

Puentes en el límite de la ciudad: experiencias recientes



Salvador Monleón

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Universidad Politécnica de Valencia, CMD Ingenieros



Alberto Domingo

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Universidad Politécnica de Valencia, CMD Ingenieros



Carlos Lázaro

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Universidad Politécnica de Valencia, CMD Ingenieros

Resumen

El contenido de este trabajo se articula en torno a las tres ideas siguientes:

- 1) Tanto en la ampliación de puentes históricos como en el proyecto de puentes de vanos medios (40-90 m) el problema estructural y, por lo tanto, el diseño resistente pierden relevancia a la vez que el problema formal adquiere más importancia.
- 2) Al proyecto de ingeniería se le suma, así, una dimensión adicional, y esta a su vez se presenta como reto y como oportunidad para el ingeniero, el cual puede y debe expresarse entonces dentro de un registro que le es habitualmente ajeno.
- 3) En relación con el modelado del paisaje, el skyline urbano puede verse afectado en mayor o menor grado, dependiendo lógicamente de la tipología estructural adoptada. En el otro extremo, el puente se convierte siempre en un gran mirador para la ciudad.

Los cuatro ejemplos incluidos –puente de Cullera, puente de Manises y ampliaciones de los puentes históricos de Estivella y de Sant Sadurní d'Anoia– ilustran perfectamente estos argumentos pero con soluciones radicalmente distintas.

Palabras clave

Puentes urbanos, estructura y forma, vanos medianos y puentes históricos

Abstract

This article is based on the following three ideas:

- 1) In both the enlargement of historic bridges and the design of medium-span bridges (40-90m), problems of structural nature and design strength become less relevant while those of a formal nature take on greater importance.*
- 2) This then adds an additional dimension to the engineering project and one that may, in turn, be seen as a challenge and opportunity for the engineer who can and should express himself in a manner that is not always permitted to the engineer.*
- 3) With regards to the modelling of the landscape, the urban skyline may be affected to a greater or lesser extent in accordance with the adopted structural solution, though the bridge will always become a perfect viewpoint for the city.*

The article provides four different examples: the bridge in Cullera, a bridge in Manises and the enlargements to the historic bridges of Estivella and Sant Sadurní d'Anoia, that perfectly illustrate these arguments but with radically different solutions.

Keywords

Urban bridges, structure and form, medium spans and historic bridges

Claves específicas para los puentes en el límite de la ciudad

El límite de la ciudad constituye un espacio singular donde terrenos agrícolas, instalaciones industriales y preexistencias urbanas pueden coexistir con futuros desarrollos urbanis-

ticos en mayor o menor medida. En este tipo de espacios, el puente actúa, porque le corresponde, como elemento de enlace y catalizador de un desarrollo consistente, pero además debe asumir un rol plástico, diseñarse para formar parte de un nuevo escenario urbano.

Como ya se ha expuesto en las primeras líneas, en vanos medios lo estructural cede protagonismo a lo formal si se opta por materiales resistentes convencionales (hormigón y acero). Ello se debe principalmente a que el catálogo de tipologías racionalmente adecuadas está consolidado desde hace décadas y por lo tanto solo las variables formales pueden generar propuestas diferentes. Estos argumentos toman cuerpo, por ejemplo, al diseñar:

- la forma de las pilas en los pasos superiores,
- el esqueleto resistente en los puentes construidos sobre ríos vivos
- y siempre los equipamientos

por la relación que se establece en cada caso entre el puente y el hombre. Consecuentemente, el proyecto SFD (Seguro, Funcional y Durable) debe adquirir una dimensión adicional: la dimensión plástica.

La interacción con el entorno se desarrolla en dos planos: la inserción de la construcción en el paisaje y la percepción que se adquiere del mismo desde la superestructura. En entornos urbanos como los de las obras que presentamos, se produce una alteración directa y creciente del *skyline*, consecuente con la volumetría del sistema resistente. Adicionalmente, el proyecto conceptual debe desarrollarse interiorizando el rol de balcón que adquieren las aceras y su barandilla.

