

Sostenibilidad y belleza en el diseño de puentes

Sustainability and Beauty in Bridge Design

Héctor Beade Pereda^a

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Knight Architects. Director de Diseño. h.bead@knightarchitects.co.uk

RESUMEN

Los diseñadores de puentes tienen una gran responsabilidad para con el planeta y las generaciones futuras. Pero también una gran responsabilidad para con los usuarios y quienes perciben estas estructuras de cruce, ya que su escala, exposición y larga vida útil hacen que tengan un tremendo impacto visual y social. Este es un artículo sobre el diseño holístico de puentes, centrado específicamente en cómo armonizar, al diseñarlos, la eficiencia desde el punto de vista de su huella de carbono con la belleza, de modo que el diseño de construcciones tan emotivas, prominentes y duraderas mejore la calidad del mundo construido de múltiples maneras.

ABSTRACT

Bridge designers have a great responsibility to the planet and future generations. But they also have a great responsibility to the users and perceivers of these crossings, as their scale, exposure, and long life make them have a tremendous visual and social impact. This is an article on holistic bridge design, specifically focusing on how to harmonise, when designing bridges, efficiency from a carbon footprint perspective with beauty, so the design of such emotive, prominent, and enduring constructions improves the quality of the built world in multiple ways.

PALABRAS CLAVE: diseño holístico, sostenibilidad, funcionalidad, belleza, estética, percepción, emoción

KEYWORDS: holistic design, sustainability, functionality, beauty, aesthetics, perception, emotion

1. Introducción

Los diseñadores de puentes tienen una gran responsabilidad con el planeta y las generaciones futuras. Al diseñar puentes, debemos contribuir a hacer frente a la actual emergencia climática y de biodiversidad. Forma parte de la responsabilidad del diseñador ayudar a conseguir que su obra tenga cero emisiones lo antes posible. Y también contribuir a que la industria tome conciencia de nuestro doble papel tanto en causar como en abordar esta crisis.

Pero los diseñadores de puentes también tienen una gran responsabilidad para con los usuarios y quienes perciben estos cruces. Por su escala, exposición y larga vida, los puentes tienen un gran impacto visual y social. Son atravesados

y percibidos por innumerables personas. Diseñar algo que transforma el territorio durante siglos debe ser estéticamente atractivo, reflejar valores emocionales y culturales, y suscitar experiencias y sentimientos.

Y es evidente que los puentes que diseñamos deben ser funcionales, responder adecuadamente a todas las limitaciones, cumplir todos los criterios técnicos y tener un coste adecuado a su escala y complejidad.

¿Se trata de un ejercicio de “o lo uno o lo otro”? ¿Es necesario renunciar a algunas de estas aspiraciones al proyectar un puente? El autor cree firmemente que es posible diseñar de forma sistemática puentes que respondan satisfactoria

y simultáneamente a todos los aspectos relevantes del proyecto y no sólo a una parte de ellos. Algunos requisitos para hacer esto posible son disponer de un buen equipo de diseño que siga una metodología de proyecto oportuna, un buen cliente, un procedimiento de contratación apropiado y una asignación de presupuesto y tiempo adecuada a las características del problema de cruce.

Este artículo se centra, con un enfoque cualitativo, en el diseño holístico de puentes. Concretamente en cómo armonizar, a la hora de diseñarlos, valor estético y bajas emisiones de carbono, de modo que el diseño de construcciones tan emotivas, destacadas y perdurables mejore la calidad del mundo construido de múltiples maneras.

2. Responsabilidades del diseñador

Los puentes son un ejemplo paradigmático de la transformación de la naturaleza por el ser humano. Son símbolos de unión, progreso o innovación, desafían la gravedad y modifican los paisajes. Cada puente es único e importante. Vinculan comunidades, conectan personas e invitan a la interacción y la integración. Atraviesan barreras físicas, culturales y espirituales, y a menudo se convierten en hitos o incluso en iconos. El diseño de construcciones tan emotivas, prominentes y duraderas debe ir más allá de su función primaria como elementos infraestructurales que conectan zonas, aspirando siempre a mejorar la calidad del mundo construido.

Diseñar puentes es un reto apasionante que conlleva responsabilidades de gran magnitud. Estas responsabilidades pueden clasificarse, según el autor, de la manera descrita en los siguientes puntos.

