de algunos puentes posteriores relevantes. Ese importante libro publicado en 1980 reunía todas las monografías publicadas durante 25 años en la revista Informes de la Construcción (18).

Hacia 1976, José Antonio Fernández Ordóñez y el último de los autores de estas líneas decidieron empezar un Inventario de todos los puentes españoles, en el ámbito de un Seminario de puentes Antiguos creado en la cátedra de Arte de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. La idea surgió tras un viaje de estudios sobre puentes del XIX en Inglaterra y Escocia, con la pretensión de completar el interés despertado por los estudios arqueológicos de los puentes romanos con datos más técnicos de sus fábricas y procesos constructivos (1:281).

En el seminario participaron inicialmente Carlos Nardiz, Francisco Mérida, Juan González Pachón y Tomás Gómez, que continuaron sus investigaciones dando fru-

to en varias publicaciones sobre puentes (30) (3) (29). Posteriormente se incorporaron Tomás Abad, Pilar Chías, Rosario Martínez Vázquez de Parga y Mercedes López García, todos ellos con continuada labor posterior de investigación en el ámbito de los puentes y las Obras Públicas, de manera que el seminario fue realmente el primer vivero de investigadores sobre el patrimonio de la ingeniería civil (11) (19) (28) (26) (27).

El interés despertado por estos trabajos fructificó en otros lugares de España, donde se realizaron inventarios de puentes, entre los que tiene especial interés el desarrollado por Begoña Arrúe y su equipo en La Rioja, donde se perfeccionó la metodología dando lugar a un excelente catálogo (4).

Es también notable la dedicación personal del ingeniero de caminos Manuel Durán a la investigación sobre los puentes romanos, desde su tipología y construcción (13) o los criterios para la delimitación de lo romano (15), al estudio pormenorizado de los puentes de Galicia en su tesis doctoral (14), hasta establecer una 'Teoría general de la construcción del puente romano' en su posterior ampliación a los puentes de la Hispania o una verdadera 'Sistematización constructiva' (16:41 y 229).

En este punto es preciso introducir un matiz importante en torno a la consideración de lo estético en los puentes. En la mayor parte de los casos, las consideraciones *estilísticas* se refieren a determinados rasgos, más próximos al ornato que a la composición. Es frecuente la consideración de los tratamientos de la superficie de los sillares o de su aparejo utilizados para configurar los planos del tímpano y las pilas. Ejemplo de ello es la utilización de hiladas alternadas de sillares a soga y tizón, mencionada habitualmente como característica diferencial de los puentes de la época de Augusto.

De hecho, el cuidado puesto por el constructor romano en la preparación de la superficie de los bloques, la acentuación de las juntas, la sofisticación del aparejo y demás refinamientos técnicos es lo que confiere carácter monumental a determinados puentes. En general, los puentes urbanos eran afrontados desde esa postura, asumiendo de entrada su parangón con los monumentos arquitectónicos situados en las márgenes.

Como modelos compositivos, los puentes romanos son de más duradera utilidad que como ejemplos de determinados procesos constructivos, dado que estos son fruto de las condiciones de trabajo y de los medios auxiliares de construcción, existentes en cada momento. La habilidad y la técnica de los constructores romanos fueron fruto de unos valores y una organización so-

cial de imposible ocurrencia posterior, dando lugar a unas obras públicas que no tuvieron parangón hasta el siglo XIX. Pero la incorporación del hierro en sus inicios y del hormigón en su final arrumbó definitivamente la posibilidad de recuperar los materiales y procesos constructivos romanos.

Sin embargo, los principios estéticos que inspiraron el diseño de esas obras públicas se mantuvieron vigentes en las premisas compositivas de todas las culturas posteriores. Una vigencia que se manifiesta de diferentes maneras, tanto positiva como negativamente pasando por todos los estados intermedios, pero siempre influyente en la concepción de la obra. De la torpe emulación medieval a la literalidad neoclásica de finales del XIX, pasando por la fluida negación de lo moderno, los modelos compositivos romanos siempre están ahí.

### 3. El diseño hidráulico de los puentes romanos

Es bien cierto que durante más de 3000 años, el arco de piedra fue el único tipo de puente construido por el hombre con cierta garantía de durabilidad. La única alternativa eran los puentes de vigas de madera, posteriormente evolucionados como celosías, que eran entendidos como utilitarios y carentes de la deseada monumentalidad. Ello podría llevar a la consideración, como alguna vez se ha dicho, de que hasta la llegada del hierro se repitió el mismo puente, con ligeras variaciones ornamentales. Pero la variedad nacida de las posibilidades compositivas del alzado tiene mayor alcance y merece un análisis más pormenorizado.

El diseño de un puente en arco debe hacer frente a una doble funcionalidad basada en:

- Lo hidráulico, con el diseño de pilas, tajamares y arquillos de desagüe.

- Lo resistente, con la fijación de luces y rebajamiento, más la introducción de determinados aligeramientos estructurales.

En el comportamiento hidráulico de un puente influye el número y disposición de los vanos, la posición concreta de la cimentación de cada una de las pilas y la proporción de macizo a vano que presenta el puente contra la corriente. Al estrechar el cauce natural con la interposición de una serie de pilas, se produce una alteración del flujo con consecuencias muy perjudiciales para la cimentación, al socavar de forma natural el terreno de apoyo.

La *anchura de las pilas* es la variable crucial si se quiere minimizar el obstáculo ofrecido a la corriente. Pero la estabilidad de la estructura frente a los empujes horizontales de las bóvedas, junto a la necesidad de resistir la fuerza de la corriente, obliga a disponer pilas suficientemente anchas. El equilibrio entre ambos factores se ha concretado históricamente en la relación entre anchura de las pilas y luz del vano, como coeficiente adimensional para medir lo afinado del diseño del puente, su equilibrio hidráulico - estructural. Pilas muy anchas suponen un despilfarro de material, y muy estrechas suponen riesgo de derrumbe.

La presencia de *arquillos* o aligeramientos de diversas formas, generalmente rematados por bóvedas superiores, fue una medida complementaria a la reducción de la anchura de las pilas. Estos aligeramientos sirven para ahorrar material en la propia fábrica y tienen un papel hidráulico al permitir un mayor desagüe. También desempeñan un claro papel compositivo, pues permiten estructurar el alzado y aligerarlo visualmente para evitar el efecto pared provocado por una fábrica continua.

Los romanos fueron verdaderos maestros en la administración de estos arquillos de desagüe como elementos compositivos del alzado, hasta el punto que muchos de ellos parecen colocados con propósito

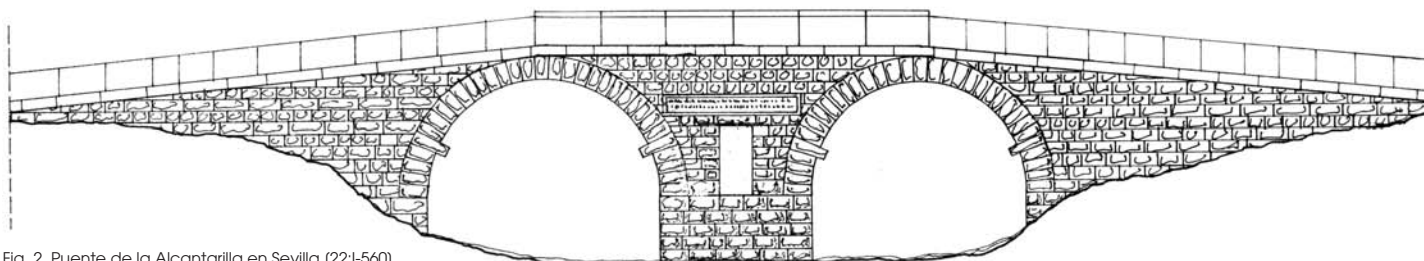


Fig. 2. Puente de la Alcántarilla en Sevilla (22:1-560).