Los trabajos

En esencia, las realizaciones primera y última, Puente de Cullera y Ampliación del Puente de Sant Sadurní d'Ànoia, pertenecen a una misma línea de trabajo y reflexión formal, en la que prevalece el racionalismo. En cambio el Puente de Manises y la Ampliación del Puente de Estivella corresponden a otra etapa de nuestra praxis, más personal y directa. Esta divergencia se justifica exclusivamente por las particularidades de cada emplazamiento.

Puente sobre el río Júcar en Cullera (noviembre 2007)

El puente proyectado completa el nuevo acceso sur a Cullera y se sitúa a unos 80 m aguas abajo del puente del ferrocarril y a unos 770 m aguas arriba del 'puente de hierro', el conocido arco metálico de Enrique Tamarit de comienzos del siglo XX.

Este hecho singular ha sido clave tanto en la selección de la tipología como en el tratamiento de la arquitectura de detalle



de la nueva estructura, inspirada por la obra del ingeniero estadounidense Conde McCullough. En efecto, la presencia del puente de hierro es sin ninguna duda el factor más relevante de todos los que caracterizan este tramo del río Júcar, cuya margen derecha está todavía dedicada a la agricultura, mientras que por la margen izquierda se alcanza el núcleo de la población, ecléctico y de altura moderada, tras una breve sucesión de instalaciones industriales de pequeño tamaño.



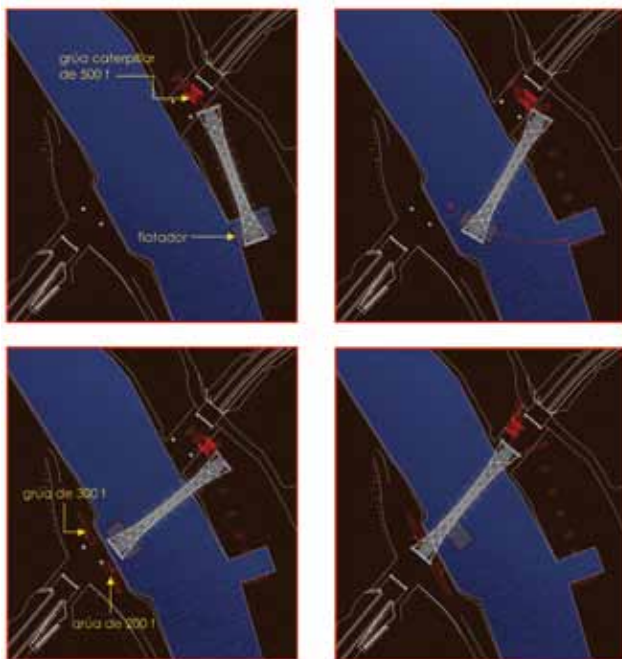
De esta fusión de usos y estilos resulta difícil deshebrar un hilo conductor para el nuevo diseño. Por ello, hemos optado por establecer una conexión, un diálogo a través de la forma y el estilo, entre puente antiguo y nuevo puente, adoptando para este detalles propios de la estética racionalista que se describen más adelante. Los numerosos viajeros del tren de cercanías aprecian con todo detalle la nueva estructura y desde el puente de hierro se disfruta de su esbelto alzado mientras que los usuarios del propio puente, particularmente peatones y ciclistas, tienen nuevas vistas del río y su entorno.

Diseñado como arco atirantado, o *bowstring*, el nuevo puente está constituido por un tablero mixto de tres vanos, dos de acceso de 22,5 m cada uno y un vano central de 90 m que está colgado de un arco compuesto que salva limpiamente el río Júcar en toda su anchura. Formalmente se ha intentado huir de soluciones excesivamente frecuentes en la actualidad, en las que reiterativamente aparece la estructura metálica acabada en blanco, combinada con equipamientos de corte minimalista (barandilla de acero inoxidable e imposta de hormigón blanco). Por ello el color

seleccionado para la estructura metálica ha sido el gris oscuro perlado y para las subestructuras se ha optado por el hormigón con su color natural, introduciendo formas y detalles ornamentales propios del racionalismo (arcos apuntados, escalonamiento y superposición de planos en pilas, dinteles y cartelas simulando la construcción metálica y hornacinas iluminadas en los estribos que les confieren una volumetría muy marcada). Destacan por su singular diseño los arriostramientos entre los dos arcos tubulares, de morfología orgánica debido a la red de nervaduras dispuestas en su cara inferior, creando un particular ambiente de inspiración neogótica al cruzar el umbral del arco compuesto.

