Informes de la Construcción
Vol. 71, 553, e279
enero-marzo 2019
ISSN-L: 0020-0883
https://doi.org/10.3989/ic.67502

# Puentes que me ayudaron a entender y diseñar

## *Bridges that helped me understand and design*

J. Manterola Armisén (*)

RESUMEN

El presente artículo es un relato de cómo diferentes puentes construidos a lo largo de la historia han influido en el autor y le han marcado a la hora de entender y diseñar los suyos como autor.

El recorrido comienza con los puentes de piedra como el de Alcántara o el Pont du gard, pasa después por acueductos como el de Segovia, sigue con los puentes de los siglos XVIII y XIX de los constructores franceses para llegar a los puentes metálicos, en celosía, etc.

Finalmente se analizan puentes de hormigón de autores tan importantes como Torroja, Fernández Casado, Maillart o Freyssinet a quién dedica un apartado especial, así como a los "alemanes" de la segunda mitad del siglo XX.

Termina el autor diciendo "Yo creo que es muy bueno copiar bien y yo recomiendo esta práctica a todos los que empiezan en este precioso oficio, diseñar y construir puentes".

**Palabras clave:** Ingeniería, Historia de la ingeniería, Puentes, Acueductos.

*ABSTRACT*

*This article is an account of how different bridges built throughout history have influenced the author and have marked him when understanding and designing his own works.*

*The route begins with stone bridges such as Alcantara or Pont du Gard, then passes by aqueducts such as Segovia, continues with the bridges of the eighteenth and nineteenth centuries of the French builders to reach the metal bridges, lattice, etc.*

*Finally concrete bridges are analyzed from such important authors as Torroja, Fernández Casado, Maillart or Freyssinet to whom he dedicates a special section, as well as to the "Germans" of the second half of the 20th century.*

*The author concludes by saying "I think it is very good to copy well and I recommend this practice to all those who start in this beautiful profession of designing and building bridges".*

***Keywords:*** *Engineering, Engineering history, bridges, aqueducts.*

(*) Ing. de Caminos. Catedrático Emérito. Universidad Politécnica de Madrid.
Persona de contacto/*Corresponding author*: franciscojavier.manterola@upm.es (J. Manterola Armisén)
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0743-2442 (J. Manterola Armisén)

**Cómo citar este artículo/*Citation*:** J. Manterola Armisén (2019). Puentes que me ayudaron a entender y diseñar. *Informes de la Construcción,* 71(553): e279. https://doi.org/10.3989/ic.67502

**Copyright: © 2019 CSIC.** Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/*Received*: 17/09/2018
Aceptado/*Accepted*: 13/11/2018
Publicado on-line/*Published on-line*: 24/04/2019

La creación de un mundo interior donde se instala y se configura tu sentir sobre los puentes es objeto de ver puentes, de distinguir entre ellos lo importante, de empezar a configurar tu manera de hacer puentes y finalmente pensarlos, proyectarlos y construirlos (1). Pero en este aprendizaje ha habido momentos especiales, donde algunos puentes son significativos para ti, que dejan huella y toman presencia en ese tú pensar sobre los puentes.

A esos puentes que me han impresionado quiero dedicar este tema. No pretendo ser exhaustivo y probablemente dejaré de hablar sobre muchos puentes muy significativos en la configuración de la experiencia que he creado sobre los puentes, como se suele decir no están todos los que son pero son todas las que están.

Hay que ver puentes, mirarlos, dejarlos que vayan creando tu experiencia personal, única y exclusiva. Y para eso sí importa el tiempo en que se construyeron, los medios que poseían sus constructores y el reflejo de como querían que fuese su expresión formal y resistente (2). El puente de la Concordia de Perronet le cuesta a la ingeniería más de dos mil años en llegar a ser como es, el aprendizaje de todos los puentes de piedra que se habían hecho y como evolucionaron en el tiempo. Perronet conocía todo eso, pero no pudo pasar de ahí. La piedra configura una determinada manera de hacer puentes. Para que a Resal le saliese el puente de Alejandro III, tuvieron que pasar muchos años para aprender cómo se configuran los puentes con metal y ese puente es tan bueno que los arquitectos que lo "embellecieron" no pudieron echarlo a perder con todo el conjunto de floripondios que le pusieron.

Y este puente me ha enseñado que la belleza de un puente, no surge como consecuencia de la voluntad de añadirle adornos, su belleza se manifiesta como expresión de su esencia (3). No es posible definir qué es lo que hace que un puente sea bello, sino que es la manifestación de un buen pensar, de una configuración interior de tu mundo de los puentes correctos y de un acierto final de la expresión de lo pensado. Eso hace la belleza de cualquier cosa, no la voluntad de adornarlo si se puede llegar a saber que es adornar, porque incluso el adorno es la transposición a los puentes de lo que creemos es la belleza de otras construcciones. Me gusta el puente Alejandro III, me gusta el puente de Millau, o el de Severin de Colonía por mucho arquitecto que revolotease sobre su construcción. Son buenos y aunque sea una perogrullada, ser bueno es la expresión de lo que es bueno.

## PUENTE DE PIEDRA (4)

Todo parece indicar que se construyó en tiempos de Trajano por el constructor Julio Cayo Lacer. Fig. 1. Es un viaducto que como tal y dentro de la configuración general del terreno y la situación del rio podríamos decir que es un mal viaducto. El rio no está totalmente encajado dentro del vano central de 28,8 m. de luz, sino que existe otro vano principal que la misma dimensión se apoya en el rio y la ladera.

Figura 1. Puente de Alcántara.

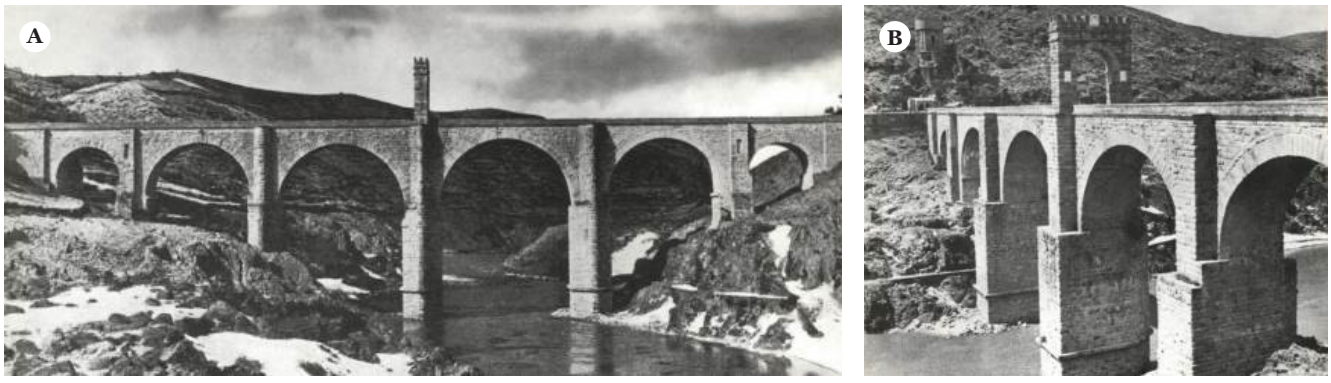



Figura 2. A) Puente de Alcántara – Aguas arriba. B) Puente de Alcántara – Aguas abajo

¿Por qué entonces es tan bueno? Pasa que cuando se mira Alcántara, tal es su potencia y majestuosidad que el terreno desaparece. Además habría que saber cómo se configuraba el terreno y el rio en el momento que se construyó.

Dos cosas son a mí entender lo mejor de Alcántara, la primera es el tamaño de sus huecos en relación a su altura, la luz de los arcos y la altura de los pilares de donde nacen los arcos es estupenda.

La otra, que configura ingeniería de la buena es el diseño de las pilas y su relación con el puente. El puente son dos planos paralelos donde se instalan los tímpanos y que se agujerean con los arcos. Fig. 2. Entre ellos se dispone el relleno inerte.

La pila tiene condicionantes propios muy distintos, en la parte inferior tajamares potentes apuntados hacia aguas arriba y rectangulares, las de aguas abajo. Su altura es muy considerable debido al enorme nivel que alcanzan las aguas en el rio Tajo durante las crecidas. Sobre ellos se apoyan los dos planos que acotan la achura del puente y tanto aguas arriba como aguas abajo existe un rigidizador rectangular que resuelve por una lado el embellecimiento del triángulo difícil que se produce en toda arcada múltiple, triángulo formado por los dos arcos y el tablero, por otro ayuda a resistir el empuje del relleno y finalmente introduce en el conjunto la rigidez total que asegura la estabilidad transversal de un puente de 40 m. de altura.

