

El diseño de puentes que parecen arcos (sin serlo del todo)

The design of bridges that look like arches (not being completely)

Héctor Beade Pereda

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Knight Architects

Associate | Bridge Designer

h.bead@knightarchitects.co.uk

RESUMEN

Los arcos fueron el tipo de puente predominante durante unos tres mil años, todavía siendo, hoy en día, un tipo muy habitual y apreciado desde un punto vista formal, entre otras cosas por la tendencia natural del ser humano a preferir los objetos con líneas curvas frente a los angulosos y puntiagudos. Sin embargo, su funcionamiento depende muy significativamente de la rigidez horizontal de sus extremos, que debe ser proporcionada por el terreno o por elementos estructurales adicionales. Este artículo explica cómo diseñar puentes que, dentro de la racionalidad estructural, ofrecen la expresión formal de un puente arco sin serlo completamente (o sin serlo en el modo en el que lo aparentan).

ABSTRACT

Arches were the predominant type of bridge during approximately three thousand years, still being a very frequent and aesthetically valued type nowadays. The latter is a consequence, among other factors, of the natural tendency of human beings to favour objects with contours over objects with sharp angles or points. However, its behaviour is significantly dependent on the horizontal stiffness at their ends, which needs to be provided by the ground or additional structural elements. This article explains how to design bridges that, within structural rationality, offer the formal expression of an arch bridge without completely being one (or without behaving in the way it appears to).

PALABRAS CLAVE: puente, arco, diseño, estética, preferencia formas curvas, reacciones horizontales

KEYWORDS: bridge, arch, design, aesthetics, contour bias, horizontal reactions

1. Introducción

Los arcos fueron la primera tipología estructural que permitió al ser humano vencer las limitaciones dimensionales de los elementos naturales individuales, convirtiéndose en el tipo de puente predominante durante unos tres mil años, hasta después de la Revolución Industrial.

Este artículo explora las razones detrás de la buena recepción que, por lo general, los puentes arco tienen entre el público no

especializado en diseño de puentes y explica, utilizando cuatro ejemplos de la experiencia previa del autor, cómo, incluso en terrenos desfavorables para arcos puros y dentro de una suficiente racionalidad estructural, se pueden diseñar puentes que ofrecen la expresión formal de un puente arco sin serlo completamente (o sin serlo en el modo en el que lo aparentan).

2. Brevísimas historia de los puentes arco

Durante aproximadamente tres milenios, todos los puentes que debían salvar un obstáculo importante eran puentes arco, en su mayor parte de fábrica. El éxito de la tipología se fundamentaba en su funcionamiento por forma, que permitía su materialización empleando elementos de un tamaño mucho más reducido que la luz que era necesario salvar, al contrario que los más básicos y primigenios puentes viga que requerían troncos o piedras de forma alargada con una longitud comparable al obstáculo a cruzar.

El uso de la piedra como material estructural ha hecho que muchos de ellos hayan llegado hasta nuestros días, convirtiéndolos en elementos familiares del paisaje apreciados por su valor histórico e identificados, para muchos, como la representación del puente más puro.

La revolución industrial, a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, supuso también, gracias a la aparición del hierro y acero, una revolución en los tipos estructurales que permitían salvar luces relevantes. Sin embargo, el arco, adaptado formalmente a los nuevos materiales, se mantuvo como una tipología habitual entre los recién llegados puentes colgantes y vigas en celosía.

La aparición del cemento portland y el hormigón un siglo más tarde supuso, en cierto modo, una vuelta al lenguaje tradicional de los arcos de piedra debido a las virtudes que son comunes a ambos materiales.

La tipología ha permanecido como una de las más apreciadas por el público general hasta hoy en día [1] y esto parece no ser sólo una consecuencia de lo acostumbrados que estamos a que los arcos formen parte del paisaje debido a la longevidad del tipo estructural, sino también de la preferencia natural del ser humano por los objetos con líneas curvas frente a los equivalentes con formas angulosas o puntiagudas [2]. Esto se describe en algo más de profundidad en el siguiente punto.

3. Preferencia por las formas curvas

Durante siglos, en distintos estudios sobre estética desde una perspectiva filosófica, psicológica o evolutiva, las líneas curvas han sido consideradas más armoniosas, relajantes, placenteras y en consonancia con la naturaleza que las líneas rectas o quebradas.

