

## El puente, obra de ingenieros (II)

### Puentes metálicos y de hormigón\*



**Leonardo Fernández Troyano**

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director de CFCSL

#### Resumen

La ingeniería de infraestructuras es una de las actividades ingenieriles en las que se hace más evidente la transformación de la naturaleza porque actúa sobre el territorio y sus obras se insertan en el medio geográfico. En el siglo XIX se desarrollaron la mayoría de las estructuras y materiales de los puentes que consideramos modernos. Los ingenieros del siglo XX continuaron la forma de actuar del siglo anterior, pero poco a poco se fueron especializando diferenciándose el ingeniero empresario del constructor y del de proyecto. El siglo XXI está en sus comienzos y es difícil especular lo que serán los ingenieros de este siglo pero la aparición del ordenador en la segunda mitad del siglo XX ha dado unas posibilidades cuasi ilimitadas al estudio de las estructuras y su optimización.

#### Palabras clave

Puentes metálicos, viaductos, arcos, hormigón, ingeniero

#### Abstract

*The engineering of infrastructures is one of the engineering activities that makes the transformation of nature more evident as these act upon the land and the works are inserted within the geographic medium. The majority of what may be considered as modern bridge structures and materials were developed in the 19th century and 20th century engineers continued on with this same form of action, though gradually dividing up into the two areas of construction company engineers and project engineers. The 21st century is in its early stages and it is difficult to speculate on the form that engineers may take throughout this century, though the appearance of the computer in the second half of the 20th century has given rise to almost limitless possibilities in the study of structures and their optimization.*

#### Keywords

*Steel bridges, viaducts, arches, concrete, engineer*

#### 1. Introducción

El ingeniero es el hombre que actúa en el medio natural, transformándolo, para adaptarlo a las necesidades del hombre. El medio natural es muy diverso y por ello el área de actuación y la forma de actuar de cada rama de la ingeniería es muy dispar. Poco tiene que ver el campo de actuación de la ingeniería química con el de la ingeniería de infraestructuras. A esta última rama es a la que nos vamos a referir, porque en ella se las incluyen los puentes. Es una de las actividades ingenieriles en la que se hace más evidente esta transformación de la naturaleza, porque actúa sobre el territorio y por ello sus obras se insertan en el medio geográfico y pasan a formar parte de él. Se hacen geografía.

En 1928, el ingeniero Carlos Fernández Casado terminó su conferencia titulada “Ingeniería: Maquinismo y Arquitectura” con la frase siguiente: Y en nuestra edad geológica –vejez de la Tierra– el ingeniero ha llegado a ser el agente geomórfico por excelencia.

La obra de ingeniería que generalmente ha tenido mayor valor simbólico entre las infraestructuras a lo largo de la Historia, ha sido el puente, y esto se ha reflejado no solo entre los ingenieros, sino también en la literatura, en la pintura y en otras manifestaciones humanas a lo largo de la Historia; muchas regiones y ciudades han tomado como símbolo un puente en sus escudos y banderas.

#### 2. Los puentes modernos

El siglo XIX es probablemente el más brillante de la historia del puente; en él se desarrollaron la mayoría de las estructuras y materiales de los puentes que consideramos modernos.

También es probablemente el siglo de los grandes ingenieros que englobaban en una misma persona sus diferentes actividades: empresario, proyectista y constructor. Como ejemplo más destacado y conocido de este tipo podemos citar a Gustave Eiffel, paradigma del ingeniero del siglo XIX, aunque se concentraron en él como logros personales,

\* Esta es la segunda parte de la serie que se inició en el número 3558 de la ROP

aportaciones de muchos otros de su empresa. Había en ello no sólo un afán de notoriedad personal, sino también una forma de hacer la empresa más conocida al referir todas sus obras a una personalidad de prestigio reconocido.

Los ingenieros del siglo XIX son probablemente los más brillantes y atractivos de la historia del puente. Sorprende y produce admiración la audacia y capacidad de empresa de muchos de ellos que contaban con unos conocimientos teóricos y unos medios de construcción muy inferiores a la envergadura de las obras de hacían.

El desarrollo de los puentes en este siglo es espectacular: entre el puente de Coalbrookdale, el primer puente metálico, un arco de 30 metros de luz terminado en 1779, y el puente del Firth of Forth de 521 metros de luz, terminado en 1890 transcurre poco más de un siglo, exactamente 111 años, la mayoría de ellos del siglo XIX.