El encuentro de tajamar rigidizador y arco es realmente fantástico y ejemplar.

Otra obra romana formidable es el *Pont du Gard*, acueducto de tres niveles en que su principal argumento vuelve a ser la luz de los arcos con respecto a la altura en que se subdivide el frente. Fig. 3. Las proporciones de esta magnífica obra están fuertemente alteradas por el puente paralelo que se le adosó en el siglo XVIII. Los tres niveles en que se dividen los 47,4 m. de altura máxima del acueducto, es el procedimiento que tienen los romanos para realizar la transición de espesores de la pila en alzado a la vez que mejoran la estabilidad longitudinal de la obra.

Mientras que los dos niveles inferiores la luz de los arcos es similar, quizás un poco reducida la inferior por el regruesamiento de la pila y el encaje del tajamar, el tercer nivel es casi un ajuste del nivel del agua a su paso por el acueducto, ya que, a lo mejor, la topografía romana era tan precisa para adivinar la cota a que debía pasar un agua que venía de tan lejos. No sé si esta es la razón, pero el tercer nivel no parece similar al resto de la obra sino un remate que la llena de sentido. Fig. 3

El acueducto de Segovia y el de Tarragona obras formidables donde las haya, tienen luces de los arcos mucho más pequeñas y eso se nota en la grandiosidad de la obra. En ambas su altura se divide en tres niveles siendo mínimo el superior y la separación entre ellos se señala con la presencia de unas dovelas más anchas y con forma.

Me gusta especialmente el *Acueducto de los Milagros* (5). Fig. 4 que mantiene la pequeña luz en los arcos longitudinales pero tiene una configuración de la sección de las pilas y el arriostramiento longitudinal singular. Las pilas van de abajo a arriba sin interrupción, variando sección transversal con la altura, en sección en cruz, de la cual sale en una dirección el arriostramiento longitudinal, pequeños arcos de ladrillo. La intercalación de dovelas de ladrillo formando

Figura 3. Pont de Gard.

Figura 4. A) Acueducto de los Milagros. Mérida. B) Coronación de los pilares y bóvedas superiores.

Figura 5. Puente de Blois sobre el Loira.

franjas oscuras en la pila le proporciona una estética especial a la vez que con estas franjas se pretende realizar un arriostramiento transversal de pila con pilas exteriores y relleno interior. Se ejecuta en tiempos de Adriano, el siguiente emperador a Trajano.

**PUENTE DE BLOIS SOBRE EL LOIRA**

Realizado por el arquitecto Jacques V. Gabriel en 1716, sustituyendo a un puente medieval destruida por una crecida del río, supone un salto en el tiempo de casi 1.700 años respecto al puente de Alcántara tratado anteriormente. Fig. 5 y en esencia no cambia nada (6).

Este siglo y el anterior constituyen una época dorada para la construcción de puentes de piedra en Francia, es la época de la ilustración y la enciclopedia. Los constructores son arquitectos tan conocidos como Jules Hardouin Mansard, Jacques V. Gabriel, Jean-Rodolphe Perronet, etc., en el siglo XVIII y Guillume Marchant y Francois Petit constructores del puente Nuevo de Paris del siglo XVII.

Además en 1747 se fundó en París la primera escuela de ingeniería del mundo. Ecole de Ponts et Chaussées cuyo fundador fue Trudaine y su primer director fue Jean Perronet.

Los constructores franceses en diversas épocas de la historia realizan las mejores soluciones, las más elegantes, eficaces y normalizadas, de las de todos los países. Pasará lo mismo en el siglo XIX con Eiffel, Nordling, Resal, etc. No son los más creativos, papel que hay que dejárselo a los ingleses, pero sí, aquellos que realizan la mejor expresión formal, en soluciones memorables.

El puente de Blois tiene una longitud de 280 m. Su perfil longitudinal tiene una ligera pendiente longitudinal de las orillas hasta el centro del rio que acompaña por una serie de arcos de luz creciente, desde 16 m. en el arranque hasta los 26 m. del centro configura un puente maravilloso, el cual se remata por un pequeño obelisco en el centro del rio. Tiene unos simples tajamares circulares rematados por un semicono. No puede ser más simple, más austero, más elegante.

Fue un problema importante la construcción de la cimentación. Gabriel y sus colaboradores diseñaron una cimentación por pilotes de madera de 25 a 28 cm. de diámetro, realizada dentro de un recinto estanco. Sobre los pilotes se dispuso un emparrillado de roble y encima se dispusieron los sillares de las pilas. Y así existen varios puentes en Francia. *El Pont Royal*, un poco anterior al de Blois, de Mansard. Gabriel y Romain, Fig. 6, no puede ser más simple, paramentos lisos, una pequeña imposta superior y sus tajamares triangulares coronados por una semipiramide.

Nada más empezada la construcción Mansard y Gabriel se dieron cuenta que existían problemas para cimentar, por lo que llamaron a François Romain que introdujo el dragado en la preparación del lecho del río. Utilizó por primera vez el cajón abierto por arriba e impermeable en las paredes laterales.

Es el primer puente en París que se apartó del arco de medio punto. Mansard diseñó un arco elíptico o de tres centros con la línea de arranque considerablemente por encima del nivel del agua.

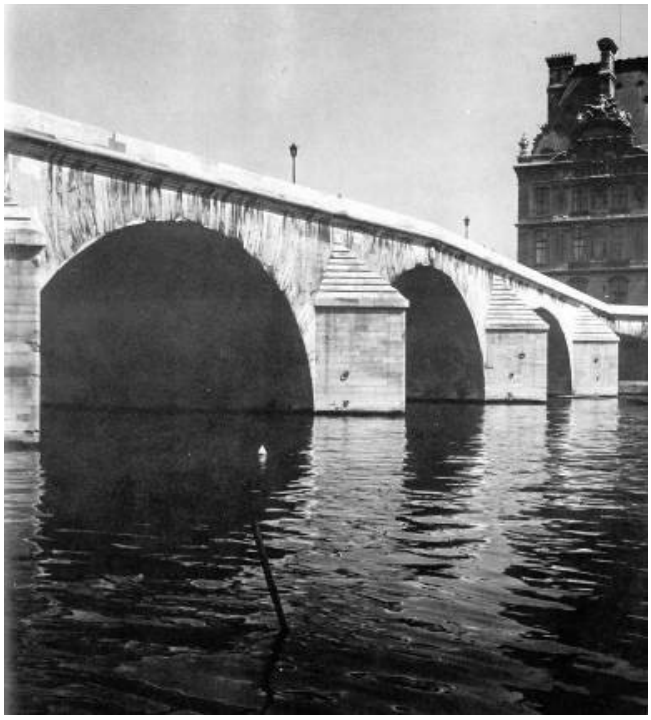


Figura 6. Pont Royal.

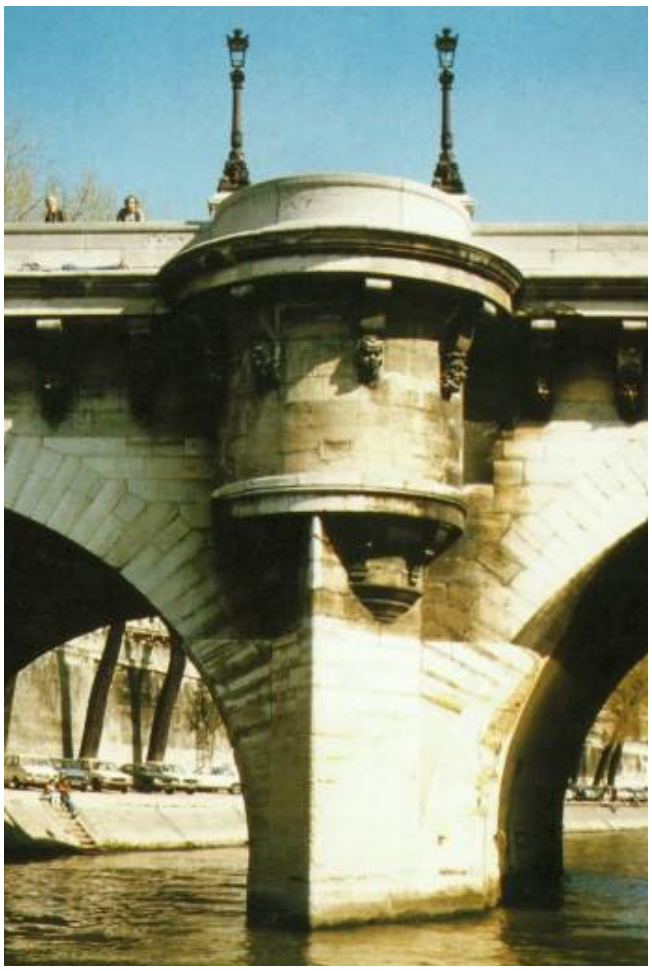


Figura 7. Pont Neuf.

