

LOS



PUENTES

ÍNDICE

Introducción Pág. 3

Tipos y materiales Pág. 3

Puentes de vigas rectas Pág. 4

Puentes de arco Pág. 6

Puentes colgantes Pág. 7

Puentes más conocidos Pág. 9

Bibliografía Pág. 12

Introducción.

El puente es una estructura que salva un obstáculo, sea río, foso, barranco o vía de comunicación natural o artificial, y que permite el paso de peatones, animales o vehículos.

Todos los puentes se basan en modelos naturales, a los que, conforme la tecnología ha ido avanzando, se han incorporado nuevas formas de resolver los mismos problemas. A partir de un tronco derribado sobre un cauce, una piedra desprendida de una ladera o una maraña de lianas y enredaderas tendidas sobre un barranco, que desde siempre han servido para salvar accidentes naturales, se ha montado una ciencia que es parte importante de las aplicaciones de la ingeniería civil: el proyecto y construcción de puentes.

Tipos y materiales.

Los puentes pueden clasificarse en tres tipos fundamentales, de vigas rectas, de arco o colgantes, si se atiende exclusivamente a la acción que ejercen sobre el terreno en que se apoyan, que es consecuencia de la forma de trabajo de las estructuras que lo componen.

En el primer caso, puentes de vigas rectas, los elementos estructurales resistentes, las vigas, transmiten su carga a los apoyos ejerciendo acciones verticales, normalmente descendentes. El ejemplo natural es el tronco de árbol o la losa de piedra tendidos a través de un arroyo apoyados en ambas orillas. A partir de este ejemplo, los progresos en la técnica de los materiales y su conocimiento han ido dando lugar a otras formas más complejas, pero que responden a una misma idea: los tramos en voladizo, los puentes basculantes, los levadizos o los tendidos sobre apoyos flotantes.

El puente de arco tuvo posiblemente su origen en la observación del cierre de una garganta natural por desprendimiento de grandes masas de piedras sueltas que, apoyándose unas en otras y sobre las paredes del barranco, dejaban un hueco entre ellas para el paso inferior. La mejora del apoyo entre esas piedras dio origen a las dovelas y al nacimiento del arco de elementos independientes. Su característica más importante es el empuje horizontal que ejerce sobre los apoyos. En estos puentes, el arco es el elemento que sustenta la vía de paso, o tablero. Se han construido puentes con el tablero en posición superior, inferior o intermedia con respecto al arco, pero siempre se ha de disponer de estribos capaces de absorber los empujes creados por los arcos.

En cuanto al tercer grupo, los puentes colgantes, se origina a partir de las marañas naturales de lianas y enredaderas que cierran espacios entre árboles o barrancos. Una liana entre dos troncos es un modelo para tender una cuerda entre dos orillas y luego otras más que sirve de apoyo a manos y pies, facilitando así el paso. El rasgo que diferencia este puente de los anteriores es la reacción del elemento resistente, el cable, que tira de los puntos de anclaje y ejerce una tracción casi horizontal. El conocimiento de materiales de mayor resistencia a la tracción que las tradicionales cuerdas de fibra vegetal ha permitido cubrir vanos cada vez mayores, hasta llegar a ser hoy el tipo de puente que ostenta el récord de luz cubierta.

Los materiales empleados en la construcción de puentes han sido sucesivamente la madera, las piedras y las fibras vegetales naturales, que fueron dando paso a los ladrillos, al hormigón, al hierro, al acero, al hormigón armado y, finalmente, al hormigón pretensado, en la actualidad el que más se emplea, atendiendo a la suma de longitudes de tramos cubiertos.

Cada uno de estos materiales tiene características que aconsejan su uso específico. Así, los puentes de vigas rectas, en sus diversas variantes, han pasado de la madera al hierro, al acero, al hormigón armado y recientemente al pretensado, teniendo siempre en cuenta la necesidad de soportar los esfuerzos de flexión y, por tanto, de tracción y compresión que se originan en este tipo de vigas. Los puentes de arco se desplazaron de la cal y canto y los sillares o mampuestos al hierro, al acero y al hormigón (en mesa o armado), pasando por los entramados de celosía de madera. El puente colgante ha sido más parco en el empleo de materiales: de las primeras fibras vegetales ha pasado a las cadenas de hierro y a los cables de acero, únicos materiales capaces de resistir los esfuerzos de tracción que se originan en los elementos principales de suspensión. En la formación del tablero de los puentes colgantes se han empleado la madera, el hierro, el acero y el hormigón en mesa y armado, en una gran variedad de formas constructivas.