2.1 Técnica y de construcción

Todos los puentes han de ser funcionales y seguros. También estructuralmente coherentes, honestos, y durables con unos requisitos de mantenimiento apropiados, de modo que tengan

un coste adecuado tanto de ejecución como al final de su vida útil. Asimismo, han de responder adecuadamente a sus condicionantes específicos, que pueden ser topográficos, geotécnicos, hidráulicos, sísmicos, relacionados con el viento, navegabilidad, o impactos, entre muchos otros.

2.2 Para con las generaciones futuras

Al diseñar puentes, debemos contribuir a hacer frente a la actual emergencia climática y de biodiversidad. Forma parte de la responsabilidad del diseñador ayudar a conseguir que los puentes que se diseñen sean de cero emisiones lo antes posible. También forma parte de la responsabilidad del diseñador contribuir a que la industria sea consciente de nuestro doble papel, como causantes y como responsables de esta crisis. Debemos evaluar si los puentes que se nos pide que diseñemos son esenciales y si el cruce puede satisfacerse construyendo menos (por ejemplo, con una ruta alternativa que permita puentes más cortos o ensanchando los puentes existentes). Si hace falta un puente nuevo, debe diseñarse de forma inteligente para que sea sostenible, y los diseñadores deben ser conscientes en todo momento de la huella de carbono consecuencia de nuestro trabajo y tratar de minimizarla.

2.3 Para con los usuarios

Los puentes tienen un tremendo impacto visual y social debido a su escala, exposición y larga vida útil. Son atravesados y percibidos por innumerables personas, cuya experiencia vendrá determinada por la calidad del trabajo realizado en su diseño y construcción. A pesar de ello y del hecho de que se financian principalmente con fondos públicos, los criterios técnicos y económicos, que son innegablemente importantes, a menudo determinan exclusivamente su diseño, y con demasiada frecuencia no se tiene en cuenta el punto de vista de sus usuarios y perceptores. El diseño de elementos que transformarán el territorio durante siglos deben realizarse de modo que resulten estéticamente atractivos para sus

usuarios o perceptores, reflejen valores emocionales y culturales y susciten experiencias y sentimientos.

3. Divergencia entre belleza y sostenibilidad en la historia

Incluso en las primeras etapas de su historia, cuando la ingeniería civil, el diseño o la arquitectura no existían como disciplinas independientes, los puentes trascendieron su papel funcional para convertirse en objetos con ambiciones estéticas que contribuían a la creación de lugares. Durante mucho tiempo se tendía a adaptar los diseños de manera rigurosa a los condicionantes topográficos y existía una ambición por reducir al mínimo los materiales de construcción utilizados. Esto hizo que, en muchos casos, la geometría de los puentes fusionara su función con una expresión externa de su comportamiento estructural, frecuentemente utilizando materiales locales. Esta armonización dio lugar a muchos puentes con formas bien encajadas, limpias y legibles y a diseños más eficientes en cuanto a materiales, por término medio, que en periodos posteriores.

Más recientemente, por desgracia, se ha dado el caso de que la apariencia, la adecuación al lugar o la optimización de los materiales se han considerado menos valiosos, por ejemplo, que la facilidad y rapidez de diseño y construcción, o que la ambición por soluciones excesivas e innecesarias, buscando la memorabilidad.

En opinión del autor, algo tan positivo en principio como la desaparición de las limitaciones técnicas en el análisis estructural y la construcción ha hecho posibles en ocasiones infraestructuras que nunca deberían haber existido o ha facilitado demasiado la generación de la información necesaria para construir un puente, requiriendo muy poca implicación emocional en el proceso. A veces, cabe preguntarse si muchos de los puentes contruidos fueron realmente diseñados.

El autor quiere creer que este mal uso de la desaparición de las limitaciones técnicas está cambiando, al menos en algunas zonas

geográficas. Los diseños llamativos que buscaban fundamentalmente la sorpresa visual, supeditando a ello el trabajo estructural, son menos habituales (a veces más por razones económicas que de sostenibilidad, pero ambos aspectos se benefician de ello), y hay una mayor conciencia de las consecuencias del calentamiento global y de la contribución de la industria de la construcción a él.

Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer, y todos los implicados en el diseño y la construcción de infraestructuras pueden contribuir a catalizar y acelerar aún más este cambio.