El puente nuevo, anterior a éstos tiene un prodigio de pila con tajamar triangular y remate semicircular precioso. Fig. 7

Perronet realiza en 1768 el puente de Neuilli. Fig. 8, está formado por cinco arcos de 38,94 m. de luz, con unos formidable "corn de vaches" que resuelven el encuentro del arco con la pila a la vez que lo hacen más esbelto.

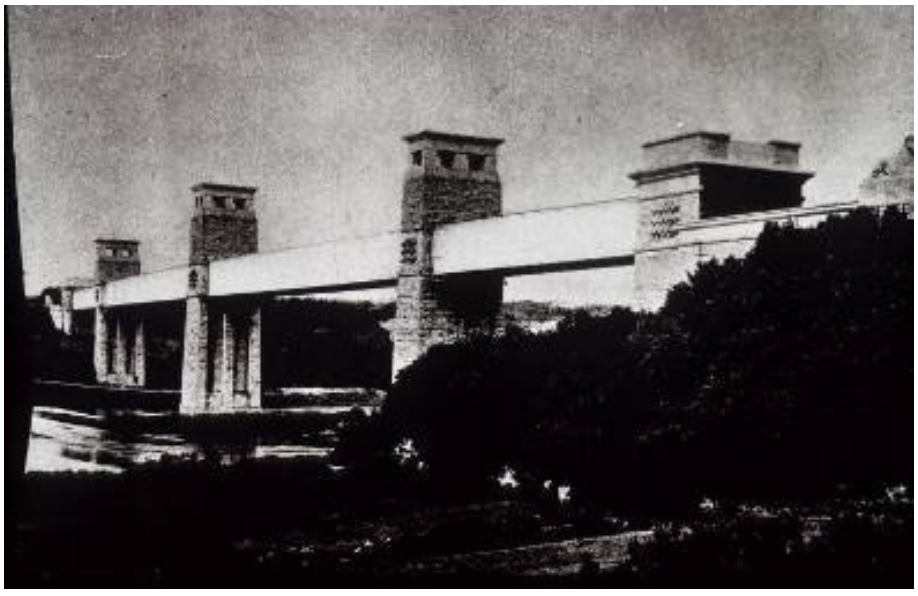
En este puente, Perronet ya empieza a resolver su obsesión de hacer cada vez pilas más delgadas, hecho que complica extraordinariamente la construcción, pues hay que tener cimbrados todos los arcos a la vez, ya que la esbeltez de la pila es incapaz de resistir el empuje de un arco desde un solo lado. El puente de la Concordia de Paris es el máximo representante de esta esbeltez de pilas, 2,92 m. de anchura.

Pero no solo esa era su intención, quería hacer el puente lo más trasparente posible, con máxima capacidad de desagüe, lo que condujo a hacer arcos muy esbeltos con una pequeña relación flecha/luz y a reducir el tamaño de las pilas como ya hemos visto en Neuilli.

**PUENTES METÁLICOS**

Hay pocos puentes en el mundo que me hayan impresionado y ayudado tanto como el Britania. Construido por Robert Stephenson con la ayuda de William Fairbairn y Eaton Hodgkinson entre 1846 y 1850, constituye un ejemplo único de innovación, talento y valentía para enfrentar problemas desconocidos. Nunca se sabe bastante sobre aquellos puentes que vas a construir siempre que sea un poco novedosos y grandes y el Britania con cuatro vanos de 90m.+140m.+140m.+90m. y realizado con un cajón metálico hueco por donde pasa el tren es una novedad total. Fig. 9

Figura 8. Pont Neuilli sobre el Sena.



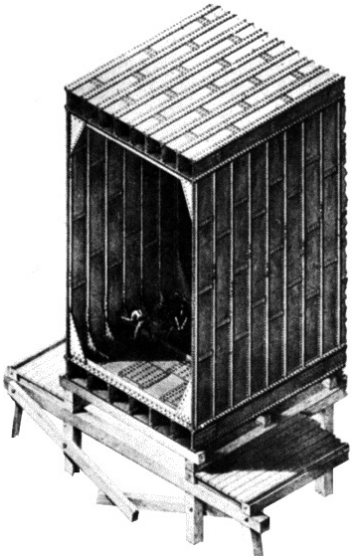


Figura 9. Puente de Britania.

En principio Stephenson pensó en realizar dos puentes arcos apoyados en la pequeña isla en que luego se cimentó la pila central. Pero esta idea se desechó ya que el Almirantazgo lo prohibió, pues impedía el paso de sus barcos. Antes de esto había pensado en un puente colgado, pero enseguida lo desechó por su gran flexibilidad para las cargas de ferrocarril.

Posteriormente pretendió hacer un puente en avance en voladizo pero las condiciones de cimentación hacían impracticable la idea. Finalmente optó por las vigas cajón que constituyeron el proyecto definitivo.

Su desconocimiento del papel del esfuerzo cortante en la flexión le hizo llegar a considerar que las almas solo servían para separar la cabeza superior e inferior. Se discutió sobre si utilizar la fundición o el hierro forjado y finalmente se adoptó éste después de los ensayos realizados por Fairbain y los cálculos de Hodykinson.

De la misma manera se discutió arduamente sobre la necesidad o no de colgar la viga de 9m. de canto y 4m. de ancho. Lo ensayos dieron como conclusión que debido a la rigidez de la viga el cuelgue era inútil. De todas maneras se construyó las tres pilas centrales más altas por si ponían los cables que nunca se pusieron. Prácticamente todo el cálculo de este puente fue experimental.

Aun Stephenson añadió una nueva invención en este puente. La introducción de un giro impuesto en los apoyos para reducir los momentos en el centro de las vigas principales. Esto lo consiguió construyendo los dos vanos de 90 m. con un desnivel en el apoyo en el estribo de manera que con su descenso introdujo el efecto buscado.

En general todo el diseño y cálculo de este puente se hizo por ensayos en modelo reducido y real.

Respecto a la construcción de dos vigas de 140 m. de luz se llevaron por flotación y se izaron con gatos, Fig. 10, tomando la precaución según se iba subiendo de ir completando la pila por debajo para que en caso de fallo de algún gato, la viga de 140 m. no se desplome desde una pequeña altura, como ocurrió una ocasión sin crearse problema alguno.

El puente de Saltash de Brunel se construyó de la misma manera.

Actualmente el Britania no existe. Un incendio ocurrido en 1970 aconsejó a los ingleses cambiarlo por dos arcos. Un error, este monumento debería haberse conservado con las reparaciones consiguientes.

En la actualidad existe el puente de Conway de 122 m. de luz, con el mismo proyecto, de un vano único y situado a muy poca distancia del Britania. En esta situación el aspecto del puente es torpe y pesado, lo que no le ocurriría al Britania.

