

CIEN AÑOS DE DISEÑO DE PUENTES

ONE HUNDRED YEARS OF BRIDGE DESIGN

MIGUEL AGUILÓ ALONSO. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático de Estética de la Ingeniería. E.T.S.de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. U.P.M.
Vicepresidente de la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

RESUMEN: El pasado siglo fue pródigo en innovaciones tecnológicas en el uso de los materiales y en la aparición de nuevos tipos estructurales. La consolidación del empleo del hormigón armado y la invención del hormigón pretensado, junto con la aparición de técnicas constructivas específicas como la construcción por voladizos sucesivos, bien por dovelas o por carros, y el empuje de los tableros, han producido una enorme riqueza de diseños. Sin embargo, la consolidación del ordenador como herramienta indispensable de diseño ha tenido una repercusión aún mayor en el diseño, logrando trascender lo exclusivamente estructural y abriendo nuevas posibilidades formales a los puentes.

PALABRAS CLAVE: PUENTES, DISEÑO, EVOLUCIÓN, ESTÉTICA

ABSTRACT: The last century abounded in technological innovations in the use of materials and saw the advent of new types of structures. The consolidated employment of reinforced concrete and the invention of prestressed concrete, together with the appearance of specific building techniques such as construction by successive cantilevers, with the use of precast segments or form travellers, and incremental launching, have all led to an enormous wealth of designs. However, the establishment of the computer as an indispensable design tool has had an even greater repercussion on bridge design and has allowed the designer to move beyond an exclusively structural focus and to develop new formal possibilities for bridges.

KEYWORDS: BRIDGES, DESIGN, EVOLUTION, AESTHETICS

En su estudio sobre las pinturas murales del siglo XVI, el crítico e historiador Ernst H. Gombrich reflexiona sobre el manierismo, habitualmente entendido como una variante estilística alimentada de tensiones, dilemas y paradojas, para señalar que esos dilemas no eran tan artificiosos como reales. Los ve como consecuencia de un desajuste entre medios y fines: los medios de que dispone el artista para generar ilusión superan a los fines de decoración y evocación que originaban la demanda de sus pinturas, y hacían muy difícil que el artista encontrara una solución armoniosa (1).

Ese desajuste o falta de sincronía entre medios y fines se ha presentado en la historia del arte en otras ocasiones y puede explicar también algunos problemas estéticos de otra índole. Quizás, el actual manierismo que afecta al diseño de puentes (2) podría quizás entenderse como un simple desajuste entre medios y fines, históricamente muy ajustados para todo tipo de puentes.

DE LO ESTRUCTURAL A LO FORMAL

Desde la segunda mitad del XIX y hasta unos cien años después, cualquier diseño que se saliera de lo trillado presenta-

ba unos problemas de cálculo sólo abordables por los diseñadores más punteros, con medios y experiencia para plantear las necesarias simplificaciones exigidas por la adecuación de lo nuevo a los esquemas sancionados por la práctica. Hoy, sin embargo, el diseñador de puentes dispone de unos medios de cálculo tan potentes y de unos sistemas de representación tan evolucionados, que le permiten calcular y representar cualquier cosa que imagine, en un plazo de tiempo de pocas horas, con un esfuerzo mínimo.

Frente a ello, la funcionalidad exigida a los puentes como elemento de superación de un obstáculo permanece prácticamente inalterada. El concepto de puente es, desde luego, extenso, consistente y atractivo, pero su popularidad como idea básica está claramente expresada en la superación de un obstáculo entre dos situaciones seguras. La potencia de esa formulación ha facilitado la extensión de la denominación *puente* a otras muchas situaciones conceptualmente similares, pero la idea de fondo ha variado poco o, más bien, se ha reforzado en su simplicidad (3).

Se dispone entonces de unos medios de diseño de los puentes que superan ampliamente unos requisitos de funcionalidad poco evolucionados en los últimos 50 años. Hay un verdadero derroche de posibilidades para realizar un objeto de fun-