4. Diseño sostenible en puentes

Los diseñadores de puentes podemos contribuir de varias maneras a reducir la huella de carbono de nuestras infraestructuras. En primer lugar, podemos preguntarnos si los puentes que nos piden que diseñemos son necesarios, sugiriendo no construirlos si no lo son. Si se diese este caso, estaríamos en el escalón superior del diagrama utilizado por la Institution of Structural Engineers británica, en forma de pirámide invertida, para representar la jerarquía del diseño con el objetivo de cero emisiones (Fig. 1).

Puede resultar difícil imaginarnos teniendo éxito en convencer a un cliente de que descarte una estructura de cruce prevista, ya que normalmente, como diseñadores de puentes, tendemos a participar en proyectos cuando estas estructuras han considerado, en una fase preliminar, necesarias. Sin embargo, si nos planteamos siempre la cuestión, puede que esta oportunidad no sea tan excepcional como nos parece. Especialmente en los corredores o redes de infraestructuras en los que se necesita más de un cruce, y en los que puede haber oportunidades de optimizar su número, o en los casos en que la conectividad necesaria o que se aspira a conseguir puede proporcionarse ensanchando y/o reformulando el uso de las infraestructuras existentes. Este sería el primer paso para construir menos (segundo escalón en la pirámide derecha en Fig. 1).

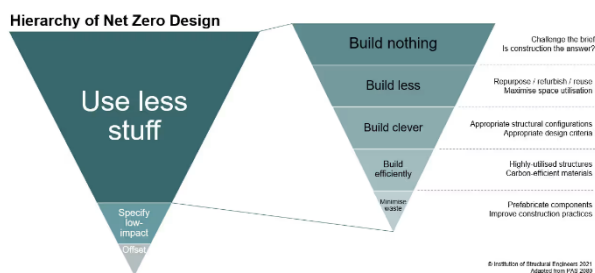


Figura 1. Jerarquía del diseño con el objetivo de cero emisiones (Institution of Structural Engineers).

El siguiente paso para construir menos sería determinar los puentes más cortos y/o estrechos que cumplan las necesidades de conectividad requeridas. Como diseñadores, podemos influir mucho en este aspecto y ayudar a nuestros clientes en la toma de decisiones.

El siguiente paso para construir menos, que empieza a solaparse con el construir inteligentemente (tercer escalón en la pirámide derecha en Fig. 1), consiste en identificar, de entre las opciones que satisfacen los condicionantes de proyecto, el equilibrio entre longitud de vano y número de cimentaciones para estar cerca del valor que optimiza el carbono incorporado en cada caso. A continuación, pasando integralmente a diseñar inteligentemente para construir inteligentemente, deberíamos identificar el rango de tipos de puentes y materiales compatibles con ellos que permiten resolver el problema funcional con cuantías reducidas en el contexto específico del proyecto, de modo que esta información pueda utilizarse para concebir el mejor puente para el problema que hay que resolver. Sabemos que el mejor puente rara vez será el más barato, pero al trabajar con fondos públicos debemos siempre proporcionar una buena relación entre su valor, en términos generales, y la inversión realizada. Del mismo modo, puede que el mejor puente no sea el más bajo en emisiones de carbono, pero debe ofrecer una buena relación entre su valor general y el carbono invertido.

La influencia del diseñador a la hora de construir de forma más eficiente (tercer escalón en la pirámide derecha en Fig. 1) suele ser algo más limitada, pero sigue existiendo, con frecuencia, la oportunidad de contribuir a una

mayor reducción de las emisiones de carbono en esa fase.

En resumen, algunas de las actividades que podemos llevar a cabo como diseñadores para contribuir a reducir la huella de carbono en nuestros proyectos son las siguientes:

- Contribuir a educar a nuestros clientes, a veces no expertos, explicándoles cómo la sostenibilidad, aún en el caso de que no forme parte del pliego de un proyecto, puede convertirse en un objetivo sin sacrificar otros.



Figura 2. En el Nuevo Puente sobre el Río Suir in Waterford (Irlanda), guiamos a nuestro cliente para racionalizar la longitud del vano principal y valorar elegancia sobre impacto visual.

- Cuando nos incorporamos a un proyecto en el que ya ha habido algún trabajo previo, cuestionar siempre la información recibida como punto de partida. Mi experiencia me dice que, con frecuencia, existen oportunidades para reducir la escala del proyecto y optimizar los materiales empleados, alineando estos ajustes con una mejor funcionalidad y calidad visual.
- Formarnos para tener los conocimientos, la experiencia y las habilidades necesarias para contribuir al diseño de puentes de calidad desde una perspectiva holística y a la buena comunicación del proceso de diseño. Ser conscientes de nuestras limitaciones y, si es necesario, formar (o unirnos a) equipos con las competencias multidisciplinares adecuadas para diseñar de manera exitosa puentes de calidad desde un punto de vista holístico. Esto debería permitirnos comprender adecuadamente el contexto del

proyecto y sus condicionantes, los requisitos y aspiraciones del cliente y otras partes interesadas, y responder a ellos con soluciones de diseño y materiales que ofrezcan una buena relación entre el valor proporcionado y el carbono invertido.