Puentes de vigas rectas.

Este tipo de puente es probablemente el más primitivo realizado por el hombre, en su versión de una losa o un tronco tendido a través de un arroyo. Estos serían los antepasados de los puentes de piedras amontonadas que aun se encuentran en las cercanías de Dartmoor, Inglaterra, o de los puentes de madera de la región sudeste de Cornwall, también en Inglaterra.



Entre los primeros medios para aumentar el vano cubierto por un puente figura el tramo compuesto de voladizos que se extienden desde los apoyos y que soportan una viga suspendida entre ellos, formando el conocido puente en voladizo (cantiléver). Los ejemplos más primitivos pueden contemplarse en el Tibet o en Cachemira, contruidos en madera. Dos pilares, cimentados en el lecho del río y próximos a las villas, están formados por un apilamiento de troncos desbastados, cruzados unos sobre otros en una disposición de base cuadrada. A medida que aumenta la altura, va creciendo la longitud de los troncos colocados transversalmente al río, lo que da origen a unos voladizos que avanzan desde los pilares hacia las villas y hacia el centro del cauce. Los primeros han de estar anclados sobre el terreno, a fin de resistir los esfuerzos de elevación que actúan sobre ellos, pero los voladizos que avanzan hacia el centro del cauce pueden prolongarse hasta que se encuentren, o bien se cierra el espacio entre ellos colocando, de un voladizo a otro, troncos

que forman el tramo suspendido característico de los puentes cantiléver.

A partir de los diseños de Andrea Palladio, arquitecto italiano del siglo XVI, se comenzó a utilizar en la construcción de puentes estructuras de vigas de celosía de madera. De tales diseños nacen los puentes cubiertos de los siglos XVIII y XIX, a los cuales ya se aplican los descubrimientos de otros grandes científicos como Galileo y Nooke.

El siguiente paso fue el empleo de materiales de fundición en los puentes de celosía, para las barras que componen las celdas. Estas piezas de fundición eran remachadas entre sí para componer la estructura resistente. El primer puente cantiléver, de tramos continuos y cantiléver alternados, fue construido en

Hassfurt, Alemania, sobre el río Main en 1867.

El hierro forjado supuso un notable progreso, pues permitía formar estructuras de mayor envergadura debido a sus mejores características, principalmente la de que sus parámetros resistentes eran mas constantes, no obstante el elevado coste de ese material limitaba sus posibilidades de aplicación. El procedimiento Bessemer de fabricación de acero, conseguido en 1856, permitió producir este material en cantidades masivas. El acero tiene las grandes ventajas de que su calidad es uniforme y que se puede prever cuales serán sus propiedades en función de esta calidad. La laminación de perfiles de grandes secciones constantes hizo avanzar la tecnología de las complejas estructuras de celosía, empalmando los entramados mediante roblones o tornillos.

El tipo de puente mas empleado es, sin duda alguna, el de vigas rectas. La acción de las cargas es soportada por las tensiones internas provocadas por la flexión en el material. En el caso de una viga simplemente apoyada, que descansa sobre dos apoyos (en sus extremos), cualquier carga de acción vertical descendente hace trabajar a tracción la parte inferior de la viga, y a compresión la parte superior, y estas tensiones dan origen a un momento suficiente para contrarrestar el momento flector y soportar la carga.

Puentes de arco.

Estos puentes alcanzan gran esplendor en tiempos de los romanos. Sus arcos de medio punto de sillería han llegado hasta nuestros días en gran numero de ejemplares, entre los cuales cabe destacar el de Alcántara, sobre el Tajo, en España, con arcos de 30 m de luz. La precisión en el labrado de las piedras y dovelas hizo innecesario emplear mortero en los asientos y las juntas.

Los romanos aportaron el uso de un cemento hidráulico natural, llamado puzolana por su inicial procedencia de Pozzuoli, cerca de Nápoles, que les permitió preparar morteros u hormigones adecuados para las cimentaciones sumergidas.

Siguiendo el ejemplo de los romanos, durante la Edad Media y hasta el Renacimiento continuó la construcción de puentes de arco de sillería o de mampostería, que frecuentemente estaban fortificados e incluían capillas, tiendas o garitas de portazgo. El arco de medio punto pasó a ser apuntado o elíptico. Ejemplo de estos es el puente Viejo de Londres, terminado en 1209, con 19 arcos de 7 m de luz que se mantuvieron en pie durante mas de 600 años, y el de Avignon, construido sobre el Ródano, en 1187, con 20 vanos de 30 m de luz.

