



## Los puentes de madera en la historia

La madera es un material tradicional en la construcción de puentes y su historia se puede dividir en 4 períodos en función del grado de su desarrollo en paralelo con la evolución tecnológica

- desde la prehistoria hasta la Edad Media (1.000 d.C)
- desde la Edad Media hasta el siglo XVIII (1.000 - 1.800)
- el siglo XIX (1.800 - 1.900)
- el siglo XX y XXI

### Desde la prehistoria hasta la Edad Media (1.000 d.C)

En la prehistoria, nuestros antepasados construían puentes utilizando árboles caídos o que se cortaban. Esto se sitúa en torno a 15.000 a.C. que es cuando se supone que se inventa el hacha de piedra.

La idea de los puentes colgantes procede seguramente de regiones subtropicales de Asia, donde se emplean lianas y fustes de pequeñas dimensiones, que posteriormente evolucionan con la fabricación de cuerdas haciéndose más sofisticados. Ejemplos de estos tipos se pueden ver actualmente tanto en África, como América y Asia.

Uno de los puentes más antiguos de los que se tienen referencia es un puente cubierto construido en Babilonia en el año 783 a.C. que atravesaba el río Eufrates aunque es más que probable que existieran otros antes de esa fecha, realizados por otras culturas. La construcción y diseño de puentes de madera apenas debió avanzar desde el punto de vista tecnológico y de materiales en esa época.

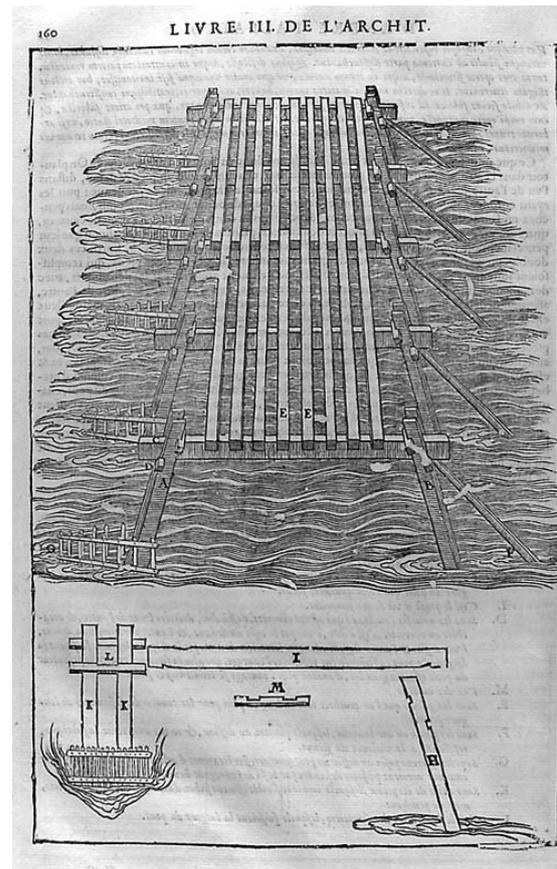
Otra de las primeras reseñas históricas, aunque más documentada, es la descripción de Julio César (100-44 a.C) del puente construido por los galos en las montañas de Savor (Italia):

*Es un puente de pilotes de madera unidos entre sí rústicamente. No necesita ningún tipo de carpintería ..... En cada orilla se disponen unos cimientos muy bastos de cantos rodados de 15 pies cuadrados (.....) sobre los que se colocan troncos entrelazados formando diferentes capas, que van sobresaliendo cada vez más para ir avanzando hacia la otra orilla a la vez que se van estrechando dichas capas; finalmente se disponen unos pocos troncos a modo de vigas que unen entre sí las dos capas entrelazadas salientes.*

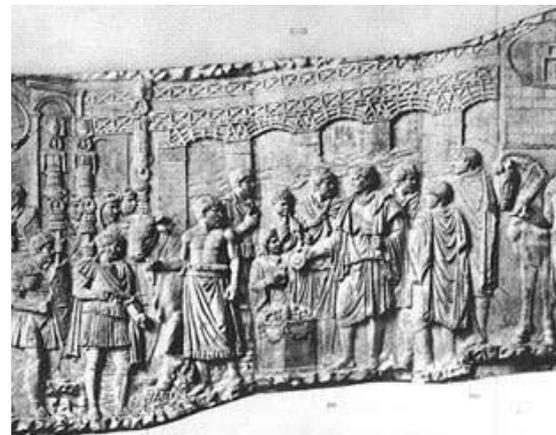
Uno de los puentes de los más citados de la Antigüedad es el denominado «Puente de César» construido hace unos 2.000 años sobre el Rin. Fue estudiado por Antonio Alberti (1404 - 1472) y por el arquitecto veneciano Andrea Palladio (1518-1580), entre otros.

Alberti en su tratado «De Re Aedificatoria», capítulo VI del Libro IV, escrito en latín entre 1443 y 1452, comenta:

*Destaca el ingenio que supuso la creación de una estructura en la que se aprovechaba el empuje de la corriente para reforzar la unión entre las piezas. Se trata de un puente de caballete de carácter provisional, que probablemente perteneció a un tipo adoptado comúnmente por las legiones romanas si bien sólo tenemos datos de su existencia gracias a que fue descrito por el propio César en sus Comentarios. Con vanos de entre 6 y 7,5 metros de luz, y un ancho aproximado a los 12 metros, su*



Puente de César sobre el Rin



Un puente romano descrito en la Columna trajana

longitud total se estima entre 400 y 500 metros. Cada pila de apoyo estaba constituida por dos parejas de pilotes de 45 cm de diámetro hincados en el lecho del río, una a favor y otra en contra corriente. Encima de cada uno de estos pares de pilotes se sujetaban las vigas o dinteles, de unos 60 cm de grueso, y sobre ellas se tendían finalmente maderos longitudinales al tablero. Palladio que realizó exhaustivos estudios de las obras romanas, algunos de los cuáles como el puente Cismone, se han descubierto posteriormente e investigado desde el punto de vista arqueológico. Palladio describe en su libro «Arquitectura» el Puente de César e indica:

*La estructura consistía en una serie de vigas y de puntales inclinados que se unían con entalladuras de tal forma que se podía montar y desmontar rápidamente. El peso de la estructura y de las cargas de paso provocaba que las uniones entraran en carga y aumentarían su resistencia. Sin embargo no parece probable que los dibujos con que Palladio ilustra el puente sea realista ya que aparecen maderas escuadradas es dudoso que se utilizaran en época de César.*

Sobre el sistema de apoyo de las vigas en los pilotes, existen discrepancias entre tratadistas. La unión (la denominada «ff-bula») por Juanelo Turriano (1595) en sus «Veintiún libros de los ingenios y de las máquinas» es interpretada de distintas maneras: desde un simple atado con cuerda, hasta soluciones con clavijas de hierro o madera. Palladio la entiende como un sistema de dobles clavijas de madera que encastran la viga en los pilotes por ambos lados. Según Juanelo se trataría de una especie de brida de madera a modo de hebilla. Vincenzo Scamozzi (1615) la representa como un sistema combinado de apoyo en clavija reforzada con cuerdas. En el de Alberti encontramos desde la solución de cuerdas hasta la descrita por Palladio. Todo ello según la antigüedad de la edición que se consulte. El de César, es en todo caso el puente de madera más antiguo y más profusamente descrito por los tratadistas europeos del Renacimiento y pone de manifiesto la preocupación por las soluciones constructivas en madera.

Los romanos construyeron grandes puentes de madera para atravesar también el Támesis. Otro de los que se tienen datos es el construido sobre el Danubio en el año 104 D.C, aproximadamente un siglo después del también conocido como el «Puente de Trajano». Estaba constituido por 20 pantalanos de 45 metros de altura, unidos entre sí por un arco de madera semicircular con una luz aproximada de 52 metros. Palladio lo recoge también en su tratado.

## **El Puente de TRAJANO**

Después de la guerra entre Roma y los Acianos y su rendición al emperador Trajano, la paz se estableció en esa región. La paz solo duró dos años al rebelarse Decebalus, el rey aciano que tomó como prisionero al comandante Longinus de las tropas romanas y gran amigo de Trajano.

El rey aciano creyendo que tenía ventaja, trató de negociar con Trajano pero éste no realizó ninguna promesa. Longinus, al percatarse de que era el objeto de negociación, en un acto de coraje, se quitó la vida dejando vía libre a Trajano. Trajano ordenó construir un enorme puente permanente de madera sobre el Danubio, capaz de resistir 20 pesados bloques de piedra, con un pilar macizo de piedra y arcos en cada extremo. Se construyó en el año 102 - 103 a.D. justo debajo de la entrada a Djerdap Gorge, donde el Danubio se divide yendo hacia las tierras altas de los Cárpatos. El puente tenía una longitud de 1.500 metros, una altura de 50 metros y una anchura de 20 metros.

Fue diseñado por Apollodorus de Damasco, un sirio helenizado y el ingeniero más famoso de Trajano. Fue el trabajo de ingeniería militar de mayor envergadura de su época. No se sabe con seguridad que legión lo construyó, ya que en ese período había 12 desplazadas en la zona (entre Viena y el Mar Negro). Seguramente fueron las I Itálica y V Macedonia que estaban en la parte baja del Danubio. Existen dibujos de un modelo - maqueta del puente que pueden verse en el Museo de la ciudad de Turnu Severin (Rumania). Lo único que queda del puente son los pilares en el lado rumano del río que están justo enfrente del museo. Todos los habitantes de la ciudad conocen el significado de estas ruinas y están muy orgullosos. También quedan restos de los pilares de 20 piedras, pero no son visibles ya que están bajo el agua. Un historiador romano escribió 100 años después de la muerte de Trajano que los pilares tenían una anchura de 18 metros, una altura de 45 y 51 metros. Además los pilares se colocaron sobre un lecho de barro, a bastante profundidad y con fuertes corrientes. Todo indica que el puente no duró muchos años. El historiador Cassius Dio escribió que «El Emperador Trajano después de liberar Dacia, paradójicamente retiró la estructura vista del puente para evitar esta vez las incursiones de los dacianos en Moesia si lograban cruzar el Danubio».

La construcción de los pilares fue una tarea hercúlea seguramente se realizaba con ayuda de barcazas como estructura sobre la que mover y colocar la cimentación de «ataguías» (una ataguía es una caja impermeable fabricada con postes hincados en el lecho del río. Para hincar los postes se utilizaba una gran maza cuya estructura soporte se montaba sobre una balsa de troncos que se anclaba al lugar donde colocarían los pilotes. La maza se suspendía de un cabrio por medio cuerdas u otro tipo de cables. Se izaba manualmente por esclavos hasta su máxima altura y se dejaba caer sobre el pilote hasta hincarlo en el fondo). Los pilotes eran de roble o de aliso; Vitruvio indica en su tratado que duraban eternamente bajo el agua. Las ataguías se rigidizaban por su interior con refuerzos de maderas pesadas. Los romanos casi siempre



# puentes

construían las ataguías con muros dobles. Vitruvio las describe con detalle: «las ataguías dobles se unían con tablones y cadenas; cerrándose las juntas con arcilla apretándolo lo máximo posible». Los tornillos sin fin que describe Vitruvio parecen referirse al tornillo de Arquímedes, que era muy útil (como ahora), ya que se hacía funcionar por medio de esclavos desde tierra firme o en gabarras atadas a las ataguías. Normalmente se movían con tracción directa ya que las ruedas de sangre solamente se utilizaban en grandes proyectos ya que eran complejas y caras. A la ataguía se le daba una forma apuntada para que el agua fluyera por sus laterales. A continuación se achicaba el agua del interior de la ataguía mientras que se introducía arcilla entre las juntas verticales de los pilotes para impermeabilizar. Una vez que se había vaciado, se construía un cimiento de madera con mortero de brea o pez líquida y sobre esta base ya se levantaban los muros 'a la romana', es decir, sillares en las caras vistas y piedras de relleno en núcleo. El mortero utilizado contenía «pozzolona» como ingrediente especial que permite endurecer el mortero bajo agua.