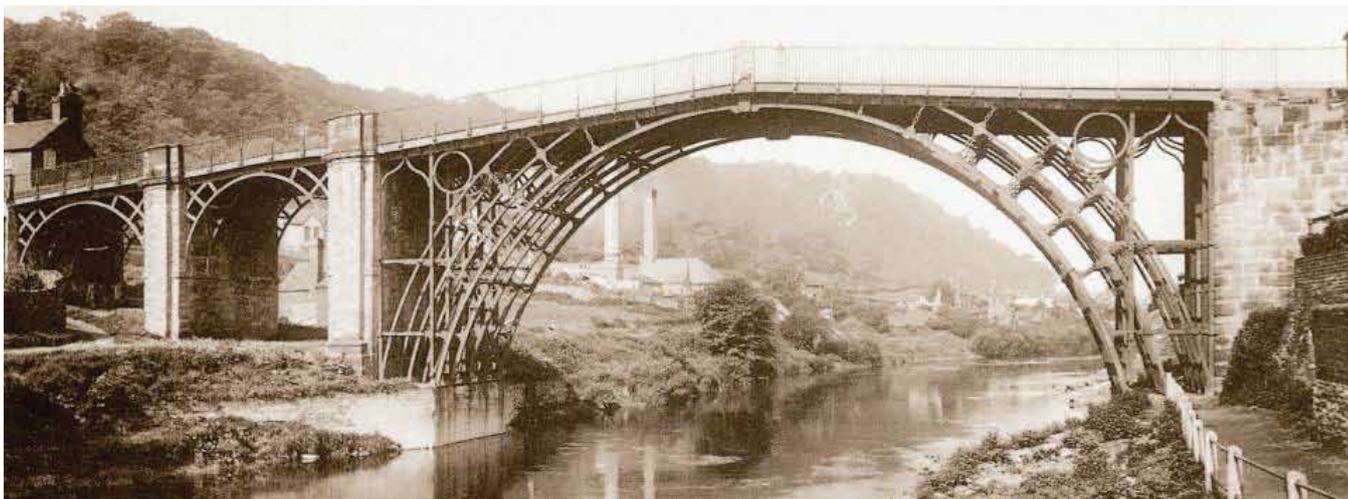
Este desarrollo es debido a dos causas en paralelo. En primer lugar a la aparición del hierro como nuevo material de construcción de puentes. La producción industrial del hierro es una de las causas primeras de la Revolución Industrial, en la que hay que incluir los puentes metálicos. En segundo lugar el conocimiento científico del comportamiento resistente de las estructuras, que permitió dimensionarlas conociendo su seguridad, es decir, sabiendo que el puente va a permanecer, porque puede resistir las acciones que van a actuar sobre él sin sufrir daño. La resistencia de materiales

y la teoría de estructuras son ciencias jóvenes. Es a lo largo del siglo XIX cuando se llegó a crear un cuerpo de doctrina que se puede llamar ciencia.

Pero el rápido desarrollo de los puentes debido a las causas anteriores, produjo también problemas y desajustes. Las dificultades técnicas que se planteaban en ellos eran cada vez mayores y por ello el ingeniero se dedicó básicamente a conocer los problemas resistentes del puente, olvidando con frecuencia el proceso creativo que lleva a un buen resultado que, si bien es inseparable del problema resistente, porque la primera obligación del puente es persistir, va más allá de él.

También esta rapidez del crecimiento dio lugar a que en muchas ocasiones, los ingenieros del siglo XIX se encontraran desorientados al aparecer elementos de grandes dimensiones en los puentes, de los que no tenían precedentes en los que apoyarse. Esto les llevó en ocasiones a reproducir formas de estilos arquitectónicos anteriores, la mayoría de las veces con poco acierto.

Podemos citar varios ejemplos de la utilización del arte egipcio en las pilas y torres de los puentes del siglo XIX: el puente Britania de Robert Stephenson en los estrechos de Menai, tiene cuatro vanos en viga cajón apoyadas en tres torres de las que estaba previsto colgar las vigas del puente mediante cadenas. Pero finalmente las vigas cajón se hicieron autoresistentes y se suprimieron las cadenas.



**Puente de Coalbrookdale, el primer puente metálico**



Puente de Buildwas, Thomas Telford. 1796

El puente colgante de Clifton de Isambard Brunel de 254 metros de luz, terminado en 1864, es otra obra fundamental del siglo XIX. Los dibujos que hizo de las torres de este puente con versiones de distintos estilos históricos son muy ilustrativos de la desorientación a que aludíamos, finalmente optó por unas torres de influencia egipcia que pensamos que, igual que en el Britania, es lo peor del puente.

Lo mismo se puede decir de los dibujos de John Roebling de las torres del puente de Brooklyn también con diferentes estilos. Finalmente optó por unas torres de influencia gótica. Pero la potencia y sencillez de estas torres tienen un valor en el conjunto del puente que hacen de él uno de los puentes más conocidos del mundo.

Se pueden poner también ejemplos de torres de puentes colgantes inspiradas en arcos de triunfo romanos, o en torres de castillos medievales.

Se puede hacer una rápida historia de los puentes modernos, a través de una serie de ingenieros que fueron fundamentales en ella, ordenados por los países que tuvieron mayores aportaciones al desarrollo de los puentes. Esta historia se debe empezar por Gran Bretaña, donde se inició la Revolución Industrial y con ella los puentes metálicos.

El primer puente metálico fue el de Coalbrookdale, también llamado Iron Bridge, sobre el río Severn, en Gran Bretaña ya citado. Su realización requirió la colaboración de distintos profesionales: El proyecto lo realizó el arquitecto Thomas