La construcción del tramo central del tablero y del arco superior se realizó sobre apeos en la margen izquierda del Júcar, rotando posteriormente este conjunto sobre el río mediante un sistema de grúas y un flotador. El resto de operaciones estructurales consistió en añadir los vanos laterales y hormigonar la losa de piso del tablero y se realizaron directamente sobre la alineación final del puente y sin ningún tipo de apeo adicional.





En su estado final, el puente responde perfectamente al listado de claves y requisitos establecido en líneas anteriores: por el estilo y las formas adoptadas se ha buscado proporcionarle el carácter atemporal necesario para conectarlo con el antiguo puente de hierro. Sin embargo, su proyecto y construcción se han desarrollado con los medios y técnicas más actuales. Una última mención a las aceras y su balaustrada, cuya variación de ancho en los arranques de los arcos acentúa su faceta de gran mirador hacia el núcleo urbano, el puente antiguo y la desembocadura del río.

Puente sobre el río Turia entre Manises y Paterna (abril 2009)

Es la pieza clave en el diseño del nuevo bulvar Paterna-Manises, tanto por su trascendencia ingenieril como por su impacto formal. Su tipología y geometría resuelven adecuadamente trazado vial e interacción hidráulica y crean un magnífico portal sobre el río Turia, símbolo perfecto del abrazo entre dos municipios vecinos que han compartido historia, cultura y tradición. La tradición artesanal común queda además incorporada al proyecto en los propios acabados de las subestructuras, al recurrir a bandas de revestimiento cerámico brillo metálico para los alzados de estribos y la base de las torres de atirantamiento. Ello proporciona una correcta diferenciación de ambientes para los usuarios de puente y cauce: continuidad física luego estética del bulvar por encima del río e intervención mínima dentro de este, donde se imponen las formas de las caras inferiores del tablero y del arranque de las torres.

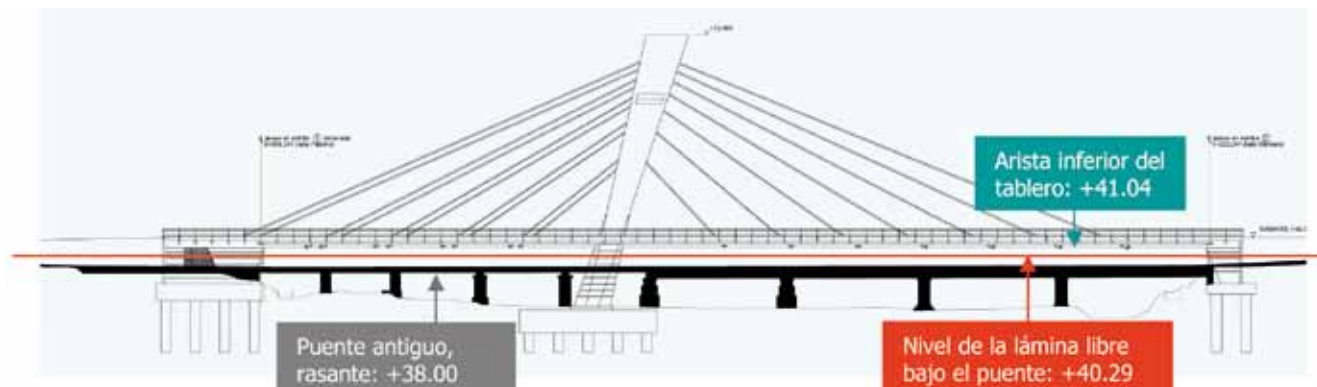
La zona de actuación consiste una amplia banda de terrenos agrícolas que separa las dos poblaciones. Además, por la margen izquierda tenemos la 'barrera' de la V-30, que discurre paralela al río, y transversalmente el bulvar de 870 m hasta Paterna, mientras que en la margen derecha y a gran proximidad del cruce del Turia, se desarrolla la población de Manises.