Figura 3. El puente de Knostrop en Leeds (Inglaterra), utiliza la estructura de una presa existente como cimentación para sus pilas.

- Disponiendo de los conocimientos, habilidades y experiencia adecuados, como empresa o conjunto de empresas, trabajar para encontrar el puente con menor escala y la tipología más adecuada que se ajuste a los condicionantes, requerimientos y aspiraciones de proyecto. También encontrar el equilibrio adecuado entre la longitud de los vanos y el número de cimentaciones para minimizar el carbono incorporado, utilizar los materiales más adecuados para cada parte del puente en cada contexto y optimizar las cuantías empleadas. En muchas ocasiones, tomar atajos en el rigor y la meticulosidad de nuestro trabajo como diseñadores es más fácil (y más rentable), pero las mejores soluciones se suelen alcanzar cuando se evita caer en esa tentación.

5. Belleza en puentes

Comprender cómo percibe el ser humano el mundo que le rodea y qué hace que algunos aspectos de él le resulten atractivos o poco atractivos, y aplicar conscientemente este conocimiento en el proceso de diseño, es esencial para diseñar puentes que despierten sentimientos positivos en usuarios y perceptores.

Las personas reaccionan ante cualquier objeto diseñado, incluidos los puentes, en tres niveles de procesamiento cerebral: visceral, conductual y reflexivo. Los tres niveles intervienen en cualquier experiencia real. El nivel visceral está influido por disposiciones genéticas que configuran automáticamente nuestras impresiones iniciales ante las cosas. Para que un diseño tenga éxito a nivel visceral, debe tener una apariencia general atractiva que cree un impacto positivo inmediato. El nivel conductual puede alcanzarse conscientemente, pero también se ve afectado por la experiencia y el aprendizaje. Los aspectos funcionales del diseño son cruciales en este nivel. El nivel reflexivo está vinculado a la actividad cerebral consciente y contemplativa y es sensible a la identidad personal, las experiencias vividas y las variables culturales.

Para que un diseño tenga éxito y provoque sentimientos, afectos y emociones positivas en el usuario y el perceptor, debe sobresalir en los tres niveles de procesamiento por ser atractivo, eficiente en su funcionalidad y comprensible. Hablando de puentes, esto significa que para que un diseño tenga éxito a ojos de los no expertos, debe tener un aspecto agradable y atractivo, proporcionar un itinerario legible, y ser fácil y cómodo de usar. Esto último se consigue, entre otras cosas, siguiendo las líneas de deseo, utilizando pendientes y radios apropiados, maximizando la visibilidad, empleando barandillas adecuadas y aceras seguras o, en trayectos largos, proporcionando lugares para detenerse y admirar el paisaje.

Los puentes se diseñan para tener vidas útiles centenarias y deben mantener su calidad estética independientemente de las variaciones en el gusto de los usuarios y perceptores a lo largo del tiempo. El diseñador de puentes debe comprender qué parámetros pueden hacer de un puente una pieza valiosa y duradera del entorno construido o simplemente un representante del gusto y la moda en una época concreta. Como diseñadores de puentes, debemos aspirar a responder a un gusto medio y casi atemporal.

Los diseños basados en la elegancia y la armonía tienen más probabilidades de ser

duraderos desde el punto de vista estético y dependen menos del gusto. La elegancia está vinculada en todas las culturas a cualidades como la sencillez, la honestidad, la moderación, la gracia y la buena proporción. La armonía o la proporción son características de la belleza en su sentido clásico. Dentro de estas características, la solución más sencilla será, en principio, la más elegante (lo cual está relacionado con el principio de la navaja de Ockham).

También existe una relación entre elegancia y legibilidad de la función. Un puente elegante transmitirá su propósito a través de su forma, facilitando la identificación de su origen y destino.

