

La Madera y Tecnología para la Construcción de Puentes en Madera

Pilar Castro ()*

Arquitecta

La madera en la construcción ha estado presente desde los inicios del universo; cuando el hombre comienza a fabricar sus primeras moradas, armas, utensilios y cuando, con las primeras manifestaciones de su desplazamiento, fue precisa la construcción de puentes



Los puentes en madera tienen un significado fundamental en la evolución humana. El hombre al disponer un tronco sobre el río, probablemente imitando la propia naturaleza, logró inicialmente salvar distancias importantes pero no mayores que la propia longitud del tronco; surgió entonces la necesidad de vencer luces mayores, de hallar nuevas soluciones para atravesar no sólo ríos, sino crear pasos peatonales, y establecer vínculos culturales al mismo tiempo que desarrollaba tecnologías constructivas con la madera.

Así pues, desde principios de las civilizaciones son los países nórdicos y europeos como Suiza, Holanda, Noruega, Suecia, Alemania o Francia, los que han exhibido una notable riqueza maderera, sabiamente aprovechada en la construcción con el desarrollo progresivo de sistemas estandarizados y una variada tecnología para dar solución a problemas que requieren propuestas estructurales, no sólo eficientes, si no estéticas y amables con el entorno urbano.

Particularmente, el uso tradicional y permanente de la madera en estos países ha resurgido durante las últimas décadas despertando un enorme interés en países occidentales como Estados Unidos y Canadá, esto, gracias a que ya son reconocidas mundialmente las claras ventajas de la madera frente a la contaminación por explotación, al bajo consumo comparativo de la energía en su habilitación, a su fácil utilización Industrial, su condición de material degradable, no contaminante, y ante todo, a su carácter de recurso renovable.

De hecho, estas claras ventajas, auspiciadas por el Estado en los países citados, son las que han promovido el desarrollo de tecnologías que constituyen excelentes alternativas constructivas y estructurales frente a materiales como el acero y el concreto, aplicadas en diversos propósitos.

La posibilidad de erigir grandes estructuras de coliseos o estadios en madera, así como de construir puentes vehiculares y peatonales con acertados y muy variados diseños, es hoy una realidad versátil e ilimitada, pues el material ofrece además de su función estructural, un innegable aporte estético en la medida que se integra como ningún otro material constructivo al entorno, lo que además constituye, en la mayoría de los casos, un valor agregado.

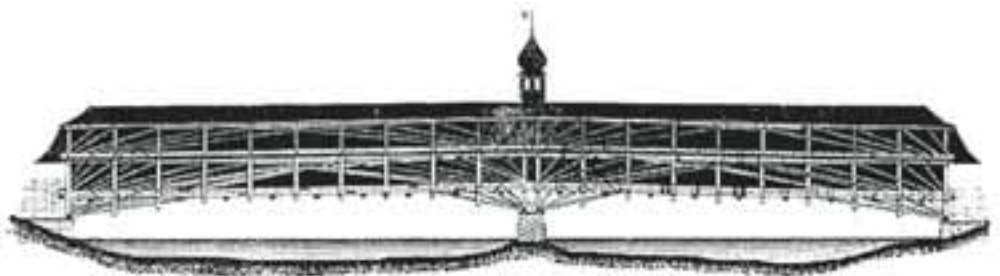
Puentes de madera... Atravesando el Tiempo

Cómo se afirmó en un comienzo, el desarrollo en el campo de los puentes en madera se inicia en los llamados países avanzados, en el siglo XIII, con la aparición y uso de la energía hidráulica para aserrar madera, hecho que da un gran impulso a la construcción de estructuras de gran envergadura.

Ya a nivel de desarrollo tecnológico, éstos se manifiestan en el siglo XVI, con aportes tan significativos como los inicios de la *madera laminada* gestados por el arquitecto francés Philibert Delome, quien realizó interesantes ensambles de madera. Simultáneamente en Norte América surgen sistemas constructivos más sofisticados como los *entramados* ⁽¹⁾ en madera, que evolucionarían, siglos más tarde, al sistema conocido como *cercha* ⁽²⁾.

