

# ENTRE OBRA PÚBLICA Y “CAPRICHOS”. PASARELAS PEATONALES

**Peter TANNER**

Ing. ETHZ/SIA; Ingeniero de CCyP  
CESMA Ingenieros  
Madrid

cesma@cesmaing.com

**Juan Luis BELLOD**

Ingeniero de CCyP  
CESMA Ingenieros  
Madrid

cesma@cesmaing.com

**David SANZ**

Ingeniero de CCyP  
CESMA Ingenieros  
Madrid

cesma@cesmaing.com

## Resumen

Existe una creciente demanda, por parte de numerosas comunidades, de algo más que obras funcionales. Posiblemente debido a que muchas administraciones públicas ven únicamente a los arquitectos con capacidad para realizar diseños atractivos, en tiempos recientes estos profesionales han sido involucrados cada vez más en los proyectos de las obras públicas en general y en los de las pasarelas en particular. No obstante, los puentes son obras de ingeniería que no necesitan elementos ineficaces ni decoraciones para mejorar su aspecto estético. Aprovechando la circunstancia de la realización en un espacio muy breve de tiempo del proyecto y la obra de varias pasarelas, algunas sin y otras con la intervención de un arquitecto, como por ejemplo las pasarelas en Guadalajara sobre la A-2 y sobre el barranco del Alamin, respectivamente, se comparan ambos casos. Se analizan las diferencias en relación con la importancia relativa de los objetivos de proyecto así como en relación con los procedimientos adoptados para alcanzarlos. Se sostiene que los conceptos estructurales con formas inspiradas en el flujo de las fuerzas pueden constituir soluciones que resisten a las más severas exigencias estéticas.

**Palabras Clave:** Condicionantes, concepto estructural, fiabilidad, comportamiento en servicio, economía, estética, creatividad, ingeniero, arquitecto, cooperación.

## 1. Introducción

Los objetivos fundamentales del proyecto de un puente son su seguridad estructural, aptitud al servicio, economía y estética. Los cuatro requisitos se deben cumplir en todos los casos, aunque su importancia relativa puede variar de un caso a otro, en función de las consecuencias de un posible incumplimiento [1]. La seguridad estructural claramente es el más importante de los cuatro, ya que puentes inseguros pueden constituir una amenaza para la integridad física de las personas o causar pérdidas económicas. Por definición, los requisitos relativos a la seguridad estructural y a la aptitud al servicio se suelen cumplir a través de la correcta aplicación de los pertinentes códigos y reglamentos. El alcance de estos objetivos es, por ello, básicamente una cuestión de la capacidad de aprendizaje del ingeniero y de su oficio. Por el contrario, la economía y la elegancia de un puente afortunadamente no pueden ser normalizadas, a pesar de la existencia de algunas recomendaciones y reglas de buena práctica para mejorar su eficacia económica y su apariencia estética. La economía y la estética de un puente dependen por tanto, en primer lugar, del talento creativo del autor del proyecto.

Recientemente se puede observar una creciente demanda social de puentes y de otras infraestructuras que no solamente sean útiles, sino también atractivos desde el punto de vista estético. Posiblemente por este motivo, entre políticos y otros gestores de fondos públicos existe la creencia de que el proyecto de los puentes, que tradicionalmente siempre han sido obras de ingeniería, obligatoriamente requiere la participación de un arquitecto. La realización casi simultánea de diferentes proyectos de pasarelas peatonales, respectivamente sin y con la participación de un arquitecto, forman el trasfondo de unas consideraciones sobre el papel del ingeniero en ambas situaciones.

Aunque los requisitos a cumplir sean los mismos en todos los puentes, su importancia relativa puede variar, particularmente en cuanto a estética y economía, en caso de la intervención de un arquitecto como agente adicional. En estos casos, la mayor dificultad para el ingeniero consiste en la traducción de los requisitos geométricos a un concepto estructural en el que el diseño artístico sea compatible con un uso eficiente de los materiales. Una buena cooperación entre promotor, arquitecto e ingeniero es imprescindible para obtener un resultado convincente. El desafío consiste en proyectar puentes elegantes, siempre teniendo en cuenta su funcionalidad y, debido a que normalmente se financian

con fondos públicos, asegurando que su coste no supere unos límites razonables.

En las obras de ingeniería, por otro lado, el cumplimiento de todos los requisitos mencionados depende básicamente de una buena concepción estructural. La fase conceptual también es fundamental para alcanzar un adecuado equilibrio entre estética y economía, para lo que se deben respetar una serie de reglas básicas relacionadas con las formas estructurales, la integración del puente en el entorno y con su transparencia, esbeltez y armonía.

En el apartado 2 de la presente contribución se mencionan los aspectos básicos a tener en cuenta en la concepción de un puente, independientemente de la intervención o no de un arquitecto. También se abordan las diferencias principales entre ambos casos, siendo una de las principales la relacionada con los procedimientos de la elaboración del proyecto (apartado 3), lo que se debe a que los agentes que intervienen no son los mismos en los dos casos. Finalmente, aprovechando la coincidencia –en el espacio y en el tiempo– de su construcción, se utilizan las dos pasarelas situadas en Guadalajara [2] para ilustrar las diferencias identificadas entre ambos casos, particularmente en relación con los criterios y los procedimientos de proyecto (apartados 4 y 5).

