

La Ingeniería de los Puentes

POR

RAÚL SIMÓN

- 1) El desarrollo de los medios de transporte.—2) Puentes de la época romana. - 3) Puentes de la Edad Media.—4) Puentes del Renacimiento.—5) Puentes del siglo XVIII.—6) Puentes metálicos.

1) El desarrollo de los medios de transporte.

El siglo XIX ha producido una transformación total en la industria y el comercio. Y ella ha sido tan enorme, que, entre los tiempos presentes y la época de Napoleón, hay mayores diferencias que entre esta misma época y el tiempo de los primeros faraones.

Esta transformación económica del mundo fué la consecuencia del progreso de las ciencias físicas y químicas y del desarrollo de sus aplicaciones prácticas. Esta no fué la obra de un país ni de una raza. Fué la obra de sabios e inventores del mundo entero.

La transformación comienza a partir de 1815, precipitándose hacia 1840, y alcanzando hoy día su velocidad máxima.

En general, se puede decir que la cualidad característica de los tiempos modernos ha sido la utilización de la *fuerza motriz* y el desarrollo de los *medios de transporte*. El siglo XIX ha sido el siglo de la *ingeniería*. Porque la ingeniería consiste en aprovechar las fuerzas de la naturaleza en bien de la humanidad. El calor, la electricidad, la fuerza de expansión de los gases, no son más que formas *aprovechables* de esa gran fuente natural que se llama la *energía*.

¿Qué valen las investigaciones metafísicas de la Antigüedad y la Edad Media ante la enorme labor filosófica y *social* de la ciencia moderna y positiva? La lucha por la vida es un problema cada vez menos inquietante. El desarrollo de los medios de transporte ha interesado a todas las regiones de la tierra en una obra de *mútua ayuda por la vida*.

A principios del siglo XIX el norteamericano *Fulton* establecía la navegación a vapor remontando el Hudson de Nueva York a Albany.

En 1913 la Hamburg-American lanzaba el *Vaterland*, de 93 000 caballos de potencia, 54 500 toneladas de desplazamiento y comodidades para 5 000 pasajeros.

En 1802, en una explotación minera del país de Gales, se hizo circular sobre rieles una especie de automóvil a vapor. Ese fué el primer ferrocarril. Poco después *Stephenson* inventaba la locomotora, y en 1830, entre Liverpool y Manchester circulaba el primer tren de pasajeros a una velocidad de 14 km. por hora.

Hoy día tenemos en el mundo 950 000 km. de vías férreas. De estas vías muchas son trascontinentales, como el *Oriente Express*, que pone a Constantinopla a 3 días de París; el *Norte Express*, que une a París con Moscou; el *Central Pacific*, que une a Nueva York con San Francisco; el *Transandino*, que une a Buenos Aires con Valparaíso; el *Transiberiano*, prolongado por el *Transmandchuriano* hasta el mar de la China; el *Transafricano*, del Cairo al Cabo, todavía en construcción, etc., etc.

La construcción de estas vías sólo ha sido posible por el progreso de la metalurgia y el perfeccionamiento de los medios mecánicos. Junto con las enormes locomotoras, ha sido preciso construir túneles, viaductos y puentes.

La construcción de puentes, sobre todo, ha sido revolucionada y llevada a extremos increíbles por las condiciones impuestas por el tráfico de trenes.

Este artículo tiene por objeto estudiar el desarrollo de la construcción de los puentes desde la antigüedad a nuestros días.

2) Puentes de la época Romana.

De los pueblos antiguos sólo el romano nos ha dejado algunas construcciones de puentes. Los escritores romanos nos han hecho la descripción de algunos puentes de madera, como el *Puente Sublicio*, sobre el Tiber. La Columna Trajana lleva un bajo relieve que representa un puente de arcos de madera construido sobre el Danubio. Pero el más elocuente testimonio de la grandeza y habilidad constructiva de los romanos está en sus puentes de piedra. Basta recordar los cinco puentes de arcadas que atraviesan el Tiber, el acueducto de la Campiña Romana y el grandioso acueducto de Nimes, conocido generalmente con el nombre de *Puente del Gard*.