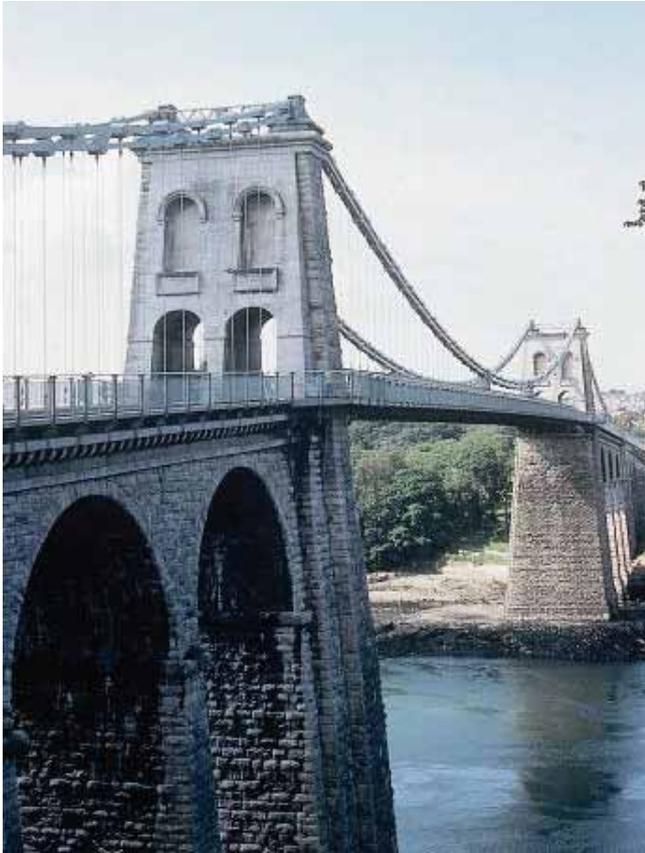
Pritchard, que había construido puentes de piedra. Las piezas del puente se fabricaron en la legendaria fundición de los Darby, situada precisamente en Coalbrookdale. Y por último el montaje del puente lo hizo John Wilkinson, un maestro de fundición con larga experiencia. Es un arco de medio punto de 30 metros de luz con ideas poco claras en la forma de aligerar los tímpanos; sin embargo es un hermoso puente.

En 1796, 17 años después de la construcción del puente de Coalbrookdale, se construyeron dos nuevos puentes metálicos, el de Buildwas también sobre el río Severn, un arco de 40 metros de luz, proyecto de Thomas Telford, fabricado también en la fundición de los Darby, y el puente de Sunderland, un arco de 72 metros de luz. Este puente tiene una historia divertida. Las piezas con las que se hizo el arco las ideó y patentó el ingeniero americano Thomas Payne para llevárselas a los Estados Unidos. Payne, además de constructor de puentes fue un político revolucionario, y por ello, al iniciarse la revolución francesa se marchó a París para ser espectador directo del acontecimiento, abandonando en Inglaterra las piezas ya fabricadas, que vendió el fundidor para construir el puente de Sunderland, un arco rebajado de 72 metros de luz.

Vamos a ver algunos de los ingenieros del siglo XIX que han tenido mayor trascendencia en los puentes de ese siglo.

### Thomas Telford

Thomas Telford es uno de los ingenieros más brillantes de la Historia, cuyo nombre estará siempre asociado



Puente colgante sobre el estrecho de Menay, Thomas Telford. 1826

al desarrollo inicial de los puentes metálicos. Escocés de origen humilde, recorrió todos los oficios de la construcción. Empezó de aprendiz de cantero y terminó como director del transporte por carreteras y canales de Inglaterra y Escocia. En sus puentes utilizó diferentes materiales, piedra, madera y hierro, y los distintos tipos de estructuras que se conocían en su tiempo: arcos, vigas y puentes colgantes.

En todas sus obras hay una búsqueda de la belleza, y esta preocupación se refleja en sus memorias. Construyó puentes de piedra de la categoría del puente de Bradley sobre el río Severn, el puente Dean en Edimburgo y del puente Over cerca de Gloucester también sobre el Severn, con una luz de 45,7 metros.

Pero la mayor aportación de Telford es en los puentes metálicos. En 1796 construyó el puente de Buildwas ya citado, y el primer puente viga metálico, el acueducto de

Longdon Upon Tern de 56 metros de luz. Es una viga de alma llena apoyada en jабalcones; el despiece de las chapas lo hizo en forma de dovelas de un arco plano, lo que da lugar a un buen funcionamiento de las juntas.

En 1802 construyó el puente de Bonnar en Escocia, un arco de 45,5 metros de luz con una concepción de la estructura más correcta que el de Buidwas. El arco está claramente definido mediante dos barras concéntricas unidas por cruces de San Andrés y montantes que le da rigidez a flexión. La unión del arco y el tablero se hace mediante una celosía abierta. Construyó varios puentes análogos a éste, con luces comprendidas entre 45 y 52 m.

En 1805 terminó el acueducto de Pontcysyllte sobre el río Dee con altura de pilas de más de 30 metros y más de 300 metros de longitud, una de las obras más impresionantes de Telford. El canal y los arcos de 13,7 m de luz sobre los que se apoya, son metálicos que a su vez se apoyan en pilas de piedra.

Por último citamos otra de sus grandes obras: el puente colgante sobre el estrecho de Menay de 177 metros de luz construido en 1826 que supuso un paso de gigante en los puentes colgantes. El mismo año terminó también el puente de Conway, otro puente colgante de 100 metros de luz.

### Samuel Brown

Uno de los ingenieros que más contribuyó al desarrollo de los puentes colgantes ingleses fue el capitán Samuel Brown. En 1820 construyó el Union Bridge sobre el río Tweed entre Escocia e Inglaterra de 137 metros de luz, un avance significativo sobre los anteriores, de luces mucho menores. Se conserva hoy en día reforzado con cables y péndolas adicionales y vigas metálicas de rigidez en el tablero.

Los puentes colgantes del siglo XIX tuvieron muchos problemas debidos muchos de ellos a la falta de rigidez del tablero. Esto ocurrió en el puente sobre el río Tees para ferrocarril de 85 metros de luz construido en 1830 por Samuel Brown en los orígenes del ferrocarril en Inglaterra. Las flechas que se produjeron durante la prueba de carga fueron tan grandes que obligaron a apoyarlo en pilas de madera provisionales y se sustituyó 12 años después.