Los puentes de celosía de madera proyectados por Palladio condujeron a la construcción, en 1779, del primer arco de celosía totalmente metálico: el arco de medio punto de 30 m de luz en Coalbrookdale, Inglaterra.

A mediados del siglo pasado comenzó la construcción de grandes arcos de acero para cubrir vanos cada vez mayores. El primero de ellos fue el puente Eads, sobre el Mississippi, en Saint Louis, Missouri, Estados Unidos.

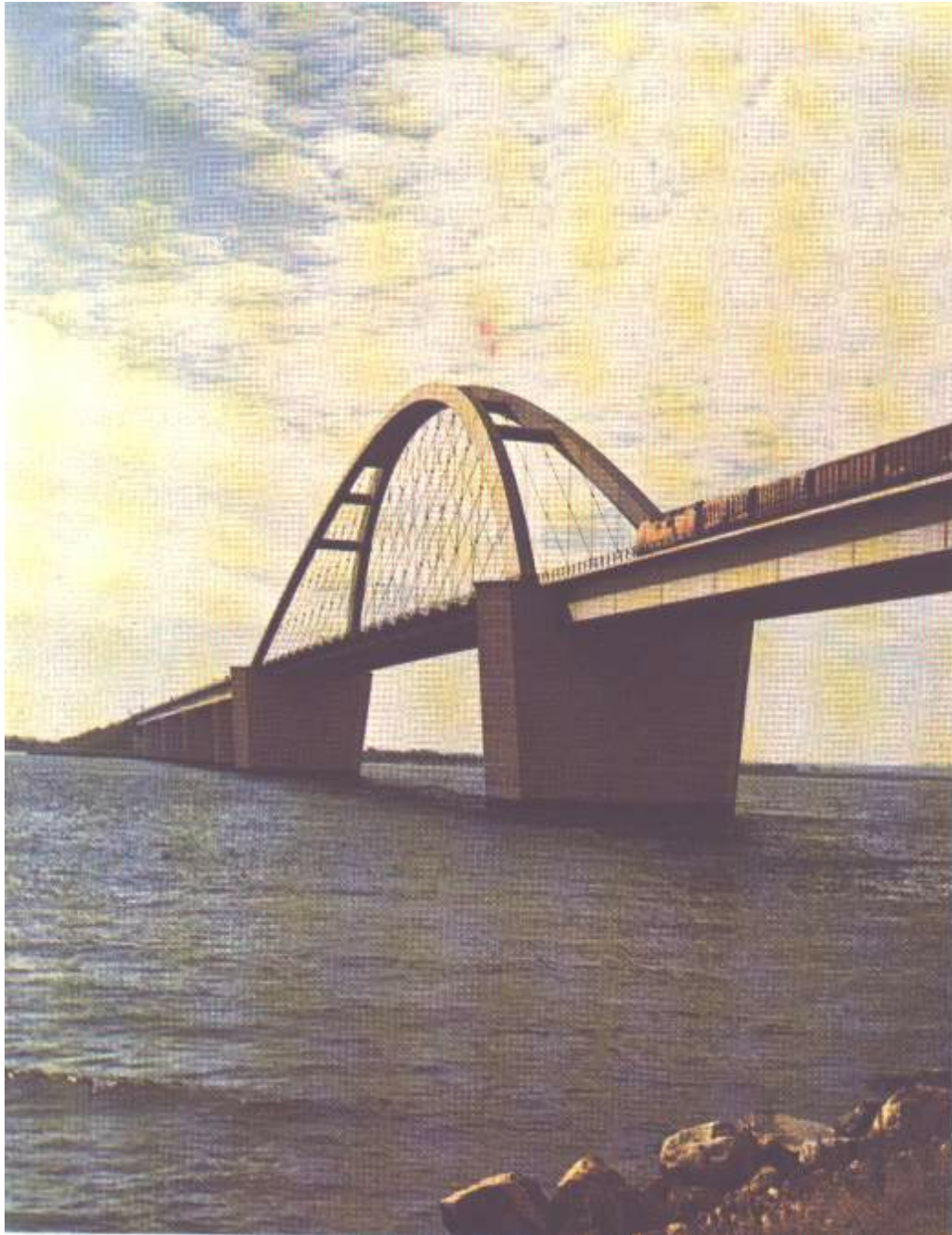
El siglo pasado vio también el nacimiento de los grandes arcos de hormigón armado, el primero de los cuales, inaugurado en 1898 en Châtellerault, Francia, tiene un vano de 52 m, resuelto con tres articulaciones.