Una vez erigidos los pilares de piedra a la altura decidida, se construía una nueva estructura de madera con forma de arco que se izaba a su lugar de ubicación; sobre los arcos de madera se colocaba el tablero, también de madera. Si el escultor que plasmó los detalles de este puente en la Columna Trajana fue fiel a la realidad, como atestigua Apolodoro, se utilizaron por primera vez arriostramientos diagonales en la estructura. Por eso, con la información de que se dispone, se puede decir que este es el primer ejemplo de una cercha cuya resistencia se basa en la rigidez de 3 cuerpos de vigas trianguladas.

## Desde la Edad Media hasta el siglo XVIII

Las referencias bibliográficas hasta el siglo XV son muy limitadas e incompletas. Por ejemplo en el siglo XII se tienen referencias de un puente normando sobre el río Wye en Chepstow.

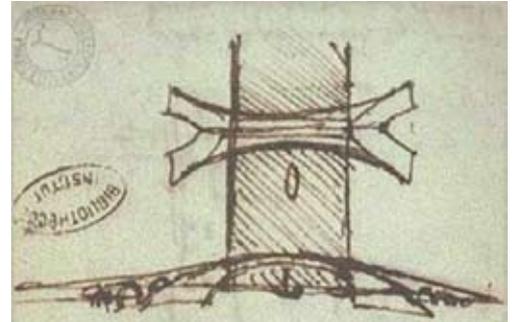
### Leonardo da Vinci

El personaje más importante es Leonardo Da Vinci (1452 - 1519) que esbozó una serie de ingeniosos puentes de madera, algunos de los cuales se han construido en la actualidad.

### Puentes giratorios (Ponte Girevole)

En la carta de presentación que envió a Ludovico el Moro, Leonardo describe numerosos puentes giratorios con aplicaciones militares. Estos puentes estaban concebidos para fabricarse con materiales fáciles de encontrar y de transportar utilizando barcas o botes. El puente tenía una forma parabólica y era de una sola luz que se aseguraba en las dos orillas por medio de un largo pasador o perno vertical. Se movía mediante cuerdas y cabrestantes, ayudado por ruedas y rodillos metálicos. Además estaba equipado con un depósito con contrapeso para conseguir su equilibrio y maniobrabilidad, mientras estaba suspendido en el aire y antes de apoyarlo en la otra orilla.

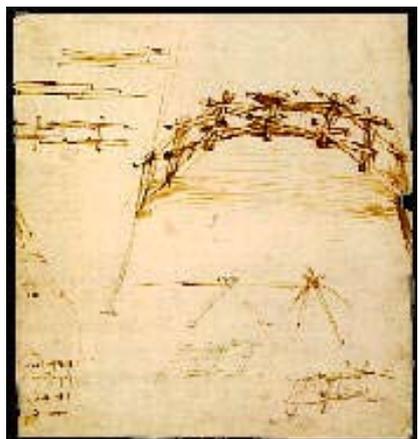
En los dibujos se hace referencia un puente ligerísimo y grande adecuado para ser «transportado tanto para perseguir como para escapar de los enemigos; y a otros fijos que son muy seguros, que no pueden quemarse, y que son fáciles de desmontar y de volverlos a instalar». (Codex Atlanticus, folio 855 r.)



Leonardo : puente de perfil parabólico: diseño original y realización en Noruega



Leonardo : puente d emergencia autoportante. Códice Atlántico. Dibujo original y recreado

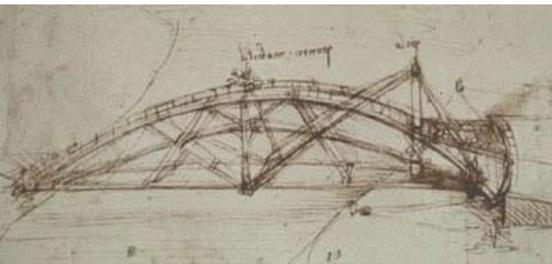




Leonardo : puente móvil. Codice Atlantico 96r  
Diseñado para la Batalla de Fornovo  
Leonardo estudia el modo de construir el puente en un breve tiempo (unas pocas horas) utilizando materiales simples. Como estructura propone el enlace de troncos de chopo.



Leonardo : puente de asalto. Codice Atlantico 1074r. Leonardo se inspiró en un diseño de Francesco di Giorgio



Leonardo : puente giratorio. Dibujo original y desarrollado

### Puente de Galata (Ponte de Galata)

Este modelo se ha podido realizar a partir de las indicaciones de un pequeño dibujo incluido en el Códice Leicester. El dibujo muestra la planta y una vista en 3 dimensiones de un puente de 240 metros de luz, una anchura de 23 metros y una altura de 40 metros sobre el nivel del agua. La estructura doble en la cabeza del puente tiene la forma de cola de milano para soportar mejor el empuje transversal. En el boceto Leonardo dibujó el mástil de un barco que navega suavemente debajo del ojo del puente.

Los dibujos, datados entre 1502 y 1503, ilustran la construcción de un puente de una sola luz sobre el Bósforo. La idea parece provenir de la estancia de Leonardo en Romagna al servicio de César Borgia. 1502, fue el año en que el embajador del Sultán del Imperio Otomano, Bayazid II, había ido a Roma para contratar ingenieros italianos que reemplazaran el antiguo puente de barcas del «Cuerno de Oro» por uno nuevo más estable y resistente. Por aquella época, Leonardo había diseñado un puente de una sola luz en Castel Romagna, que fue construido por Andrea Ferrieri, de Imola, en el año 1499. La suposición de que se diseñó para entregarlo al Sultán parece confirmarse por una carta escrita en turco, traducción de la carta en que Leonardo ofrecía sus servicios al Sultán Otomano (Manuscript L, folio 66 r.).