Diversos estudios recientes sobre la percepción confirman que el ser humano tiende a preferir los objetos con líneas curvas frente a los objetos angulosos y puntiagudos [3]. Al ver objetos afilados o con elementos en punta, se activa la amígdala, región del cerebro que interviene en el procesamiento del miedo [4]. Esta asociación es probablemente un mecanismo subconsciente desarrollado para permitir a nuestros ancestros detectar amenazas potenciales. Esto significa que la presencia de elementos afilados o angulosos afecta al modo en que se percibe y valora desde un punto de vista estético un objeto, y la intensidad en la activación de la amígdala parece ser proporcional al grado de angulosidad o agudeza de lo percibido.

Ensayos empleando formas u objetos con lenguaje curvo frente a otros equivalentes con lenguaje anguloso, muestran que, en entornos neutros, los diseños curvilíneos resultan más atractivos para la mayor parte de la gente [3]. En alguno de estos ensayos se analizó, empleando imagen por resonancia magnética funcional, la actividad cerebral cuando los individuos seleccionaban los objetos preferidos, mostrando que, independientemente de la edad y el género, el grado de activación de la amígdala era proporcional al grado de angularidad del objeto e inversamente proporcional a la preferencia mostrada por el mismo.

Sin embargo, los objetos con elementos puntiagudos también causan un nivel de activación más intenso en áreas del cerebro relacionadas con el pensamiento asociativo, lo que significa que causan un grado de procesamiento más profundo que los

curvilíneos, y que llaman más la atención y dan más que pensar.

Trasladado al terreno de los puentes, este principio vendría a decir que los arcos, bandas tesas y vigas con formas curvas gustarían más en general en un contexto neutro (público no

relacionado con el diseño de puentes) que los puentes atirantados o vigas con formas angulosas, que sin embargo llamarían más la atención. Los puentes colgantes estarían en un terreno intermedio, al incorporar tanto elementos curvos como puntiagudos (Fig. 1).



Figura 1. En rojo, diseños con formas angulosas o puntiagudas. En azul, diseños con formas o contornos curvos. Estudios parecen indicar que los segundos resultan más atractivos para la mayor parte de la gente, mientras que los primeros llaman más la atención y dan más que pensar

4. Puentes que parecen arcos

Al concebir un puente que incorpora un arco como parte de su diseño, se puede estar respondiendo, de manera simultánea o independiente, a condicionantes geométricos, topográficos, geotécnicos, o a aspiraciones formales. Sin embargo, este tipo de puente no

siempre se puede emplear de una forma tan libre como otras tipologías, al depender su funcionamiento muy significativamente de la rigidez horizontal de sus extremos, que debe ser proporcionada (hasta un valor mínimo) por el terreno o por elementos estructurales adicionales.