## **2. Economía y estética a través de la concepción estructural**

### **2.1 Economía**

En el marco del proyecto de un puente, las comparaciones económicas de las diferentes posibles soluciones se deben realizar en términos del coste total acumulado durante todo el periodo de servicio previsto y no sobre la base de la inversión inicial para la construcción. Además del coste de construcción, en el coste total acumulado se deben contabilizar los costes de explotación –incluyendo el beneficio para los usuarios–, inspección y mantenimiento, rehabilitación, amortización y demolición. La definición de una solución que resulte económicamente interesante para un determinado puente consiste, básicamente, en adoptar una concepción estructural acertada, caracterizada por una selección adecuada tanto del sistema estructural, de la cimentación y de la sección transversal del tablero como de los procedimientos de fabricación y montaje. La optimización de las luces de los vanos o de las secciones transversales tiene un efecto menor sobre la economía de un puente [1]. No obstante, si el sistema estructural o la forma de sus elementos se eligen exclusivamente según consideraciones arquitectónicas y estéticas o si a la estructura se le añaden elementos decorativos, resulta inverosímil que la solución adoptada sea también económica.

### **2.2 Estética**

La elegancia de un puente no solamente depende de su forma, sino también de su integración en el entorno [1]. Por ejemplo, en los casos en los que un puente debe salvar un accidente topográfico claramente definido como puede ser un río, todos sus elementos deben disponerse en concordancia con este obstáculo. Además, dos de los parámetros más importantes que determinan la elegancia de un diseño suelen ser la transparencia y la esbeltez del puente. Estos aspectos definen lo que se podría denominar como la eficacia técnica visual, ya que habitualmente la percepción de los puentes suele ser de elegancia si se caracterizan por un empleo económico de los materiales en soluciones con luces más bien generosas.

La armonía también resulta clave para conseguir un puente elegante. En este contexto, el diseño debe buscar características tales como el orden, el equilibrio y la regularidad [1]. El orden se puede alcanzar reduciendo a un mínimo el número de las diferentes disposiciones y orientaciones de los elementos del puente. En estas circunstancias, el puente transmite una sensación de seguridad y estabilidad desde cualquier perspectiva. En la misma línea, en puentes con una altura que varía poco se deberían disponer vanos con luces iguales. Por el contrario, en puentes con una altura variable se debe buscar un ratio uniforme entre la luz del vano y la altura del puente.

Desde el punto de vista del diseño artístico cabe destacar que la adopción de una forma adaptada a los esfuerzos suele conducir a una solución capaz de cumplir con los requisitos estéticos más exigentes [3]. La disposición de elementos innecesarios suele conducir a resultados poco atractivos, excepto si el proyectista dispone de un particular talento plástico y formal. Los puentes son obras de ingeniería y no requieren ni elementos ineficaces ni decorativos para mejorar su elegancia.

### **2.3 Interacción**

Debido a la relación existente entre la elegancia de un puente y el empleo eficiente de los materiales de construcción, una solución con una concepción estructural convincente también suele ser económica, aunque no necesariamente la más barata. Efectivamente, la luz más económica suele ser relativamente pequeña y se percibe como conservadora o,

incluso, mediocre. Luces más generosas sugieren una cierta eficacia técnica e incrementan considerablemente la transparencia de la solución. De ahí la recomendación de algunos autores de adoptar una disposición con vanos ligeramente más largos que los más económicos [1]. En los puentes visualmente expuestos se justifica un incremento del coste del orden de hasta un 8% con el fin de conseguir un concepto estructural estéticamente convincente. Según se menciona en el apartado 2.1, el incremento de los costes puede ser considerablemente más acusado en caso de que los criterios o las consideraciones del tipo arquitectónico resulten predominantes a la hora de adoptar una solución conceptual. Como los puentes se financian con dinero público, y teniendo en cuenta que una buena gestión de los fondos públicos disponibles significa que éstos se invierten eficazmente, un incremento significativo de los costes solo se puede justificar en un número muy reducido de puentes.

### 3. Proceso de elaboración del proyecto

Muchos de los aspectos clave de un proyecto están gobernados por condicionantes específicos del entorno del puente o por condicionantes de tipo geométrico, funcional, constructivo o económico. Un contexto exigente a menudo puede tener una función de catalizador para el desarrollo de una solución estructural particularmente cuidada o incluso innovadora. Como la traducción exitosa de un gran número de condicionantes en una estructura fiable, funcional, económica y estéticamente atractiva depende básicamente de la solución conceptual, no se puede sobreestimar la importancia de este paso dentro de todo el proceso de la elaboración de un proyecto.

El concepto de cualquier estructura debe estar basado en una "idea estructural". Ésta se va desarrollando mediante esquemas y su viabilidad debe ser demostrada mediante cálculos simplificados. Los detalles estructurales más significativos se deben desarrollar en esta fase temprana del proyecto. Además de la concepción de la estructura en su conjunto y de sus detalles más importantes, en esta fase también se deben determinar las dimensiones principales de los elementos esenciales.

En los casos en los que la solución para un puente está basada exclusivamente en una idea o forma artística, el mayor desafío para el ingeniero consiste en traducir geoméricamente las exigencias arquitectónicas y funcionales en una estructura que resulte geoméricamente consistente. La calidad de un diseño estructural de este tipo depende fuertemente de la buena cooperación entre propiedad, ingeniero y arquitecto. Esta cooperación es necesaria durante todas las fases de proyecto y ejecución, con una relación entre los agentes que debería ser más horizontal que jerarquizada. Una de las primeras tareas a abordar sería la definición de las exigencias funcionales así como del equilibrio a alcanzar entre economía y estética.

## 4. Pasarela sobre la autovía A-2

### 4.1 Condicionantes

A su paso por Guadalajara, la autovía A-2 separa un área residencial de la ciudad, plenamente consolidada, de una zona de uso comercial cuyo potencial de crecimiento se considera importante. Las autoridades locales otorgaron la licencia para construir un nuevo centro comercial en esta zona bajo la condición de que el promotor construyera también una pasarela para conectar ambas zonas de la ciudad.