### Puente de construcción rápida

La idea de procede de los estudios de Leonardo para la construcción de puentes militares temporales a base de troncos unidos con cuerdas. Leonardo describe la disposición de los troncos y cómo se han de ser las uniones. Este, junto a otros tipos de puentes, se incluían en las «credenciales» a Ludovico el Moro, señor de Milán.

El documento es del año 1482 y contiene indicaciones para la construcción. En las 3 anotaciones de los dibujos, Leonardo especifica los pasos a seguir. En la parte superior escribe la frase «armadura» (como construir rápidamente un puente para escapar o perseguir a los enemigos). En el centro «cuando los extremos están en el aire, únense lo más alto que se pueda para sujetarlos firmemente». En la parte inferior escribe «este puente es muy útil y rápido de construir, si dispone de un tiempo de 6 yardas .... ; entonces, únalos en la otra horcadura del árbol y continúe de la misma forma». Y en la esquina inferior derecha «si se abren las garras en las cuerdas, se podrá revestir» (Codex Atlanticus, folio 55).

El puente consta de una doble fila de armadura que soporta la estructura. Leonardo indica la forma de usar los materiales y los pasos para construirlo, resaltando que es necesario construir una armadura provisional que se cubre con postes de madera ligera que puede colocarse fácilmente. La armadura provisional se reemplaza posteriormente por una estructura permanente de grandes troncos que forma la armadura definitiva. Este diseño parece datar en el período en que Leonardo estaba en Milán.

Los dibujos originales están en la Biblioteca Ambrosiana. En la parte central se muestra el esquema del puente dibujado en tinta sepia. En la parte superior izquierda hay dibujos de una ballesta, y en la derecha algunos estudios arquitectónicos en tinta negra. En la parte inferior hay algunos detalles de la ballesta y un capítulo en el que se dan indicaciones de como construirlo (Codex Atlanticus, folio 57 v. former folio 17 v.a.).

### Ponte canale con cierre de esclusas

Los bocetos de Leonardo describen un puente sobre un canal de Florencia. Gracias a este artificio es posible cruzar a través de una gran cerradura reali-



# puentes

zada con un sistema de compuertas colocadas a una separación definida. Las compuertas permiten subir o bajar los botes de un nivel a otro. Las anotaciones del dibujo explican cómo construir los vados del canal para evitar tanto que el agua erosione la grava como las crecidas. Así mismo da indicaciones relativas a las crecidas, sistemas para construir el lecho del canal y señala las mejores épocas del año para realizar los trabajos.

En el folio se incluyen tres representaciones del canal de Florencia, datado en 1482-3, junto con la conocida carta a Ludovico el Moro que los acompaña en la que señala «conducir agua de una lugar a otro». En la parte superior se incluye una larga anotación en la que se describen los perfiles de los bancos de la orilla y se explica cómo evitar la erosión. En el centro está el dibujo del canal para cruzar el canal con la ayuda de un sistema de esclusas. En la parte inferior hay una vista lateral del canal sobre el puente. Leonardo indica la mejor época del año para empezar los trabajos del «Canal de Florencia». En relación al transporte de mercancías en barcazas Leonardo comenta que «el gran peso de la barcaza cargada con mercancías que cruza el río no supondrá una mayor carga sobre el arco del puente, ya que el peso de la barcaza es igual al peso del agua que desplaza dicha barcaza» (Codex Atlanticus, folio 126 v. former folio 46 v.a.)

En el Renacimiento, durante los siglos XVI, XVII y XVIII, se extendió la construcción de puentes debido a la necesidad de mejorar el intercambio comercial. La comprensión de los principios de la resistencia de materiales facilitó la construcción de puentes más avanzados y la utilización de nuevas técnicas, que incluían arcos, cerchas y estructuras colgantes. A continuación se destacan algunos de ellos mencionados en los tratados.

## Andrea Palladio

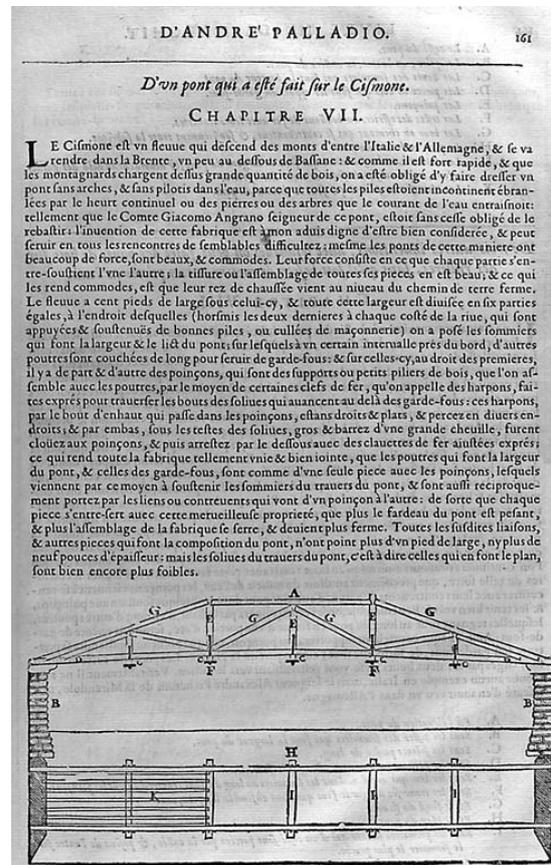
Ya citado por sus «Cuatro libros de Arquitectura», Palladio (1550) en su tercer libro que desarrolla de «los caminos, los puentes, las plazas, las basílicas y del Xustós» incluye varios diseños de puentes de madera de celosía, algunos de los cuales inventados por él, con arcos (de 30,48 metros de luz) o cerchas (con luces de 15,2 a 24,4 metros), diseños que apenas despertaron interés hasta el siglo XVIII.