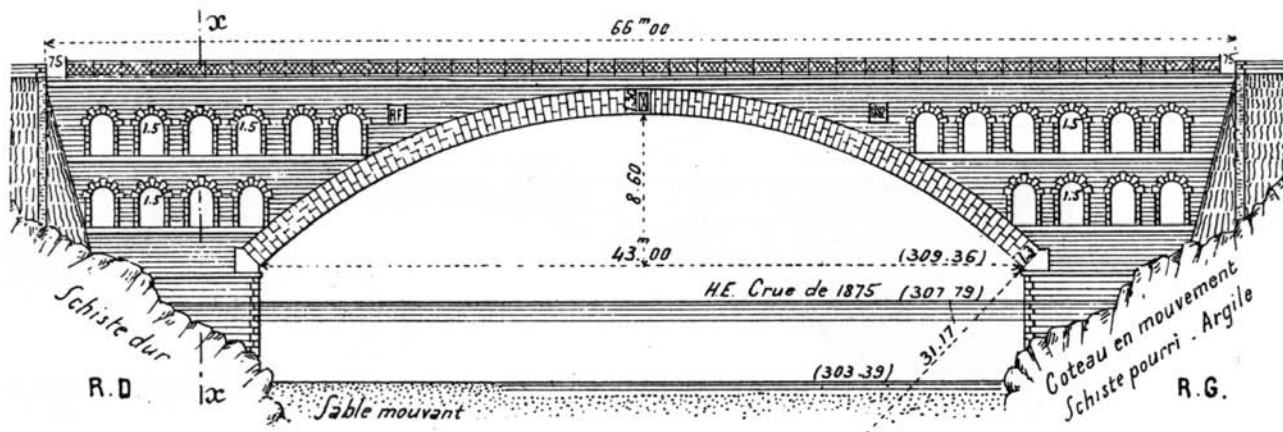


Fig. 3. Puente de Saulnier (35:III-40).

más estético que hidráulico, dada su escasa entidad. El puente de Alcantarilla podría ser un buen ejemplo de ello, dada la estrechez de la elegante abertura rectangular situada en la pila central. Por el contrario, la utilización prioritariamente hidráulica produce extraños resultados, como el del muy posterior puente de Saulnier.

En los primeros puentes romanos, estos arquillos se colocaron preferentemente sobre las pilas, abriendo un hueco entre los dos arcos principales. Se formó así una especie de macla característica, centrada sobre la pila y con el arquillo sobre el tajamar, en cuyos lados donde confluían los arcos principales. Esta elegante disposición, luego repetida muchas veces, tuvo su más brillante ejemplo en el puente Fabricio en Roma.

#### 4. El diseño estructural de los puentes romanos

En cuanto a lo estructural, el arco nace como organización espacial de una serie de pequeños elementos, colocando éstos en una determinada disposición para obtener una forma resistente. De acuerdo con los conocimientos históricos disponibles parece que se llegó al arco formado por pequeños elementos en la civilización del ladrillo y que fueron las civilizaciones de la piedra las que adaptaron esta organización constructiva a elementos más grandes o dovelas.

Y lo hicieron sin comprender su funcionamiento pues, la primera explicación estructural acertada del arco tuvo que esperar hasta la formulación de Robert Hooke, quien la presentó a la Royal Society como un criptograma para evitar plagios e insidias en el enrarecido ambiente de los descubrimientos científicos del siglo XVII. En el margen de un estudio dedicado a otro

tema, apuntó que el arco funcionaba justo al revés del cable colgado y su forma era la inversa.

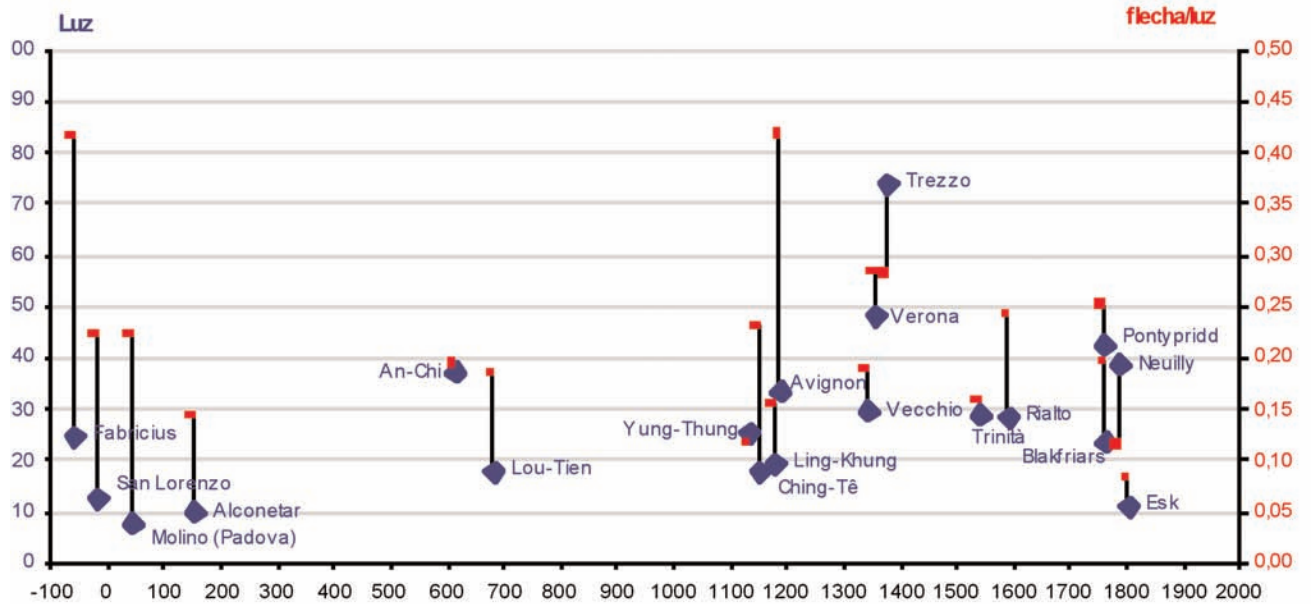
No obstante, la falta de una explicación teórica no impidió que los constructores de arcos comprendieran desde tiempo inmemorial el efecto del *rebajamiento* en las cargas soportadas por el propio arco y trasladadas a los estribos. Para un semicírculo, la relación flecha / luz vale 0.5, y disminuye cuando el arco se hace más tendido. Eso aprovecha más el material pero, cuanto más tendido es el arco, mayor es el empuje horizontal ejercido sobre los apoyos y mayores exigencias recaen sobre las cimentaciones. Por eso, el índice recoge lo que se ha dado en llamar *audacia estructural* de los arcos.

Entre todas las posibles bóvedas, la predilecta de los romanos para sus puentes era la de medio punto o semicircular. Presentaba la ventaja de un trazado muy simple, permitía mantener el empuje sobre las pilas dentro de su tercio central con relativa facilidad, proporcionaba una amplia curva para el desagüe y la navegación, y se podía construir casi hasta los riñones sin necesidad de la propia cimbra. Y, sobre todo, simplificaba la construcción de pilas y estribos, que no habían de soportar los mayores esfuerzos debidos al rebajamiento.