La elegancia, en sentido clásico, se consigue en un puente gracias, en gran parte, a la unidad formal de los elementos que lo constituyen. Un objeto tiene unidad formal cuando todas sus partes son interdependientes, y nada es superfluo; cada parte interactúa con las demás, y cualquier cambio en una de ellas provoca una alteración evidente en su conjunto. La armonía de un puente en su conjunto depende de lo bien integradas que estén sus partes entre sí.

Ninguna de las características que subyacen a las cualidades estéticas atemporales de un puente mencionadas anteriormente es incompatible con los puentes eficientes en cuanto a emisiones de carbono. Es más, algunas de ellas (la sencillez y la honestidad, por ejemplo) se alinean de forma muy natural con ese objetivo. Lograr ambos sólo requiere conocimientos, sensibilidad, habilidades y determinación.

6. Diseño holístico de puentes

Todos los aspectos mencionados en el apartado 2 de este artículo -funcionales, técnicos, constructivos, o relacionados con la sostenibilidad, apariencia, adecuación al lugar y experiencia del usuario o perceptor- deben ser parte integrante del diseño. Ninguno de ellos debe ser un extra o un objetivo simplemente potencial. Y ninguno de ellos debe utilizarse

como razón para excluir a otro, argumentando que el éxito en alguno(s) de ellos pasa por la renuncia a otros. El armonizar todos estos requisitos, de modo exitoso, en un diseño de puentes holístico no debe tratarse como un objetivo que tan solo se puede alcanzar en unos pocos proyectos, de modo excepcional. Debería ser el resultado ordinario de nuestra ética de trabajo y nuestra responsabilidad como profesionales que transformamos un entorno que nos pertenece a todos, en la mayoría de los casos empleando fondos públicos.

El desarrollo de diseños holísticos que cumplan los requerimientos técnicos, de coste, durabilidad y sostenibilidad pero que también provoquen sentimientos, afectos y emociones positivas en el usuario y el perceptor requiere una combinación de habilidades y conocimientos tanto técnicos como humanísticos. La ausencia de uno de estos dos hace que a veces los diseñadores (y los clientes) piensen erróneamente que algunas características del diseño entran en conflicto con otras (como estética y coste, estética y sostenibilidad, o coste y sostenibilidad, por ejemplo) o que las cualidades estéticas se reducen a la adición de ornamentación en una fase tardía del proceso. También es una razón relacionada con la frecuente creencia de que los diseñadores sólo pueden influir en la forma de los puentes de pequeña escala y que la expresión visual de los puentes más grandes viene exclusivamente de su tipología estructural. Para superar estas ideas erróneas, los diseñadores deben formarse en los aspectos que, aun siendo fundamentales para diseñar buenos puentes desde un punto de vista global, no formaban parte de sus currículos académicos, o bien formar un equipo multidisciplinar con los conocimientos y la experiencia necesarios para que ninguno de los dos tipos de conocimiento quede excluido.

7. Algunas experiencias propias

En esta última sección del artículo, presentaré brevemente algunos proyectos de mi propia experiencia en Knight Architects y reflexionaré

sobre cómo se ha intentado armonizar una buena relación entre el valor del proyecto, su coste en cuanto a emisiones de carbono, la calidad estética, la funcionalidad y otras aspiraciones fundamentales del diseño. No es la intención presentar los proyectos como absolutamente ejemplares, y algunos de ellos probablemente habrían sido diferentes si hubiesen sido diseñados más recientemente, con todas las partes implicadas siendo más conscientes de las consecuencias del calentamiento global y de nuestra contribución a él. Sin embargo, creo que son lo suficientemente útiles para ilustrar algunas oportunidades y estrategias para el diseño de puentes que combinen belleza con una buena relación entre su valor y su coste en cuanto a emisiones de carbono.

7.1 Puente para peatones y ciclistas en Llanfoist (Abergavenny, Gales)

La ciudad de Abergavenny y el pueblo de Llanfoist, en el sur de Gales, forman parte de un núcleo común dividido por el Río Usk conectado únicamente con un puente histórico de piedra. Este puente no es, a día de hoy, lo bastante ancho para garantizar un cruce cómodo y seguro para peatones y ciclistas.

Esta nueva pasarela seguirá la línea de deseo de peatones y ciclistas con un diseño sencillo y elegante: una estructura de dos vanos (25 m+36 m) con una sección transversal en forma de U de 3 m de ancho, y un apoyo central en forma de V. El tablero está formado por dos vigas rectangulares longitudinales de madera laminada, vinculadas por marcos de acero inoxidable sobre los que se apoya una losa, también de madera laminada. Las vigas laterales están protegidas con un revestimiento de protección ventilado, también de madera, que además de contribuir a su durabilidad añade interés formal en las vistas cercanas. La pila en V tiene un zócalo de hormigón con una forma hidrodinámica y una parte superior de acero inoxidable formada por cuatro brazos (Fig. 4).