El primero de ellos es un puente de jabalcones sobre el río Cismone. Sus 100 pies de luz se dividen en 6 tramos mediante 5 parejas de péndolas verticales que sujetan mediante «arpones» metálicos las vigas transversales sobre las que descansa el tablero. Cabe destacar la pequeña contraflecha del cordón inferior, y las diagonales contrapeadas para arriostrar los montantes (los brazos que van de una péndola a otra)

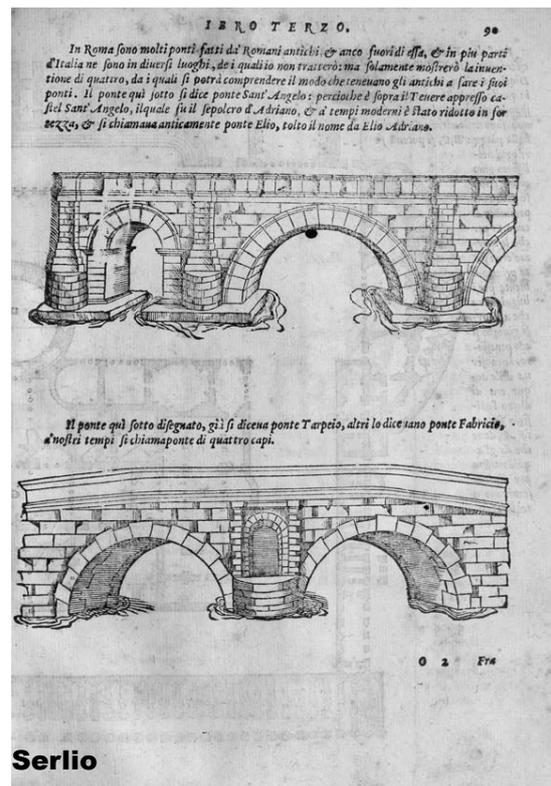
El segundo es otra propuesta para el Cismone, en el que la luz se divide en 8 tramos y se reduce la relación alto / luz. Palladio insiste en la importancia de que exista una péndola central, para que los brazos del cordón superior se apoyen mutuamente, colocando las diagonales de cada mitad inclinadas hacia el centro, trabajando como una viga de celosía. Resulta igualmente interesante su sistema de construcción, que propone avanzar en voladizo por tramos desde ambas orillas hasta encontrarse en el centro.

En la tercera alternativa se curva el cordón superior y se rigidizan los tramos, que en este caso son impares y más grandes, con diagonales en dobles cruz. Se refuerzan los apoyos laterales con jabalcones que reducen la luz libre del cordón inferior, apreciándose en todo caso una evolución hacia la forma de arco.

El cuarto puente representa una celosía en arco con diagonales cruzadas para la Palladio enuncia una regla de trazado. Independientemente del radio del arco, fija la altura de la celosía en función de la luz.



Palladio



Serlio

### **Sebastiano Serlio**

El tratado de Sebastiano Serlio, publicado por partes desde 1537 hasta 1584, en su libro VII sobre armaduras de madera describe un sistema de unión de péndolas y tirante por medio de abrazaderas sujetas por un pasador de madera, y el encuentro a caja y espiga de correas y montantes de un puente de madera. También describe dos puentes de madera calificados como «fortísimos». El primero es una cercha de pendolón, tipológicamente similar a las descritas en las armaduras de cubiertas mencionadas. Se propone como solución para grandes luces y cargas. Dispone de un doble refuerzo de jabalcones sobre el pendolón (el habitual de descarga de los pares y otro inferior correspondiente al tirante) y dos encepados de péndolas laterales dobles, a fin de descargar igualmente al tirante, que es de nuevo una viga compuesta. El segundo puente se resuelve a modo de celosía de tres cordones inclinados, sensiblemente paralelos, con tres pendolones jabalconados intermedios que hacen las funciones de montantes de una cercha de cuatro tramos.

### **Juanelo Turriano**

Juanelo Turriano, ya mencionado anteriormente, en su tratado «Los Veinte y uno Libros de los Ingenios y Máquinas» libros XV y XVI dedica a los puentes diversos apartados:

Clasificación: Tras señalar la importancia de escoger bien su ubicación, se describen diversas soluciones en orden creciente de complejidad. En ocasiones da valores de dimensionado de algunos elementos (espesores de vigas o de pilas, y profundidad de enterramiento de éstas), así como detalles de soluciones constructivas. Aunque no se indica de forma explícita, existe cierta sistematización en la descripción de los puentes que permite agruparlos en 3 tipologías.

- Puentes con apoyo en el agua. El primero y más sencillo es un puente de vigas enterizas sobre apoyos intermedios formados por dos pilares y un dintel jabalconado. En el segundo, el aumento de la anchura del vano obliga a emplear empalmes en las vigas del tablero y los apoyos verticales se refuerzan con zapatas apeadas sobre los pilotes. Finalmente propone varios puentes de tramos de mayor luz en los que se complica el sistema de jabalcones. Vuelve a describir el Puente de César.

- Puentes de un sólo vano de hasta 150 pies. Se recurre a soluciones de armadura.

- Puentes - viga. Entre las soluciones descritas se incluyen tipos muy similares a las de Palladio, que presumiblemente Turriano conocía, aunque sorprenden algunas diferencias como los refuerzos de las diagonales comprimidas con rebosantes.

### **Vincenzo Scamozzi**

Vincenzo Scamozzi, del que también se ha hablado anteriormente, en su tratado «Dell'idea della Architectura Universale» completa el grupo de los grandes tratadistas del Renacimiento. En la parte Seconda, Libro Ottavo, dedica el capítulo XXIII al estudio de algunos puentes de madera, de nuevo el de Julio César sobre el Rhin y otro del propio Scamozzi, basado en el funcionamiento del puente de César, el referente para la construcción de puentes de madera en siglo XVII. También incluye numerosas referencias sobre puentes europeos, pero los comentarios son escasos: en general se limita a indicar valores del ancho del río y el número de vanos. Finalmente presenta el puente cubierto de madera que califica de «artificiosos». Se trata de un puente de 3 vanos, que parece combinar la solución adintelado y el arco, donde podemos observar detalles de la unión de los montantes y la viga inferior mediante pasadores metálicos, y la solución de la cubierta del puente.