Este tipo de puentes no tuvo ningún éxito en el momento, Stephenson hizo dos más, uno sobre el lago Victoria sobre el San Lorenzo, pero la celosía múltiple lo barrió hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

**PUENTE DE ARCOLE**

El puente de Arcole de 1854, no tiene importancia ni trascendencia especial, se repitió en otras ocasiones. Sully, Saone, Never, etc, pero para mí fue un descubrimiento importante. Un arco inferior de 80 m. de luz unido al dintel por una triangulación metálica eficaz y significativa, que convierte la estructura en un arco tímpano formidablemente eficaz. El arco tiene una esbeltez de 1/13. Fig. 11

**PUENTE DE ALEJANDRO III**

Es posterior al de Arcole, pues se realizó para la visita de ese Zar a Paris en 1900 y tampoco tiene que ver su morfología y aspecto. En este puente se descubre la belleza y tensión que

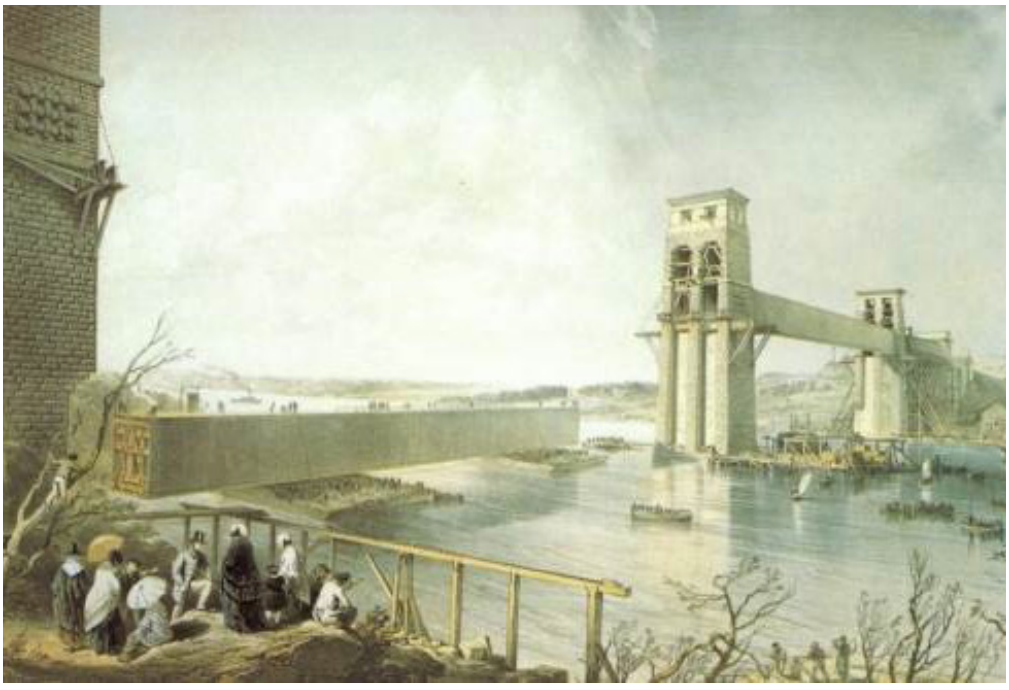


Figura 10. Puente de Britania.

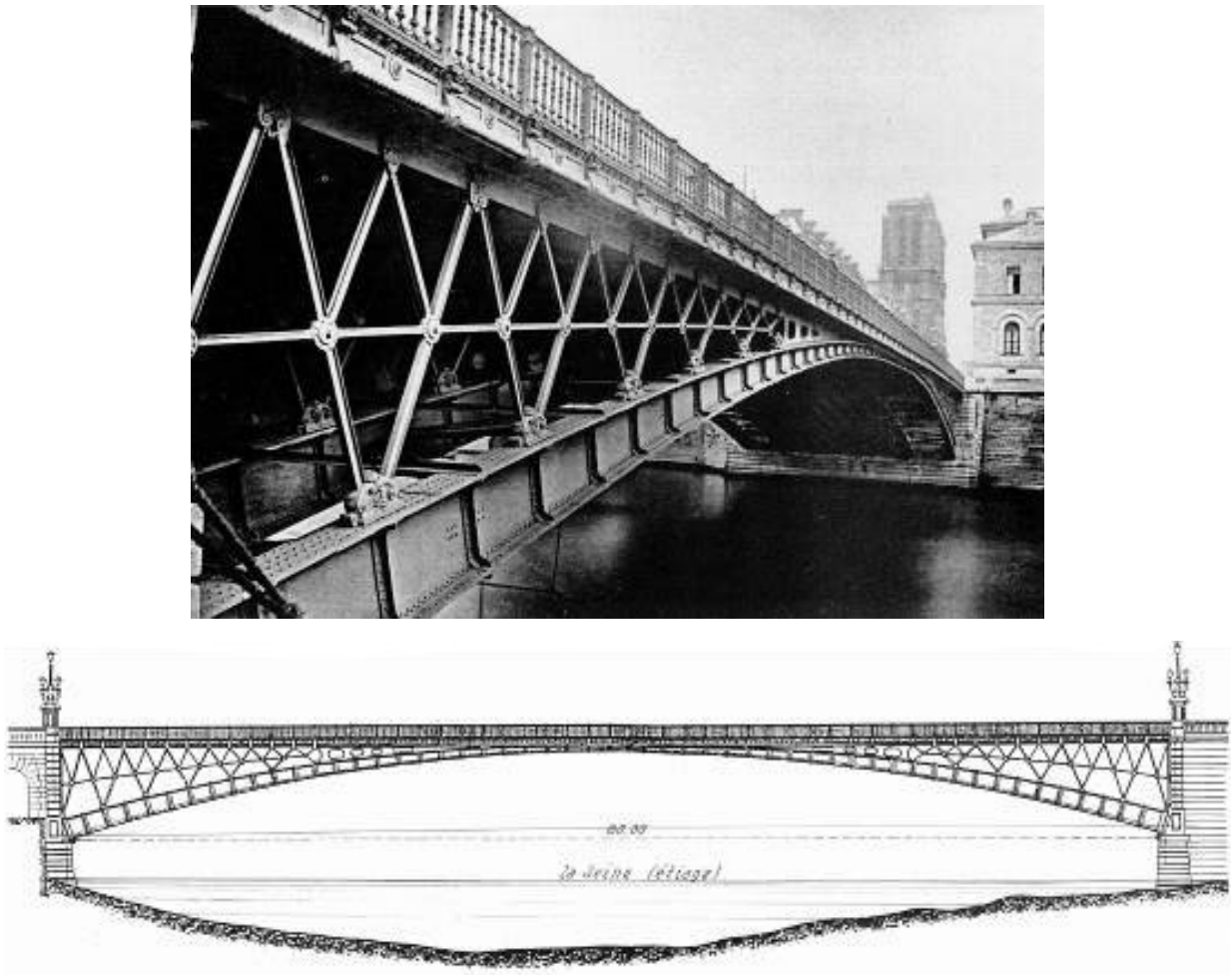


Figura 11. Puente de Arcole.

introduce en un puente arco una relación flecha/luz muy pequeña 1/17. Fig. 12.

Tiene una anchura de 40 m. y se soporta sobre 15 arcos metálicos separados entre sí 2,85 m. de 107 m. de luz. Tan enorme rebajamiento es muy vulnerable a los movimientos de la cimentación, lo que ocasionó una enorme cimentación en los estribo, sin duda antieconómica. La pregunta que hay que hacerse aquí es si merece la pena el coste de semejante rebajamiento para mantener adecuada la circulación casi horizontal a través del Sena, sin que el arco sobresalga de la altura de la canalización. Yo creo que si, tal es la belleza de ese puente a pesar de los floripondios que le colocaron los arquitectos Joseph Casien-Bernard y Gasto Cousin, por mandato del Ayuntamiento de Paris al que el puente de Jean Resal les parecía soso. En varios sitios he dicho que el puente inicial es tan bueno que resiste todas esas injurias.

Otro puente francés similar y realizado en 1899 es el puente de la Universidad de Lyon con tres arcas de 67,5, 72,6 y 67,5 m. de luz y adornado ligeramente y suficientemente.

**SEIS PUENTES ARCO METÁLICOS EN CELOSÍA (6)**

Tres son franceses y construidos un poco antes de los tres americanos y los seis son formidables.

Franceses. Me refiero al puente de Oporto (160 m. de luz) proyectado por Seyrig para la casa Eiffel que lo construyó. El segundo es Garabit, 165 m. de luz, Maurice Koechin fue el proyectista también para la casa Eiffel y los dos se los atribuyó Eiffel como proyecto propio y el tercero es el puente de Viaur proyectado por Paul Bodin de 220 m. de luz.

*Oporto*, Fig. 13. En 1875 se convoca un concurso internacional para diseñar y construir un puente sobre el Duero. Se presentan ocho ofertas. Gana la oferta presentada por la casa Eiffel con proyecto de Seyrig, un arco biarticulado de 160 m. de luz.

La estructura arco se convierte en la estructura ideal para puentes de gran luz, sean de ferrocarril o carretera.