La arquitectura romana ha cubierto al mundo de grandes monumentos: templos, termas, teatros, circos, anfiteatros, arcos de triunfos, columnas, acueductos, puentes, caminos, son elocuentes testigos de la grandeza y prosperidad del Imperio. Los templos y los teatros están inspirados en los modelos griegos, pero los coliseos, los arcos de triunfo, los acueductos y los puentes son esencialmente romanos. Aun más, son la supervivencia de la primitiva arquitectura indígena italiana. En efecto, el arco de semicírculo, tan usado en los puentes y arcos triunfales, tuvo su primer uso en las puertas de las ciudades etruscas.

El puente romano se caracteriza por el uso exclusivo del arco de semicírculo; por el gran espesor de los machones y por la decoración sobria, lógica y severa. Como puente típico puede citarse el *Puente Augusto* en Rímini. La mayor luz (espacio libre entre machones) alcanzada por un arco de puente romano es de 34 m. y pertenece al puente de Narmi.

3) Puentes de la Edad Media

Los puentes romanos fueron destruidos en gran parte por las invasiones germánicas. Formadas en Europa las nuevas nacionalidades con nuevos elementos étnicos y sociales, pronto tuvo lugar el nacimiento de un nuevo arte que se apartó por completo de la antigüedad clásica. Este nuevo arte, que reinó definitivamente en el último tercio de la edad media, es el que se ha designado con el nombre de *gótico* o *francés*.

Los puentes de la Edad Media participan del arte gótico y del régimen feudal.

El puente de la Edad Media está defendido y cubierto como un castillo. La fuerza y sobriedad del arco romano fueron substituidas por la elegancia y atrevimiento del arco de ojiva. Como en los templos, las construcciones fueron más ligeras y más audaces. La luz máxima de 34 metros, alcanzada por los romanos, fué elevada a 72 metros por el *Puente de Trezzo*, sobre el Adda, construido en 1377 por Bernabó Visconti, y destruido en 1417 por los defensores del castillo de Trezzo. Alcanzaba a 45 metros de altura, con 20,70 m. de flecha de intrados, y mantenía el récord de 72,25 m. de luz.

4) Puentes del Renacimiento

Este período va del siglo XVI al XVII. En la construcción de puentes se trata de volver al estilo clásico romano, haciéndolo, sin embargo, más rico y más variado. Giocondo de Verona construyó en Italia el puente *Corvo*, con arcadas de 28 m. de luz, y fué llamado en seguida a París a fin de llevar a cabo la ejecución de los puentes de *Nótre Dame* y de *Saint Mihiel*.

Los puentes ejecutados en este período se distinguen por su elegancia y por el trabajo de detalle arquitectónico. Merecen especial mención el puente de *Santa Trinitá*, en Firenze; el puente de *Rialto*, en Venecia; y el viaducto de *Ronda*, en España, alto de 140 m. sobre el fondo del valle.

5) Puentes del siglo XVIII

En este siglo nace la ciencia de la construcción de puentes, la cual tuvo un gran incremento con la constitución del *Cuerpo de Ingenieros de Puentes y Galzadas*, organizado en Francia en 1716. El fundador de esta institución fué el inge-

niero *Peronnet*, a quien débese principalmente el estudio experimental y teórico de las bóvedas. Peronet fué el primero en establecer la utilización racional del material, logrando así una mayor estética y una mayor economía. La obra maestra de Peronet fué el puente de *Neully*, sobre el Sena, hermosa construcción de arcos de piedra con 34 m. de luz.

En esta época se desarrolló además la construcción de puentes de madera, especialmente en Suiza y en Baviera, alcanzando el puente de *Weltingen* a 119 metros de luz.