### **Puentes realizados**

Al margen de las referencias escritas los puentes más antiguos que existen en Europa datan del siglo XIV y XVI. El simple hecho de que fueran puentes cubiertos ha facilitado su conservación, por ejemplo los puentes Kapell y Spreuer en Lucerna, que cruzan el río Reuss. Otros puentes cubiertos de gran valor desde el punto de vista histórico y técnico también en Berna (Suiza) construidos en el siglo XVI, son el de Neubrugg (1532), Gummenen (1555), Wagen (1559) y Aarberg (1568); algunos todavía están en buenas condiciones y en uso (algunos para tráfico pesado).

El puente Kapell o Chapel bridge se construyó en 1333, tiene una longitud de 200 metros y contiene 112 grabados pintados sobre tablas triangulares colocadas en el techo. En 1993 se dañó en gran medida por un fuego pero se reconstruyó abriéndose al público en 1994. El puente se curva según va dejando la orilla. Se considera el más antiguo de Europa.

El puente Spreuer o Mill Bridge original se construyó en 1400. Fue destruido por una tormenta en 1566 y reconstruido en 1568 añadiéndole en el centro una pequeña capilla que fue restaurada en 1889. El puente unía el molino de trigo con los panaderos de la margen derecha).

Otros puentes cubiertos europeos más modernos son el puente Wynigen en Burgdorf de 1776. Tiene un sistema doble de suspensión y 4 vanos de apoyo con una longitud de 47 metros. Su anchura es de 3,5 metros y su altura de 4 metros.



# puentes

## Siglo XVII

El XVIII es el siglo dorado de los puentes de madera. En esa época se reconoce a los ingenieros civiles como prescriptores. Francia destaca por la profusión de puentes con luces de 20 a 46 metros.

En general se resuelven a base de arcos de madera poco pronunciados ejecutados con madera laminada empernada. Entre ellos se destacan:

### Alemania:

El puente cubierto de Schaffhausen sobre el Rin en 1758 diseñado por Hans Ulrich Grubenmann, de 119 metros de luz y un apoyo central con arcos laminados de 2 metros de canto formados por 7 láminas de madera ensambladas.

### Inglaterra

El puente Putney que cruzaba el Támesis con 26 arcos, operativo desde 1726 hasta 1870.

### EE.UU.

Tras el 'Great Bridge' de 1660 que unía Cambridge con Brighton, primer puente de madera del que se tienen referencias destacan los siguientes:

Puente sobre el río York en Maine, construido en 1761 por Samuel Sewell. Tenía 52 metros de largo y una anchura de 7,6 metros, con una ligera curva que permitía el paso de embarcaciones. Estaba apoyado sobre 13 pilares. Lo más significativo de este puente es que se armó en tierra firme y se colocó como un solo bloque, lo que supuso un gran logro ingenieril. Previamente se habían hincado los pilotes de madera en el río mediante percusión.

Puente sobre el río Connecticut en Vermont, construido en 1785 por el Coronel Enoch, con una luz de 111 metros. El puente tenía dos vanos y un soporte central de piedra. Se mantuvo en servicio hasta el año 1840.

Puente Piscataqua en Portsmouth - New Hampshire, construido por Timothy Palmer en 1794. Un puente muy ingenioso con una luz de 719 metros y una anchura de 11 metros. En su época estaba considerado como una obra maestra de la arquitectura y conocido como el 'gran Arco' ya que en el centro había un imponente arco de 68 metros de luz, y 5 m de canto. Las piezas se fabricaron con madera curvada con la dirección de las fibras de la madera en la dirección del arco. Los vanos de aproximación estaban constituidos por una armadura de rollizos que se unían a las cerchas del arco.

Puente Haverhill en Massachusetts, construido también por Palmer en 1794. Similar al anterior con 3 arcos, cada uno de ellos de 55 metros de longitud. Incluía en uno de sus extremos un tramo levadizo de 9 m de longitud.

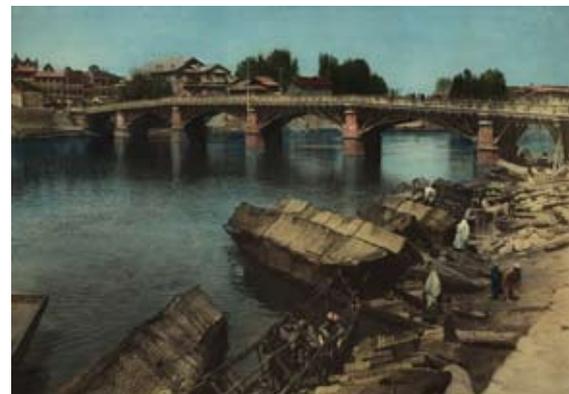
Puente sobre el río Connecticut de 1796 de Rufus Graves en Hannover N.H. con un arco de 72 metros, similar al de Piscataqua: colapsó en 1804.

### China y Japón

el desarrollo de caminos y canales de agua durante la época imperial china (617-1644) requirió una gran demanda de puentes. Se construyeron una gran cantidad de ellos a base de vigas de madera en voladizo, suspendidos y de sillería de muchas formas: semicircular, pie de caballo, elípticas, etc.

Los puentes en voladizo de madera y piedra se construían con 3 vanos, los de los extremos se fijaban en las orillas mientras el central se formaba con dos voladizos. Un buen ejemplo de este tipo de puentes es el que cruza el río Lilin - Lu en la provincia de Hunan.

Otro puente interesante es el puente Kintai sobre el río Nishiki en la ciudad de Iwakuni, con una longitud de 210 metros (193 metros en línea recta). Está



formado por 5 arcos de madera, cada uno de 40 m de largo, 5 de anchura y 6,6 de altura.