Figura 12. Puente de Alejandro III.

Figura 13. Viaducto María Pía, Oporto.

Seyrig adopta la solución de un arco bi-articulado construido por avance en voladizo, atirantando desde el dintel y gana fácilmente a sus contrincantes por resultar un precio mucho menor. Fig. 14

La adopción de un arco en celosía con una variación de canto importante, mínima en el apoyo y máxima en el canto, correspondiente al ideal de un arco bi-articulado, es perfecta para construir un voladizo, pues la relación del puente con el suelo es móvil y susceptible de variar la posición de todo el arco actuando sobre los tirantes de sostenimiento. Esta es una seguridad buscada y probablemente la bi-articulación del arco es por esta razón. La rigidez necesaria para la carga no funicular del ferrocarril a lo largo del puente se recoge perfectamente por la celosía que constituye el arco, único procedimiento de resistir la flexión en aquella época.

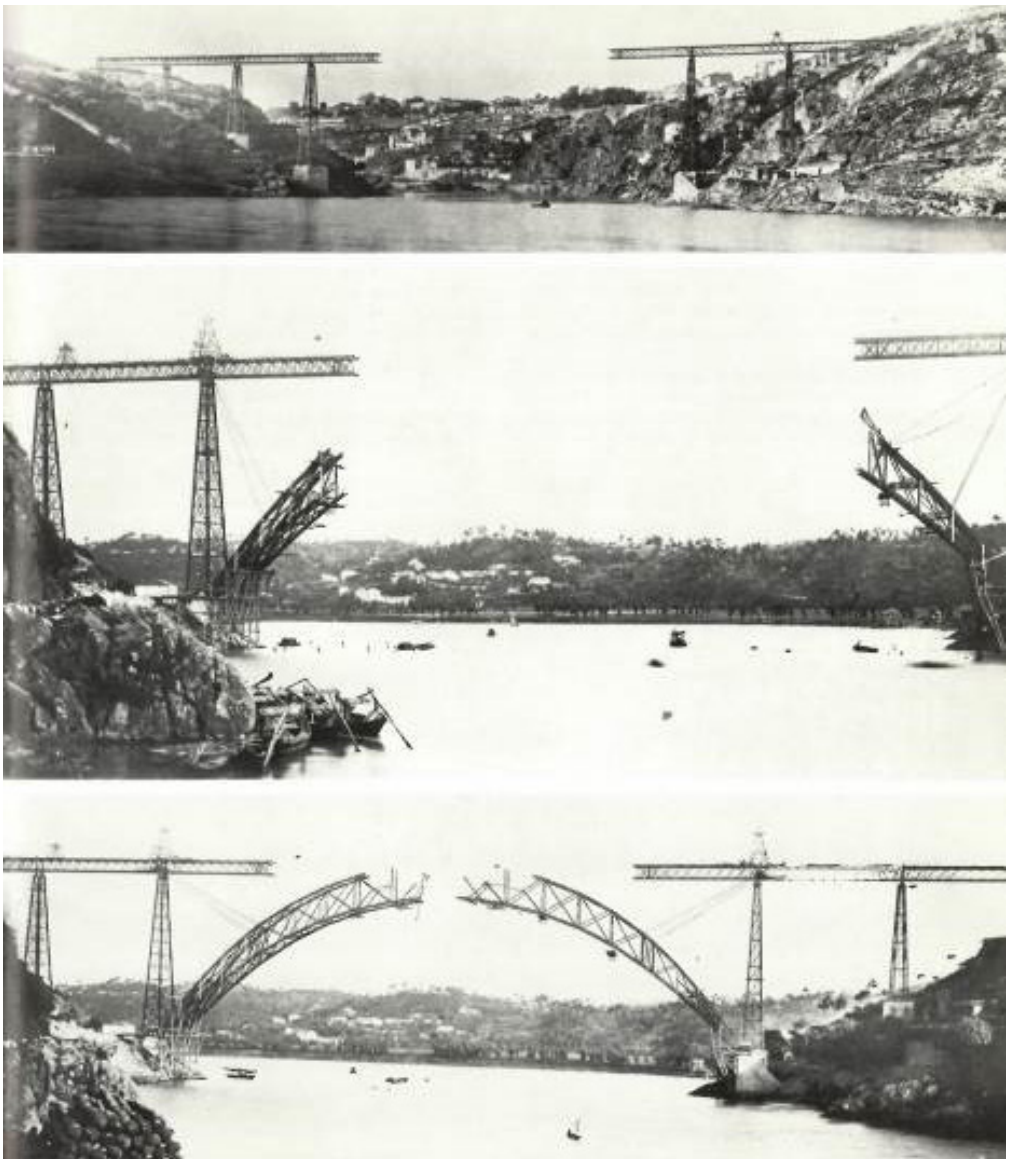


Figura 14. Puente de Oporto.

El puente es casi perfecto si eliminamos la interrupción del tablero en su encuentro con el arco, cosa posible que lo afea bastante. Otro problema es distinta cadencia de las pilas en el viaducto de acceso y la que ocurre sobre el arco.

El éxito de este puente fue total hasta el extremo que los franceses le adjudicaron "a dedo" la construcción del puente de Garabit, siempre que se mantuviese en un precio y un plazo dado.

*Garabit*, de 165 m. de luz, Fig. 15, aprovecha la experiencia acumulada en Oporto pero con proyecto de Maurice Koechlin ya que Seyrig salió de mala manera de la casa Eiffel por fuertes discrepancias con él.

Seyrig hace poco después otro formidable puente en Oporto, el Luis I.

El procedimiento de construcción de Garabit y su diseño es prácticamente igual a Oporto, salvo que evita los dos defectos señalados anteriormente, el dintel pasa por encima del arco y la secuencia de las pilas en los viaductos de acceso y en el arco son muy parecidos. Fig. 16

*El puente de Viaur* de Paul Bodin de 220 m. de luz es diferente. Un arco triangulado en celosía completa entre arco y tablero. Fig. 17, de enorme eficacia resistente y de seguridad añadida para el viento por la inclinación de las caras que mantienen los arcos. Fig.18.

Figura 15. Puente de Garabit.

Figura 16. Puente de Garabit. Construcción.

Figura 17. Viaducto de Viaur.

Americanos – Son otros tres los puentes que califico como americanos, aunque el puente de Sídney no lo sea estrictamente. Me refiero al Hell Gate –El puente de Sídney y el puente de Bayonne sobre el Kill van Kul en Nueva York. Si fueron construidos algos después de que los franceses son, sin embargo, mucho mayores.

El Hell Gate de Gustav Lindenthal tiene 298 m. de luz y 304 entre caras de los estribos. Fig. 19. Fue record mundial. Tiene un diseño inapropiado a los ojos actuales, pues el gran arco constituido por cuatro cordones, dos superiores y dos inferiores, solo los inferiores van a la cimentación, quedando los superiores como procedimientos de rigidizar el arco ante las flexiones de carga descentrada y de ayuda en las primeras fases del proceso constructivo.

Figura 18. Viaducto de Viaur – construcción en avance en voladizo.

El puente se construyó en avance en voladizo. Fig. 20

El diseño del *puente de Sídney* de 503 m. de luz está totalmente influido por el Hell Gate de Linderthal. Fig. 21, pero mucho mayor. Lo dicho para el Hell Gate sirve para el puente de Sídney, famoso por su ubicación en la bahía. Mantuvo un duelo constante con el puente Bayonne de Ammann por ser record mundial, lo que fue para este úl-