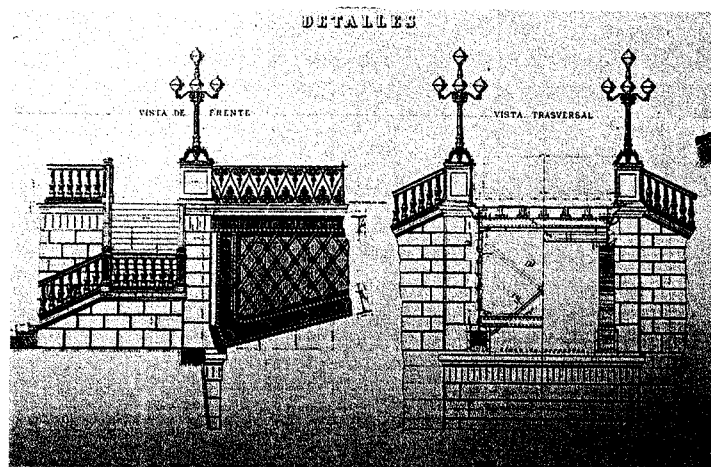


Fig. 1. Pasarela de san Francisco en Bilbao, por Pablo Alzola (1880).

cionalidad simple, y eso tiende a producir excesos formales. Los posibles frenos a esta tendencia tendrían que surgir de la autocontención, bien del diseñador, bien de quien realizó el encargo, obligado a su vez a responder frente a los usuarios reales de la obra. Por contra, un cliente poco preocupado con el riesgo de no aceptación popular de un diseño atrevido, aceptará propuestas estéticamente novedosas e, incluso, alentará soluciones innovadoras en lo formal si se cree con educación estética suficiente para enjuiciarlas.

Esta consideración no se dirige tanto a postular una especie de ética del cliente o del diseñador, encaminada a coartar o limitar sus capacidades de aceptación o propuesta. Se trata, más simplemente, de centrar la reflexión en los fines perseguidos por la obra, que parecen ser los únicos posibles elementos de ajuste en la búsqueda de una proporcionalidad o adecuación de lo que se diseña a su finalidad, entendida ésta en su más amplio sentido. Pues lo puramente funcional va siempre acompañado de intenciones simbólicas, de emulación, de prestigio o de ostentación, y son precisamente estas finalidades no explícitas en la función las que fomentan o impulsan la desproporción.

UNA VIEJA Y RECURRENTE CUESTIÓN

La cuestión no es, en absoluto, nueva y parece asomar en períodos de grandes avances tecnológicos. La abundancia y fortaleza de los nuevos medios disponibles origina un sentimiento de dominio de las posibilidades formales que se concreta en audacia propositiva. A finales del XIX, el proyecto del puente de San Francisco en la ría de Bilbao, redactado por el ingeniero Pablo Alzola, motivó unas consideraciones críticas del también ingeniero Fernando García Arenal sobre la necesidad o conveniencia de la ornamentación en los puentes. El proyecto del puente de San Francisco, en realidad una simple pasarela de peatones con escaleras de acceso no apta para el tráfico rodado, dedicaba casi toda su atención a los detalles de barandillas, balcones y farolas (Fig. 1). Frente a los argumentos de García Arenal, que abogaba por una mayor simplicidad y funcionalidad de las obras de ingeniería,

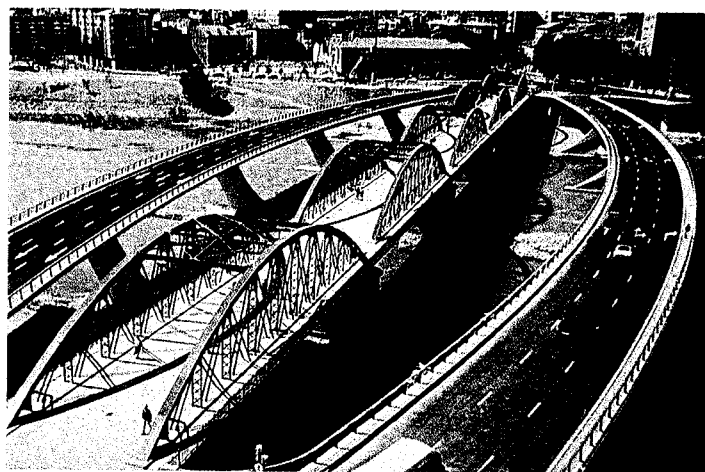


Fig. 2. Puente del Pilar en Zaragoza, por Javier Manterola (1991).

ría, Alzola reivindica el carácter urbano del puente como legitimador de su mayor carga decorativa, en contraposición con los puentes construidos en el campo que, al no ser vistos por casi nadie, debían limitarse a la más estricta funcionalidad (4).

En París, la propuesta simple y funcional del ingeniero Jean Résal para el puente Alejandro III sobre el Sena fue entendida como pobre por el consistorio, que buscó un arquitecto para decorarlo y ennoblecerlo, a pesar de los argumentos de Résal en favor de la simplicidad en la obra de ingeniería, pues se estimó que el sitio elegido requería un nivel de carga figurativa que trascendía a lo puramente funcional.