### Robert Stephenson

Robert Stephenson es otro de los grandes ingenieros de puentes ingleses del siglo XIX. Sus obras más importantes



**Puente Britannia sobre los estrechos de Menay, Robert Stephenson. 1850**

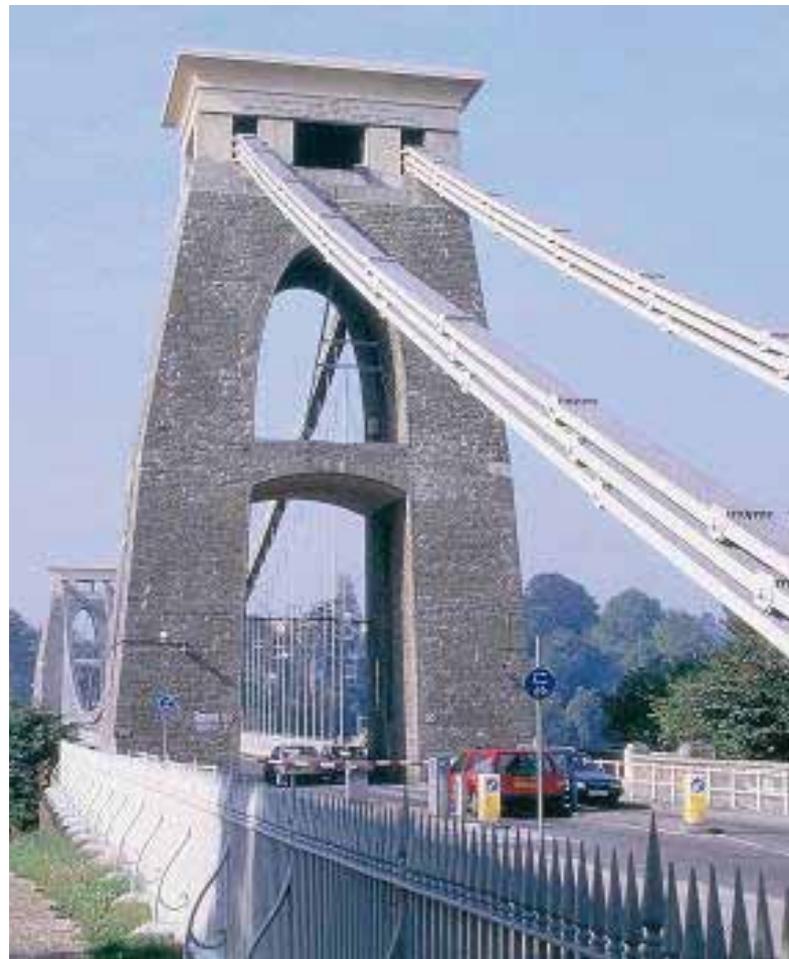
son los puentes con vigas cajón de alma llena en los que el ferrocarril circula por su interior. Son los primeros puentes viga de gran envergadura que se construyeron. El puente de Conway, construido en 1849 tiene un vano único de 125 metros de luz, y el puente Britania, al que ya nos hemos referido, terminado en 1850, tiene cuatro vanos de  $70+2 \times 140+70$  metros. Es uno de los puentes más innovadores de la historia: En primer lugar por su estructura, vigas cajones de alma llena; en segundo por su material, es la primera vez se utilizó el hierro forjado en una obra de grandes dimensiones; en tercero por su construcción porque los vanos centrales se hicieron en la orilla, se llevaron por flotación y se elevaron con gatos.

### **Isambard Kingdom Brunel**

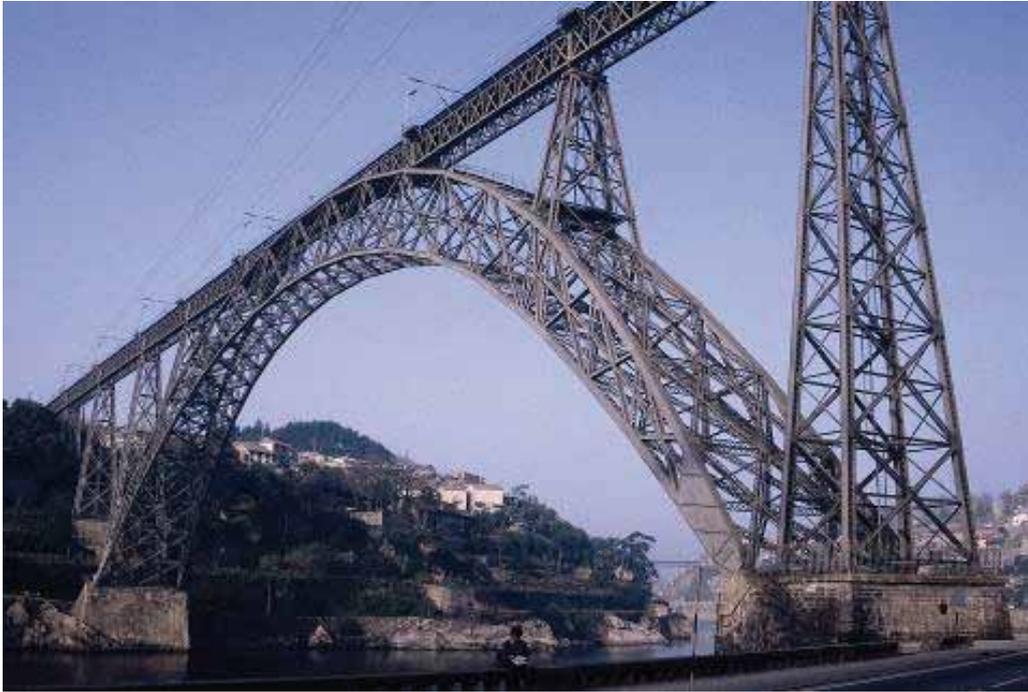
Otro de los grandes ingenieros ingleses fue Isambard Kingdom Brunel, un ingeniero polifacético como Telford, que construyó obras ferroviarias de todo tipo. Hizo puentes de piedra, ladrillo, de madera y metálicos.