La luz total que debe salvar la pasarela viene definida por el ancho de la autovía de 32 m más una distancia de seguridad en ambos lados, ya que la disposición de una pila en la mediana no está permitida. Saliendo del parque de la Amistad, que se sitúa en la zona residencial, la estructura debe cruzar la autovía respetando un gálibo vertical de 6 m. La avenida Eduardo Guitán que da acceso al nuevo centro comercial transcurre paralela a la autovía, separada de ella por una franja de tierra de 16 m de ancho en la que se debe situar el desembarco de la pasarela. Debido al considerable número de usuarios esperados, el ancho del tablero debe ser generoso, superior a 4 m. Desde el lado de la avenida Eduardo Guitán se requiere un doble acceso por medio de una rampa y una escalera. Teniendo en cuenta el gálibo requerido sobre la autovía así como la topografía existente, la longitud de estas dos estructuras es función de la pendiente admisible desde el punto de vista de la funcionalidad.

Durante la construcción, la autovía debe mantenerse abierta para el tráfico rodado, permitiendo de forma excepcional desvíos nocturnos por la avenida Eduardo Guitán.

En la mayoría de las estructuras los condicionantes económicos suelen ser decisivos a la hora de adoptar la solución final. Naturalmente, el presente caso, con un promotor privado, no es ninguna excepción. No obstante, a la vista de la ubicación de la pasarela y el uso previsto dando acceso a un nuevo y popular centro comercial, la propiedad desea una estructura singular, con un concepto que a la vez debe ser estructuralmente consistente, moderno y elegante, permitiendo simultáneamente un uso eficaz de los materiales. Por todos estos motivos, resulta particularmente

importante encontrar una solución con un equilibrio óptimo entre economía y estética.

## 4.2 Concepción estructural

La pasarela sobre la autovía A-2 es una obra de ingeniería pura con una forma que es la consecuencia directa de la suma de los condicionantes funcionales y del entorno. En el vano principal, el ancho del tablero es de 4,75 m. Al aproximarse a la franja de terreno que separa la autovía de la carretera de acceso al nuevo centro comercial, el tablero se divide en dos ramales con una anchura de 2,55 m cada uno, formando una escalera y una rampa, respectivamente (Figura 1). Vistos en planta, los ramales describen una curva con un radio mínimo de 27 m, para continuar su bajada en paralelo con la carretera hasta su desembarco. Respetando el gálibo vertical mínimo sobre la autopista, así como las pendientes máximas para los peatones, resulta una longitud de 89 m entre estribos.

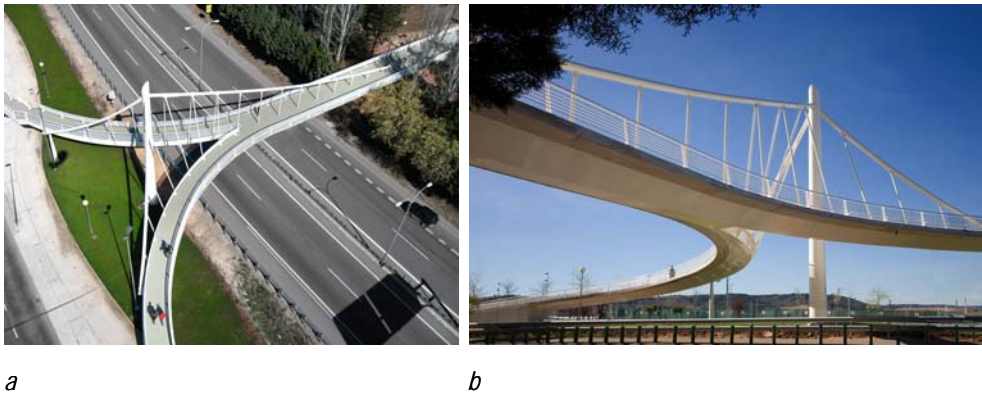


Fig. 1 Pasarela sobre la autovía A-2; a) Vista aérea; b) Vista desde el parque de la Amistad (Fotografías: Paco Gómez)

El vano principal de 51 m de luz queda delimitado por las pilas de los vanos de acceso. Engloba tanto el tablero único que salva la autovía como una parte de cada uno de los ramales que suben desde el lado del centro comercial. El tablero cuelga de un pilono exento de 17 m de altura situado entre los dos ramales de la pasarela, en la franja de tierra que separa la autovía de la carretera. El cordón superior del sistema de cuelgue describe una parábola en alzado mientras que en planta está alineado con el eje del tablero. La introducción de las cargas del tablero en el cordón superior se realiza a través de tirantes separados 3,2 m. El sistema de cuelgue de los ramales de acceso está formado por sendos cordones superiores de trazado parabólico y tirantes inclinados. Con esta disposición de los distintos elementos, formalmente se trata de una pasarela colgante auto-equilibrada (Figura 2). La viga del vano principal se prolonga hasta los vanos de acceso, donde se transforma en las vigas que soportan la escalera y la rampa. En cada uno de los dos accesos desde el lado de la avenida Eduardo Guitán se disponen dos vanos extremos de 10 m y 16 m de luz, mientras que en el lado del parque de la Amistad se requiere un único vano de acceso de 12 m de luz.



Fig. 2 Sistema espacial, vista desde la rampa (Fotografía: Paco Gómez)

Por motivos económicos, tanto los cordones superiores como los tirantes están formados por perfiles circulares de acero estructural, con diámetros de 323 mm y 127 mm respectivamente, en sustitución de los cables que resultarían más habituales en este tipo de pasarelas. Por tanto, se trata en realidad más bien de un sistema tipo pórtico y solo formalmente es una pasarela colgante.