Junto a los puentes Nihonbahi (Tokio) y Meganebashi (Nagasaki) es uno de los 3 puentes japoneses más famosos. Fue mandado construir por el señor Hiroyoshi Kikkawa para transporte de personas y mercancía, encargando el trabajo al carpintero Kodama Kuroemon

La especial forma del puente se debe a que fue construido para era evitar que fuera destruido por las crecidas de las aguas del río Nishiki. Los arcos se construyeron utilizando clavos, cintas, cables y abrazaderas de metal con una destreza incomparable. La madera utilizada es el ciprés japonés (hinoki), las tablas tienen una longitud de 6 m, 37 cm de ancho y 10 cm de grueso, y se cruzan entre sí para formar peldaños de escaleras.

## **El siglo XIX (1.800 - 1.900)**

La revolución industrial provocó una importante evolución en la construcción de puentes al entenderse mejor su conocimiento estructural e introducirse en el uso de herrajes metálicos (pernos, conectores, puntas y otros), uniones solapadas en vez de caja y espiga, clavijas y otros ensamblajes de carpintería de armar. Así mismo la triangulación en los sistemas estructurales y la aparición de normas de diseño y cálculo transmitió una mayor confianza a la hora de diseñarlos y construirlos.

### Europa

Durante 1802 a 1807, el ingeniero bávaro Wiebeking utilizó el laminado horizontal para la construcción de puentes de luces superiores a 60 metros, utilizando gruesos pernos de hierro y varillas de roble para conectar las láminas de madera. En 1809 construyó el primer puente de madera laminada encolada en Altenmarkt con las láminas curvas de madera fabricadas in situ. Se trabajó bajo condiciones muy difíciles ayudándose de andamios y apoyos especiales. Se utilizó madera de picea, en vez de roble, la madera habitual.

En Gran Bretaña, Isamard Kingdom Brunel construyó muchos viaductos para ferrocarriles en el sureste de Inglaterra y sur de Gales con sofisticadas concepciones de diseño, con madera tratada en autoclave y con un mantenimiento que permitía no tener que parar los trenes. Brunel construyó 43 viaductos en Cornwall con una longitud total de 8 km. En los años 30 se desmantelaron muchos de ellos para poder soportar un tráfico más pesado. En el estuario de Barmouth, en el norte de Gales, todavía sigue en activo un viaducto diseñado y construido en 1867. Solamente se han sustituido los pilares de pino por pilares de una madera más durable (Greenheart); el viaducto está compuesto de 113 pequeñas luces de vano.

En Alemania destacan el de Hasle-Rüegsau situado a 4,5 km del de Wynigen con un arco de 60 metros de longitud. Tiene una anchura de 5,3 m y una altura de 5. En 1958 se desplazó y reforzó para permitir el paso de vehículos pesados y ampliar el tráfico. El puente cubierto Schüpbach se construyó en 1839 en Signau con una luz de 43,4 metros y un único arco de madera. El puente se reforzó en 1934 con vigas metálicas a la vez que se doblaba el arco de madera y se ponían más piezas de madera como refuerzos.

### Norteamérica

La madera ha jugado un importante papel en el desarrollo de los Estados Unidos. El aumento del comercio entre ambas costas originó la construcción de puentes de madera de grandes luces. Los ingenieros competían entre sí para realizar los puentes más arriesgados y mayores. La oficina de patentes de Estados Unidos tiene registradas 51 patentes de puentes en el período comprendido entre 1797 y 1860. Se destaca la importancia de protegerlos de las inclemencias atmosféricas, lo que dio lugar a los puentes cubiertos.

El primer puente cubierto que se construyó en Norteamérica fue el «Waterford Bridge» (1804), sobre el río Hudson en Nueva York. Fue construido por Theodore Burr con madera de pinos amarillos. Se cubrió en el año 1814 y todavía se mantiene en uso. Consta de 4 arcos con luces de 47, 49, 53 y 55 metros. Este mismo ingeniero también construyó otro puente sobre el río Hudson en Fort Miller y en 1804-06 el puente Trenton sobre el río Delaware. Este último, constituido por 5 arcos, dos de 61 metros de luz, y los otros de 60, 57 y 49 metros; el tablero se sujetaba de los arcos por cadenas metálicas. Después de algunas reparaciones fue sustituido por un puente metálico en 1875.

En 1804 Timothy Palmer construyó el «Permanent Bridge» sobre el río Schuylkill en Filadelfia que se mantuvo en pie hasta 1850 en que fue sustituido por un puente de madera más moderno a la vez que se ensanchaba para permitir el paso de vagones de ferrocarril. Como casi todos los puentes construidos por este gran ingeniero era de 3 vanos de cerchas en forma de arco, que en este caso era continua; una central de 59,5 metros y dos laterales de 45 m cada uno.

Lewis Wernwag (1770 - 1843) fue otro importante ingeniero especializado en la construcción de puentes. Durante los 27 años de su carrera como ingeniero construyó 29 puentes. El más emblemático de ellos es el «Colossus» construido en 1812 sobre el río Schuylkill, Pensilvania, con una luz de 102 metros. Estaba constituido por 5 arcos de madera paralelos, cada uno de ellos con 6 metros de altura. Los elementos de los arcos laminados tenían una sección transversal de 150 x



# puentes

350 mm y estaban fabricados con madera de duramen de coníferas; las piezas se unían entre sí con varillas de hierro tensadas y ensartadas, que a la vez servían como puntos de ajuste para cada panel. El puente, que no se patentó hasta 1829, y fue destruido por el fuego en 1831. Otros puentes construidos por este ingeniero fueron el «Economic Bridge» en 1810 sobre el río Nashammom en Pensilvania, basado en una estructura en voladizo; el «New Hope Bridge» sobre el río Delaware, Pensilvania, construido en 1813-14 con 6 arcos con una luz de 53 metros. Este ingeniero cortaba toda la madera por el corazón para detectar si estaban sanas y para favorecer su secado al aire. No utilizaba piezas de madera con espesor superior a 15 cm y separaba los arcos con piezas de hierro colado para permitir la circulación del aire.

Otros puentes cubiertos que merecen mencionarse son: Hyde Hall Bridge en Oswego (1825), Haverhill-Bath Bridge en Woodsville (1829), Roberts Bridge en Preble (1829), etc.