Situaciones similares se habían producido anteriormente en la historia, y muchos grandes puentes de piedra habían acumulado valores simbólicos y funcionales sobre la función básica de paso. Sin embargo, en París se plantea de nuevo la cuestión porque el acero estaba considerado como un material exclusivamente funcional, desprovisto por tanto de capacidades monumentales. De acuerdo con ello, el diseño de Résal no cumplía satisfactoriamente la compleja finalidad del

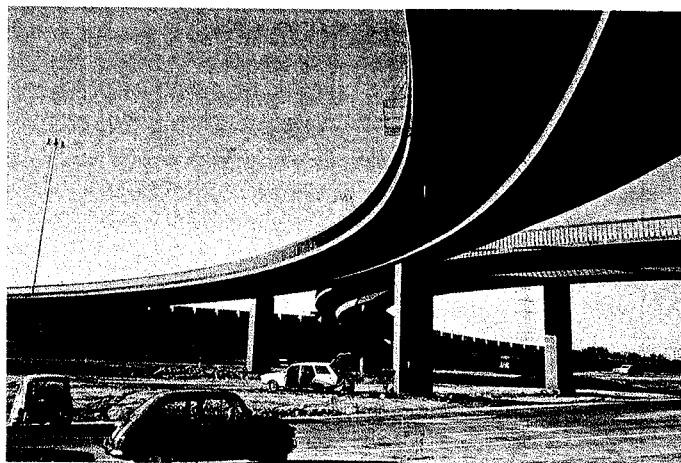


Fig. 3. Puente de Pryca sobre el Jarama, de Julio Martínez Calzón y José A. Fernández Ordóñez (1983).

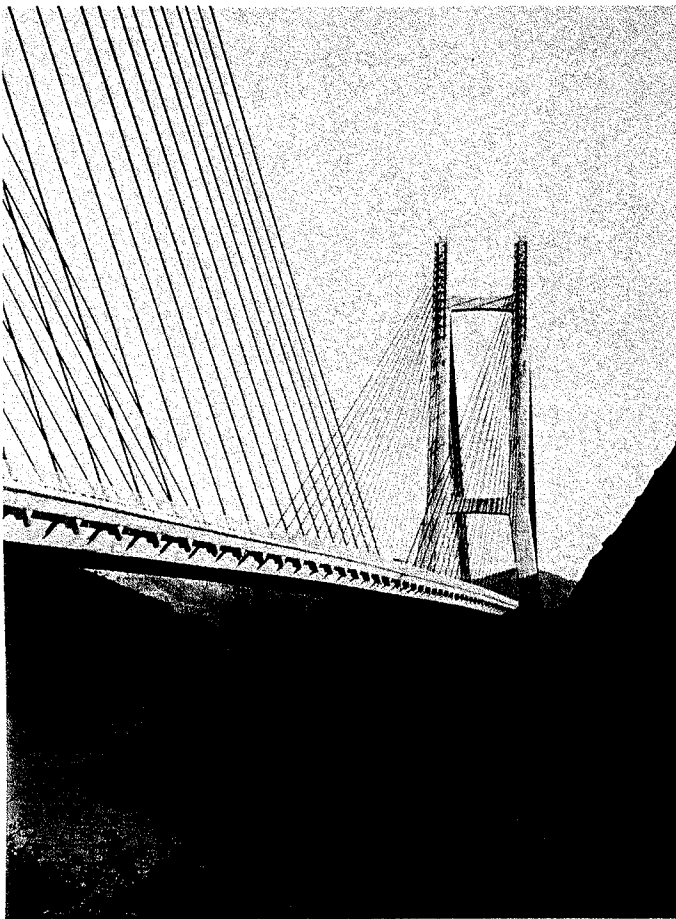


Fig. 4. Puente sobre el embalse de Barrios de Luna, de Javier Manterola (1983).

puente Alejandro III sobre el Sena. A su puente le faltaba la magnificencia demandada por el sitio y por la advocación conmemorativa, y los gobernantes parisinos entendieron que debía añadirse al diseño original.

Aunque esas discrepancias se centraran solamente en lo decorativo, su sentido último es similar al de las actuales exigencias formales aplicadas a los puentes. A Résal no se le pidió que diseñara otro puente con mayores sugerencias formales: era un valor entendido que la forma del puente era la correcta y no se podía pensar en otra. De hecho, el puente tiene una gran esbeltez, es un arco muy tendido, con una relación flecha/luz muy pequeña, y su construcción evidencia la maestría de Résal.