Como el arco es una estructura que trabaja intrínsecamente a compresión, ello ha motivado que se construyan pocos arcos de hormigón pretensado. En 1959 se inauguró el puente Luzhnik, en la URSS, de tres arcos atirantados de 45, 108 y 45 m de luz, respectivamente, que puede considerarse dentro de este grupo.

Puentes colgantes.

El hecho de trabajar a tracción todos los componentes principales del puente colgante ha sido causa del escaso desarrollo que ha tenido este tipo de puente hasta el pasado siglo; así, ha permanecido en el estado

primitivo que aun se encuentra en las zonas montañosas de Asia y América del Sur (simples pasarelas formadas por trenzados de fibras vegetales) hasta que se dispuso de materiales de suficiente resistencia y fiabilidad para sustituirlas.



Entre 1820 y 1826, Telford construyó un puente colgante sobre el Menai, en Inglaterra, salvando un vano de 177 m y utilizando como elementos de suspensión dos cadenas de eslabones de hierro forjado; cada uno de ellos fue probado antes de montarlo y fueron tendidas de una vez ambas cadenas, de las cuales se colgó el tablero. La falta de arriostramiento hizo que todo el puente debiera ser montado por dos veces antes de su total reconstrucción en 1940, pero de todos los primeros puentes colgantes del mundo es el que más años ha sobrevivido.

Las cadenas fueron sustituidas por cables por primera vez en un puente francés. La dificultad para conseguir cables de suficiente grosor y longitud que resistieran los enormes esfuerzos de tracción originados por las

cargas en los grandes vanos fue resuelta por John Roebling, americano de origen alemán, quien inventó, en 1841, un procedimiento para formar in situ, a partir de la reunión de alambres paralelos, de hierros forjados, los cables que habían de soportar el puente del Grand Trunk, de 250 m de vano, aguas abajo de las cataratas de Niágara. Así se abrió el camino para la construcción de puentes colgantes cada vez mas largos, el cual culminó en el de Verrazzano Narrows, a la entrada del puerto de Nueva York, sobre un vano de 1.298 m, el mas largo de América, y el de Humber, Inglaterra, con un vano de 1.410 m de luz, el mas largo de Europa.

El puente colgante es, de por si, una estructura de poca rigidez que precisa de medidas especiales encaminadas a proporcionarle la resistencia conveniente a los tipos de cargas que mas le afectan: el viento transversal y el ferrocarril, con sus pesadas cargas móviles concentradas. Para conseguir esta rigidez, el tablero ha de ser reforzado con grandes riostras en celosía, o estar formado por vigas cajón aerodinámicas, y mediante tableros de planchas soldadas a unas vigas cajón, combinación que proporciona la máxima rigidez con mínimo peso.

Puentes más conocidos.

La relación de puentes construidos, existentes o no, en servicio o simples reliquias en pie, es casi interminable, por lo que nos limitaremos a dar unos ejemplos que, en algún sentido, hayan marcado un hito en la historia de esta clase de construcciones.

En la antigüedad se cita un puente de pontones que construyó a través del Helesponto el rey persa Jerjes el año 481 a. de C. Utilizó mas de 600 barcos unidos entre sí y cubiertos de ramajes y sierra para la invasión de Europa con sus ejércitos.

Entre los muchos puentes romanos de piedra se cuentan el ya citado de Alcántara, sobre el Tajo, y el de Sant'Angelo, sobre el Tíber, en Roma, como modelos de supervivencia en buen estado.

El primer puente que salvó un vano de más de 300 m construido sobre el río Ohio en 1849, notable como primer ejemplo de la utilización de cables de acero. Se undió cinco años mas tarde por causa de una tormenta, pero ello no significó un obstáculo para la construcción de puentes cada vez mayores.

Los mayores arcos de acero del mundo son los correspondientes a los puentes de Bayonne, cerca de Nueva York, sobre el Kill van Kull, puente carretero de 504 m de luz, y el construido sobre el puerto de Sydney, en Australia, con una luz de 503 m. Este ultimo se construyó en voladizo desde los pilares atirantando la parte construida desde ellos hasta que se unieron las dos mitades en el centro. Inaugurado en 1932, soporta el tráfico de una carretera de primer orden y un ferrocarril suburbano sobre un tablero de 42 m de anchura.

Entre los arcos de hormigón armado, el mas largo es el de Gladesville, también en Sydney, al que sigue el de la Foz do Iguacu, sobre el río Paraná entre Brasil y Paraguay, con 290 m de luz, y el de la Arrábida en Oporto, sobre el Duero, con una luz de 270 m.