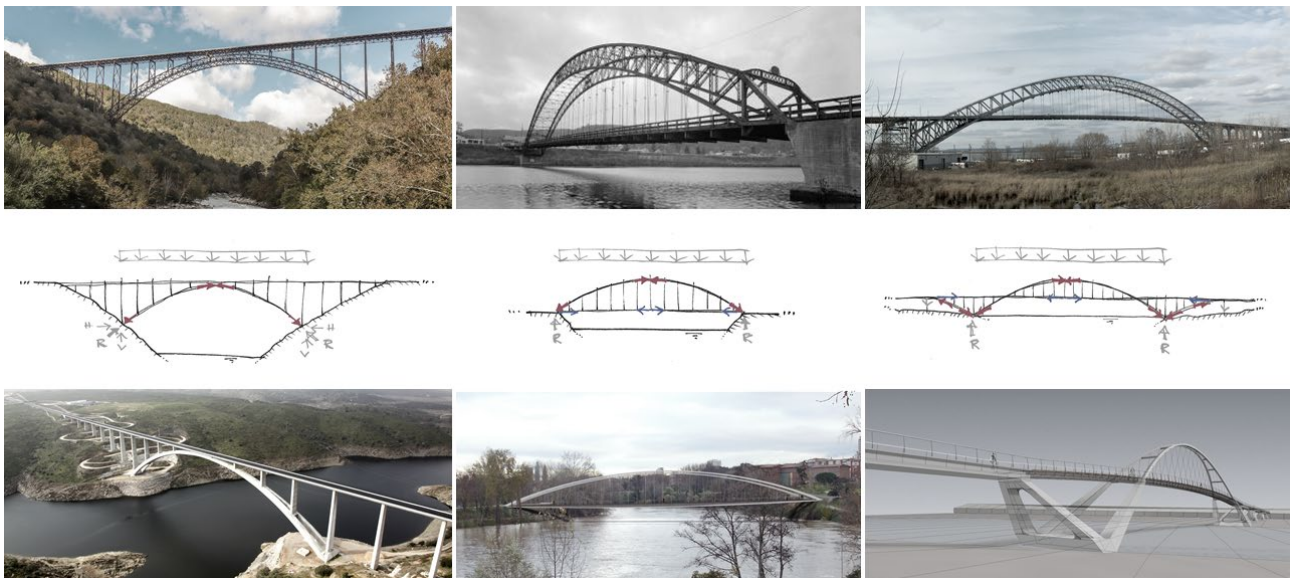


Figura 2. Fila superior: Puentes arco puros de tablero inferior, superior e intermedio. Fila intermedia: funcionamiento básico de las tres configuraciones, en los dos últimos casos con el arco vinculado al tablero para minimizar las reacciones horizontales. Fila inferior: Diseños del autor del artículo que responden a los tres tipos

Los puentes arco se clasifican tradicionalmente en función de la posición

relativa entre el tablero y el arco. Así se suelen distinguir arcos de tablero superior, la única

variante hasta finales del siglo XIX, arcos de tablero inferior o arcos de tablero intermedio. La mayor adecuación de uno u otro desde un punto de vista geométrico viene condicionada por la orografía de la localización de cruce. Las dos variantes en las que el arco cruza por encima del tablero parcial o totalmente surgieron inicialmente como arcos puros, que transmitían reacciones horizontales significativas al terreno pero a día de hoy la mayor parte de los arcos de tablero inferior o intermedio utilizan el tablero como tirante para reducir o eliminar estas reacciones horizontales (arcos *bow-string*, Fig. 2).

Estas serían, para el autor, las categorías de puentes arco que lo parecen y lo son, habiendo concebido y desarrollado ejemplos de cada una de ellas en su carrera (Fig. 2).

Sin embargo, en ocasiones, la aspiración formal por diseñar un puente arco de tablero superior para una localización específica no viene acompañada por unas características geotécnicas adecuadas para un arco puro, o la geometría deseada para un puente arco de tablero intermedio no encaja exactamente con la variante clásica de puente atirantado por el tablero. Este es el terreno de los puentes que ofrecen la expresión formal de un puente arco

sin serlo completamente (o sin serlo en el modo en el que lo aparentan).

4.1 Geometrías percibidas como arcos

Desde un punto de vista puramente geométrico, la diferencia entre un arco de tímpano sólido y una viga de canto variable, especialmente si el canto sobre apoyos de ésta supera al estricto necesario, puede ser sutil (Figs. 3 y 4). Esta es la manera más sencilla de diseñar puentes que son percibidos como arcos por el público general sin serlo del todo.

Un siguiente paso en esta aproximación sería aumentar la transparencia de la estructura manteniendo el esquema de puente viga. Un modo de conseguirlo es generando aperturas locales sobre apoyos, aproximando visualmente al puente a la configuración más simple de arco de tímpano abierto (Fig. 4, sistema empleado para el diseño del Viaducto del Valle del Colne, uno de los casos de estudio de puentes no-arco que se incluye en las páginas siguientes). Otro modo de obtener esta transparencia es hacer que la estructura parezca un arco de tímpano abierto propiamente dicho mediante una configuración de viga Vierendeel o celosía triangulada (Fig. 5).

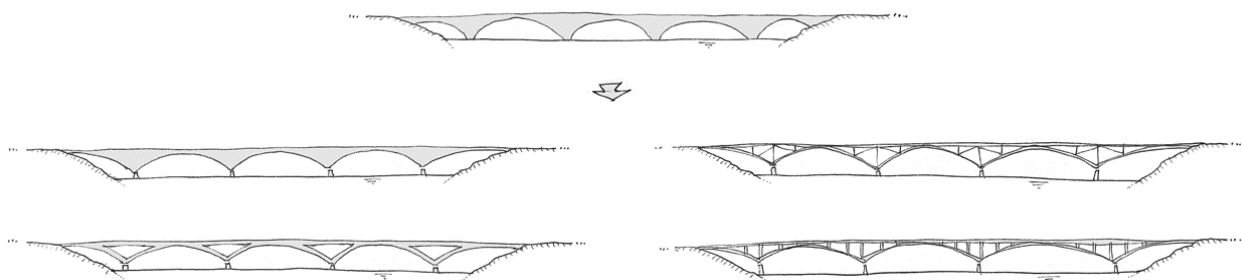


Figura 3. Arco puro multivano y distintas vigas multivano percibidas como arcos por la mayoría de la gente