Pero fue en el siglo XVII cuando las obras públicas en Europa alcanzaron su punto de avance más importante, destacándose entre las más significativas la construcción de puentes, hecho que coincidió con el periodo en que la ingeniería civil comenzó a ser también reconocida como profesión. De hecho, producto de estas positivas situaciones sobresalieron los puentes cubiertos construidos por los hermanos Grubenmann en Suiza, siendo el más notable de ellos el Schaffhausen, erigido sobre el río Rhin en 1758 y destruido por los franceses en 1799. (Foto 1)

Foto 1. Puente Schaffhausen, obra de Hans Ulrich Grubenmann, inaugurado el 2 de octubre de 1758. Fue construido en dos tramos, con luces de 51 y 58 metros.



Así pues, importantes puentes fueron construidos en Europa en un proceso que se mantuvo activo durante el siglo XVIII aunque, los progresos más significativos a finales del siglo se extendieron y registraron en Estados Unidos y Rusia.

Con la Revolución Industrial, a finales del siglo XVIII, el *acero* hace su incursión en el campo de la construcción y a partir de entonces empieza a hacer parte esencial del puente, originando la combinación de la madera y el metal en su estructura. Durante este periodo los entramados y arcos comienzan a predominar en los diseños de puentes de madera, incentivando vigorosamente el desarrollo de nuevos diseños y sistemas constructivos.

Ya para principios del siglo XIX, en Europa y Estados Unidos, la presencia de la madera en puentes resulta común pero se reconoce la necesidad de mejorar su diseño, de cubrirlos.

Es así como en 1820 el arquitecto Ithiel Town patentó el diseño del puente de doble pared enrejada, una solución fácil de fabricar, con la cual se llegó a cubrir luces de 66 metros y que representó el primer diseño hacia la *cercha* así como se conoce actualmente. Con el antecedente, este sistema se convirtió rápidamente en la forma de construcción más común para los puentes cubiertos americanos, construidos para tráfico vehicular y ferroviario. (Foto 2)



Foto 2. Cercha de doble pared enrejada "Lattice truss". Ithiel Town, USA construido en 1820 y Puente de Cercha Howe para ferrocarril, USA. 1840

Pero tal como se registraban constantes mejoras a nivel estructural, también se desarrollaba productos, sustancias e insumos para proteger las novedosas iniciativas. Justamente, a finales del siglo XIX, el desarrollo de tratamientos preservativos a presión significó el progreso más importante para mejorar el desempeño y asegurar la durabilidad de los puentes en madera, lo que repercutió en el perfeccionamiento los diseños y tecnologías constructivas de los puentes existentes. De igual forma, en Francia, para el mismo periodo, el coronel Emy imaginó un sistema de "vigas laminadas" unidas con pernos y correas metálicas, pero sólo hasta 1900 se reporta en Suiza el nacimiento de vigas laminadas curvas, cuando el suizo Otto Hetzer reemplaza los pernos metálicos por adhesivos naturales, probablemente caseína ⁽³⁾. (Foto 3)



Foto 3. Cilindros de tratamientos de preservación a presión. 1934. USA.

Dicho perfeccionamiento incentivó de forma clave la expansión del uso de la madera en puentes en forma de vigas y cerchas de gran tamaño, especialmente en la década de 1930, época en la que se levantaron imponentes obras como el puente de Sioux Narrows en Kenora, Ontario (Canadá), construido en 1936, con una luz principal de 64 metros y que aún hoy está en servicio. (Foto 4)

Con el tiempo otros importantes desarrollos hicieron su aparición, y entre los más valiosos registrados durante el siglo XX, esta la *Madera Laminada Pegada Estructural LPE*, consistente en la unión de tablas (láminas o llamadas también lamelas) por sus extremos que se empalman por medio de la tecnología del dentado tipo "finger joint", y unidas también por sus caras, mediante pegantes ⁽⁴⁾, que restituye la continuidad de las fibras para lograr elementos de gran longitud ⁽⁵⁾, a partir de vigas, arcos y marcos, conformando unidades estructurales de largos ilimitados con secciones de geometrías muy variadas. (Fotos 5 y 6)



Foto 5. Pruebas llevadas a cabo en el Laboratorio de productos Forestales de USA, con arcos de madera laminada, 1935.