El tablero es mixto, de acero y hormigón, con una sección trapezoidal constituida por un cajón abierto de acero de 650 mm de canto y una losa, que también es mixta, de 0,15 m de espesor (Figura 3). Con estas dimensiones, el vano principal alcanza una esbeltez próxima a 80. Para reducir la deformación de este sistema tan flexible, la losa es de hormigón ligero de 1900 kg/m<sup>3</sup> de densidad y 40 N/mm<sup>2</sup> de resistencia característica a compresión. Un aumento de la rigidez del sistema y, por tanto, una reducción de las deformaciones de la estructura, especialmente en el vano principal, se logra gracias a la disposición de un pilono mixto, constituido por un tubo relleno de hormigón de diámetro variable que disminuye hasta 780 mm en su coronación.

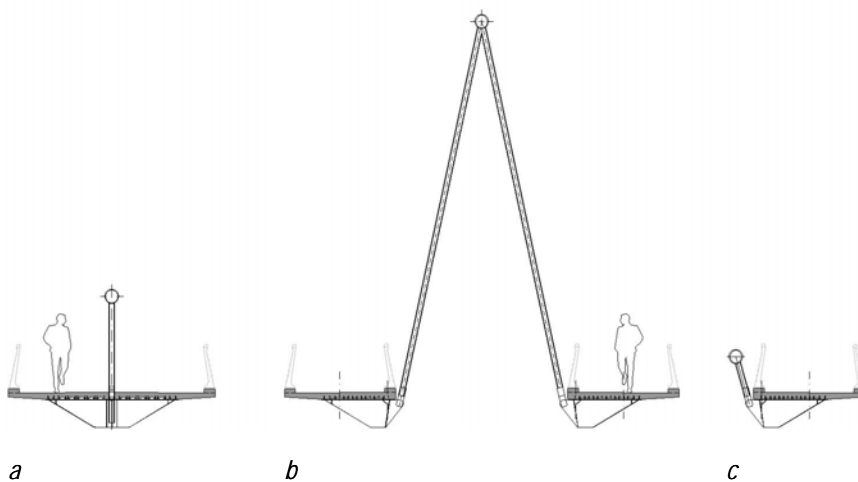


Fig. 3 Secciones transversales; a) Vano principal; b) Separación en dos ramales; c) Rampa

### 4.3 Detalles constructivos

Para asegurar el adecuado comportamiento de todos los elementos de la celosía, las uniones de los tirantes con las dos vigas cajón y con los cordones superiores (Figura 4), así como las uniones entre dichos cordones y el pilono (Figura 5) se realizan mediante pasadores atravesando los agujeros dispuestos en los diferentes elementos. Por razones estéticas y de durabilidad, los pasadores se disponen en el interior de uno de los elementos que se unen. Finalmente, la unión entre el cordón superior de cada ramal de acceso y la correspondiente viga cajón se realiza mediante una articulación que permite una rotación limitada (Figura 6).

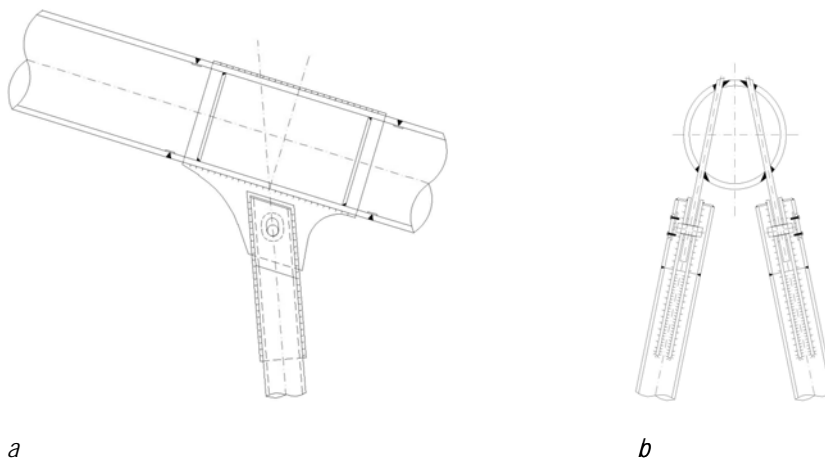


Fig. 4 Unión de los tirantes con el cordón superior; a) Alzado; b) Sección transversal