El mayor puente cantiléver se construyó en Quebec, en 1918, para el ferrocarril, con un vano de 549 m sobre el río San Lorenzo. Este puente sufrió dos graves accidentes durante su montaje: el primero fue el colapso del tramo sur del voladizo (unas 20.000 t. de acero), provocado por el pandeo de las chapas del alma y la permanencia de un número excesivo de empalmes sin remachar definitivamente durante el montaje; el segundo accidente consistió en la pérdida del tramo suspendido de 195 m (unas 5.000 t.), que, transportado por flotación, cayó al ser elevado desde el agua hasta su posición definitiva.

A continuación de este, pero en una obra de mayor envergadura total, se encuentra el ya citado sobre el Forth, Escocia, con un doble cantiléver gemelo de 521 m, e inaugurado en 1890, al que sigue el puente de Chester, Estados Unidos, de 505 m de luz a través del río Delaware, terminado en 1971.

El mayor vano cubierto por una viga cajón, trabajando como viga continua, es el de Río-Niterói, de 300 m de

luz, sobre la bahía Guanabara en Río de Janeiro, Brasil, terminado en 1971. Le sigue el de Belgrado, Yugoslavia, sobre el río Sava, inaugurado en 1957, con un vano de 261 m.

No por las luces de sus vanos, sino por su concepción, es digno de mención el puente sobre el valle del Wupper, construido en 1959 en Alemania. Consta de siete vanos que varían entre 44 y 73 m, cubiertos por una estructura compuesta por un tablero de hormigón armado que forma el lado superior de las vigas cajón de forma trapezoidal que lo sustentan.

Entre los puentes cantiléver de hormigón pretensado son famosos el de 208 m de luz de Bendorf, en Koblenza, Alemania; el de Oland, en Suecia, con seis vanos de 130 m, terminado en 1972, y el del Escalda oriental (Oosterschelde), en Holanda, con 55 vanos de 91 m.

También de hormigón pretensado, pero de tablero atirantado, solución que da origen a bellos puentes, debe mencionarse el ya citado de Wadi Kuf, en Libia, con un vano de 300 m, y el General Urdaneta en Maracaibo, Venezuela, con cinco vanos de 236 m.

Entre los puentes de hormigón pretensado de características especiales cabe citar los dos conjuntos de Pontchartrain, Estados Unidos, formados por 2.170 y 2.174 vanos iguales de 17 m, resueltos como vigas simplex, y cuya longitud total es casi de 75 km.

Los puentes metálicos de celosía están representados por el Astoria sobre el río Columbia en Oregón, Estados Unidos, terminado en 1966, con un vano de 376 m, al que sigue en importancia el de Tenmon, en Kumamoto, Japón, con un vano de 300 m.

Entre los puentes metálicos de tablero atirantado cabe destacar el de Duisburg–Neuenkamp, sobre el Rin, inaugurado en 1970 y que tiene una luz de 350 m. Es del tipo monocable, o sea, que todos los tirantes se hallan situados únicamente en la línea central del puente y están tendidos desde torres situadas entre las dos calzadas. Con ello se consigue una considerable economía de material debido a la mejor absorción de los esfuerzos asimétricos producidos por las cargas móviles. Algo más modernos (1972) son los de Brazo Largo y de Zarate, sobre el río Parana, Argentina, con una luz idéntica de 340 m.

También entre los puentes móviles pueden citarse ejemplos notables. El mayor puente de elevación vertical es el Arthur Kill, en Elizabeth, que cubre un vano de 170 m, y el del canal de Cape Cod, de 166 m, ambos en Estados Unidos. Entre los giratorios figura el de Al Firdan, sobre el canal de Suez, Egipto, con un vano de 168 m. El mayor puente basculante es el de Sault Sainte Marie, en Estados Unidos, con una luz de 102 m.

Indiscutiblemente, los mayores vanos son los cubiertos por puentes colgantes, por ser los que mejor se prestan a ello. Ya se han visto los de mayor luz, el de Humber, con 1.372 m, y el de Verrazzano Narrows, con 1.298 m. Les sigue el famoso Golden Gate, en San Francisco, con 1.280 m. en el tramo central, a la entrada del puerto, y el de Mackinac, en Michigan, con 1.158 m. A continuación figura el puente Salazar (1973) sobre el río Tajo, en Lisboa, Portugal, con un vano de 1.013 m, que tiene la particularidad de haber sido previsto para instalar un segundo tablero.

BIBLIOGRAFÍA

- Enciclopedia Cómo funciona 1982
- Materiales y elementos de construcción.
- INTERNET