Figura 4. Izda.: arco de tímpano sólido (antiguo puente sobre el Sena en Neuilly) vs. viga multivano con canto generoso sobre apoyos (Puente de Waterloo en Londres). Dcha.: arco puro con tímpanos aligerados (Puente de los Catalanes en Toulouse) vs. viga multivano con aligeramientos sobre apoyos (Viaducto sobre el Río Colne)



Figura 5. Celosías (trianguladas o Vierendeel) que, para muchos parecen arcos

Sin abandonar el esquema viga, otra posible variación que permite conseguir una apariencia de arco es aligerar, en un puente de canto variable en el que la estructura se sitúa bajo el tablero sobre apoyos y sobre el tablero en centro de vano, su zona central. Esto permite generar formas que están entre un arco bow-string de tablero intermedio y una viga, con apariencia próxima al primer esquema en términos de transparencia y al segundo en términos de esbeltez (Fig. 6A). Esta aproximación se empleó en la Pasarela sobre el Río Tirón en Haro, otro de los casos de estudio incluidos en las páginas siguientes.

La solución empleada para obtener una apariencia de arco de tablero superior sin serlo en otro de los casos de estudio, el nuevo Puente

en Pooley Bridge, fue conectar el arco con el tablero por medio de vanos laterales ocultos para evitar las reacciones horizontales en el terreno, creando una estructura a medio camino entre un arco bow-string atípico (hay pocos arcos atirantados por un tablero superior, pero la solución no es más que una variante geométrica de los mucho más habituales arcos bow-string de tablero intermedio) y una viga de tres vanos con vano principal Vierendeel (Fig. 6B).

El cuarto caso de estudio, el Puente sobre la ECML en York, es más complejo (Fig. 6C) ya que combina elementos estructurales que son arcos verdaderos (con cierta componente de viga Vierendeel) con otros que lo parecen sin serlo (híbridos entre pórtico y viga Vierendeel).

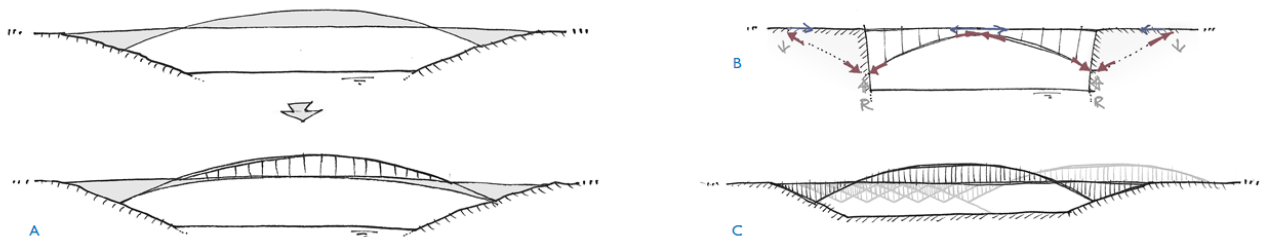


Figura 6. A: Viga de tres vanos aligerada en la zona central. B: Puente bow-string de tablero superior. C: combinación de arcos de tablero intermedio y pórticos con cierta componente arco en un mismo puente

4.2 Casos de estudio

El Parque Natural del Valle del Río Colne es la primera gran zona verde (111km²) al oeste de Londres. La combinación de cursos de agua (Río Colne y Grand Union Canal), lagos, prados y bosques, convierten al área en enormemente valiosa y sensible desde un punto de vista medioambiental.

Este valle se verá cruzado por un viaducto de 3.5km de longitud como parte de la línea de

alta velocidad ferroviaria (HS2) Londres-Birmingham. El autor, como parte de Knight Architects, fue responsable del diseño de referencia de este viaducto, en 2017, en colaboración con Atkins y trabajando para HS2 Ltd., la empresa que desarrolla y promueve la red de alta velocidad en el Reino Unido.

El viaducto [5] fue calificado por el Parlamento Británico, antes de ser diseñado, como la “estructura más importante de toda la línea por su escala, su visibilidad y la sensibilidad de su localización”.

Un diseño de tal responsabilidad fue desarrollado en continuo diálogo con las distintas partes con intereses en el proyecto (incluyendo representantes de la comunidad local) y un panel independiente formado por especialistas en diseño de distintas disciplinas. Esto es algo relativamente habitual en el proyecto de las infraestructuras de una mínima relevancia en el Reino Unido, y generalmente contribuye positivamente a la calidad del diseño y a como éste es recibido por el público.