El puente diseñado tiene una relación visual positiva y respetuosa con el puente de

piedra y el entorno natural circundante, una llanura aluvial sometida a inundaciones periódicas. El tablero estará por encima de la lámina de agua de la avenida con período de retorno de 100 años, y las rampas de acceso, terraplenes que se leen como una sutil alteración de la topografía existente, son paralelas a la corriente de agua.

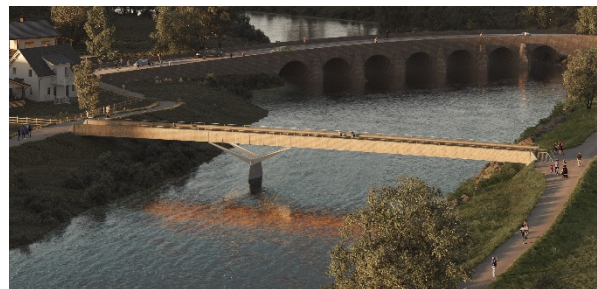


Figura 4. Puente de Llanfoist.

En este proyecto se ha logrado una buena relación entre el carbono empleado y el valor proporcionado por el proyecto gracias a la optimización de la longitud y la anchura totales del puente, sustituyendo la estructura por terraplenes cuando ha sido posible; a la reducción de la longitud de sus vanos; al uso de un esquema estructural muy racional; a la armonización de estructura y arquitectura en una misma forma; a la combinación de estructura y función como barandilla; al uso de materiales con una excelente relación entre eficiencia estructural y huella de carbono; y a la optimización de estos materiales. Todas estas medidas contribuyen de forma positiva, simultáneamente, a la integración visual del puente en su contexto y a su respuesta en caso de inundación.

El puente fue diseñado conjuntamente con WSP para el Ayuntamiento del Condado de Monmouthshire.

7.2 Pasarela sobre la Dársena Sur de Canary Wharf (Londres, Inglaterra)

El norte de la Isle of Dogs (al este de Londres) albergó una de los centros de comercio más importantes y concurridos del mundo, junto al río Támesis, durante casi 180 años. Desde 1980 es la ubicación de Canary Wharf, uno de los

principales centros financieros del Reino Unido. El South Dock, uno de los dos muelles que han sobrevivido al cambio de uso de la zona, es cruzado por un puente que no tiene capacidad suficiente para el tráfico peatonal actual y futuro en la zona, como consecuencia de la gran cantidad de nuevos desarrollos residenciales. Por lo tanto, es necesario un nuevo puente que alivie esta congestión.

El puente es una viga de acero de canto variable de dos vanos con un único apoyo central en la dársena. Cada uno de estos vanos tiene una longitud aproximada de 35 m. El puente proporciona un canal navegable permanente de 15 m de ancho y 3 m de alto para embarcaciones pequeñas y, gracias a un vano basculante, un canal de 25 m de ancho sin restricción de altura para barcos más altos. La anchura del tablero varía de 7,8 m en el extremo sur a 15,4 m en el norte. Un hueco triangular en el vano móvil guía a los usuarios evitando una escalera de emergencia existente en el extremo norte en el eje de la nueva estructura de cruce (Fig. 5).

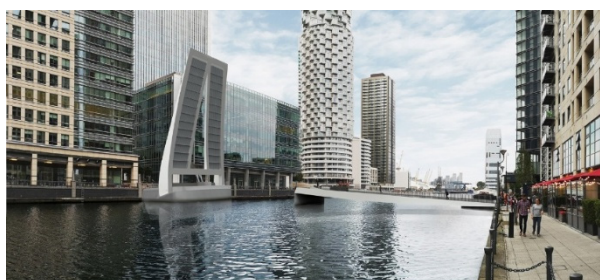


Figura 5. Puente de South Dock.

El interior del estribo norte alberga un contrapeso oculto que equilibra el peso del vano móvil, para minimizar las fuerzas y energía necesarias para su apertura.