Pero, frente al lugar común establecido hace siglos por los tratados renacentistas, de que todas las bóvedas romanas eran de medio punto sobre todo en los cruces altos, resulta fácil encontrar arcos romanos rebajados, incluso muy rebajados, o peraltados en sitios muy conocidos y perfectamente accesibles.

Considerando primero los puentes *altos*, sobre valles profundos en forma de **U** o **V**, es fácil encontrar ejemplos de cualquier tipo de arcos. Los hay, por supuesto, de medio punto, pero también rebajados como el puente de Pondel o el Pont- Saint- Martin, am-

Fig. 4. Luz y rebajamiento de algunos puentes arco en la historia (elaboración propia).



bos en el valle de Aosta con altos estribos de piedra, o policéntricos como el puente de Vaison-la-Romaine, cerca de Arlés, directamente cimentado en la roca pero a bastante altura.

Pero también en las llanuras aluviales, con mayores dificultades de desagüe, donde el cruce debe ser *bajo*, además de los arcos de medio punto también se utilizan arcos poco rebajados, como los puentes Cestio, Milvio, Fabricio o Elio, en Roma, o muy rebajados, como los de Forum Apii, cerca de Fàiti, o el cercano puente Sisto, ambos en un tramo cenagoso de la vía Apia, por mencionar solo alguno de una larga lista. Igualmente, se encuentran arcos policéntricos de baja altura, como los de del puente de San Lorenzo, en Padova, así como puentes donde conviven diferentes rebajamientos según el lugar ocupado por cada arco en su composición.

Galliazo señala valores de 0,333 (correspondientes a una flecha de la tercera parte de la luz), para los

puentes poco rebajados, como el Pont- Saint-Martin antes mencionado, a los normalmente rebajados, con valores próximos a 0,2 (1/5), o a los muy rebajados, con valores que alcanzan el 0,143 (1/7), como los españoles de Alconétar o Villafáfila (22:432).

Para hacer frente a cargas móviles o descentradas, el arco se ayuda con el tímpano, pero cuanto más macizo se haga el tímpano mayores serán las cargas a soportar por el arco, aunque por ser permanentes tiendan a estabilizarlo. Surge así un nuevo frente de desarrollo tipológico en la disposición de los *aligeramientos* en el tímpano. De este modo, rebaje del arco y aligeramiento del tímpano son los senderos de esa 'audacia' como permanente pulsión del diseñador en busca de la ligereza,

El primer empleo práctico de aligeramientos con claro propósito estructural -dejados vistos en el alzado- se produjo con el puente de Pontypridd, construido en 1756 por William Edwards, quien construyó varios puen-

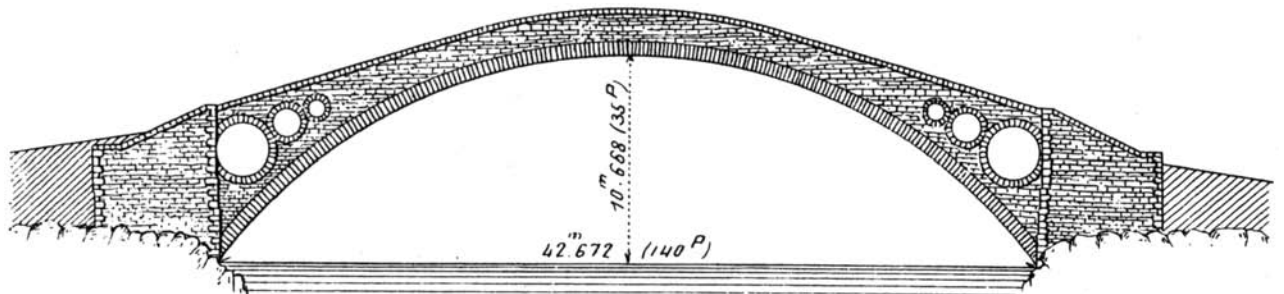


Fig. 5. Puente de Pontypridd (Edwards, 1756).

tes en arco rebajado en Gales, como el de Dolau-Heirion, sobre el río Towy, y el más importante de Pontypridd, sobre el río Taff.

Tras varios intentos fallidos, en 1756 terminó la construcción de un solo arco de 42 m de luz, con tres huecos cilíndricos en el tímpano de diámetros decrecientes hacia la clave (2,7; 1,8 y 1,2 m). Con ello, además de reducir material, consiguió aliviar significativamente las cargas debidas al peso propio en las zonas de los rñones (32:46).

Pontypridd tiene solamente 3,3 m de anchura, y la pendiente del tablero es tan fuerte que los carruajes debían ayudarse de una cadena para sujetarse en el descenso. Pese a no tratarse de un puente importante, fue record de luz en Inglaterra durante 40 años y sentó un claro precedente para el tratamiento, tanto estructural como formal, de los aligeramientos del tímpano. Estos aligeramientos constituían un nuevo elemento compositivo de los alzados, que llegaría a adueñarse de ellos con el advenimiento del hormigón.

## 5. Composición formal y recursos de diseño

Como se ve, ni siquiera los romanos eran presa de ese pretendido determinismo de los tipos estructurales, en principio rutinariamente establecido y fácilmente asimilado después sin ningún contraste empírico. La multiplicidad de ejemplos existentes, aunque muchos de ellos estén mal clasificados como romanos en numerosos libros e investigaciones académicas, permite afirmar que los constructores romanos tenían plena capacidad para definir a voluntad la forma de sus puentes en arco de piedra. No disponían de otros tipos de puentes permanentes, si se acepta la corta vida de los de madera, pero matizaban las formas en función de sus intenciones y concretaban el diseño con arcos de cualquier rebajamiento (2).

La larga trayectoria de los puentes de piedra, con el arco como principal protagonista, fructificó en una cierta variedad de tipos o subtipos formales. Los parámetros más utilizados suelen ser el número y forma de los arcos, la luz o dimensión máxima del arco principal (como elemento discriminatorio dado el gran número de obras), la presencia o ausencia de aligeramientos en el tímpano, la función o tipo de tránsito por el puente (carretera o acueducto) o alguna referencia aislada a estilos o épocas (bóvedas góticas, arcos medievales).

El exhaustivo estudio de Paul Séjourné, específicamente titulado *Grandes Voûtes*, recoge todos los puentes arco de fábrica -piedra y hormigón- mayores de 40 m de luz realizados hasta 1912. Organiza el material con un sistema más clasificatorio que tipológico, dado el rigor de los criterios y su aplicación como reglas para la ordenación. Llega incluso a desarrollar una notación de letras y números que permite saber de un vistazo a que grupo pertenece el puente y sus principales características. Tiene, sin embargo, suficiente sensibilidad para introducir de una manera u otra todo lo que tiene algún interés (35:1-2).

Cuando lo estructural no es discriminatorio, como en todos los puentes antiguos que son arcos, Vittorio Galliazzo recurre a lo formal para establecer una tipología y ordena su material sobre los puentes romanos según la amplitud, el perfil, el número y la distribución de las luces o arcadas, en definitiva su composición. Trata con ello de expresar la manera en que un puente, jugando con sus huecos y macizos, resuelve el problema de atravesar un obstáculo. Encuentra 32 tipos distintos de puentes, al tomar en consideración *el número de vanos y su progresión en relación con el aumento de las luces y su recíproca relación dimensional* (22:556-565).