Foto 6. Arcos de vigas laminadas.

En la década de los años 40, se introduce el LPE como material para la construcción de puentes y a partir de 1960, se convierte en el material por excelencia para este fin. Un ejemplo representativo de la tecnología de LPE, es el puente vehicular Keystone Wye, construido en 1968 en el sur de Dakota, utilizando la tecnología del laminado pegado para la estructura de la viga y arco principales. (Foto 7)



Foto 4. Puente Sioux Narrows, Ontario, construido en 1936. Su estructura es en cercha Howe, venciendo una luz de 64 metros.



Foto 7. Puente Keystone Wye, construido en 1968, en el sur de Dakota, USA, con un largo total de 88 metros y una luz de 49 metros que vence el arco.

Tecnologías Alternativas...

Son múltiples e interesantes las propuestas desarrolladas por el hombre, en materia de construcción y en la constante búsqueda de ofrecer alternativas, es así como en 1969 TJ International USA (Art Trotner y Herold Thomas), experimentando en el área de los contrachapados, fabrica su primera vigueta en **LVL**, totalmente en madera, que más adelante y ya de forma evolucionada, haría parte de la estructura de puentes. Dentro del mercado americano las ventas de esta vigueta se dispararon, al haber una gran demanda, su producción dependía del suministro de madera estructural de alta calidad para los cordones de tracción y compresión, de tal forma que el Sr. Troutner empezaría a desarrollar un producto alternativo a la madera maciza.

Se trataba de un laminado paralelo de 2.54 milímetros de grueso de chapas de *Abeto Douglas*, pegadas, prensadas a más de 15 Kg/cm² y fraguadas por radiofrecuencia, que alcanzaba óptimas propiedades de resistencia y acabado. De esta gran lámina se cortaban los elementos del ancho y largo deseado para conformar las viguetas. Este proceso de fabricación fue bautizado y patentado en enero de 1970 por TJ como Microllam *LVL*. (Foto 8)

Hoy por hoy el *LVL* combina la estética de la madera natural con la versatilidad y las características de un producto tecnificado. Son tableros de chapas laminadas pegadas con



Foto 8. Manufactura de tableros de LVL

adhesivos a prueba de agua, que respetan la dirección paralela de la veta y de esta forma ofrecen un tablero compacto del que pueden obtenerse elementos a la medida exacta y necesaria para, por pegado, conformar vigas, viguetas, columnas, perfiles, etc.

Sin embargo, el sistema presenta algunas limitantes ya que puede ser restrictivo en forma cuando solamente permite la fabricación de elementos rectos, sin contar que su fabricación es exigente y costosa por la gran cantidad de juntas y pegante que se utiliza en la elaboración de los tableros y en la de los elementos. Pero con todo, actualmente y en algunos casos, viene sustituyendo a la madera laminada en la fabricación de elementos rectos, con mayores costos, pero menos volumen. (Foto. 9)



Foto 9

posición hace que se tensen transversalmente con barras por medio de gatos hidráulicos. Aquí tanto los elementos de tensado como los de anclaje son fabricados en acero de alta resistencia, configuración que permite que el conjunto trabaje como placa multifuncional, distri-

buyendo y absorbiendo las cargas externas uniformemente.

Para distribuir adecuadamente los esfuerzos de compresión transversal en el tablero, se colocan en los extremos laterales, elementos de madera más resistentes o perfiles de acero, mientras los empalmes longitudinales de los listones se colocan a tope sin ningún tipo de unión.