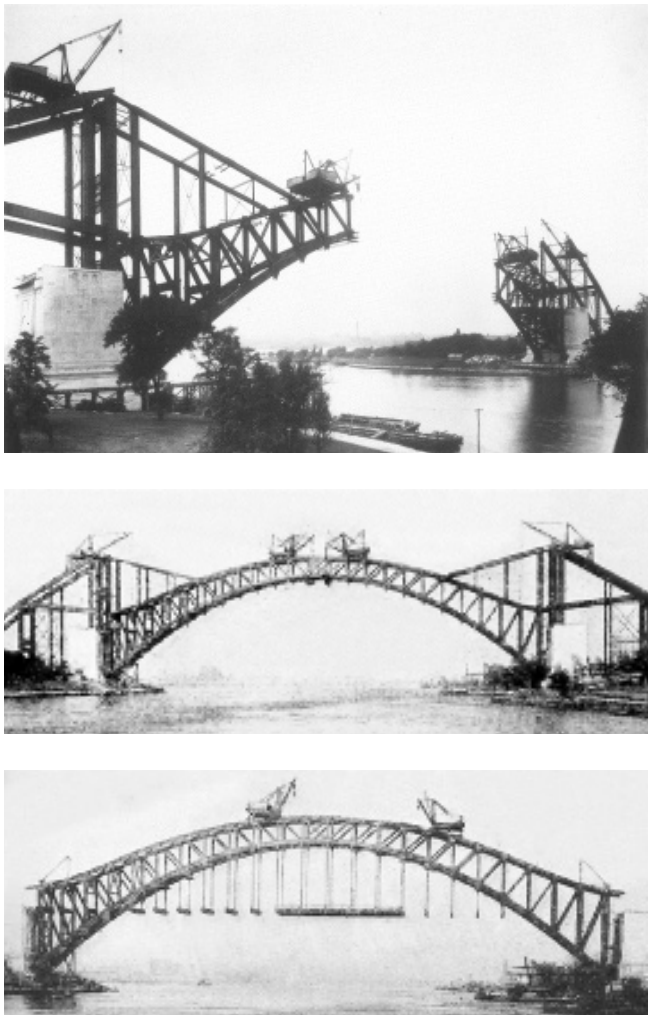


Figura 20. Puente del Hell Gate.

Figura 19. Puente del Hell Gate.

timo puente que tenía setenta centímetros más de luz que Sisney y aunque se empezó un poco más tarde se terminó antes.

El puente de Bayonne, Fig. 22, tiene 504 m. de luz con un arco parabólico de 81 m. de altura que produce una relación flecha/luz de 1/6. Es de Ammann

El tablero intermedio cuelga del arco principal. En este puente parece que los cordones superiores del arco llegan a la cimentación, no como en el Hell Gate que solo sirve para rigidizar el arco inferior. Es un puente hermosísimo y de apariencia mucho más moderna que los dos anteriores. Fig. 23

Se construyó en avance en voladizo pero estableciendo un apoyo intermedio que redujo la necesidad de un gran empotramiento en cimientos.

Después de estos grandes arcos en celosía debía hablar de las grandes vigas en celosía americanos como el Queensboro de

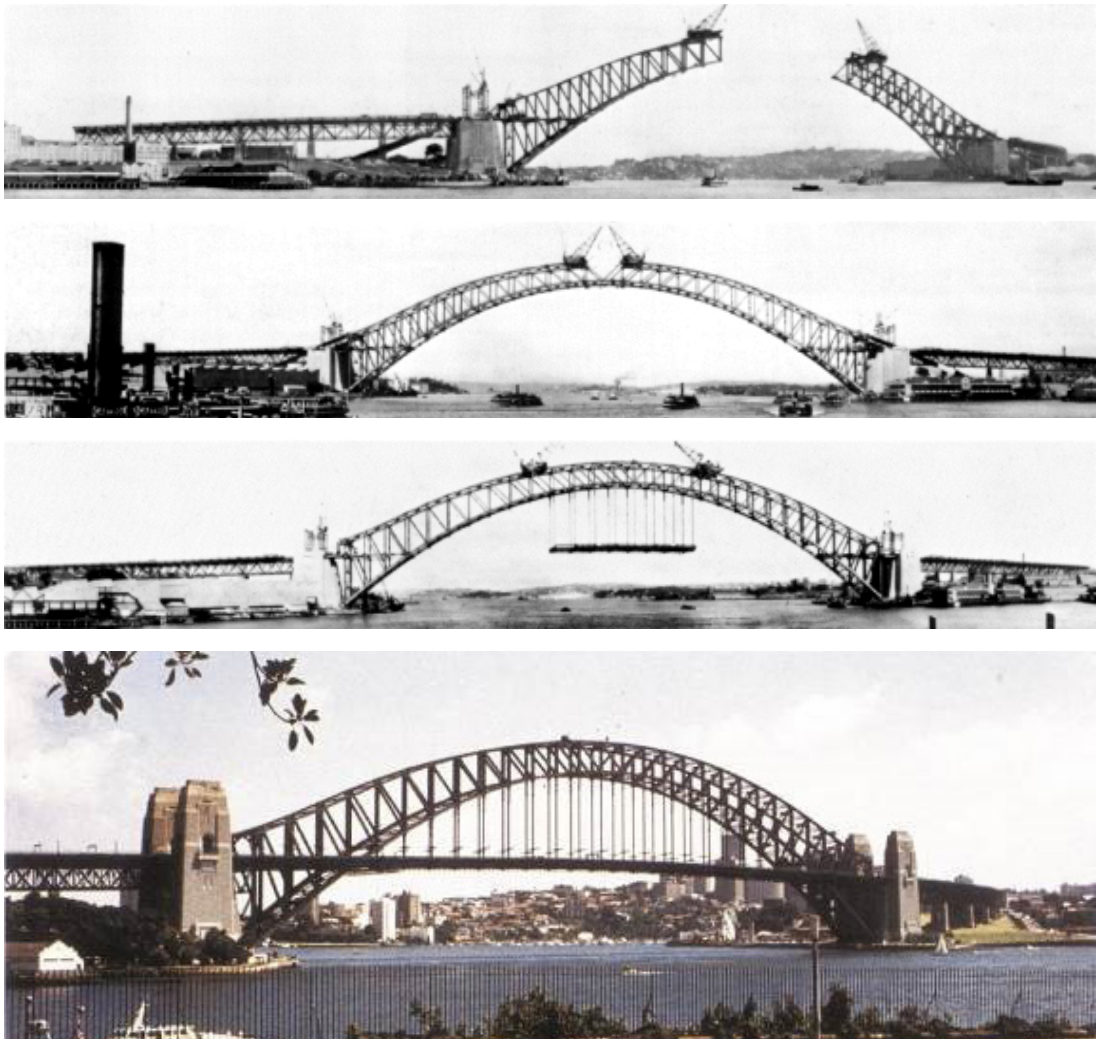


Figura 21. Puente de Sidney.

Figura 22. Puente de Bayonne.

Figura 23. Puente de Bayonne.

360 m. de luz máxima o el puente de Carquierez de 240 m. de luz, etc. Son puentes realmente formidables realizados exclusivamente por los americanos para salvar sus grandes ríos con una tipología eficaz. No me detengo en ellos porque mi descubrimiento de estos puentes se produjo bastante después de mi formación básica. Sin embargo son formidables en sí mismos.

Al ver estos seis formidables puentes uno se da cuenta que la pelea por ir más allá lleva a diseños consistentes y potentes, que le ayudan a uno a atreverse.

**TRES AUTORES, CUATRO PUENTES**

Los autores son Torroja, Fernández Casado y Maillart, los puentes son el Acueducto de Alloz, los puentes de altura estricta y los dos mejores puentes de Maillart, SalginaTobel y Schwandbach. Podría poner más puentes pequeños, hermosos e influyentes puentes pequeños, pero con esto creo que basta para opinar y aprender.

El Acueducto de Alloz de Torroja de 1939 (7) es una obra formidable de las que ves y no olvidas. El cajero del acueducto es una lámina cilíndrica y pseudo-eliptica, siguiendo el camino que eligió Peña Beuf para su acueducto de Tardienta, pero infinitamente mejor. Fig. 24

Las pilas son también formidables, unas tijeras que enlazan perfectamente con el cajero curvo y juntos constituyen una obra excelente. Torroja divide el acueducto en tramos de 40 m. constituidos por una ménsula de 10 m., un vano entre dos pilas de 20 m. y otra ménsula de 10 m. con la intención de mantener la parte inferior del cajero en compresión y para