En la consecución de la forma final de un arco de piedra se manejan dos técnicas,

- La Composición formal, que se ocupa de la disposición y tamaño de los arcos, y fija la rasante del paso, tanto en posición, como en pendientes y curvatura.
- Los Recursos de diseño, trabajando fundamentalmente en el entronque con tajamar, y en el plano del tímpano

El primer parámetro de la *composición formal* es la forma particular de cada uno de los elementos constitutivos de los puentes, que luego se ha de combinar con otros arcos y con las pilas. La tradición romana derivaba del círculo la forma de los arcos, utilizando el semicírculo completo o solo una porción de él con los arcos rebajados. Hay que esperar unos cuantos siglos hasta que, en 1539, Amannati abrió nuevas posibilidades con la forma elíptica de su puente de la Trinità en Florencia. Su apariencia impresionó a los constructores por su belleza y suavidad, al tiempo que lograba una gran

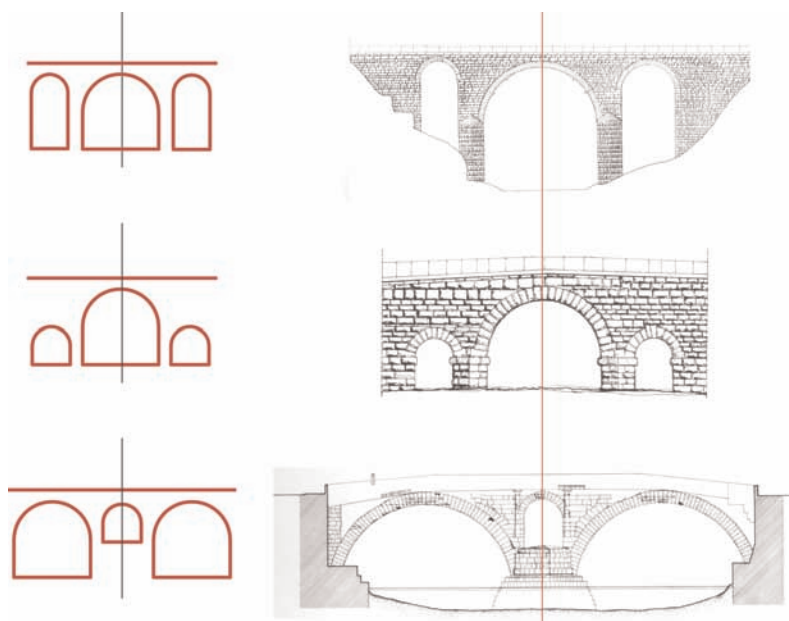


Fig. 6. Simetría con tres arcos (elaboración propia).

esbeltez con sólo 4,6 m de flecha para los 29,2 m de luz de los arcos, lo que suponía un rebajamiento de 0,158.

Los arcos elípticos fueron bastante utilizados en los siglos XVIII y XIX y, a partir de 1850, se multiplican los ejemplos aunque algunos constructores ya se habían quejado de la dificultad de su replanteo. En su recopilación, Séjourné incluye los puentes franceses de Vizille (1766), Lavour (1791) y Gignac (1810), y los ingleses de Gloucester (1827) y Londres (New London Bridge, 1831) (35). Perronet, por su parte, prefería los arcos policéntricos y en su puente de Neuilly los arcos tienen once centros, permitiéndole adaptarse a la mayor altura requerida en la proximidad de las pilas (8:50).

Las *variantes compositivas* romanas giran en torno al número y combinación de arcos, fundamentalmente de dos diámetros más los arquillos de desagüe, con diferentes posiciones relativas en altura y en relación con los contiguos. Se juega con el número, simetría y alternancias, dentro del esquema de rasante elegido, esto es, horizontal, a una o dos aguas.

Desde los romanos, los puentes de tres vanos siempre fueron preferidos por la elegancia, la solemnidad y la estabilidad del conjunto. En los de cinco vanos puede ser más difícil manejar la simetría al diluirse la visibilidad de la pendiente y aumentar la probabilidad de irregularidades. También se ha manejado la primacía estética de los puentes de nú-

mero impar de vanos, aduciendo una mayor facilidad de la corriente para fluir bajo un vano central.

Se pueden considerar las posibilidades de un arco central grande con laterales pequeños, cuyas claves pueden quedar a la misma altura que en la del vano principal como en Bibey, o a menor altura. En general responden a esquemas simétricos, salvo las obligadas distorsiones por acoplamiento a la morfología de las laderas, como se acusa en el caso de Bibey. El esquema simétrico de un arco central y dos laterales mucho más pequeños tuvo bastante fortuna para el paso sobre los canales o ríos navegables, que precisaban mantener la circulación en los caminos de sirga. La solución más sencilla es, desde luego, aumentar la luz y cubrir con un único vano el canal y los dos caminos. Pero, compositivamente, tiene mucho más interés la disposición de unos vanos más pequeños que, por una parte, arrojan al arco central acompañándole en su trazado con la prolongación de las formas curvas más allá del vano y, por otra, aligeran la formación del estribo con infinitas posibilidades de diseño. En muchos puentes sobre canales de los siglos XVII, XVIII y todavía en algunos del XIX se utiliza este motivo simétrico que consigue monumentalidad al tiempo que ahorra material en el aligeramiento de los estribos.

Las composiciones con un número par de arcos suelen abundar en lo simétrico, procurando realzarlo con la inclinación de los tramos finales de la rasante y, en casos monumentales, con la inclusión de algún elemento icónico central. A pesar de su fuerte carácter y de los magníficos ejemplos romanos y posteriores, siguen injustamente minusvalorados por la teoría, que prefiere un vano central y más grande que el resto.

Sin embargo, algunos de los más hermosos puentes de la historia tienen un número par de vanos, como el puente Fabricio ya mencionado, insuperable en su equilibrada composición con solo dos vanos, el de Almaraz, cuyos arcos de distinta luz no merman la potencia de su única pila central. Y, sobre todo, el puente de Alcántara, verdadero paradigma de todos los puentes, con seis arcos semicirculares organizados en torno a una pila central cimentada en el centro del río y formalmente prolongada hacia lo alto.

Ejemplo excelso de puente con número par de vanos, en concreto seis, es el puente de Alcántara. El diseño de la estructura muestra una enorme vo-