La inundabilidad de la zona requirió una serie de disposiciones específicas, como la elevación de la rasante desde la +38,00 (puente antiguo) hasta la +42,50 y la permeabilización del terraplén de acceso desde el bulvar proveniente de Paterna, con el fin de garantizar un resguardo



de 0,75 m para la avenida de 500 años ($5.000 \text{ m}^3/\text{s}$), junto con la selección de una tipología que permitiera minimizar el canto del tablero y el número de pilas dentro del cauce mayor. El optar por una solución atirantada en detrimento de un arco de tablero inferior ya sólo obedeció a razones formales: permitía compensar el peso de las edificaciones muy cercanas a la margen derecha, con una disposición asimétrica de la torre, alejándola de tal forma que quedara el vano mayor de la estructura hacia Manises.

Este conjunto de disposiciones y la consecuente transformación del entorno se contrastó y valoró en el estudio de soluciones mediante simulaciones gráficas como la mostrada a continuación. En esta se apreciaba claramente la gran permeabilidad de la obra, o lo que es lo mismo: el aumento de seguridad frente a avenidas de este tramo del río Turia. Su buen funcionamiento vial quedaba garantizado al respetar estrictamente la geometría del nuevo





bulevar y su integración urbana se confirió a la imagen de gran puerta de entrada a la población de Manises, consecuencia directa de la forma en A de las torres y la disposición de dos planos tumbados de tirantes.

Tipológicamente, se trata de un puente atirantado de dos vanos de 90+55 m entre apoyos. Los tirantes se disponen en dos planos tumbados de 7+2×5 tirantes de acero de alta resistencia envainados en PVC blanco. Las torres, de 30,9 m sobre tablero, forman un pórtico en A de canto creciente hacia el vértice superior, altura total sobre el cauce: 41,4 m. El ancho total del tablero, que comprende aceras, elementos separadores, calzada y arcones es de 22,4 m.

El tablero, construido mediante apeos, es mixto en el vano principal, con artesonado de acero corten en cajones y vigas de piso, y de hormigón armado/pretsado en el vano corto, con moldes de chapa corten en nervios prolongación de los cajones.



Por último, subrayaremos que el hormigón del viejo puente se recicló hasta un total de 1.250 m³ repartidos en losa estructural de tablero y firmes de carretera en el bulvar.

Ampliación del puente de Estivella (noviembre 2010)

Situado en la entrada a la población de Estivella, en la comarca Valenciana del Campo de Murviedro, el puente antiguo ha facilitado durante más de dos siglos el paso sobre el barranco de Linares, pocos metros antes de que este se una al río Palancia. Sufrió una primera reforma en el año 1898, que consistió en el ensanchamiento del puente, sin afectar al pretil de piedra ni a la estructura resistente. Sería más tarde, después de la Guerra Civil, cuando se sustituyeron los pretils por barandillas metálicas que nada tenían que ver con el estilo arquitectónico original, y ya a finales del siglo XX se hicieron unas aceras laterales nuevas con farolas, cuya escasa seguridad para los peatones está en el origen de la actuación aquí descrita.



La construcción del puente de Estivella se inició en el año 1792 bajo la dirección del prestigioso arquitecto valenciano Vicent Gascó y constituyó el puente más grande de todo el camino de Aragón. Aunque parece que la totalidad de los elementos no estuvieron acabados hasta el año 1801, actualmente también es el más antiguo. El puente está realizado por piedramortero, ladrillo y piedra picada y estructurado en tres arcadas de 8,30 m de luz con una bóveda formada de ladrillo y clave de piedra picada que llega a la embocadura de las vueltas. Los dos pilares están situados en la parte central y son aproximadamente de 3 m formados por sillares en la base y por piedramortero hasta el arranque del ladrillo de las bóvedas. Los tajamares tienen forma triangular y de igual manera es la base, mientras que las esquinas de los estribos son de piedra picada. Tiene una longitud total de 90 m y una altura máxima sobre la rasante de 11 m y siempre ha presentado un aspecto excelente. De hecho, las comprobaciones resistentes llevadas a cabo para validar la nueva ampliación fueron totalmente satisfactorias.