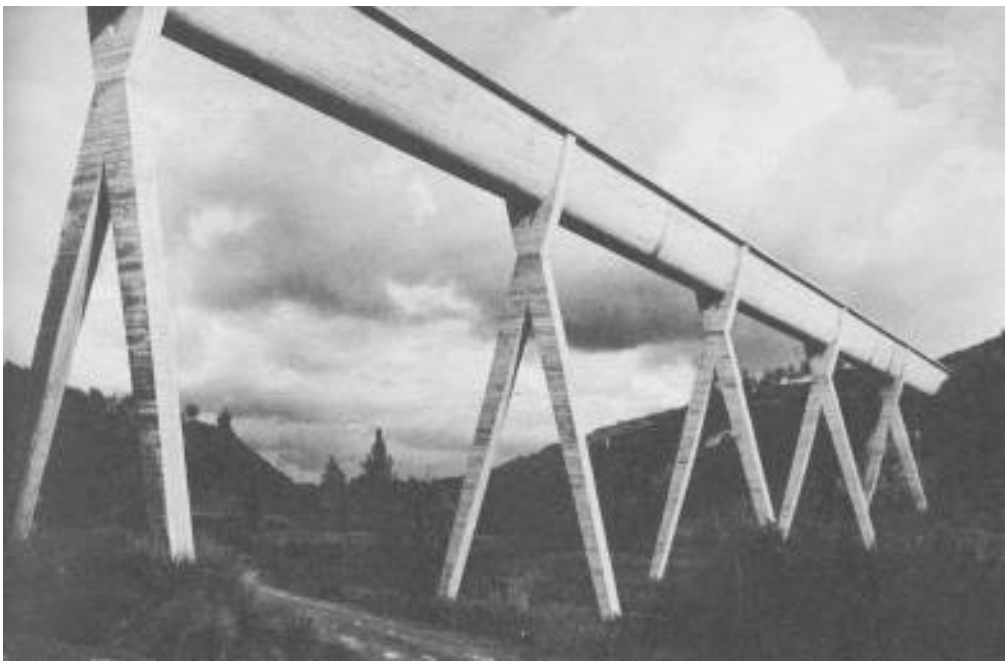


Figura 24. Acueducto de Alloz.

comprimir la parte superior desarrolla un curioso pretensado, no sé hasta qué punto eficaz.

Es una obra en que se manifiesta con toda intensidad la identidad de la idea con la obra, lo que no suele ser tan frecuente. Conociendo bien el acueducto no esta tan bien diseñado porque el agua se va en muchas de las juntas establecidas cada 40 m. ¿Podría haberlo evitado? ¿Habría que haber realizado apoyos deslizantes en la garganta en que las tijeras se cruzan, o haber realizados bielas con las pilas y el dintel? Lo cierto es que es muy difícil hacer apoyos deslizantes sobre dinteles curvos, lo más fácil es empotrar.

Bueno, pues a mi entender, no importa demasiado que el agua se salga en alguna junta, tal es su perfección conceptual, resistente y formal que ha iluminado muchas concepciones sobre lo que es ingeniería y también muchos futuros acueductos.

Fernández Casado en los años 30 y 40 del siglo pasado hizo una colección de puentes de altura estricta, realmente magistral (8), (9). El y su tiempo insistían en lo mínimo, en lo austero y Fernández Casado lo tradujo muy bien por estricto, lo justo y necesario. Fig. 25

Y se produjo una estética de los puentes formidable, da gusto ver ahora esos puentes, no muy grandes pero necesarios. Que yo sepa no hubo otro diseñador español o extranjero que concretase con tanta perfección el concepto resistente y formal de los puentes como él. Y todos aprendimos de él, esa dimensión que no solo minimiza, materiales, costes, etc., añade algo más. El concepto de estricto trasciende el concepto de mínimo y económico y en su belleza formal se manifiesta. La estética no está buscada, esta encontrada.

Maillart, hizo puentes rectos y arcos pero ha pasado a la posteridad por estos últimos, especialmente el Salgina Tobel de 1929, arco de 90 m. de luz situado entre dos montañas y atraviesan un profundo valle. Fig. 26

Se ha convertido, con razón, en el ejemplo más acusado de la relación puente-paisaje. Un arco que salta entre dos montañas. Sin embargo, Maillar hace un arco triarticulado cuyo enlace con los pilares de los viaductos de acceso no me parecen muy bien. Si dejamos fuera el precioso puente de Zuof y el de Tabanasa, Maillar repite este puente cinco veces que utiliza sobre todo en paisajes distintos al de Salginatobel, planos con riberas planas.

El éxito del Salginatobel radica en la formidable relación entre el arco que parece que se sostiene o sostiene los dos frentes rocosos de los bordes circundantes del valle que Gideon ensalza en su libro Espacio, Tiempo y Arquitectura, hasta el infinito, con razones poco convincentes.

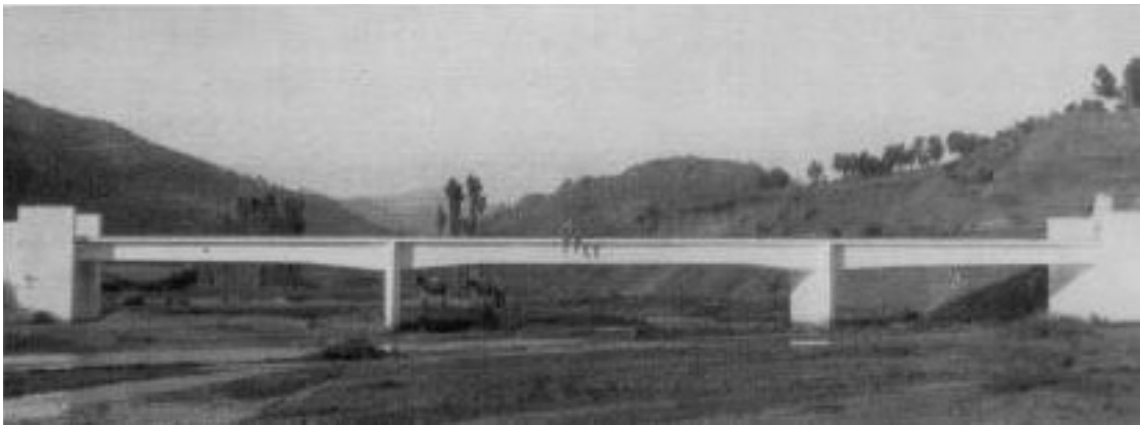


Figura 25. Puente del Pardo.

Figura 26. A) Puente de Salginatobel. B) Cimbra (Ing. Coray).

Figura 27. Puente de Schwandbach.

Aunque el éxito tecnológico es de Ing. Corey que fabrica y coloca la cimbra. Sin duda y aún teniendo en cuenta sus defectos, Salginatobel es un ejemplo a seguir cuando se trata de la relación entre el puente y el paisaje.

A mí me interesó más el puente de Schwandbach, Fig. 27, un puente que parece brotar de la vegetación de las laderas del monte con un arco estricto, delgado, recto de ancho variable que sostiene y es sostenido por un tablero curvo, más robusto pero sin exagerar. De 1933 es mucho más pequeño de luz que Salginatobel, pues tiene 37,4 m. de luz.

Este puente es el último de una segunda familia de puentes de Maillart, los que tienen arco delgado y dintel grueso.

Se podrían presentar mucho otros puentes de diseño delicadísimo que tienden a formar al ingeniero en la sutileza de lo resistente. Lo que resulta en nosotros de construir un puente como el Hell Gate o un puente como el puente del Pardo de Fernández Casado, son dos inputs diferentes y ambos necesarios.

**FREYSSINET**

Freyssinet (10) fue un gigante, alguien lo ha catalogado como el más grande ingeniero de todos los tiempos. Yo no sé si me atrevería a decir tanto pero que fue un gigante, comparado con los demás, no hay duda. Quizás habría que excluir de la comparación a Dischinger y Finsterwalder.

Conozco bien la obra de Freyssinet y realmente es asombrosa, mírese donde se mire. Voy a hablar un poco de Plougastel y otro de los puentes del Marme. No he visto porque no está Le Veutre pero sí el de Boutirum, cerca de Vichy, posterior y carece de la sutileza de las imágenes que tenemos de Le Veutre.

Plougastel es un puente que podríamos considerar como feo, torpe, excesivo, pero recoge como ninguno la grandiosidad de la ingeniería civil y de su constructor.

Estuve mucho rato en la orilla contemplándolo, como "se adora a Dios ante su altar" y no me podía creer que los franceses quisieran tirarlo, o dejar como mucho los arcos. Recuerdo que se me ocurrió mandar una carta al presidente francés (cosa que no hice) diciéndole que no tenía ningún derecho a tirarlo porque ese puente también era mío. Y eso es verdad, tantas cosas había aprendido de ese puente, su formidable cimbra para construir los arcos que llegué a amarlo profundamente, era el principio de muchos otros puentes. Fig. 28, de muchas otras posibilidades. Cuando veía un arco bonito pensaba en Plougastel.