De madera construyó innumerables viaductos de ferrocarril. Es probablemente el más importante de los constructores ingleses de puentes de madera. Investigó sobre su comportamiento resistente y sobre su protección. Brunel construyó más de 60 viaductos de madera, algunos con longitudes de más de 400 metros, luces de más de 30 metros y altura de pilas que llegan a los 50 metros.

En 1859 terminó el Royal Albert sobre el río Tamar, un puente metálico con dos vanos de 132 metros de luz. Tiene dos arcos superiores de sección tubular elíptica, con tirantes curvos



**Puente de Clifton sobre el río Avon, Isambard Kingdom Brunel. 1865**



**Puente de Maria Pia sobre el río Duero en Oporto, Gustave Eiffel. 1877**

inferiores con los que se consigue que se sumen los efectos de las flechas de los dos arcos de curvaturas opuestas.

El más conocido de los puentes de Brunel es el colgante de Clifton de 214 metros de luz, terminado en 1865, ya citado. Es uno de los grandes puentes colgantes del siglo XIX.

### **Gustave Eiffel**

Entre los ingenieros franceses hemos de destacar la figura de Gustave Eiffel. Sus obras son de las más potentes de la historia de la ingeniería, pero en muchas de ellas que se le atribuyen, actuó de constructor, y en otras tuvo colaboradores de gran categoría como Teophile Seyrig, Leon Boyer o Maurice Koechlin.

Construyó grandes arcos que fueron en su momento los mayores del mundo. Primero el de Maria Pia sobre el Duero en Oporto, un puente de ferrocarril de 160 metros de luz construido en 1877. El éxito del puente de Maria Pia llevó a modificar el trazado de la línea Marvejol-Neussargues para reducir el trayecto, y esto obligaba a construir un viaducto de dimensiones análogas al de Oporto. El viaducto de Garabit de 166 metros de luz, terminado en 1884 es, después de la torre Eiffel, la obra más conocida de su autor.

Además de estos dos arcos construyó muchos puentes viga de grandes dimensiones. Son de destacar los viaductos del macizo central francés, el de Neuvial y el de Rouzat que se atribuyen a Eiffel, pero que forman parte de un conjunto cuyo proyecto dirigió el ingeniero de origen alemán W. Nordling, formado en la escuela Politécnica de París. Otros grandes viaductos de Eiffel son el de Cubzag, sustitución de un puente colgante, donde por primera vez se utilizó el sistema de construcción de vigas por voladizos sucesivos en Francia, y el viaducto de Evaux con una luz máxima de 100 metros.

### **Charles Ellet**

Charles Ellet estudió en la escuela de Ponts et Chaussées de París, y en ella adquirió una firma base teórica con profesores como Navier, y también un enorme entusiasmo por los puentes colgantes. El primero que construyó fue el de Fiarmon Park sobre el río Schuykill cerca de Filadelfia, de 109 metros de luz. El más grande de los que hizo fue el puente de Wheeling sobre el río Ohio de 308 metros de luz construido en 1849.

### **John Augustus Roebling**

Uno de los ingenieros que más han aportado al mundo de los puentes colgantes, fue John Augustus Roebling, ingeniero de origen alemán, que emigró a los Estados Unidos donde



**Puente de Brooklyn sobre el East River en Nueva York, John Augustus Roebling. 1883**

desarrolló toda su labor de constructor y fabricante de cables.

Sus planteamientos innovadores sobre la estructura de los puentes colgantes y sus nuevos procedimientos de construcción dieron lugar al paso de la segunda generación de los puentes colgantes a la tercera, cuyo desarrollo en los Estados Unidos dio lugar a la Edad de Oro de los puentes en ese país, que comprende la primera mitad del siglo XX.

En primer lugar planteó aumentar considerablemente la rigidez del tablero mediante vigas metálicas de un canto mayor de las utilizadas hasta entonces. Y en segundo lugar superpuso tirantes a las péndolas en las zonas del tablero próximas a las torres, lo que aumenta considerablemente la rigidez del conjunto, porque son las zonas donde el tablero del puente colgante se comporta peor para sobrecargas parciales.

Estos planteamientos le permitieron hacer el puente del Niágara de 250 metros de luz, con doble tablero para carretera y ferrocarril, y convencer a las autoridades de que era posible hacer un puente colgante para ferrocarril de lo que había muchas dudas.

En el puente del Niágara desarrolló el sistema de montaje de los cables principales mediante devanado hilo a hilo mediante poleas móviles, sistema que se ha seguido utilizando hasta nuestros días y ha permitido llegar a las luces actuales de los puentes colgantes. Otro de sus grandes puentes colgantes es el de Covington-Cincinnati sobre el río Ohio de 322 metros de luz.