El diseño propuesto es tremendamente contextual, respondiendo a la escala y el carácter visual de las diferentes zonas del valle, a la



Figura 7. Viaducto del Valle del Colne. Contexto, referencias, sección tipo y pilas en zonas boscosas y cruce sobre lagos principales con un esquema de viga multivano con muchas de las propiedades formales de un puente arco

Para compactar el “canto visual” del tablero (canto de tablero + altura de las pantallas acústicas) y aumentar el espacio disfrutable bajo él, se propuso una sección tipo en forma de U que solapase en parte la función estructural y de pantalla, pero sin bloquear las vistas desde el tren. Y para evitar el bosque de pilas o la indeseable complejidad geométrica de la subestructura que se crearía con el trazado curvo y un apoyo bajo cada alma, se propuso una sección con suficiente inercia a torsión como para poder emplear un único fuste central con doble apoyo (Fig. 7).

El puente diseñado es una viga continua de hormigón de canto constante en las zonas de bosque, con vanos de aproximadamente 50m, que se transforma fluidamente, al cruzar los lagos, en una serie de vanos de canto variable de 105m de luz con cara inferior de tablero con

experiencia del usuario bajo la estructura y sobre ella, y a la sensibilidad del lugar, aspirando a convertirse en una extensión natural del paisaje y en un elemento de referencia en la línea mucho más por su elegancia que por su prominencia.

El trazado del viaducto, significativamente próximo al terreno en lo que se había interpretado como un modo de minimizar el impacto visual de la línea, estaba fijado al comenzar el diseño del puente. Para mitigar el ruido creado por la infraestructura, se especificaba la necesidad de emplear pantallas acústicas, en un borde u otro del tablero (o en ambos), a lo largo de toda la estructura.

forma de arco (aunque con un tramo recto en sus arranques) y generosos huecos pseudo-trianguulares sobre apoyos (Fig. 7). Siguiendo uno de los principios de diseño de puentes no-arco descritos anteriormente, la apariencia para el público general, pese a ser un puente viga, es la de una secuencia de arcos de tímpano abierto.

El diseño responde de modo claro al carácter y uso de las distintas zonas cruzadas por el viaducto. Los vanos más cortos en las zonas boscosas, en las que existen múltiples rutas para practicar senderismo, permiten, en combinación con el tipo de sección empleada, incrementar la esbeltez del tablero y la amplitud del espacio bajo él, minimizando el efecto abrumador que un puente de alta velocidad causa cuando se está cerca de él (como será el caso). En las zonas de lagos, la mayor luz de los vanos y las aperturas sobre apoyos maximizan las vistas del paisaje

desde las orillas a través del puente. La secuencia de arcos genera una geometría armoniosa que se relaciona visualmente con las suaves formas curvas de los bordes de los cuerpos de agua y emplea la imagen reflejada en ellos como elemento del diseño. La forma de la sección hace que la zona de apoyos en los vanos principales (percibida como zona de “contacto” con los lagos) sea más estrecha que la anchura del tablero, generando la sensación de que el viaducto salta sutil y respetuosamente sobre el agua en un entorno tan valioso.

4.2.1. Puente en Pooley Bridge (Reino Unido)

El pueblo de Pooley Bridge, situado al norte de Inglaterra, es la puerta de entrada desde el

nordeste al Parque Natural del Lake District, lugar de una extraordinaria belleza y distinguido por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad. Un puente arco de piedra de tres vanos, construido en 1764, servía de conexión crítica para el día a día en el área. Este puente desapareció, parcialmente arrastrado por las riadas en la zona de diciembre de 2015, causando conmoción en la comunidad por la pérdida de parte de su patrimonio histórico y la aficción a su calidad de vida causada por la división de las dos márgenes del pueblo. La instalación, tres meses más tarde, de un puente celosía temporal alivió esto último, pero se convirtió al mismo tiempo en un recordatorio de la pérdida y la vulnerabilidad ante las crecidas.



Figura 8. Nuevo Puente en Pooley Bridge. Puente de piedra, puente temporal, modelo físico del nuevo puente e integración en su entorno, respetando un paisaje único y al puente histórico que lo precedió

El autor, como parte de Knight Architects, fue responsable del diseño, en 2017, de un nuevo puente permanente en la misma localización que el anterior. El proyecto se llevó a cabo en colaboración con Mott MacDonald y trabajando para Cumbria County Council, la administración local de ese condado.

El nuevo puente se diseñó en contacto permanente con la comunidad y otras partes interesadas, pidiendo su punto de vista sobre las aspiraciones que el proyecto debía tener y, en distintas fases del mismo, sobre su evolución. El feedback recibido, aunque contradictorio por el gran número de gente que respondió a la convocatoria, reclamaba un puente *reconocible, elegante, transparente y único*. Con una *tipología arco* como el original, pero con un diseño

contemporáneo y esbelto, con líneas claras, estéticamente agradable e integrado en el lugar. Debía ser *transparente*, tanto para permitir disfrutar de las *vistas a través de él* como para sentir que *no supondría una restricción al flujo de agua* en situaciones de avenida. El *uso de piedra* como parte de la estructura era también reclamado por muchos.