Últimamente los puentes de piedra y mampostería han empezado a reemplazarse por los de hormigón armado. El nuevo procedimiento permite una mayor ligereza en la ejecución y una gran variedad de tipos de puente. La flecha de los arcos ha podido rebajarse hasta un décimo de la luz, lográndose así la posibilidad de usar grandes luces con poca altura disponible. En Roma, sobre el Tíber, se concluyó, en 1911, un hermoso puente formado por un único arco de hormigón armado con 100 m. de luz y 10 m. de flecha.

El siglo XIX fué caracterizado por el desarrollo de los ferrocarriles y por el establecimiento de las grandes industrias elaboradoras del fierro y el acero. Por otra parte, el cálculo de puentes permitió la adopción de nuevos tipos de construcción, basados en las condiciones de resistencia y mayor aprovechamiento del material.

El advenimiento de las grandes construcciones de fierro tiene lugar con la ejecución del puente cajón *Britannia*, debido a Stephenson. El puente está constituido por cuatro tramos cuyas luces son, respectivamente, 70, 140, 140, 70 m., formando todos ellos una viga continua en forma de cajón rectangular.

Poco después, con el acero dulce Siemens Martins, seguido del acero Thomas, fué posible pasar con los *sistemas enrejados*, de los 500 m. de luz.

El *Puente del Forth*, en Escocia, cerca de Edimburgo, es un ejemplo de las prodigiosas *obras de arte* a que ha obligado el desarrollo de los ferrocarriles y que han hecho posible los admirables progresos de la metalurgia en el siglo XIX. Fué construido desde 1883 a 1890. Es del tipo *consola* o *cantilever*, ejecutado con acero. Su largo total es de 1 600 m. con tramos de 500 m. de luz y lo suficientemente alto para que los más grandes veleros puedan pasar libremente bajo el puente. Se emplearon en su ejecución 53 000 toneladas de acero dulce.

En muchos otros países fué empleado este tipo de consola para grandes luces. La tentativa más audaz fué hecha en el *San Lorenzo*, para el cual se terminó, en 1917, un gran puente consola, con luz de 548,6 m., siendo ésta la luz máxima alcanzada hasta hoy día en todo el mundo.

En la construcción de *arcos metálicos* el progreso fué tal, que muy pronto se superaron las luces de 150 m. En Europa hay 9 puentes con arcos de 150 a 157 m. En el *Nidgara* existe un arco de 167,75 m. y otro de 264,60 m. El record corresponde al puente de *Hell Gate*, en Nueva York, con 298 m. de luz.

Los *puentes suspendidos*, recomendables para grandes luces, han sido usados

con magnífico éxito en Nueva York, para unir los barrios de *Manhattan* y *Brooklyn*, al través del *East River*. Existen tres, terminados a partir de 1883. Son el *Brooklyn Bridge*, el *Manhattan Bridge* y el *Williamsburg Bridge*.

Los tres son de costo y dimensiones más o menos iguales.

El *Williamsburg Bridge* fué construido en el periodo 1895-1903. El puente lleva un tramo central de 487,68 m. de luz, suspendido por cuatro cables de 0,458 m. de diámetro. El largo total del puente alcanza a 2 160 m. con un ancho de 36 m. Se emplearon 41 634 toneladas de acero, siendo su costo aproximado de 10 000 000 de dólares.

Los puentes de Brooklyn, el puente del Forth, el de San Lorenzo, el de Hell Gate y la Torre de Eiffel, pueden considerarse como las obras maestras de la ingeniería.

Habrán obras de mayor aliento, como los canales de Suez o Panamá. Podrán valer más millones en trabajo y en dinero. Pero ninguna obra de ingeniería realiza mejor que un puente metálico la síntesis de la teoría con la práctica y de la inteligencia con la fuerza.

Un puente moderno es una obra de lógica. Luego, es una obra de arte.