LAS POSIBILIDADES SURGIDAS DEL DOMINIO ESTRUCTURAL

¿Qué está sucediendo en el comienzo de este nuevo siglo? La ingeniería actual es fruto del importante avance científico y tecnológico producido en los últimos 25 años que, sin ánimo de ser preciso y con la sola intención de perfilar el argumento, se puede centrar en la superación de lo analógico por lo digital. Con el ordenador, el algoritmo se

impone a la geometría y al cálculo analítico, y la 'intuición de la forma', fruto de la formación y la experiencia profesional, pierde peso en la concepción del puente, que se vuelve más abstracta. Y el avance que supone ese nuevo dominio tecnológico hace que las formas sean más expresivas.

Ello tiene importantes consecuencias en lo estructural:

- Disminuye el anclaje tipológico clásico, y la mayor rapidez para tanteos permite soluciones mezcladas y complejas.
- Lo estructural se vuelve fácil, los proyectos se pueden realizar sin excesiva atención a la tecnología
- Un puente admite muchas soluciones distintas y todas optimizadas. No hay una única verdad estructural (5).
- Como todo es calculable, la forma pierde las sugerencias estructurales: debe ser precisada de forma autónoma, con mayor dosis de creatividad.

La evolución ha sido, lógicamente, paulatina y como primera consecuencia los puentes dejan de ser bidimensionales y se trasforman en espaciales. Sin ánimo de exhaustividad se pueden señalar algunos pasos intermedios.

En primer lugar, la evolución de la sección transversal, que comienza a ser significativa a partir de Sejourné, quien desdobló el arco disponiendo una losa transversal entre los dos arcos laterales. Después, los emparrillados de vigas evolucionaron hacia secciones en viga cajón con losa en voladizo, tanto en los pequeños puentes domésticos de hormigón armado y luego pretensado, como en los gigantescos puentes colgantes, con la introducción de una sección transversal aerodinámica en viga cajón en el puente del Severn de 987m de luz realizado en 1966 por Freeman, Fox and Partners.

Por su parte, la planta adquiere un mayor dinamismo y se empiezan a diseñar puentes claramente curvos y viaductos, donde mandan más las condiciones del tráfico superior en cuanto a alineaciones y acuerdos que las exigencias estructurales del puente. En un principio se truca el diseño para que un puente recto pueda soportar un tablero curvo, como hizo Maillart con sus esbeltos arcos de hormigón, pero luego se aborda claramente el trabajo a torsión como elemento estructural primario, como por ejemplo el puente Kylesku en Escocia, de 72 m de luz realizado en 1986 por Ove Arup.

En esa línea, más adelante se utilizan plantas curvas para conseguir un mayor dinamismo, como hizo Javier Manterola en el desdoblamiento del antiguo puente del Pilar en Zaragoza, enriqueciendo el diseño con una sección transversal ligada a la curvatura (Fig. 2). O como plantearon Julio Martínez Calzón y José A. Fernández Ordóñez en los puentes de acceso a Pryca en la N-II con el uso de la viga balcón, que supone una gran conquista transversal y volumétrica generando un espacio divergente, de fuerte tensión dinámica como resultado de la domesticación de la torsión (Fig. 3).

En tercer lugar está la evolución del alzado, que conquista definitivamente la dimensión vertical con el empleo de tirantes. Estos se pueden disponer en planos dobles, como el en fantástico récord mundial de luz conseguido por Manterola en Barrios de Luna (Fig. 4), o simples, como el excelente viaducto de Juan José Arenas en



Fig. 5. Viaducto de la Arena en Somorrostro, Bilbao, de Juan José Arenas (1992).

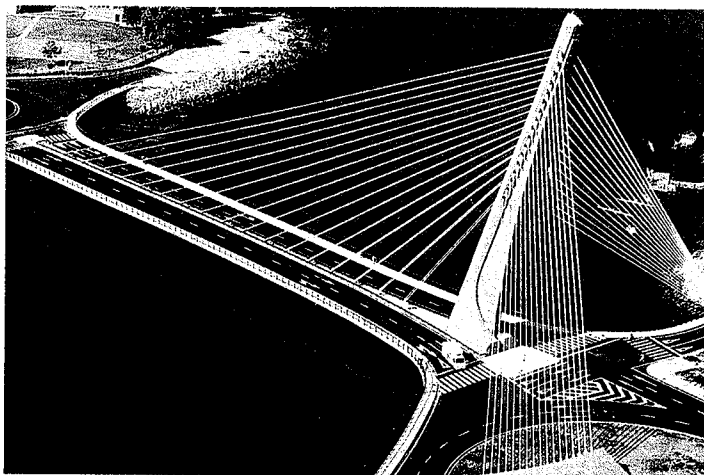


Fig. 6. Puente sobre el río Lézere en Pontevedra, de Leonardo Fernández Troyano (1995).