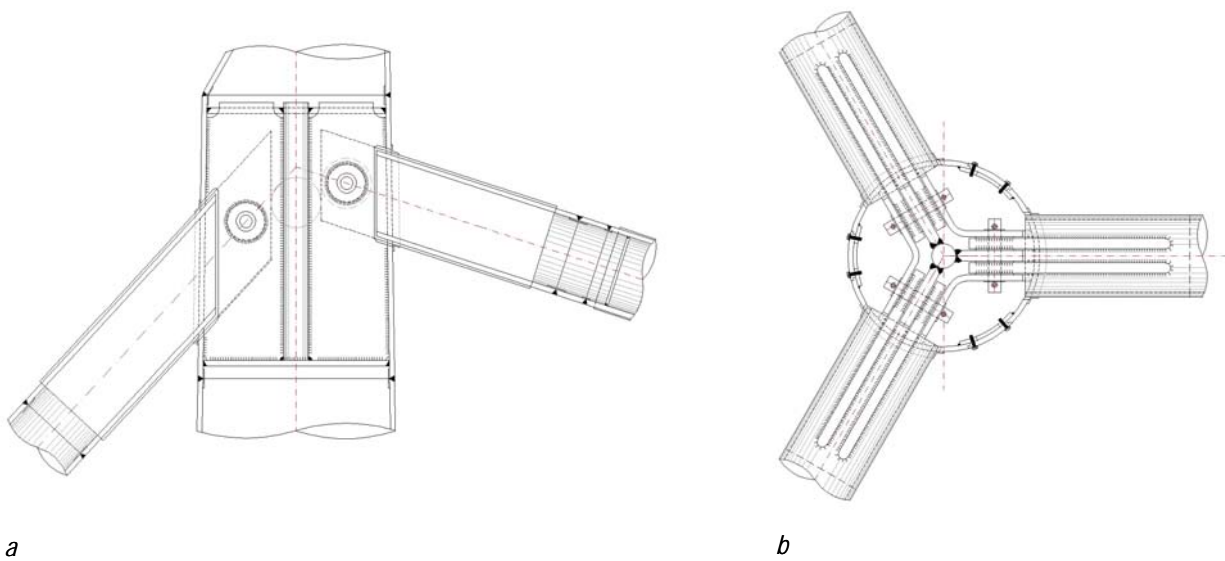


Fig. 5 Unión de los cordones superiores al pilono; a) Sección longitudinal; b) Sección transversal

#### 4.4 Análisis estructural

Se desarrolló un análisis elastoplástico para comprobar la seguridad estructural durante la construcción y en el estado final de la pasarela. Sin embargo, dado que debido a su elevada flexibilidad la deformada de la estructura depende de las fases constructivas, los efectos de las acciones se calcularon según la teoría elástica, teniendo en cuenta el proceso evolutivo del sistema estructural. De acuerdo con los resultados así obtenidos, se definió una contraflecha para la viga cajón, los cordones superiores y el pilono que compensara la deformación debida al peso propio y a las cargas permanentes.

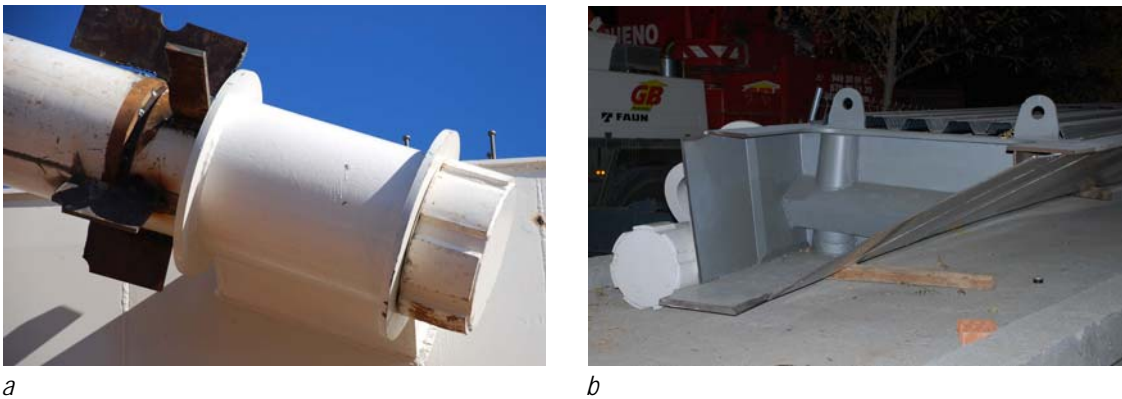


Fig. 6 Unión del cordón superior de un ramal de acceso a la viga; a) Vista general durante la construcción; b) Vista interior de la viga cajón

#### 4.5 Proceso constructivo

Una vez ejecutados los estribos y tras el montaje de las pilas y del pilono, se izó la viga cajón metálica que forma el vano principal por medio de dos grúas (Figura 7). En esta fase se situaron unas torres provisionales junto a la autovía para reducir la luz del vano. Debido a que no estaba permitida la ocupación de la mediana, durante el montaje se empleó un atirantamiento provisional formado por un cable que iba desde la cabeza del pilono hasta el centro de la viga y cuya fuerza de tracción se equilibraba mediante dos cables de retenida. Posteriormente se colocaron los cordones superiores y los tirantes, junto con las vigas cajón que forman los vanos de acceso. Una vez retirados los cables provisionales, se ejecutó la losa del tablero empleando para ello hormigón ligero.



Fig. 7 Izado de la viga cajón del vano principal

## 5. Pasarela sobre el barranco del Alamín

### 5.1 Objeto

El barranco del Alamín separa el centro de la ciudad de Guadalajara de una zona residencial de nuevo desarrollo. Durante muchos años, fue un área marginal por donde discurría la red subterránea de alcantarillado. Con el objeto de recuperar la zona, recientemente se ha construido un parque público, que incluye un nuevo canal, paseos peatonales y caminos para bicicletas. La completa revalorización del barranco del Alamín requiere también la construcción de una pasarela de 70 m de longitud que permita salvar la vaguada y alcanzar cómodamente el centro histórico de la ciudad desde la nueva zona residencial.

### 5.2 Idea arquitectónica

La Figura 8 muestra el primer croquis de la pasarela realizado por el arquitecto, que incluye unos miradores apoyados en pilas que se asemejan a un conjunto de *palillos* y que se sitúan en las proximidades de cada estribo. Un arco rebajado arranca de estos miradores para salvar la distancia existente entre las pilas, que es aproximadamente de 50 m. Además, el tablero está dotado de farolas para su iluminación.