El puente de Brooklyn sobre el East River en Nueva York es su principal obra, uno de los más conocidos del mundo y de mayor significación en la historia de los puentes. Pero Roebling no pudo ver su puente terminado; murió en 1869 cuando se estaban iniciando las obras. Se hizo cargo de ellas su hijo Washington Roebling y se terminaron en 1883. El puente de Brooklyn con 468 metros de luz, es el mayor de los puentes colgantes del siglo XIX.

#### **José Eugenio Ribera**

En España, el ingeniero que más se aproximó a los grandes ingenieros del siglo XIX fue José Eugenio Ribera, que desarrolló su trabajo a principios del siglo XX. Empezó su trabajo en la administración y en ella proyectó el viaducto de Pino, un arco metálico de 120 metros de luz, proyectado en el siglo XIX, pero construido en el siglo XX.



Puente de Amposta sobre el río Duero, José Eugenio Ribera. 1914

Ribera se salió de la administración y montó una empresa constructora, Hidrocivil, para dedicarse a hacer obras de hormigón armado. Son muchos los puentes que proyectó y construyó Ribera con su empresa. El puente de mayor luz fue el colgante de Amposta de 135 metros de luz terminado en 1914.

### 3. El siglo XX

Los ingenieros del siglo XX continuaron la forma de actuar del siglo XIX, pero poco a poco se fueron especializando, perdiéndose la idea del ingeniero completo, diferenciándose el ingeniero empresario del constructor y del de proyecto.

A finales del siglo XIX apareció el hormigón armado, que se desarrolló a principios del XX. Su desarrollo produjo también una especialización de los ingenieros en uno u otro material, hormigón armado o acero, dando lugar a compartimentos estancos en la ingeniería, casi aislados unos de otros. Los ingenieros que hacían puentes de hormigón sabían poco o nada de estructuras metálicas y viceversa. Buenos ejemplos de ello han sido Maillart, Freyssinet y Finsterwalder del lado del hormigón, y los ingenieros de los grandes puentes americanos de la primera mitad del siglo XX: Ammann, Moisseif o Steinman, del lado del acero.

A mediados del siglo apareció el hormigón pretensado, un sistema que mejora el modo de resistir del hormigón armado y permite llegar a luces mucho más grandes.

Son muchos los grandes ingenieros del siglo XX, entre ellos se pueden destacar los siguientes:

#### Robert Maillart

Robert Maillart creó, en los principios del hormigón armado, uno de los conjuntos de puentes más expresivos y originales de toda la historia del puente; fue además uno de los iniciadores del hormigón armado como sistema resistente. Sus obras y sus escritos reflejan su clara visión de los problemas formales y tecnológicos que se planteaban en este nuevo material. Los arcos de Maillart son y serán siempre uno de los mejores ejemplos de buena ingeniería.

El Puente de Salgina Tobel de 90 metros de luz es uno de los puentes fundamentales en la historia, declarado hace unos años patrimonio de la humanidad. De la misma serie es el puente sobre el río Rossgraben, el puente sobre el río Thur y el puente de Vessy sobre el río Aare.

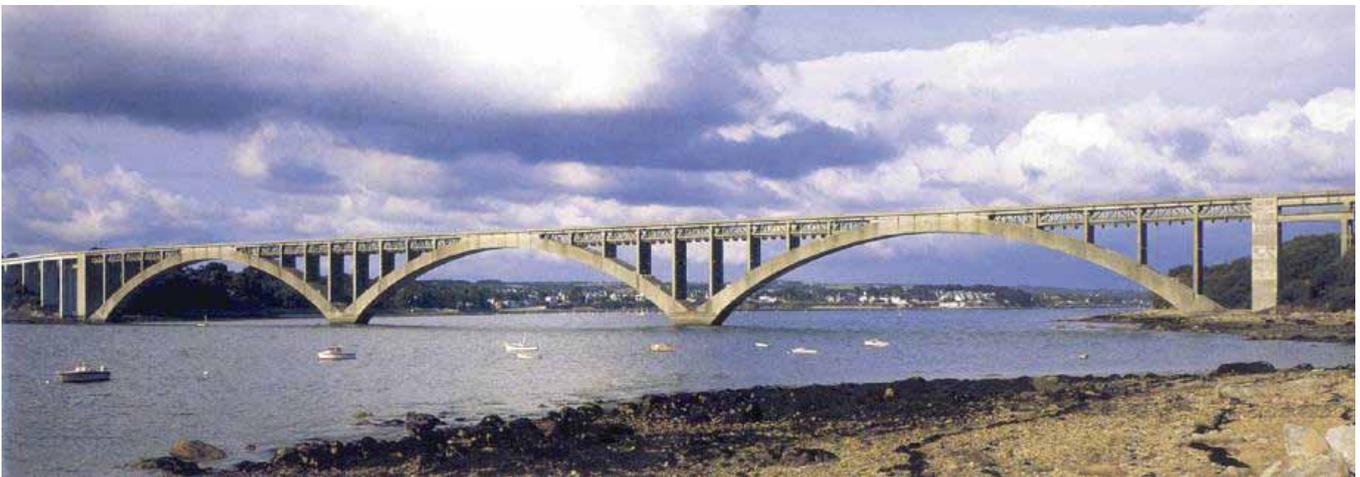
Otras de sus obras originales fueron los arcos delgados, o arcos Maillart como se han conocido siempre, con arco de rigidez mínima y tablero rígido. Es la estructura inversa del puente colgante. De este tipo es el puente del Valle Tschiel, el puente sobre el arroyo Schwandbach, o la pasarela Winthertur.