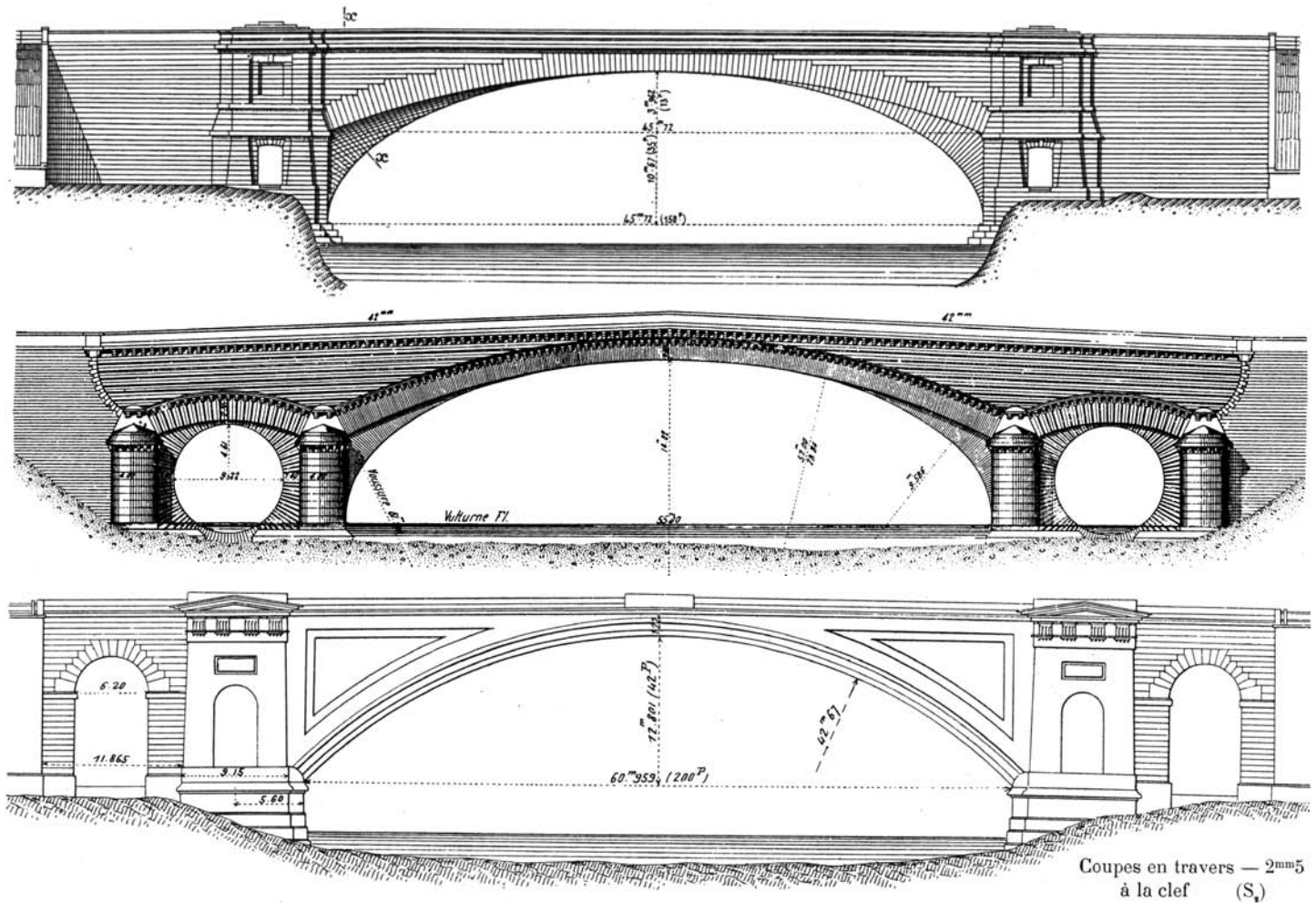
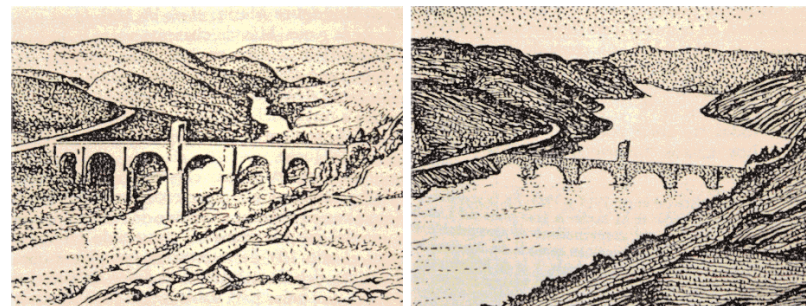


Fig. 7. Puentes de Gloucester, Anibal y de Chester.

de un valle en **V** con un río bronco y caudaloso, y el segundo de un paso largo sobre el amplio y poco definido cauce de un río irregular. Ambos han desarrollado una relación de necesidad entre esos problemas estructurales e hidráulicos específicos y su articulación morfológica, convirtiéndose en referentes obligados para todos los puentes construidos posteriormente. Fernández Casado, quien mejor ha estudiado este puente, resume esa perfección calificán-

Fig. 8. Puente de Alcántara. Avenidas



luntad de simplificación. No hay nada superfluo, y el puente se afirma en su grandeza sin permitirse la menor concesión. La estructura hidráulica se entronca en la mecánica con la prolongación de las pilas en pilastras adosadas a los tímpanos hasta la cornisa. Normalmente, los tajamares no llegan hasta arriba, pero en Alcántara hay una clara integración que refuerza la unidad del puente. Las formas son simples, tanto en sección como en alzado, con paramentos de los arcos y tímpanos totalmente planos. Las relaciones entre vanos y macizos y entre alturas y arcos son sencillas y armónicas. En su conjunto, estas determinaciones consiguen dotar al puente de un fuerte carácter.

De lejos y en cualquier sentido que se quiera considerar, los puentes de Alcántara y Mérida son muy superiores a los demás y ambos se han convertido en lo que Platón entendía como arquetipos. Ambos son tipo y modelo simultáneamente, el primero de cruce

dolo como el *punte por excelencia*, pues define no sólo un *estilo de puente*, sino el *puente como estilo constructivo* (18). Y siempre pidió a sus alumnos que no construyeran un puente sin haber pasado antes por Alcántara.

También Vittorio Galliazzo le considera una obra excepcional y le dedica la portada de su voluminoso y documentado tratado sobre Puentes romanos: *Sus grandiosas proporciones, con más de 59 m desde el lecho del río hasta la parte superior del arco honorario central, la elegante simetría del conjunto y el excepcional estado de conservación hacen de esta obra una de las maravillas del mundo antiguo y uno de los monumentos significativos del arte clásico* (22:153).

En el dibujo antiguo de trazos de la Fig. 9 se puede observar la relación del esquema básico con la sección topográfica de las márgenes del Tajo en esa precisa localización. Se aprecia lo que parecería un cierto desajuste entre la fuerte simetría central del esquema compositivo y la desigualdad topográfica de las laderas, que descentra el cauce hacia la margen derecha. Pero eso no debe llevar a engaño pues, aunque a esa altura hay una cierta disimetría, el puente está diseñado para afrontar las crecidas extraordinarias del Tajo con una altura sin parangón en los puentes anteriores al siglo XIX. Cuando se compara con la situación de máxima avenida, el diseño simétrico alcanza su total sentido.

Por su parte, la *rasante* a dos aguas consigue unificar el alzado poniendo límite a la presencia del puente, al contrario de lo que ocurre en puentes con *rasante* horizontal, que parecen no tener fin. En los puentes de varios vanos, las dimensiones relativas de los arcos han sido utilizadas para acentuar el carácter unitario del puente. La pendiente a dos aguas en el tablero, permite arcos de vano creciente hacia el centro. Desde los romanos, los puentes de tres vanos siempre fueron preferidos por la elegancia, la solemnidad y la estabilidad del conjunto. En los de cinco vanos puede ser más difícil manejar la simetría al diluirse la visibilidad de la pendiente y aumentar la probabilidad de irregularidades.

Los puentes de *rasante* horizontal, como los de Mérida o Salamanca, no tienen principio ni fin y aguantan bien las ampliaciones para acomodar el paso a los movimientos laterales del lecho del río. Sin embargo, están especialmente indicados en ríos anchos de márgenes poco definidas. Cuando el río se

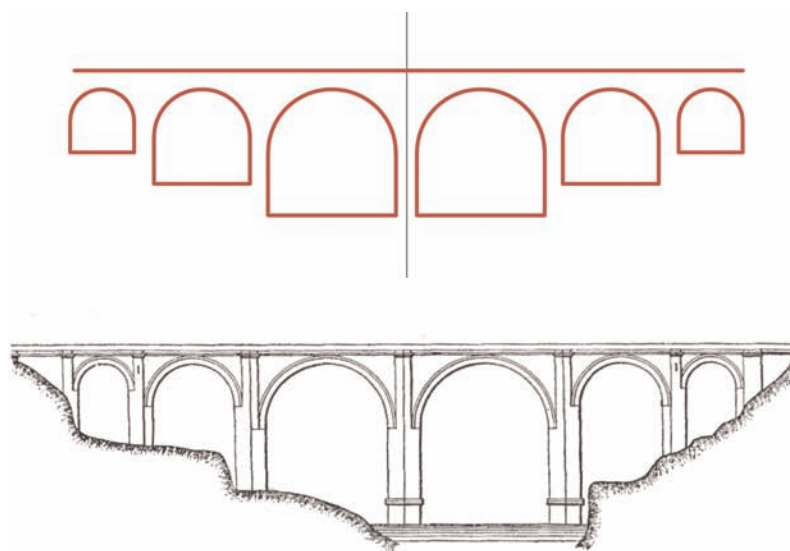


Fig. 9. Seis arcos de tres tamaños. Alcántara (elaboración propia).

mueve lateralmente como resultado de las socavaciones y depósitos producidos en las crecidas, el puente se puede ampliar de manera natural sin más que añadir nuevos vanos o tramos completos, como en el caso del espléndido puente de Mérida, arquetipo de este tipo de morfologías.