Somorrostro, cerca de Bilbao, para la autovía del Cantábrico (Fig. 5). Con planos de cables en direcciones oblicuas se consigue mayor riqueza volumétrica, como en los puentes de la autovía de Navarra sobre el Ebro o el de Pontevedra sobre el río Lézere de Leonardo Fernández Troyano (Fig. 6).

Por último, la simultaneidad de enriquecimiento de planta, alzado y sección permite nuevos experimentos formales. Combinando lo vertical con una planta curva se multiplica la riqueza volumétrica, como en la Pasarela del malecón sobre el río Segura, también de Fernández Troyano. El plano vertical de los arcos, paradigma de la superación clásica de las fuerzas de gravedad, deja de ser obligado y el arco se inclina transversalmente, a veces, de forma algo gratuita. La obra de Santiago Calatrava es buen ejemplo, como en las pasarelas de la Devesa en Ripoll, y de Iribitarte en Bilbao, o en el puente sobre el Turia en Valencia, ya con dimensiones de verdadero puente (Fig. 7).

DE LA DECORACIÓN A LA EXPRESIVIDAD

Con todo ello, la ingeniería demuestra importantes capacidades expresivas y, cuando se pretende dotar la obra de cierta carga simbólica, ya no es preciso recurrir a la decoración como se hizo en París con el proyecto de Résal. Lo simbólico se puede acometer sin excesivos suplementos de material o de coste, y lo económico pierde fuerza como coartada.

La distinta manera de proyectar, por iteración de intuición, formalización y corrección, como una especie de vuelta al método de prueba y error pero mucho más rápido, hace que ya no se progresa en la depuración de los modelos formales clásicos. Existe una enorme facilidad para modelar formas complejas, con lo que el objeto se libera de la tradición. Paralelamente, la posibilidad de realizar numerosos tanteos atenúa la autodisciplina y hace más difícil la depuración del diseño, pues disciplina y orden traen limpieza.

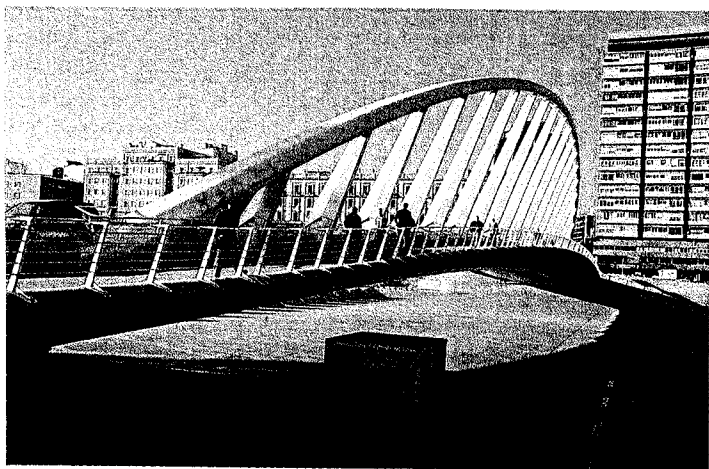


Fig. 7. Puente de la Alameda o la Exposición en Valencia, de Santiago Calatrava (1995).

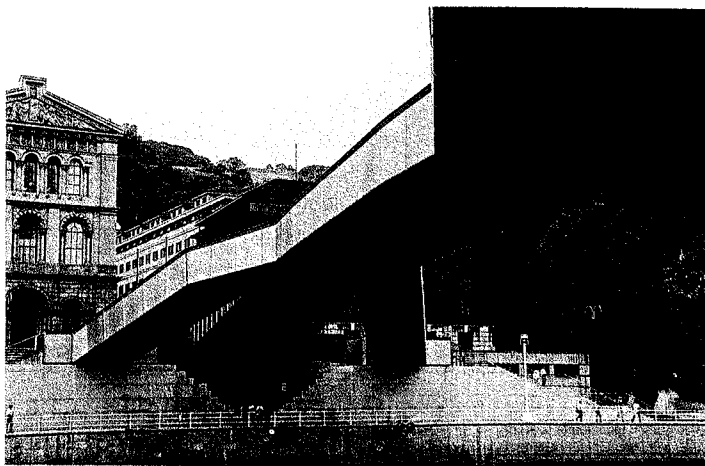


Fig. 8. Pasarela de Deusto en Bilbao, de Francisco Millanes y José A. Fernández Ordóñez (2002).