#### Eugène Freyssinet

Eugène Freyssinet fue otro de los grandes ingenieros de la historia de los puentes. Fue innovador en el hormigón armado, creador del hormigón pretensado, y un gran constructor de puentes. Si bien su mayor significación histórica radica en sus innovaciones técnicas, el puente de Plougastel con tres arcos de 186 metros de luz, los hangares del aeropuerto



Puente de Salgina-Tobel sobre el río Schrau, Robert Maillart. 1930



Puente de Plougastel sobre el río Elorn, Eugène Freyssinet. 1930

de Orly y muchas otras de sus realizaciones, son obras maestras de la ingeniería de todos los tiempos.

Como hemos dicho, fue el iniciador del hormigón pretensado, y algunas de sus primeras obras hechas con este material, el Puente de Luzancy, y la serie de los puentes del Marne de 74 metros de luz, siguen siendo unos de los mejores puentes de hormigón pretensado que se han construido.

#### **Othmar Herman Ammann**

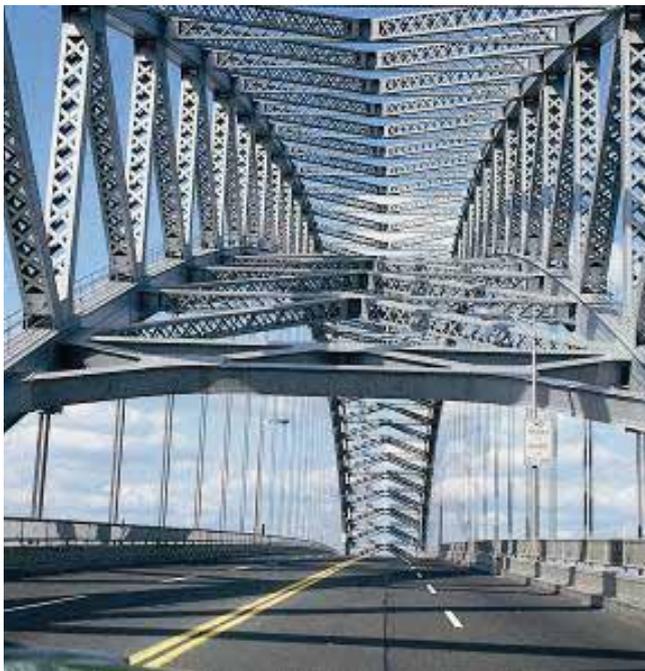
Ammann, ingeniero de origen suizo, estudió en el Politécnico de Zurich, una escuela que ha dado muchos ingenieros de gran categoría, en la misma época que Robert Maillart.

Poco después de terminar sus estudios emigró a Estados Unidos para poder construir grandes puentes, siguiendo la tradición de Roebling, Lindenthal y Modjesky, también ingenieros centroeuropeos que emigraron a América y allí construyeron puentes de grandes dimensiones.

Ammann es probablemente el más brillante de los ingenieros americanos de la primera mitad del siglo XX. Entre sus muchos puentes se puede destacar el puente arco de Bayona de 510 metros de luz; y sus tres grandes puentes colgantes: el George Washington de 1067 metros de luz, construido en 1931, el Bronx-Whitestone de 701 metros de luz, construido en 1939, y el Verrazano Narrows de 1298 metros de luz, construido en



Puente George Washington sobre el río Hudson, Othmar Herman Ammann. 1931



Puente de Bayona sobre el Kill Van Kill en Nueva York,  
Othmar Herman Ammann. 1932

1964, son y serán siempre obras maestras de los puentes colgantes. Los cuatro puentes citados están en Nueva York, donde trabajó toda su vida en la Autoridad del Puerto.

#### **Franz Dischinguer**

Franz Dischinguer, es un ingeniero alemán que hizo obras de hormigón armado, entre ellas el puente de Coblenza sobre el Mosela con tres arcos de 101+114+126 metros de luz. De hormigón pretensado hizo el puente de Aue, el primer puente pretensado alemán, y metálico es el puente de Stromsund en Suecia, el primer puente atirantado moderno. Son muchas sus aportaciones teóricas y prácticas a la ingeniería, pero la fundamental que fue el iniciador de los puentes atirantados a mediados del siglo XX, que se desarrollaron en la segunda mitad de él.

#### **Ulrich Finsterwalder**

Finsterwalder ha sido uno de los ingenieros que más contribuyó a la reconstrucción de los puentes en Alemania después de la Segunda Guerra Mundial, época que se puede considerar la Edad de Oro de los puentes alemanes. Desarrolló el procedimiento de construcción por voladizos sucesivos, y con este sistema construyó muchos puentes de



**Puente de Strömsund (Suecia), Franz Dischinger. 1955**

hormigón pretensado de luces cada vez mayores hasta llegar al puente de Bendorf sobre el Rin de 208 metros de luz, el mejor exponente de los puentes construidos por este sistema.

Toda la vida profesional de Finsterwalder se caracterizó por la búsqueda constante de nuevas soluciones. De ello son buen ejemplo los puentes seta de los que se construyeron varios viaductos urbanos, y el viaducto de Etzal. Y el puente atirantado de la fábrica Hoesch sobre el Main, de 148 metros de luz, uno de los primeros puentes atirantados de hormigón.

#### **Fritz Leonhard**

Igual que Dischinger, Leonhard trabajó en todo tipo de puentes, tanto de acero como de hormigón y de todos los tipos de estructura diferentes. Podemos destacar la iniciación de los puentes empujados de hormigón en el puente sobre el río Caroní en Venezuela.