Las singulares características del entorno del puente junto con la imperiosa necesidad de proporcionar un paso seguro y cómodo a los peatones, constituyeron la base de nuestra reflexión. En efecto, por la margen derecha el acceso al puente aparece de repente, tras la curva a derechas de casi 90° que describe la avenida de Camp de Morvedre, pero las edificaciones dispuestas entre barranco y carretera impiden cualquier vista de los tres arcos. Algo similar sucede desde la margen izquierda, donde la avenida de Valencia se abre paso hasta el puente entre los edificios de Estivella, y además el último de ellos, una residencia para la tercera edad, impide



desarrollo sostenible



Más que agua

Talento, conocimiento y compromiso.
Aportamos respuestas adecuadas
para una gestión más eficiente.
Compartimos conocimiento
y generamos innovación.
Trabajamos por un futuro basado
en el compromiso y la cooperación.

www.aqualogy.net



AQUALOGY

Where water lives

SOLUCIONES INTEGRADAS
DEL AGUA PARA UN
DESARROLLO SOSTENIBLE



prácticamente la ampliación del tablero hacia aguas arriba. Sin embargo, a ese lado de la obra existe un pequeño parque y terrazas ajardinadas, bajando hacia el río Palancia, que permiten apreciar el alzado de aguas abajo en su totalidad. Por todo ello, se decidió ampliar la acera de aguas abajo exclusivamente y potenciar así las correspondientes vistas del puente.

La ausencia de edificios históricos en las proximidades de la obra nos dio más libertad a la hora de diseñar el nuevo paso peatonal. Por ello decidimos apuntalar un voladizo de 3,17 metros mediante jabalones de geometría variable y equipar la acera con mobiliario sencillo y funcional tal y como se muestra en las infografías de proyecto.

El resultado se ilustra con las fotografías que siguen, todas correspondientes a la obra en servicio: alzado nocturno desde la margen izquierda, vista de la acera y detalles del voladizo. En ellas se puede apreciar el marcado carácter medieval conferido al alzado desde el Palancia, gracias a la geometría dura y dinámica de los jabalones en punta de flecha, y su contraste con la sencillez y limpieza de la nueva acera.

La intervención ha producido un triple cambio: además de proporcionar una solución adecuada (cómoda y segura) al paso de peatones y vehículos, ha transformado las sensaciones que se perciben del puente, tanto sobre el como desde el exterior. Las primeras se han aplanado, transmitiéndose más tranquilidad, mientras que las segundas por el contrario se han tensado, creando una nueva atmósfera más teatral y dramática.





Estructuralmente, la solución construida consiste en una losa nervada hormigonada in situ sobre encofrado de chapa grecada, fijada a un emparrillado metálico formado por una retícula triangular de perfiles armados a la que se adaptan los jabalones en punta de flecha, y rematado por un nervio de borde. Para su construcción, se procedió en primer lugar a las demoliciones requeridas para la posterior colocación de la estructura metálica. Esta se fabricó en taller en tres partes, para su transporte y posterior montaje en obra, que incluían emparrillado triangular, jabalones y nervio de borde. Cada una de estas partes se ancló a la losa y apuntaló contra los tímpanos de los arcos, colocándose solo entonces la chapa grecada. A continuación se hormigonó el piso y ejecutaron los equipamientos: barandilla acristalada e imposta, jardineras-defensas e iluminación.

Ampliación del puente de Sant Sadurní D'Anoia (junio 2011)

El puente de Sant Sadurní fue inaugurado el 29 de noviembre de 1941 y su construcción correspondió al Servicio Militar de Puentes y Caminos en colaboración con la Jefatura de Vía y Obras de la Diputación de Barcelona (así consta en la placa conmemorativa situada en su acceso desde la población).





Está formado por cinco arcos de medio punto de 13,77 m de luz, mientras que su longitud total, incluidas las aletas, es de 93,6 m. La altura de las bóvedas sobre el terreno oscila entre 9,4 y 17,94 m. Las pilas tienen un espesor de 2 m en coronación, mientras que en dirección ortogonal al eje del puente su ancho es constante y de unos 6 m. Poseen un ligero desplome hacia la base, donde cada una de ellas reposa sobre un tajamar de cantos redondeados. En cuanto a materiales, las cinco bóvedas son de hormigón, mientras que los tímpanos y los paramentos vistos de pilas y estribos están revestidos de fábrica de piedra, todos ellos con un excelente aspecto. La anchura total del tablero es de 8,1 m distribuidos en una calzada de 5,3 m y dos aceras de 1,4 m cada una. A pesar de ello, el ancho útil para los viandantes se ve reducido por la balaustrada de fábrica, de 30 cm de espesor, quedando disponible apenas 1,1 m. Este hecho y todos los inconvenientes que de él derivan motivaron un estudio de alternativas para su ampliación, que a su vez originó el proyecto y la obra que pasamos a exponer.