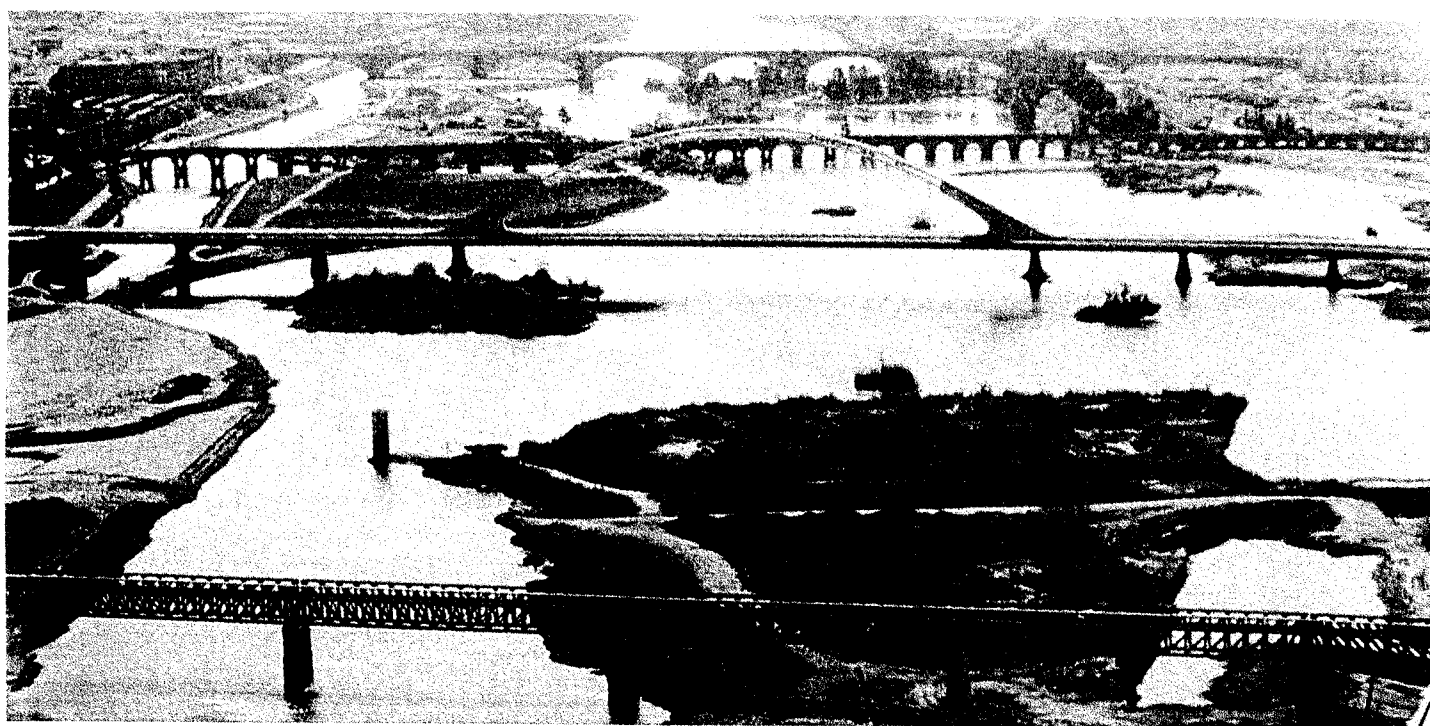


Fig. 9. Puentes sobre el Guadiana en Mérida.

Las actuales exigencias simbólicas o de ostentación se encaminan hacia formas estructurales más expresivas porque existe suficiente técnica para saber que se pueden diseñar y construir otras muchas soluciones estructurales válidas, de diferente presencia formal. En Bilbao, las exigencias simbólicas que movieron a Alzola a decorar su pasarela, se actualizan como sugerencias expresivas en la nueva pasarela de Deusto, de Francisco Millanes y José A. Fernández Ordóñez (Fig. 8). Volviendo nuevamente a Gombrich, se podría aducir que los medios tienden a generar fines (6), esto es, que la mera posibilidad de realización genera el requerimiento de hacerlo.