Con la información geotécnica disponible al concebir el nuevo puente (refrendada por la campaña posterior) no se podía garantizar la viabilidad de un arco puro de un solo vano, siendo esto último algo imprescindible para mejorar el flujo en condiciones de avenida y que la aficción futura a las propiedades colindantes fuese menor que en 2015.

El puente diseñado para responder a las distintas aspiraciones de diseño tiene apariencia de arco puro de tímpano abierto y vano único de 40m de luz, pero en realidad es más bien un híbrido entre viga de tres vanos y arco bow-string de tablero superior, tal y como se describía en el punto 4.1 de este artículo.

El puente (Fig. 8), actualmente en construcción, tiene sección mixta de acero inoxidable y hormigón, lo que permitirá tener una apariencia que, al igual que en el caso del puente de piedra original, envejecerá de modo natural sin verse excesivamente afectada por el régimen de mantenimiento. Las propiedades mecánicas del acero inoxidable dúplex y el hormigón de alta resistencia empleados permiten maximizar la esbeltez y transparencia, y hacen la estructura suficientemente ligera como para ser instalada prácticamente en una sola pieza, minimizando los trabajos sobre un río en el que el solape del período sensible a avenidas y la época de cría de algunas especies que lo habitan restringen sobremanera los momentos en los que se pueden realizar actividades sobre él.

El diseño ha conseguido un respaldo unánime de la comunidad, satisfaciendo tanto a

aquellos que deseaban un puente *moderno* como los que deseaban un puente *no demasiado moderno*, gracias a la, en cierto modo, reinterpretación del diseño de algunos de los primeros arcos de hierro construidos en el mundo, que suponen un motivo de orgullo y una parte fundamental del patrimonio del país.

4.2.2. Pasarela sobre el Río Tirón en Haro

El vino y la viña no sólo son el eje económico e industrial de la comarca de Haro, que conserva algunas de las más antiguas y conocidas bodegas riojanas si no la expresión vital y cultural de todo el pueblo.

El autor, como parte de Arenas y Asociados, fue responsable, en 2010, del diseño para el Gobierno de La Rioja de una pasarela sobre el Río Tirón que debería facilitar el acceso al conocido como Barrio de Las Bodegas desde el centro de la ciudad [6].

Se deseaba que el puente fuese esbelto, respetuoso con el relativamente próximo Puente de Piedra (puente arco multivano), y que, desde la elegancia, hiciese referencia a la cultura del vino que caracteriza el lugar.

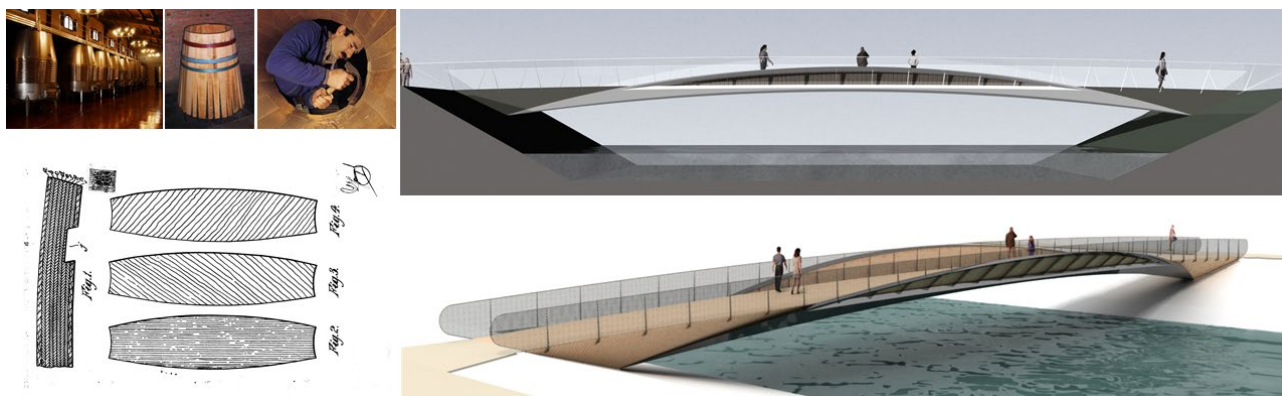


Figura 9. Pasarela sobre el Río Tirón en Haro. Referencias y diseño a medio camino entre viga de tres vanos y arco