En este proyecto se ha conseguido una buena relación carbono-valor gracias a la optimización del número de cimentaciones; el equilibrio del vano móvil con un contrapeso; el uso de una disposición estructural muy racional; la combinación de estructura y arquitectura, creando formas que siguen razonablemente los esfuerzos internos para ambos vanos, y proporcionan una estructura ligera; la combinación de estructura y barandilla en algunas zonas; el uso de materiales con una

buena relación entre eficiencia estructural y huella de carbono; y la optimización de estos materiales. Todas estas medidas contribuyen, al mismo tiempo, a la expresión formal del puente, resultando en un cruce esbelto, visualmente compacto e integrado en su contexto.

Este es uno de los casos en los que cuestionamos el encargo recibido buscando obtener mejoras tanto en apariencia, como en huella de carbono y coste. Cuando empezamos este proyecto, existía un diseño de referencia, también un puente basculante. Sin embargo, su vano móvil no estaba eficazmente contrapesado y tenía una forma que no seguía las fuerzas internas, y la parte fija del puente tenía un número de cimentaciones en la dársena que estaba lejos del óptimo en cuanto a uso de materiales, coste, y carbono incorporado.

El puente fue diseñado conjuntamente con Arcadis para el Ayuntamiento del Municipio de Tower Hamlets.

7.3 Puente para peatones y ciclistas de St. Philips (Bristol, Inglaterra)

La pasarela para peatones y ciclistas de St. Philips es una de las dos infraestructuras construidas en Bristol en los últimos años para mejorar la accesibilidad a Temple Island, una zona, restringida a usos ferroviarios durante más de 150 años, situada detrás de la estación de ferrocarril de Temple Meads. El río Avon, la carretera de Bath, y las vías de la Great Western Railway definen los límites de esta parcela, céntrica pero aislada durante un largo período de tiempo, que se integrará de manera fluida en la trama urbana del centro de la ciudad en los próximos años.

La pasarela une dos márgenes con una diferencia significativa en cota (aproximadamente 5m), apariencia (un muro histórico de piedra con arcos de descarga, por un lado, y un talud verde, por otro), condiciones geotécnicas, y accesibilidad. Una de estas márgenes se transformará a relativamente corto plazo en un nuevo barrio de la ciudad, incluyendo un campus universitario, y la otra

permanecerá como zona industrial durante un período de tiempo más largo.

La pasarela, una viga de acero de 50 m de luz y 4 m de anchura, se bifurca en planta y alzado en uno de sus extremos para proporcionar una rampa accesible para ciclistas y peatones con movilidad reducida y una escalera, maximizando la funcionalidad a corto y largo plazo, en un espacio muy limitado. La estructura del puente pasa de una sección cajón transversal rectangular, completamente bajo la superficie de tránsito, en el extremo de Temple Island (el más elevado sobre la lámina de agua), a una sección transversal en forma de U, también cajón, en la orilla opuesta, sujeta a inundaciones. Esta variación de la sección transversal define el carácter de la pasarela. También hace que la parte inferior del tablero sea horizontal, por lo que el diseño no se percibe como la rampa continua que es, respeta los requerimientos hidráulicos, y el galíbo para navegación. Asimismo, la forma resultante se adapta razonablemente al comportamiento estructural del puente, haciendo su estructura metálica suficientemente ligera para ser instalada en una única pieza utilizando una grúa posicionada en Temple Island. Este era un condicionante crucial, ya que es la única zona adecuada para ello debido a las restricciones de acceso y desfavorables características geotécnicas en la margen opuesta (Fig. 6).

En este proyecto se ha logrado una buena relación entre diseño y carbono incorporado al responder a dos líneas de deseo con una única estructura con un trazado muy racional; al combinar indisolublemente estructura y arquitectura, creando formas que se adaptan razonablemente a los esfuerzos internos; al hacer que la estructura sea directamente la barandilla (o parte de ella) en algunas zonas; al uso de materiales con una buena relación entre eficiencia estructural y huella de carbono; y a la optimización de estos materiales. Todas estas medidas contribuyen a un diseño holístico en lo arquitectónico, funcional y estructural que ha dado lugar a un puente innovador, compacto, aparentemente sencillo y elegante, que responde

meticulosamente a todos sus numerosos condicionantes sin que impacten negativamente su apariencia.