Pues es bien cierto que la existencia de muchas posibles soluciones para cada problema estructural ha producido una nueva demanda de puentes, como objetos de prestigio que exhiben sus formas estructurales para configurar nuevas imágenes donde se pueda reconocer el príncipe, ahora generalmente sólo municipio.

El último puente de Mérida es un claro ejemplo de esa actitud. En ese tramo, el cauce del Guadiana tiene varias islas y su curso principal divaga según caudales y crecidas. Sobre este río de características naturales precisas y conocidas, los ingenieros anteriores dispusieron puentes largos de escaso alzado. Muy cerca del céntrico emplazamiento elegido, el puente romano, el de Fernández Casado, situado aguas arriba del romano y el magnífico puente metálico de ferrocarril de finales del XIX, situado aguas abajo, se resolvieron con muchos vanos de poca luz. Por el contrario, a finales de los noventa se decide construir un nuevo puente emblemático y se escoge un diseño de arco superior

de gran luz con tablero suspendido. El arco es de hormigón y el tablero cuelga de péndolas entrecruzadas de acero inoxidable, ofreciendo un gran y brillante alzado, visible desde kilómetros a la redonda, en total oposición al perfil del río, de sus puentes y de la ciudad de Mérida, y traicionando su carácter (Fig. 9).

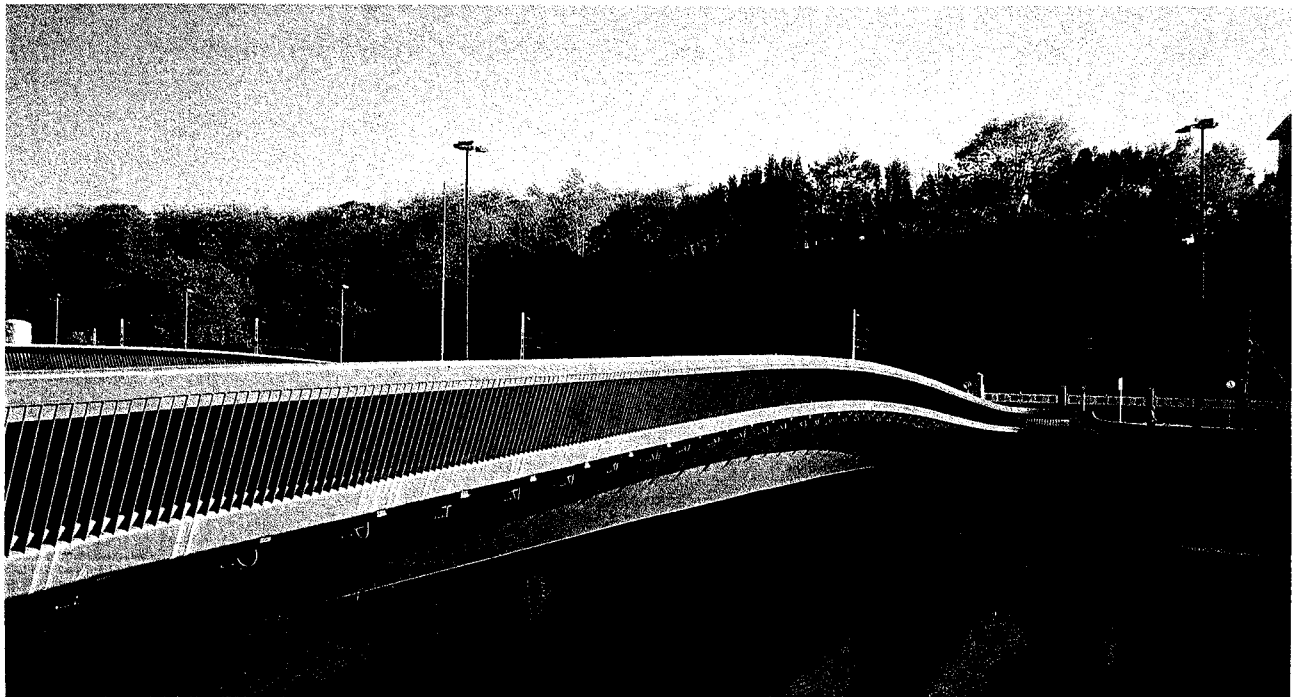
Las posibilidades expresivas de la ingeniería sumadas a su escala de actuación multiplican el atractivo de la obra de ingeniería como escultura. La forma es lo único que interesa y la idea acaba transformándose en imagen. Así, los puentes entran de lleno en el terreno de lo mediático y eso abona el terreno para diseñadores deseosos de protagonismo, trascendiendo el tradicional deseo de superación y su consecuente incremento del prestigio profesional característico de los ingenieros.