Para responder simultáneamente a las aspiraciones estéticas y los condicionantes hidráulicos y económicos, el diseño es un híbrido entre viga de canto y ancho variable de tres vanos, empotrada elásticamente mediante dos vanos laterales sensiblemente más cortos que el principal (2,5 m frente a 40,6 m) y arco-bow string, según se describía en el apartado 4.1 de

este artículo. Su sección transversal, trapezoidal e íntegramente bajo el tablero en arranques, se transforma en un cajón cuasi-rectangular sustentado por arcos levemente inclinados (sin superar la altura de la barandilla) en la zona central del vano principal (Fig. 9).

De este modo, la estructura principal de la pasarela pasa de estar bajo el tablero en los

extremos a estar sobre él en el centro, lo que responde de manera adecuada a la ley de momentos flectores a la que está sometida bajo cargas uniformemente distribuidas. Al mismo tiempo, respetando la sección de desagüe existente en la medida de lo posible, restringe a los arranques la zona con el canto de estructura bajo el tablero, que es de por sí reducido debido a la esbeltez proveniente del funcionamiento parcial como viga.

Los arcos inclinados hacen que la planta de la pasarela recuerde a una duela de barrica y los materiales empleados, acero inoxidable para la estructura, compuesto de madera para el pavimento y malla de acero inoxidable para la barandilla, se relacionan con los que se utilizan como continentes en las distintas fases de la vida del vino: depósitos, barricas y botellas (en este último caso haciendo referencia, en la barandilla, a la malla que en ocasiones las recubre).

4.2.3. Puente sobre ECML en York (Reino Unido)

El puente sobre la East Coast Main Line (ECML) en York permitirá el acceso a una zona amplia situada tras la estación de ferrocarril, muy próxima al centro de la ciudad, que ha tenido acceso restringido por su uso ferroviario por más de 150 años y que, por medio de un ambicioso desarrollo de uso mixto, se convertirá en un flamante nuevo barrio.

El autor, como parte de Knight Architects, fue responsable en 2017, en colaboración con Arup y trabajando para York Central

Partnership, el organismo responsable del desarrollo, del diseño del puente que, como parte de la principal carretera de acceso a la zona, cruzará una de las líneas ferroviarias con mayor tráfico del país.

La estructura mixta, también de uso peatonal y ciclista, combina arcos de tablero intermedio y pórticos con cierta apariencia de arco (en ambos casos funcionando parcialmente como viga Vierendeel) como principales elementos estructurales, y tiene un vano principal de 88m y una anchura de 17m.

El puente cruza sobre el ferrocarril con un esviaje notable, ha de respetar un gálibo vertical significativo (para no alterar postes de catenaria), y requiere protecciones sólidas de 1.8m de altura en sus bordes exteriores sobre las vías. El diseño no solo responde a esos condicionantes, sino que los hace partes fundamentales de su expresión formal. Los arcos de tablero intermedio que constituyen sus vigas laterales se adaptan tanto a la envolvente del gálibo vertical y horizontal necesario como a la de las alturas requeridas para las barreras de protección, proporcionando una geometría esbelta, con suficiente eficiencia estructural para minimizar la altura de la carretera sobre las vías. Responde también al amplio e intimidante espacio existente bajo el tablero (parte de su estructura se localiza ahí) y celebra el esviaje gracias a la división de la estructura en elementos longitudinales con células en V que generan una secuencia rítmica gracias a su decalaje (Fig. 10).