Por su parte, el perfil alomado funciona bien con dos o tres vanos, e integra adecuadamente los arcos en la pila central o en las dos principales. Con cinco vanos funciona algo peor, pero todavía consigue dotar al puente de un carácter de centralidad, que se suele acentuar con un pináculo monumental en el centro del vano principal. Con siete vanos, la pendiente debe reducirse para no levantar excesivamente el tablero en el vano central.

Por último, los *recursos de diseño* para los puentes de piedra entran en juego una vez definida la forma de la bóveda principal, y el número y disposición del resto de vanos. Prescindiendo de parapetos, farolas, entradas monumentales y otros aditamentos, se centran en la importancia las pilas, donde se suele condensar toda la carga de monumentalidad insertada en el diseño del puente y, en menor medida, el tímpano.

En las pilas, los tajamares tienen gran importancia funcional, más hidráulica que resistente, y su presencia alivia el plano carácter del alzado. Su forma aguas arriba y abajo, su posible prolongación hacia lo alto, llegando incluso a la coronación para constituir descansaderos, la presencia de algún remate o tejadillo superior, y tantas otras variaciones formales

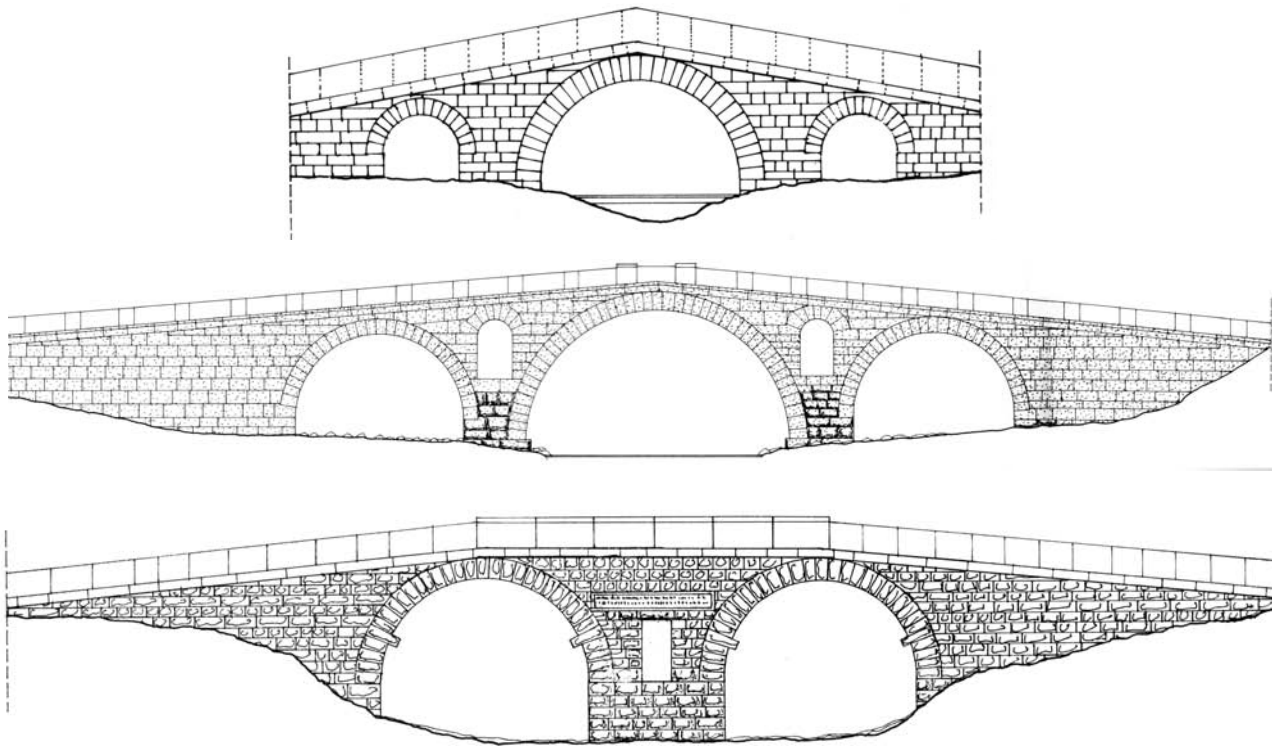


Fig. 10. Puentes de perfil alzado (elaboración propia).

constituyen a menudo señas de identidad para la datación de un puente o para afirmar su pertenencia a determinada escuela o estilo.

La afortunada integración romana de pila, tajamar y arquillos de descarga se perpetuó formalmente con hornacinas, medallones o rehundidos, flanqueados o no por columnas adosadas, que ocuparon esa zona de los tímpanos con sugerencias simbólicas de los anteriores dispositivos funcionales. En puentes más tardíos fueron sustituidos por grandes esculturas monumentales, consagrando la parte superior del tajamar como foco privilegiado de atención en el alzado del puente.

El tratamiento formal de la superficie del tímpano, una vez considerados los aligeramientos hidráulicos o estructurales, no suele tener trascendencia tipológica pues se juega con llagas, molduras, impostas, y demás recursos arquitectónicos. El resalto o rehundido de las dovelas respecto al paramento del tímpano es uno de esos recursos, pero tiene un cierto significado estructural al individualizar el arco como elemento resistente primario. La cornisa habitual en la parte superior del tímpano sirve para rematarlo y distinguirlo del tablero.

El empleo de los elementos compositivos romanos se mantiene en épocas posteriores con todo tipo de variaciones y de recursos compuestos. Como botón