La elección de un autor de renombre tampoco es ajena a los deseos de figuración del príncipe. Toda ciudad que se precie quiere tener edificios diseñados por los arquitectos mejores del momento. De igual modo, se aspira a tener un puente de Norman Foster, de Ove Arup o de Calatrava. Los puentes sustituyen a la escultura, que cumple ya con dificultad su tradicional función de proveer objetos de magnificencia para la ciudad, cuyos gobernantes quieren obras más grandes, más visibles, más ubicuas, que ensalcen su buen hacer con mayor eficacia propagandística.

Y, como es lógico, el renombre del autor añade ecos y resonancias a lo construido:

– Tengo un Cézanne y un Monet en mi colección de pinturas – alardeaban los coleccionistas burgueses del siglo pasado.

Fig. 10. Puente sobre el Urumea en San Sebastián, Julio Martínez Calzón (2000).



– Tengo un museo de Ghery, una pasarela de Calatrava y un puente de Manterola– alardea hoy Bilbao, siempre pródiga en estos menesteres de autoafirmación.

Frente a ellos, los vecinos, casi siempre también rivales, no pueden ir a la zaga:

– Tengo un Kursal de Moneo y un puente de Martínez Calzón– enseña calladamente San Sebastián, a pesar de su escasa necesidad de obras para realzar su natural esplendor (Fig. 10).

Consecuentemente, esta nueva demanda de puentes como objetos emblemáticos ha suscitado el interés de los arquitectos sobre su construcción, y resulta frecuente que participen en los concursos de aquellos puentes que por su ubicación urbana o su deseo de protagonismo permiten mayores cotas de aportación simbólica. No debe interpretarse esto como un reproche corporativo, totalmente ajeno a este análisis, sino como una simple constatación del viraje de significados que toda esta evolución formal ha aportado a los puentes.

CONCLUSIÓN

En España, los desarrollos tecnológicos que han propiciado esa evolución formal han coincidido en el tiempo con unos importantes programas de realización de infraestructuras, dando lugar a numerosas realizaciones de puentes que han podido ser diseñados con nuevas herramientas, mientras que otros países europeos habían desarrollado bastante antes sus redes de transporte sin beneficiarse de todo ello. Como consecuencia, el nivel actual del diseño de puentes en España es muy alto, contando con varios diseñadores de talla internacional que han producido un rosario de puentes excelentes. El precio a pagar han sido algunos puentes formalistas equivocados y alguna aberración sin paliativos, tan evidentes que no merecen ser reseñados aquí. Eso no parece excesivo frente a la excelencia conseguida, y se podrá avanzar más si quienes encargan y quienes diseñan puentes siguen demostrando capacidad de contención. ■

REFERENCIAS

–(1) GOMBRICH, ERNST H.; 1999. *The uses of images*. Phaidon Press Ltd., London. Ed. Esp. *Los usos de las imágenes*. Debate, Random House Mondadori, Barcelona, 2003: 40.

–(2) AGUILÓ ALONSO, MIGUEL; 2003. *Javier Manterola, Premio Nacional de Ingeniería: una larga y penetrante incursión en la tipología de puentes*. Revista de Obras Públicas, 3431 (mar., 2003): 7-15.

–(3) AGUILÓ ALONSO, MIGUEL; 2003. *El puente, símbolo de la ciudad*. Ingeniería y Territorio, Barcelona (en prensa).

–(4) ALZOLA Y MINONDO, PABLO DE; 1892 (1905?). *La estética de las obras públicas*. Apéndice del libro *El arte industrial*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid, 2000: 313 -323.

–(5) Los más afamados diseñadores de puentes españoles tienen diferentes apre-

ciaciones sobre esta cuestión. JUANJO ARENAS sigue defendiendo la *verdad estructural*. JULIO MARTÍNEZ CALZÓN admite una cierta banda de soluciones *verdaderas* entre las que cabe elegir. JAVIER MANTEROLA habla abiertamente de una *menor verdad*, y aduce que algunas veces se calificaba como verdadera a una solución porque era la única tecnológicamente posible.

–(6) GOMBRICH, 1999: 43.