Construyó muchos puentes atirantados de ambos materiales entre ellos el puente de Manheim-Ludwigshafen sobre el Rin de 287 metros de luz metálico, y también de hormigón, como el puente de Pasco Kenewick en Estados Unidos de 299 metros de luz.

#### **Ricardo Morandi**

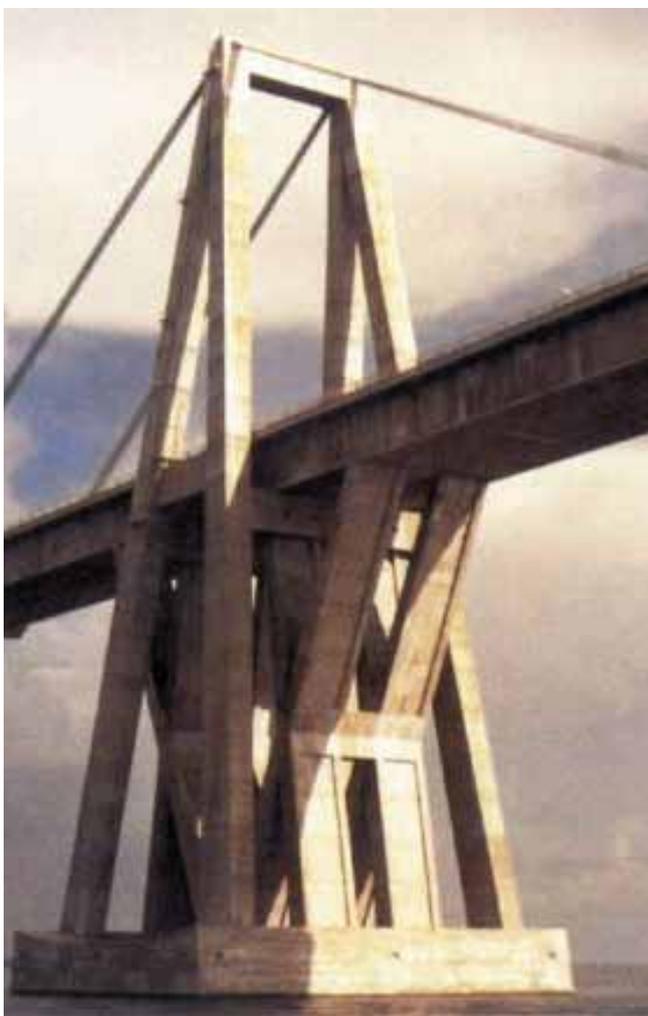
Los puentes de Ricardo Morandi, forman uno de los conjuntos más originales del siglo XX. Se puede considerar que la serie de puentes atirantados que construyó, forman prácticamente ellos solos la primera generación de los puentes atirantados de hormigón. El puente sobre el lago Maracaibo, con cinco vanos atirantados de 235 metros de luz, el viaducto de la



**Puente Hoeschst sobre el río Main, Ulrich Finsterwalder. 1972**



**Viaducto del río Fumarella (Italia), Ricardo Morandi. 1962**



Puente sobre el lago Maracaibo (Venezuela), Ricardo Morandi. 1962

Polcevera en la ciudad de Génova, y el puente de Wadi-Cuf en Libia con un vano principal de 282 metros de luz, son obras fundamentales en la historia del puente.

No solo construyó puentes atirantados, construyó también muchos puentes arco, como el puente sobre el río Storm en Sudáfrica de 100 metros de luz, con su original proceso de construcción, porque construyó los semiarcos en posición casi vertical y luego los abatió hasta unirlos en la clave, y el viaducto de la Fiumarella de 231 metros de luz.

Otro de sus grandes puentes es el viaducto de Kinnaird sobre el río Columbia en Canadá con vanos de 80 metros de luz.



Puente de Wadi Cuf (Libia), Ricardo Morandi. 1971

#### 4. Los constructores de puentes del siglo XXI

El siglo XXI está en sus comienzos y por ello es difícil especular lo que van a ser los ingenieros de este siglo. Únicamente se pueden plantear algunas tendencias del final del siglo XX que se mantienen actualmente. La aparición del ordenador en la segunda mitad del siglo XX como instrumento para cualquier tipo de cálculo, ha dado unas posibilidades cuasi ilimitadas al estudio de las estructuras y su optimización. Este avance se puede considerar un salto cualitativo en el dominio del cálculo de las estructuras, y esto está llevando en muchas ocasiones a una disociación en el proyecto de los puentes, con la búsqueda de la forma como elemento prioritario y excluyente. También se ha producido un extraordinario desarrollo de los diferentes tipos de estructuras, recuperando incluso algunos que se habían perdido como por ejemplo los puentes triangulados.

Pier Luigi Nervi, ingeniero y arquitecto italiano, escribió en 1961 las siguientes palabras que predicen con extraordinaria lucidez uno de los problemas que se están planteando actualmente en las estructuras en general y en los puentes en particular:

“Es necesario no olvidar que la riqueza de las soluciones estáticas hechas posibles por la precisión de los sistemas de cálculo y por las cualidades de los materiales puede conducir a esquemas estáticos antinaturales, es decir, a una arquitectura de estructuras que, en lugar de desarrollarse por un pensamiento lógico, resultado de los términos: belleza, armonía y sensibilidad, provienen de leyes impersonales del mundo estático a las cuales se les obliga a hacer acrobacias exhibicionistas”. **ROP**