En el Marne para reponer una serie de puentes destrozados durante la segunda guerra mundial, Freyssinet hizo cinco puentes geniales y éstos además bellísimos. Fig. 29. Son puentes pórticos de unos 74 m. de luz, solamente Luzancy de 1945 tiene 55 m. de luz. Es increíble cómo se le puede a nadie ocurrir hacer un puente pórtico con tan poca relación flecha/luz, sin embargo Freyssinet hace trucos con el perfil del puente para aumentar esta relación. Son prefabricados y pretensados. Actuó sobre ellos con gatos planos o en la parte inferior para eliminar el efecto de la deformación del terreno y del puente.

El resultado formidable. Estos puentes, además de enseñarte te aplastan, porque el talento de Freyssinet te pone en tu lugar.

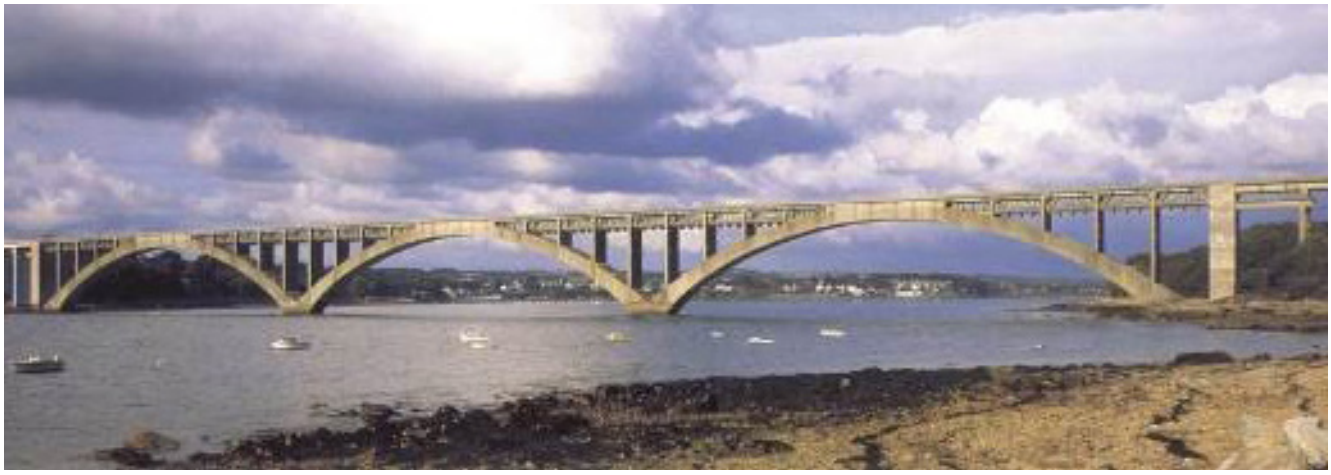


Figura 28. Puente de Plougastel.

Figura 29. Puente de Esbly.

Figura 30. Puente de los Nibelungos, reconstrucción.

Figura 31. Puente Kochertal.

**LOS ALEMANES**

Recuerdo, cuando empezaba a trabajar, en el año 1962 que la obra de los alemanes, tanto si era de hormigón pretensado o metálico superaba con mucho la restante. Incluso la siempre buena ingeniería francesa tenía que dejar paso.

Era el resultado del dominio de la construcción en avance en voladizo que habían puesto a punto y desarrollado después de la construcción del puente sobre el rio Peixe en Brasil (11).

Recuerdo la impresión que me produjo el puente de los Nibelungos sobre el Rin con tres vanos de 101m.+114m.+101m. que parecía salido del cielo. Cuando aún estábamos acostumbrados a 30 o 40 m. de luz como mucho en dinteles rectos. No sabrían decir ahora que me parece más hermoso el antiguo puente arco metálico o el nuevo. Pero entonces sí, el puente de hormigón pretensado no podía mejorarse, Fig. 30

Pero no solo estaban los Nibelungos, estaba el puente del Mosela, el puente de Worms. Todos poco mayores de 100m. de luz, que nosotros aspirábamos alcanzar, lo que conseguimos con el puente de Castejón. Que alegría inmensa haber alcanzado con un dintel recto los 100 m. de luz. Pero antes de los Nibelungos estaban unos pórticos formidables como el puente de Baldunstein de 62 m. de luz y posteriormente Bendorf con 208 m. de luz en el vano principal. Naturalmente fui a verlo pensando que la ingeniería española alcanzaría alguna vez esa luz con hormigón pretensado. No ha ocurrido pero no ha sido por falta de tecnología sino por falta de ocasión.

Pero si dejamos ahora los puentes sobre rio y nos vamos a los viaductos, llegamos al puente de Kochertal con sus pilas de180 m. de altura y sus luces de 135 m. Me acuerdo haber estudiado las diversas propuestas que se propusieron, la propuesta de Leonhard para cubrir los 30 m. de anchura, aparece por primera vez el cajón monocelular con puntales transversales que tanto hemos usado después. Fig. 31. Un puente continúo de canto constante, tan

estricto, tan bello, que los alemanes habían concluido que en viaductos altos y de gran luz, nada de canto variable en el dintel.

Y si pasamos al acero realizaron una colección bellísima de puentes que oscilan alrededor de los 200 m. de luz, como el puente de Colonia, el Bonn-Breuel, el del zoo de Colonia, etc. Fig. 32, y allí se ve el poder del acero, aunque no recuerdo bien pero creo que fue el de Colonia que se repitió exactamente igual y se situó a su lado en hormigón pretensado.

No he visto puentes más bellos sobre rio. Y si contemplamos ahora los viaductos sobre montañas, expongo solo uno, el puente de Winmingen sobre el Mosela de 218 m. de luz y 150 m. de altura, resulta iluminador, Fig. 33.

Figura 32. A) Puente de Colonia – Deutz L=185 m. B) Puente Bonn – Breuel L=196 m.
C) Puente del Zoo de Colonia L= 256 m.

Figura 33. Puente Winmingen L= 218 m.

Podríamos hablar de muchos de ellos pero con los expuestos se ve la potencia creativa de los alemanes de esa época.

Los puentes serán distintos después de ver tanta perfección, orden y belleza como derrochan estos puentes alemanes de los años 60.

Uno año viajando a Oviedo desde el Oeste, desde Galicia y próximo a Oviedo vi unos puentes españoles magníficos, metálicos que me recordaron a los puentes alemanes. Yo creo que es muy bueno copiar bien y yo recomiendo esta práctica a todos los que empiezan en este precioso oficio, diseñar y construir puentes.

## CONCLUSIÓN

Como decía el principio del desarrollo de este tema, me he dejado muchos puentes formidables, influyentes, en el tintero. No podía dedicarme a escribir otra vez otra historia de los puentes, pero su belleza, su grandiosidad y la osadía de los que los construyeron nos deben guiar en lo sucesivo y hace años que hemos entrado en lo sucesivo.

## REFERENCIAS

(1) J. Manterola, *El oficio de ingeniero*. Círculo de Bellas Artes, 2016.
(2) J. Manterola, *Historia de los puentes*. Madrid, 2018.
(3) J. Manterola, *La obra de ingeniería como obra de arte*. Laetoli, 2010.
(4) C. Fernández-Casado, *Historia del puente en España: puentes romanos*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008.
(5) C. Fernández Casado, "Acueductos de Mérida," *Informes de la Construcción*, vol. 21, no. 205, pp. 51–74, Nov. 1968.
(6) J. Manterola, "Evolución de los puentes en la historia reciente," *Informes de la Construcción*, vol. 35, no. 359–360, pp. 5–35, May 1984.
(7) E. Torroja, "Acueducto de Alloz," *Informes de la Construcción*, vol. 14, no. 137, pp. 143–148, Feb. 1962.
(8) C. Fernández Casado, "Colección de puentes de altura estricta," *Rev. Obras Públicas*, vol. 84, no. 2703, pp. 357–364, 1936.
(9) C. Fernández Casado, "Puentes de altura estricta," *Informes de la Construcción*, no. 71, 1955.
(10) E. Freyssinet, "Observaciones sobre el hormigón pretensado," *Informes de la Construcción*, no. 20, 1950.
(11) C. Fernández Casado, "Ejecución de puentes pretensados por voladizos sucesivos," *Informes de la Construcción*, vol. 16, no. 156, pp. 73–84, Dec. 1963.

* * *