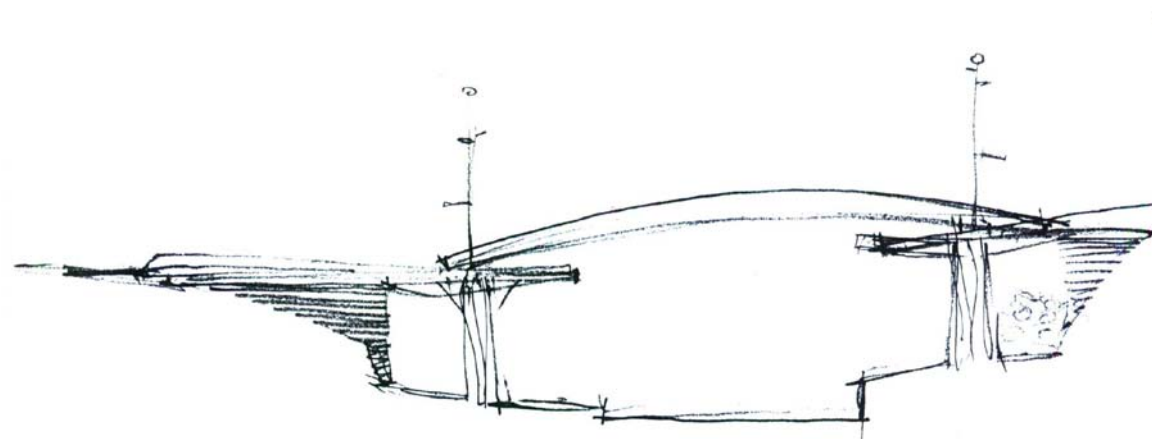


Fig. 8 Pasarela del Alamín, croquis de arquitecto

La Figura 9 muestra un intento de integrar la pasarela en el paisaje. En comparación con el croquis anterior, los vanos de acceso se han alargado con el fin de obtener una relación más equilibrada entre las luces del vano principal y de los vanos extremos. Al igual que el vano principal, los vanos laterales están formados por arcos rebajados apoyados en los estribos y en las pilas, sobre las que vuelan para formar los miradores.



*Fig. 9 Propuesta del arquitecto para integrar la pasarela en el entorno*

### 5.3 Concepción estructural

Partiendo de la anterior idea arquitectónica (Figuras 8 y 9), se ha concebido un sistema estructural formado por un tablero continuo sobre tres vanos, a pesar de que su trazado en planta es poligonal, con quiebros situados en las secciones de los apoyos intermedios. Formalmente, el tablero está constituido por tres arcos rebajados, que salvan luces de aproximadamente 15 m en los vanos laterales y de 36 m en el vano central (Figura 10). Visto en planta, el acceso desde cada uno de los estribos al correspondiente mirador, situado en la zona del quiebro del tablero, es excéntrico con respecto al arco lateral y está constituido por una viga horizontal apoyada en el propio estribo y en la pila intermedia. Ambos elementos, arco y viga, están conectados entre sí en ambos extremos mediante el diafragma de apoyo en estribos y, en la zona de la pila, mediante la escalera que conduce del mirador al tablero de la pasarela propiamente dicho. Con esta disposición, la viga que constituye el acceso a la plataforma tiene además la función de un tirante, resistiendo los empujes horizontales del arco lateral.

De acuerdo con la situación de la pasarela, el estribo situado en el lado de Guadalajara forma parte de la estructura de un aparcamiento de nueva construcción. De hecho, el acceso a la pasarela desde la ciudad se realiza desde el tejado de esta instalación. Las pilas están formadas por dos fustes en forma de V, cada uno de los cuales sirve de apoyo al tablero de la pasarela y a la estructura que constituye el mirador y su acceso, respectivamente. Tanto el tablero de la pasarela, de 3 m de ancho, como los miradores y sus accesos son estructuras mixtas, constituidas por un cajón metálico abierto de sección trapezoidal, cerrado por una losa mixta de 0,1 m de espesor. El canto de la sección tipo de los cajones es de 500 mm y aumenta en la zona de los apoyos intermedios hasta los 1000 mm. Con esta disposición, el comportamiento del vano principal es más parecido al de una viga que al de un arco. En ausencia de un tirante inferior en el vano central, resulta preferible este mecanismo de resistencia ya que evita la aparición de empujes horizontales.

La concepción estructural anteriormente descrita se mantuvo en el diseño final. Sin embargo, consideraciones de tipo topográfico junto con la necesidad de integrar el puente en su entorno (canal, paseos y aparcamiento), obligó a redistribuir las longitudes de los vanos hasta una configuración final de 3 vanos con luces de 18 - 36 - 13 m, respectivamente. Por otra parte, se retomó la propuesta inicial del arquitecto para las pilas, avanzando en su desarrollo (Figura 11). Cada pila cuenta con cuatro fustes inclinados formados por perfiles tubulares circulares de 273 mm de diámetro que alcanzan esbelteces geométricas próximas a 35. Los miradores y el tablero de la pasarela se apoyan en dos fustes cada uno. Además, uno de los cuatro fustes de cada pila se prolonga por encima del tablero hasta una altura de 7,75 m, sirviendo de farola.

Se prestó especial atención a todos los acabados. Por ejemplo, los montantes en que apoyan los pasamanos cuentan con la misma inclinación que los fustes de las pilas para realzar el atractivo del conjunto de la pasarela.