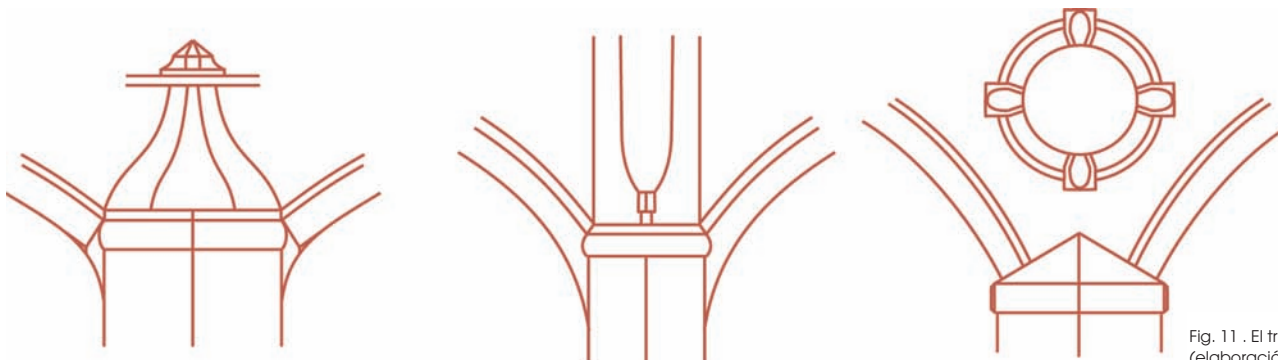
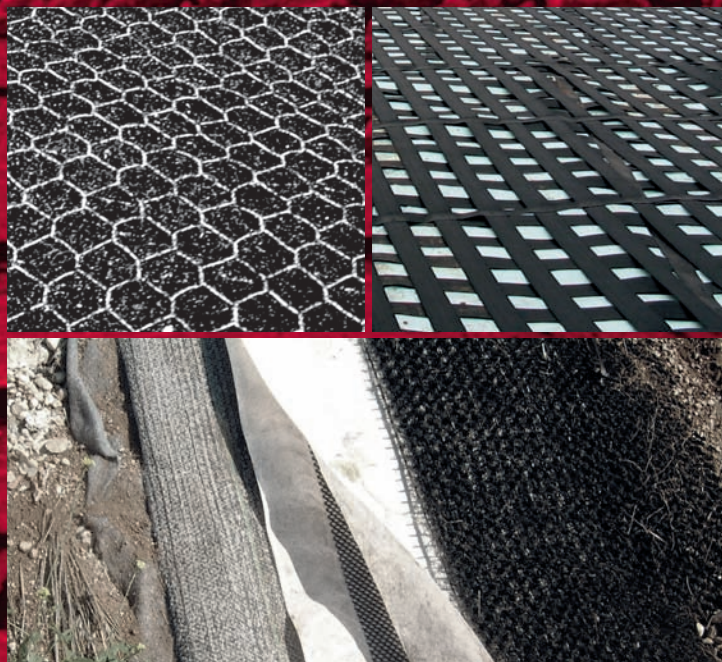


Fig. 11 . El triángulo ornamental (elaboración propia)

# BIANCHINI INGENIERO GEOSINTÉTICOS

CON MÁS DE 100 AÑOS DE TRAYECTORIA, BIANCHINI ES UNA REFERENCIA EN EL SECTOR DE LA OBRA CIVIL, PROPORCIONANDO SOLUCIONES INNOVADORAS Y DE CALIDAD PARA TODOS LOS NIVELES DE LA OBRA. LA GAMA DE GEOSINTÉTICOS BIANCHINI HA SIDO DISEÑADA PARA DAR RESPUESTA A LAS PROBLEMÁTICAS MÁS HABITUALES EN LOS TRABAJOS DE TRATAMIENTO DEL TERRENO.

- PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN
- REFUERZO DEL TERRENO
- REFUERZO DEL ASFALTO
- DRENAJE
- IMPERMEABILIZACIÓN
- GEOTEXTILES



SOLUCIONES  
EN GEOTECNIA Y  
MEDIO AMBIENTE  
[WWW.ABIANCHINI.ES](http://WWW.ABIANCHINI.ES)



Certificado de registro de  
empresa **UNE-EN ISO 9001**

**OFICINAS**  
Diputació, 279 1º 3ª  
08007 Barcelona  
T. +34 93 496 13 00  
F. +34 93 496 13 01  
[bianchini@abianchini.es](mailto:bianchini@abianchini.es)



## IMITEC INFRAESTRUCTURAS



Tranvía de Campello. Alicante.



Desaladora Rambla Morales. Almería.

## AL SERVICIO DE SU CIUDAD

Más de 300 especialistas en las áreas de Aeropuertos y Transporte Aéreo, Puertos y Costas, Transporte Terrestre, Arquitectura, Edificación y Urbanismo, Ecología e Hidráulica

- Con gran diversificación de clientes y proyectos
- Más de 200 millones de euros de construcción de obras en curso
- Más de 100 contratos de servicios de ingeniería en vigor
- Más de 600 millones de euros de cartera de explotación

**Rafael Calvo 3-5. 28010 MADRID. Tfno.: (34) 91 592 39 00. Fax: (34) 91 592 39 01/02. [www.tecnicasreunidas.es](http://www.tecnicasreunidas.es)**



Fig. 12. Puente barroco con óvalos ornamentales de desagüe.

de muestra se incluye un puente barroco, donde los arquillos de desagüe se rediseñan como motivos del triángulo ornamental, acordes con su época, y se refuerzan con los balcones en voladizo que enfatizan una pila cada vez menos importante.

#### 6. La excelencia no superada

Vale la pena terminar con el ejemplo más excelente de composición de todos los puentes romanos, que consagró el interés de los diseñadores posterior-

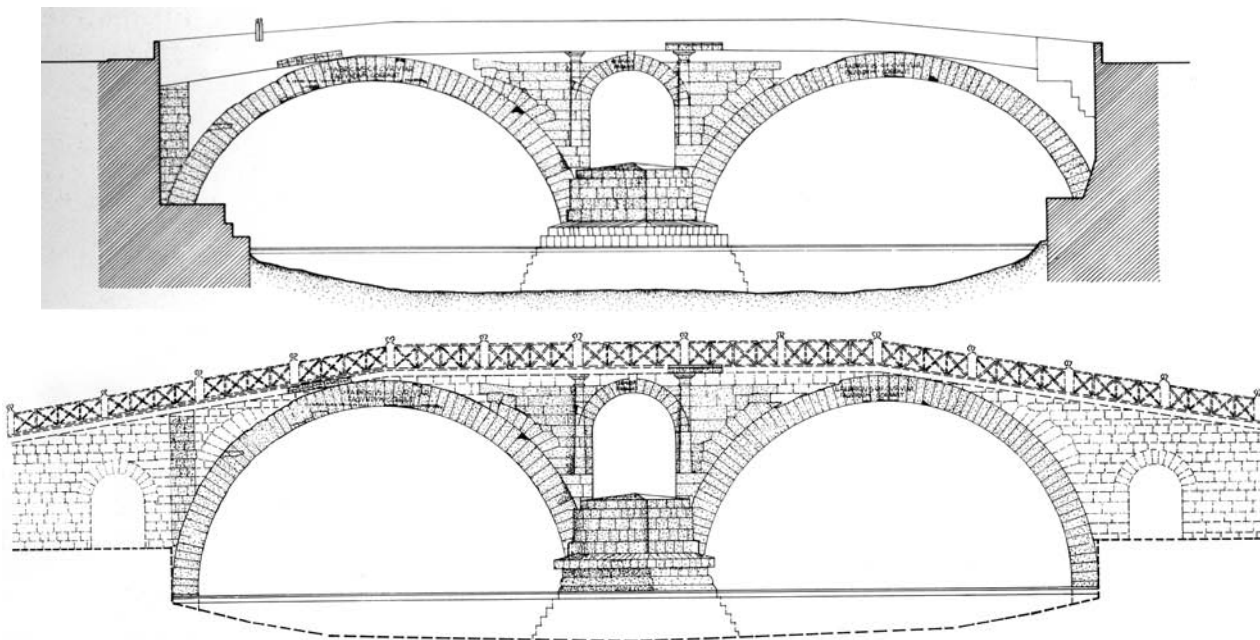


Fig. 13. Puente Fabricio, actual y original (elaboración propia).

res en el tratamiento del triángulo curvilíneo situado sobre el tajamar y entre los dos arcos.