De acuerdo con la publicación «World Guide Covered Bridges» de los 1.600 puentes cubiertos de todo el mundo actualmente censados, en Estados Unidos se encuentran cerca de 880 (de los cuales 209 se construyeron entre 1870 y 1889). Solamente en Estados Unidos se dispone de información de cerca de 14.000 puentes cubiertos.

Hasta esa fecha casi todos los puentes eran de arcos. A partir de 1820, con la patente de cerchas modernas en forma de retícula por parte de Ithiel Town, se produjo un salto constructivo. Patentes posteriores de cerchas especiales por parte de Col Stephen H. Long (1830), William Howe (1840), Thomas W. y Caleb Pratt (1844), etc. posibilitaron la construcción más eficaz y económica de puentes de madera.

A partir de 1830 la madera tuvo que empezar a competir con los puentes metálicos debido a la gran expansión del ferrocarril y a las necesidades de puentes consecuentes.

## Puentes colgantes

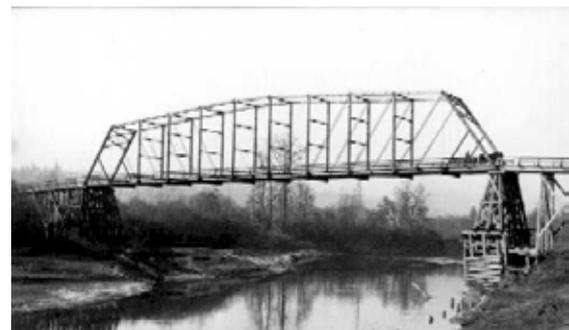
Es bastante difícil conseguir reseñas históricas sobre puentes colgantes. Las fotos realizadas por el escocés Forrest en el siglo XIX de puentes chinos colgantes sugieren que este tipo de puentes son muy antiguos ya que todavía se construyen en remotas regiones de Asia y del sur del Pacífico con cables de materiales naturales. En el siglo XIX se construyeron grandes puentes colgantes utilizando cables de acero que sujetan el tablero de madera. Un buen ejemplo es el puente peatonal de Ojuela - Méjico del 1892, que tiene una luz de 278 metros y que sigue en uso.

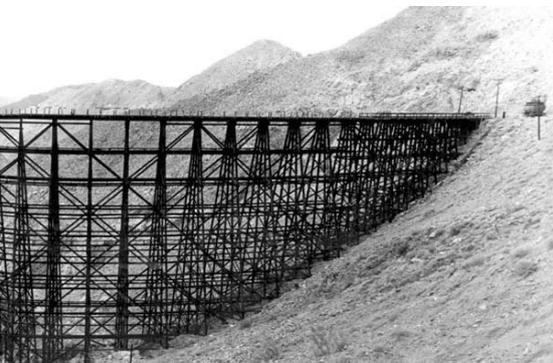
## Los siglos XX y XXI

Los aspectos a destacar en este periodo son:

- la aparición de los protectores de madera y de los sistemas de tratamiento con autoclave. Hasta ese momento las únicas soluciones eran emplear maderas con buena durabilidad natural y adecuados detalles constructivos, principalmente su cubrición.
- los nuevos y mejores adhesivos, que han desembocado en la utilización de la madera laminada encolada
- la mejora de los herrajes que ha permitido diseños más sofisticados

El puente Sioux Narrows, Kenora - Ontario, de 1936 es un impresionante puente de Pino Oregón tratado con creosota y estructura de caja de cerchas Howe; durante muchos años fue el puente de madera más largo del mundo (64 metros de luz) utilizado como carretera de un solo sentido.





Actualmente se pueden encontrar en Norteamérica cientos de estos puentes cubiertos en uso y que son objeto de conservación por ser considerados como una importancia herencia histórica de arqueología industrial. En Europa también se construyeron este tipo de puentes, pero su número es bastante menor. En la publicación «Timber Engineering STEP 2» de Fischer (1995) se ilustran ejemplos de puentes modernos de madera, entre ellos, un novedoso puente peatonal que cruza el río Neckar - Remseck en Alemania que consiste en un sistema triangular de armaduras de madera laminada, con una luz de 80 metros. El puente del río Mur en Wennerbrücke incorpora 4 arcos de madera laminada encolada de 360 x 1200 mm con una luz libre de 45 metros. El programa Nórdico de Puentes de Madera (NTC, 1999) ha propiciado la construcción de decenas de puentes de madera en la última década. Uno de los más conocidos es el de Vihantasalmi en Finlandia de 5 vanos, fabricado con cerchas de madera laminada encolada, tiene una luz total de 180 metros. En fechas posteriores la construcción de puentes de madera se ha disparado considerablemente. En la revista AITIM se han reseñado algunos de ellos así como en el libro Puentes de madera, de 2004.

Por último destacamos, con carácter más bien sentimental, un puente de madera diseñado y construido en una pista forestal de La Palma (España) por César Peraza Oramas, uno de los fundadores de AITIM. De 1958, todavía se encuentra en perfectas condiciones de uso. Es uno de los pocos puentes de madera construidos en España en esos años de los que se tiene información  Fernando Peraza Sánchez



#### Fuentes:

- Timber Bridges. Design, Construction, Inspection and Maintenance. M. A. Ritter. US Department of Agriculture - Forest Service. 1990
- Timber Bridges in Emmental and the upper Canton Bern. Konrad Meyer-Usteri, Bollegin. 2004. Egger Kommunikation, Bernl.
- Covered Bridge Manual. US Department of transportation - Federal Highway Administration. 2005. 346 páginas.
- Timber Bridges and Foundations. Trada & BRE & Forestry Civil Engineering. 2002. 74
- Timber Bridges. Digest 481. T.n. Reynolds, C.J. Mettem, g. Freedman, V. Enjily. BRE Digest 481. 2004. 12 páginas.
- Las estructuras de madera en los Tratados de Arquitectura (1500 - 1810). M<sup>a</sup> Isabel Gómez Sánchez. 2006. AITIM. 373 páginas.