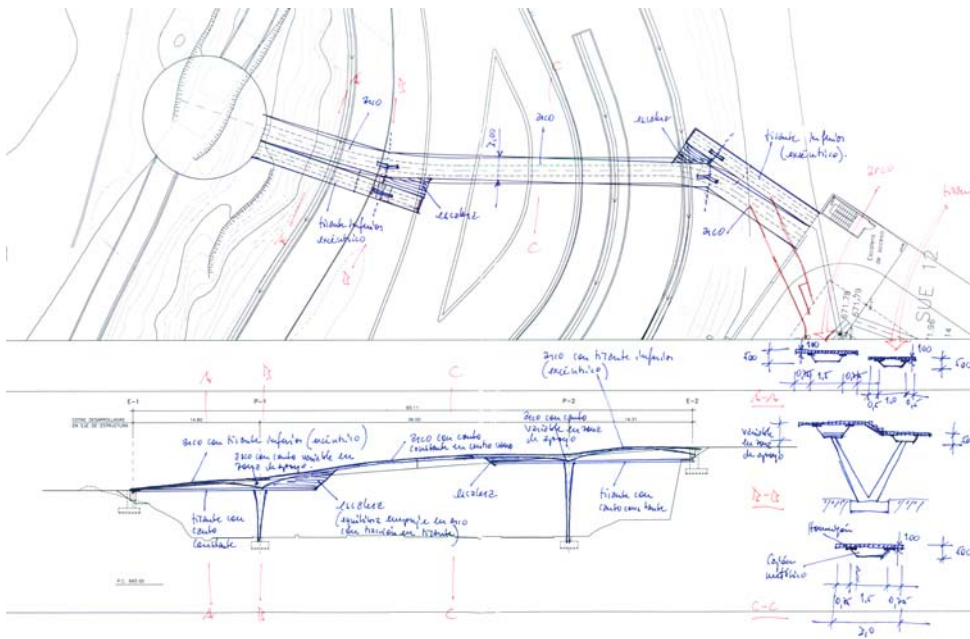


Fig. 10 Concepción estructural inicial de la pasarela del Alamin



a



b

Fig. 11 a) Concepción estructural definitiva de la pasarela, vista desde el parque del Alamin; b) Cuatro fustes inclinados durante el montaje

#### 5.4 Detalles constructivos

Se puso especial atención a la definición de unos buenos detalles constructivos, que son esenciales para garantizar unos mecanismos adecuados para la transmisión de las cargas, así como una tenacidad de fractura y una durabilidad suficientes. Unos buenos detalles también pueden facilitar el proceso de fabricación de una estructura e influir de manera significativa al impacto visual de una pasarela.

La principal dificultad que planteó la pasarela del barranco del Alamin fue encontrar un mecanismo apropiado para transmitir las cargas desde el tablero a las pilas, ya que las vigas cajón de los vanos laterales de acceso y del vano principal son continuas pero sus ejes forman un ángulo, tanto vertical como horizontalmente. Además, los cuatro fustes

inclinados se conectan a las vigas cajón del tablero bajo diferentes ángulos, elevándose uno de ellos por encima de la viga como se indica en el apartado anterior. Todos estos condicionantes geométricos influyen en la disposición del diafragma de pilas, haciendo la solución más compleja.

Las cargas se transmiten desde las almas de las vigas cajón a un doble diafragma formado por dos chapas metálicas separadas 690 mm y dispuestas paralelamente a la línea de intersección entre los cajones metálicos que forman los accesos y el vano principal (Figura 12). Desde estas chapas transversales las cargas se transfieren a dos chapas de acero longitudinales, orientadas en la dirección del eje de cada uno de los fustes que forman la pila y que se prolongan hasta el interior de la viga cajón a la que están conectados. Finalmente, los fustes transmiten las cargas a la cimentación, que es profunda debido a las malas condiciones del terreno existente en todo el barranco.

El esquema de funcionamiento del diafragma de pilas se ajusta a los siguientes requisitos para la concepción de los detalles constructivos:

- Incluso en los detalles de unión que contienen piezas múltiples, los mecanismos de transmisión de las cargas son inequívocos.
- Los dispositivos de unión están concebidos de forma que respetan sus modos de resistencia más eficaces (por ejemplo, para que transmitan tensiones tangenciales en lugar de tensiones normales de tracción).
- La concepción de los detalles constructivos es compatible con los métodos de fabricación más sencillos, lo que contribuye a mejorar la calidad de ejecución, reduciendo a la vez los riesgos de la presencia de imperfecciones. La importancia de este tema radica en que ciertos mecanismos tales como la rotura frágil y los problemas de inestabilidad están íntimamente relacionados con la existencia de defectos de fabricación.

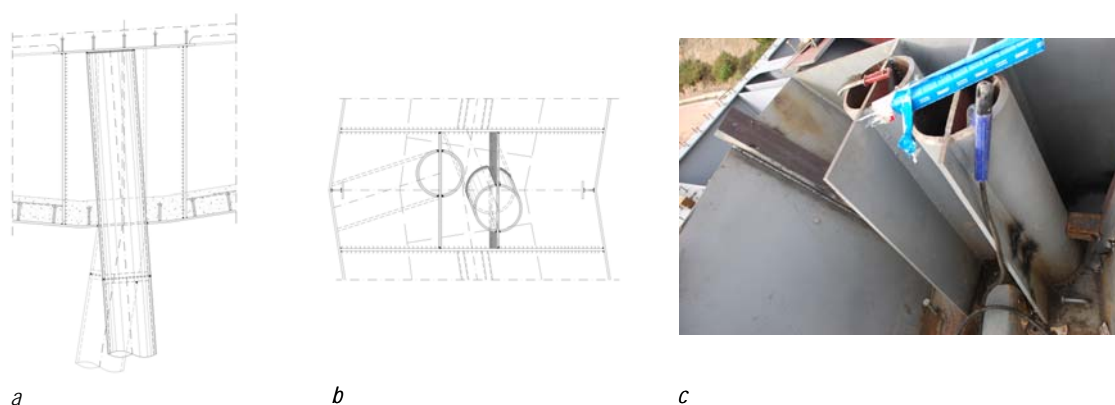


Fig. 12 Diafragma de pila; a) Sección longitudinal; b) Vista en planta; c) Vista interior de la viga cajón durante la fabricación