En origen, el puente Fabricio tenía dos arcos principales y tres arquillos semicirculares de aligeramiento, con el correspondiente a la pila central algo mayor que los laterales y colocado un poco más arriba. La desaparición de los arquillos laterales y la elevación del arranque opuesto de los arcos principales, antes más bajos y ahora por encima de los correspondientes en la pila, provocan un mayor énfasis en la pila central. Ésta ya estaba artificialmente levantada sobre la cimentación con un plinto retranqueado, en el cual se acomoda el tajamar triangulado aguas arriba y semicircular aguas abajo. El arquillo central está flanqueado por dos semicolumnas adosadas a la fábrica y su clave se sitúa por encima de las claves de los arcos principales, consiguiendo desmaterializar prácticamente la pila.

Similar disposición presenta el puente Emilio, o Ponte Rotto, pero la forma semicircular de los arcos principales, y la incorporación de una imposta perimetral triangular elimina la tensión dinámica y lo asimila inequívocamente a un arco triunfal. También el puente Milvio tiene arquillos sobre las pilas entre arcos semicirculares, pero su menor altura los hace pertenecer al tímpano y no a la pila, en la línea de la posterior solución de Mérida.

No obstante, las posibles variaciones dimensionales y de disposición no consiguen empañar el acierto de la composición de los puentes sobre el Tíber. Con sabias decisiones de diseño, el constructor del puente Fabricio consiguió una asombrosa levedad de pila y tímpanos, logrando una perfecta euritmia con los arcos. Su solución equilibra lo hidráulico y lo resistente, emplea eficientemente el material, e introduce el ritmo alterno de los arcos. No es extraño que su legado siga vivo. ♦

#### Referencias:

- (1) Aguiló, Miguel; 2001. El patrimonio histórico de los puentes. En: *Homenaje a José Antonio Fernández Ordóñez*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid: 275-283
- (2) Aguiló, Miguel; 2008. *Forma y tipo en el arte de construir puentes*. Abada, Madrid
- (3) Alvarado Blanco, Segundo; Durán Fuentes, Manuel; Nárdiz Ortiz, Carlos; 1990. *Puentes históricos de Galicia*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Galicia. 2º ed
- (4) Arrúe Ugarte, Begoña; Moya Valgañón, José Gabriel; 1998. *Catálogo de los puentes anteriores a 1800. La Rioja*. CEHOPU, Madrid - Instituto de Estudios Riojanos, Logroño.
- (5) Ballance, M. H.; 1951. The roman bridges of the via Flaminia. *Papers of the British School at Rome*, vol. XIX - new series vol. VI- (1951)
- (6) Blake, H.E.; 1947. *Ancient Roman construction from the prehistoric period to Augustus*. Washington.
- (7) Blázquez, A.; 1912. Puente romano de Córdoba. *Boletín Real academia de la Historia*, LXV:457.
- (8) Casas, Antonio de las (ed.); 2005. *Perronet, Jean Rodolphe: La construcción de puentes en el siglo XVIII*. CEHOPU, Madrid - CEDEX, Madrid - Instituto Juan Herrera, Madrid, 2005.
- (9) Castaños y Montijano, M.; 1903. Los puentes romanos de Toledo. *Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos*, IX:200.
- (10) Cean Bermúdez, Juan Agustín; 1832. *Sumario de las antigüedades romanas que hay en España: en especial las pertenecientes a las Bellas Artes*. Imprenta de D. Miguel de Burgos, Madrid.
- (11) Chías Navarro, Pilar; Abad Balboa, Tomás; (dirs.); 1994. *Puentes de España*. Fomento de Construcciones y Contratas, Madrid.
- (12) Choisy, Auguste; 1873. *L'art de bâtir chez les romains*. Librairie générale de l'architecture et des travaux publics Ducher, París. Ed. esp. Instituto Juan Herrera, Madrid, 1995.
- (13) Durán Fuentes, Manuel; 1996. Puentes romanos peninsulares: tipología y construcción. En: *Actas del I Congreso de Historia de la Construcción*. Madrid.
- (14) Durán Fuentes, Manuel; 2001. *La construcción de puentes en la antigua Galliaecia Romana*. Tesis Doctoral no publicada.
- (15) Durán Fuentes, Manuel; 2001. La identificación de los puentes romanos en Hispania: una cuestión a desarrollar. *OP Obra Pública*, 57 (2001): (4-13)
- (16) Durán Fuentes, Manuel; 2004. *La construcción de puentes romanos en Hispania*. Xunta de Galicia, Consellería de Cultura, Comunicación Social e Turismo
- (17) Fernández Casado, Carlos; 1953. Puente sobre el río Guadiana en Mérida (Badajoz). Memoria. Archivo General de la Administración, Obras Públicas: 17203, Alcalá de Henares.
- (18) Fernández Casado, Carlos; 1980. *Historia del puente en España. Puentes romanos*. Instituto Eduardo Torroja, Madrid.
- (19) Fernández Ordóñez, José A.; Abad Balboa, Tomás; Chías Navarro, Pilar; 1988. *León: Catálogo de puentes anteriores a 1936*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid - Ediciones Turner, Madrid.
- (20) Fernández Ordóñez, José A.; Martínez Vázquez de Parga, Rosario; Sánchez Lázaro, Teresa; Carrera González, Luis de; Carro Pérez, Alejandro; 1986. *Catálogo de treinta Canales Españoles anteriores a 1900*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid - Ediciones Turner, Madrid.
- (21) Fernández Villamil, B.; 1944. *La Puente Vieja de Pontevedra*. Pontevedra
- (22) Galliazzo, Vittorio; 1994. *I ponti romani*. Canova, Treviso
- (23) García Bellido, A.; 1953. Puente romano de Medellín. *Archivo Español de Arqueología*, XX-VI:407.
- (24) García Bellido, A.; 1965. Puente romano de Villa del Río. *Oretama*, 21:142
- (25) Gazzola, Piero; 1965. *Ponti Romani*. Leo S. Olschki, Firenze
- (26) López García, Mercedes; 1985. *La obra pública como patrimonio documental*. Escuela de Ingenieros de Caminos, Cátedra de Estética de la Ingeniería, Madrid.
- (27) López García, Mercedes; 2001. Larramendi y los inicios de los puentes colgantes en España. En: *Homenaje a José Antonio Fernández Ordóñez*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid: 307-314.
- (28) López García, Mercedes; Sánchez Lázaro, Teresa; 1997. Fuentes e inventarios del patrimonio español de obras públicas. *OP Obra Pública*, 41 (1997): 36-49
- (29) Mérida Hermoso, Francisco; 1980. Puentes de la provincia de la Coruña. *Revista de Obras Públicas*, (nov 1980): 851-860
- (30) Nárdiz Ortiz, Carlos; 1991. Los puentes históricos de Galicia. *OP Obra Pública*, 19, vol. I(1991):6-27
- (31) Prieto Vives, A.; 1925. El puente de Alconéjar. *Archivo Español de Arte*, I:147.
- (32) Ruddock, Ted; 1979. *Arch bridges and their builders, 1753-1835*. Cambridge University Press,
- (33) Saavedra, Eduardo; 1879. *Descripción de la vía romana: entre Uxama y Augustóbriga*. Real Academia de Historia, Madrid. Ed. Facsímil Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid, 2000.
- (34) Schulten, A.; 1929. Das spanische Rom. En: *Deutsche Zeitung für Spanien*. Barcelona:3.
- (35) Séjourné, Paul; 1913. *Grandes vouîtes*. Imp. Vve. Tardy-Pigelet, Bourges (6 vol.)
- (36) Van Deman, E. B.; 1912. *Methods of determining the date of roman concrete monuments*. Aja.