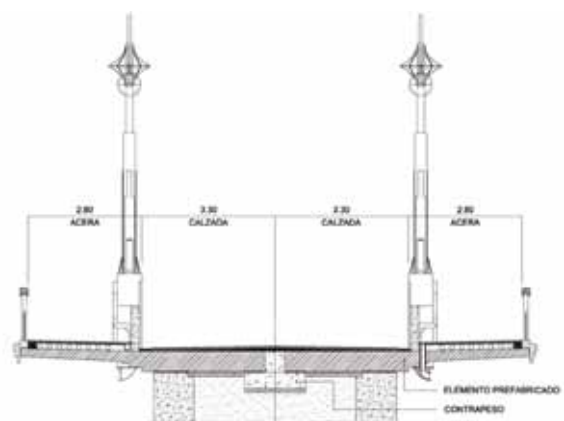
A la inversa de lo que sucede en Estivella, el puente de Sant Sadurní d'Ànoia se puede ver desde cualquier sitio cercano. No se precisa ir a un lugar concreto para poder estar frente a él. Por ello una transformación radical del aspecto era razonable en el primer caso, pero difícil de sostener en el segundo y nuestra posición fue la de conservar el cuadro tal y como está pintado. La fábrica de los cinco arcos encaja perfectamente en el Parc de l'Averno, flanqueada por las bodegas y los edificios de la villa y no hemos querido alterar el equilibrio preexistente de esta composición. En definitiva, en este caso optamos por respetar el hito histórico y urbano en lugar de transformarlo.

La propuesta consiste en una ampliación simétrica del tablero, pasando de la anchura inicial de 8,1 m a 12,55 m



de plataforma estructural, sobre la que se dispone 6,6 m para la calzada y resultan dos aceras de 2,1 m de ancho útil, destinándose el espacio restante para las defensas y el mobiliario. Todo ello se consigue sustituyendo el tablero actual por pares de piezas prefabricadas de hormigón armado dispuestas simétricamente respecto al eje del puente y ancladas a un contrapeso central hormigonado en una zanja excavada en el relleno de las bóvedas. Estos prefabricados son de espesor variable y tienen unas dimensiones típicas de 6,03 m en sentido transversal y 2,49 m en dirección longitudinal, resultando unos vuelos de 3,28 m medidos desde la cara exterior de los tímpanos. Las caras frontal y dorsal de estas dovelas están acabadas en pico de flauta de 10 cm de espesor, para proporcionar espacio suficiente al solape de las armaduras pasivas longitudinales en una junta húmeda de 0,5 m.

En el diseño y disposición de los equipamientos se ha pretendido mantener el estilo original del puente, mejo-







rando la seguridad y la comodidad de todos los usuarios junto con la calidad estética de este espacio. Por ello se ha prestado especial cuidado a las formas de la balastrada, de las farolas y sus pedestales y se han incorporado pequeños detalles decorativos de inspiración modernista, recurriendo al trencadís brillo metálico y a pequeñas incrustaciones metálicas. En las siguientes imágenes de proyecto y de la obra en servicio, se puede apreciar el aspecto final deseado para la obra, tanto en sus vistas generales como desde el propio tablero, tal y como la percibirían los viandantes, y el resultado real.

Es habitual, en este tipo de obra, tener que encarar condicionantes constructivos muy estrictos: por un lado están los resistentes (en servicio y en construcción) y por otro los funcionales (espacio para las maniobras, paso durante las obras...). Pero en conjunto, todos ellos son determinantes para el diseño del prefabricado (geometría y peso), la selección de los medios auxiliares y la minimización de la interrupción en el paso de peatones y vehículos. Este último aspecto es de especial importancia en nuestro caso, ya que el puente es la vía de acceso más directa a la estación de Renfe para la población. **ROP**