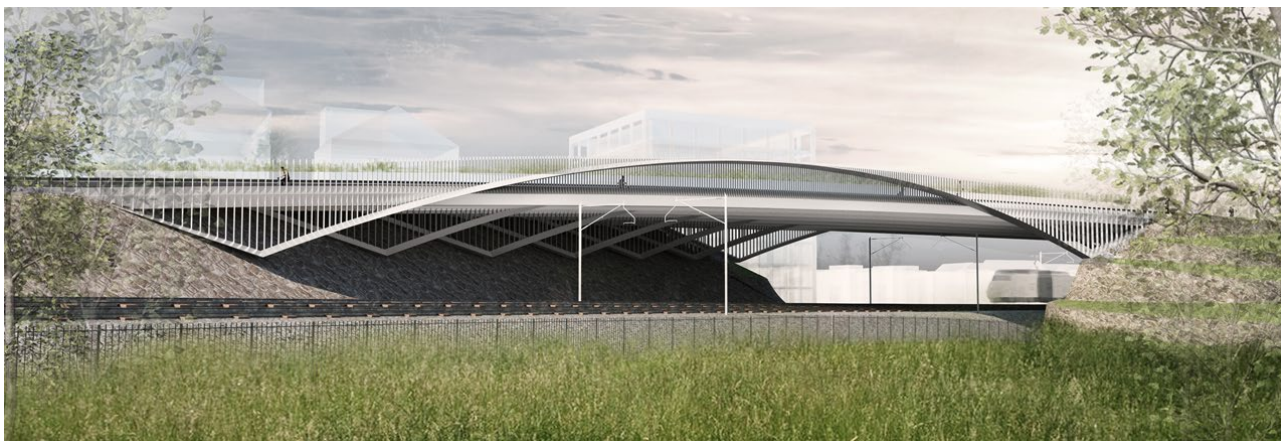


Figura 10. Puente sobre la ECML en York. El diseño utiliza los condicionantes como una parte fundamental de su expresión formal, creando una puerta de entrada para los usuarios del puente y del ferrocarril

Facilitar la instalación desde un solo lado, haciéndola compatible con cortes de vía restringidos a horario nocturno, fue otra de las razones tras la división de la estructura en una serie de elementos longitudinales que podían ser instalados de modo independiente.

Las barreras de seguridad se localizan a los bordes de la carretera, permitiendo la visibilidad desde el tablero y maximizando la transparencia del puente, gracias al uso de cristal para los elementos de protección en sus bordes. Esta transparencia, unida a la reducida altura de la estructura sobre la rasante, evita conflictos visuales con la relativamente próxima Catedral de York, principal monumento de la ciudad.

El puente une el contexto existente con el futuro saltando grácil y respetuosamente sobre el ferrocarril, creando una puerta de entrada legible, gracias a los arcos de tablero intermedio, tanto para los usuarios que cruzan el puente como para los que circulan bajo él accediendo a la estación central de la ciudad.

3. Conclusiones

Los puentes arco son ampliamente apreciados desde un punto vista formal, entre otras cosas porque representan entre tipo predominante durante la mayor parte de la historia de estas estructuras y por la tendencia natural del ser humano a preferir los objetos con líneas curvas frente a aquellos angulosos y puntiagudos. Sin embargo, la dependencia de su funcionamiento estructural de la rigidez horizontal de sus extremos restringe en ocasiones su uso o lo condiciona geoméricamente para emplear una de las configuraciones de arco clásicas (Fig. 2).

Es posible, aún en estos casos, diseñar puentes que serán percibidos como arcos por el público general sin serlo del todo (o sin serlo en el modo en el que lo aparentan), con los beneficios estéticos y emocionales que esto puede llegar a suponer en ciertos contextos. Si la aproximación al diseño de estos puentes *no-arco* es suficientemente inteligente, esto se puede

conseguir desde una razonable racionalidad estructural, como se muestra en los casos de estudio incluidos en este artículo.

Agradecimientos

Knight Architects: Enea Latxague, Rocío Romo, Martín Knight; *HS2*: Tomás García, David Smith; *Atkins*: Claire Seward, Louisa Man; *Arenas & Asociados*: Guillermo Capellán, Pablo Alfonso, Marianela García, Juan Ruíz, Raquel Sobrino; *Arup*: Niall Bourke, Yan Brookes-Wang, Will Spencer, Gregory Courtney.

Referencias

- [1] H. Beade-Pereda, Aesthetic considerations in the design of the 200-year bridge, in IABSE Congress: The Evolving Metropolis, New York, EEUU, 2019.
- [2] H. Beade-Pereda, How to make use of universal principles of design in the bridge design process, in IABSE Conference: Creativity and Collaboration, Bath, Reino Unido, 2017.
- [3] M. Bar, M. Neta, Humans prefer curved visual objects, *Psychological Science* Vol. 17, No. 8 (2006) 645-648.
- [4] M. Bar, M. Neta, Visual elements of subjective preference modulate amygdala activation, *Neuropsychologia* 45 (2007) 2191–2200.
- [5] H. Beade-Pereda, M. Knight, T. García, D. Smith, Design of the Colne Valley Viaduct, a 3.4km-long HSR viaduct in a highly sensitive area, in IABSE Symposium: Tomorrow's Megastructures, Nantes, Francia, 2018.
- [6] H. Beade-Pereda, G. Capellán, P. Alfonso, M. García, R. Sobrino, Footbridge over the Tirón River in Haro (Spain). A Sustainable design inspired by the wine culture, in IABSE Symposium: Engineering for Progress, Nature and People, Madrid, España, 2014.