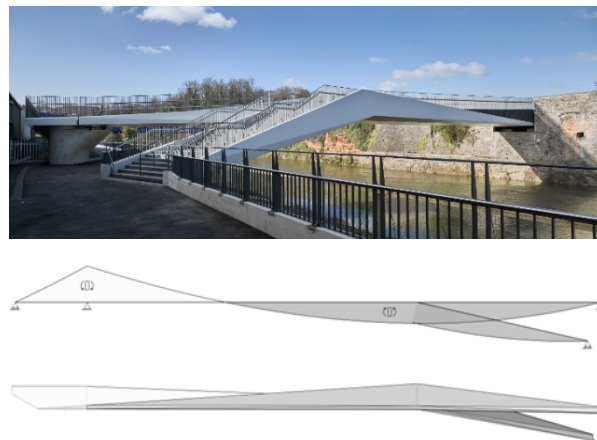


Figura 6. Puente de St. Philips.

El puente se diseñó en colaboración con Jacobs para el Ayuntamiento de Bristol.

7.4 Puente para metro y movilidad sostenible en Oporto (Portugal)

El estuario del río Duero entre Oporto y Vila Nova de Gaia, Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, es un entorno urbano con valores culturales, históricos, y ambientales excepcionales. En 2021 se convocó un concurso para proporcionar un enlace directo a cota superior del valle, para metro, peatones y ciclistas, aguas arriba del emblemático puente de Arrábida.

Nuestra propuesta, un viaducto de 701 m de longitud, incluía un arco de tablero superior de hormigón sin apoyos en el lecho del río, como vano principal, con una luz de 406 m. El arco era transitable para peatones, facilitando la conexión entre cota superior y cota inferior a través de la estructura. Además, en respuesta a la histórica falta de conectividad a cota inferior entre las márgenes del Duero, nuestro diseño incluía un tablero suspendido del arco conectando directamente ambas orillas.

El tablero se apoyaba en el arco mediante pilastras con la misma separación que las pilas de aproximación. El arco estaba formado por dos secciones cerradas independientes separadas por un hueco de anchura variable, más ancho en el

centro y más estrecho en los arranques. El ensanchamiento creado por la unión entre arco y tablero en centro luz servía de espacio para que los usuarios admiraran el paisaje (Figs. 7a y 7b).



Figuras 7a y 7b. Puente de metro de Oporto.

El puente propuesto habría coexistido armoniosamente con la familia de puentes de Oporto y con el paisaje natural y construido, maximizando la funcionalidad ofrecida, proporcionando una experiencia de cruce excepcional, añadiendo valor social para la comunidad, y contribuyendo a la identidad de la ciudad y del río Duero.

La buena relación entre el valor proporcionado por el proyecto y su huella de carbono se obtenía en este caso gracias a la utilización de una única estructura para facilitar cuatro conexiones diferentes (en sustitución de otros puentes futuros); la utilización de un esquema estructural adecuado al emplazamiento; la coincidencia de estructura y arquitectura en la forma del puente y sus partes; la utilización de

elementos del puente para múltiples fines (estructura y camino coinciden en los recorridos a lo largo del arco, que también servía de soporte de la pasarela inferior colgante); o la optimización en el uso de materiales, garantizando la funcionalidad y eficiencia de cada elemento.

El puente fue diseñado conjuntamente con Armando Rito Engenharia, Egis y OODA en respuesta al concurso organizado por Metro do Porto.

5. Conclusiones

El buen diseño de puentes requiere un diseñador o equipo de diseño con una capacidad y sensibilidad a la altura del encargo que siga una metodología de proyecto adecuada. Pero también un buen cliente, un proceso de contratación apropiado (que incluya la continuidad del equipo principal de diseño) y un presupuesto y programa adecuados a las características del problema de cruce. Este debe ser el caso de todos los puentes, desde los que cruzan grandes desembocaduras de ríos en entornos urbanos hasta los más modestos pasos superiores. Todos deben tener una vida útil similar, durante la cual serán cruzados y experimentados por innumerables personas. Son obras que definen como sociedad y son nuestro legado para las generaciones venideras.

Si se dan las circunstancias anteriores, tendremos la oportunidad de disfrutar regularmente de puentes que respondan satisfactoria y simultáneamente a todos los aspectos de relevancia, incluidos sostenibilidad y belleza, y no sólo a algunos de ellos.

Veremos más diseños que se preocupan primero por el *por qué* y el *para quién* antes de pensar en el *qué* y el *cómo*. Más puentes diseñados pensando en sus usuarios y perceptores. Puentes que vayan mucho más allá de la conectividad. Puentes que generarán grandes beneficios sociales, creando oportunidades y proporcionando equidad, al tiempo que minimizan los efectos nocivos sobre el medio ambiente.