## 6. Comentarios finales

Si bien los objetivos a cumplir son los mismos para todas las estructuras –seguridad estructural, aptitud al servicio, economía y estética-, en las pasarelas la importancia relativa de la economía y la estética pueden variar en función de la participación o no de un arquitecto en el proyecto. Además, los procedimientos seguidos para alcanzar estos objetivos dependen también de los agentes que participen en el proyecto de la pasarela. Estos procedimientos se exponen en la descripción de las dos pasarelas incluidas en el presente documento, ambas localizadas en Guadalajara, que saltan sobre el barranco del Alamín y sobre la autopista A-2 y que han sido proyectadas con y sin la participación de un arquitecto, respectivamente.

Cuando se cuenta con la participación de un arquitecto, la colaboración entre la propiedad, el arquitecto y el ingeniero es de suma importancia para traducir el diseño arquitectónico y otros condicionantes específicos del proyecto en una estructura fiable y funcional que alcance un equilibrio adecuado entre economía y estética. En tales casos, una de las tareas del ingeniero es contribuir a que la vanidad de los políticos o de los arquitectos no prevalezca sobre la racionalidad [4]. El desafío consiste en diseñar puentes elegantes, siempre teniendo en cuenta su funcionalidad y su coste económico que, en la medida en que se financian con fondos públicos, debe ser razonable. La pasarela del barranco del Alamín es un ejemplo de cómo las dificultades inherentes a ese desafío pueden ser abordadas con éxito.

La pasarela sobre la autopista A-2 cuenta con un diseño estrictamente ingenieril y muestra cómo los condicionantes más exigentes pueden servir como catalizador para alcanzar una solución satisfactoria. El diseño funcional adoptado, que se caracteriza por su sencillez formal, se ve realizado gracias a la cuidadosa concepción de los distintos elementos estructurales y a unos buenos detalles constructivos. Este ejemplo muestra que una concepción estructural moderna y tecnológicamente avanzada puede ser compatible con una solución cuya elegancia cumpla con las demandas estéticas más exigentes sin necesidad de recurrir a elementos ineficaces o decorativos, y todo ello con un reducido coste adicional.

## Agradecimientos

Los integrantes del equipo de ingeniería agradecen a Javier Delgado, arquitecto municipal de Guadalajara y autor de las figuras 8 y 9, su decisiva contribución a crear un ambiente de trabajo productivo y agradable y la ayuda prestada a lo largo de todas las fases de proyecto y de ejecución de la pasarela sobre el barranco del Alamín.

## Referencias

- [1] MENN C., *Prestressed concrete bridges*, Birkhäuser, Basel – Boston – Berlin, 1990, ISBN 3-7643-2414-7 (Basel), 535 pp.
- [2] TANNER P. and BELLOD, J.L., "Design with and without architects – Two footbridges at Guadalajara", *Footbridge 2008 – Footbridges for urban renewal*, E. Caetano and Á. Cunha (Editors), FEUP, Porto, 2008, ISBN: 978-972-752-102-9.
- [3] TANNER P. and BELLOD J.L., "Salto del Carnero Railway Bridge, Saragossa, Spain", *Structural Engineering International*, Vol. 16, N°. 3, 2006, ISSN 1016-8664, pp. 200-203.
- [4] SCHLAICH J., "Me asusta la competición por construir el rascacielos más alto", *Diario EL PAÍS*, 16 de enero de 2008.

## Datos de los proyectos

### Pasarela sobre la autovía A-2

Propiedad RYG 55 Promociones Alcarreñas

Ingeniería estructural Cesma Ingenieros

Contratista Sarclo

Subcontratista para la estructura de acero Iturmo

---

Longitud total [m] 89

Ancho del tablero [m]

- Vano principal 4,75

- Vanos de acceso 2,55

Acero estructural

- En pilas y pilono [t] 16

- En tablero [t] 66

Hormigón in situ

- En estribos y muros [m<sup>3</sup>] 94

- En pilas [m<sup>3</sup>] 14

- En cimentaciones [m<sup>3</sup>] 175 (sin pilotes)

- Hormigón ligero en tablero [m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>] 0,17

Acero de armar

- En estribos y muros [t] 9

- En cimentaciones [t] 13 (sin pilotes)

- En tablero [t] 16

Pilotes

- Diámetro [m] 0,65

- Longitud total [m] 228

- Acero de armar [t] 8

Coste total de la estructura [Millones de Euros] 0,51

## Pasarela sobre el barranco del Alamin

Propiedad	Ayuntamiento de Guadalajara
Arquitectura	Javier Delgado
Ingeniería estructural	Cesma Ingenieros
Contratista	Acciona
Subcontratista para la estructura de acero	Incometal
<hr/>	
Longitud total [m]	68
Ancho del tablero [m]	3
Acero estructural	
- En tablero [t]	38
- En pilas [t]	9
Hormigón in situ	
- En estribos [m <sup>3</sup> ]	6
- En cimentación de pilas [m <sup>3</sup> ]	66 (sin pilotes)
- En tablero [m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> ]	0,18
Acero de armar	
- En estribos [t]	0,7
- En cimentación de pilas [t]	6 (sin pilotes)
- En tablero [t]	10
Pilotes	
- Diámetro [m]	0,55
- Longitud total [m]	102
Coste total de la estructura [Millones de Euros]	0,25