Las fuerzas externas originadas por las cargas de uso son transferidas entre las láminas por fricción, gracias al pretensado de toda la placa. El hecho de que el tablero trabaje como una placa uniforme facilita la disposición de membranas impermeables. A manera de protección en los puentes peatonales y/o la aplicación de asfalto o concreto en los puentes vehiculares, cumpliendo la misma función protectora de la techumbre a dos aguas de los antiguos puentes de madera.

Este método es sencillo y económico para construir tableros de una envergadura aproximada de 8 metros a 10 metros entre apoyos, siguiendo los requerimientos básicos de distanciamientos, donde los tablones son generalmente tratados con creosota⁽⁶⁾ antes de ser ensamblados y tensados.

El primer ejemplo conocido de este tipo de construcción fue el puente Teal

Tecnologías Recientes...

Dada la limitante que significa contar, exclusivamente, con las dimensiones de la madera comercial para elementos estructurales y con la necesidad de construir sistemas longitudinales de plataforma continua para puentes, con luces mayores a las disponibles comercialmente, para finales de la década de 1970, fue concebido el *tablero tensado*, tecnología desarrollada en conjunto entre Canadá y Estados Unidos.

Su importancia radicó en que los tableros tensados ofrecieron como ventajas, frente a los puentes tradicionales, una mejor distribución y absorción de cargas puntuales, el no requerimiento del empalme longitudinal de los listones, un armado en obra o fábrica por tramos de tamaño transportable, la no demanda de mano de obra especializada para su elaboración y/o armado y por último, el uso del tablero al mismo tiempo como reforzamiento horizontal y base dimensionalmente estable para facilitar la aplicación de la capa protectora de acabado (concreto, asfalto, etc).

El exitoso sistema, básicamente consiste en tablones (listones) de aproximadamente 30 centímetros de alto, dispuestos cara contra cara en la dirección longitudinal del puente, cuya

River en 1989 y recientemente, a nivel latinoamericano, en Chile se han registrado algunos experimentos con esta tecnología, relacionada con la restauración de puentes vehiculares. (Foto 10) y (Foto 11)



Fotos 10. Puente Teal River, Chequamegon National Forest Sawyer County, WI construido en 1989. Luz total de 9.7 metros y un ancho de 7,2 metros.

Tipología de Puentes de Madera en el Mundo

En el puente cabe diferenciar la *Infraestructura*, constituida por las columnas o apoyos cimentados sobre el terreno, los cuales transmiten a éste el peso del puente y por otro lado la *Su-*

perestructura, constituida por el conjunto de elementos que salvan las luces entre apoyos.

Según las soluciones adoptadas para soportar el tablero y transmitir las cargas a los apoyos, se pueden clasificar en nueve tipologías, referidas al tipo de estructura y características comunes, así: viga, tablero como viga apuntalada, tablero como viga mixta, cercha de cordones paralelos, cercha triangular, arco, tablero atirantado, tablero colgante, sistemas no convencionales. Estos son algunos ejemplos representativos de la madera y su tecnología, aplicada en la construcción de puentes peatonales. (Foto 12)

Esta innovadora construcción, con la disposición inclinada del par de vigas reticuladas (cerchas) elaboradas con tecnología de LPE, se une en su cordón superior, generando una viga tipo cajón de sección triangular. Aquí la plataforma de piso, además de unir los cordones inferiores de las dos cerchas laterales, queda protegida al interior de la viga cajón. Las dos cerchas constituyen así la cubierta revestida, con vidrios de seguridad, que le confieren su singular atractivo estético. (Foto 13 y 14)



Foto 12. Puente ubicado sobre el río Neckar en Remseck (Alemania - 1988), fue construido con tecnología LPE, armado en madera tratada y espina de pescado y tiene una luz de 80 metros y 7.56 metros de ancho.



Foto 13. Puente Vibantasalmi, ubicado en Mäntybarju, Finlandia (1999), de 11 metros de ancho y de 168 metros de luz, construido con tecnología LPE. La estructura está conformada por tres cerchas Rey, donde sus dos vigas principales fueron elaboradas en LPE. Su tablero es una estructura de madera con acabado de concreto que se descuelga y es sostenido por medio de pendolones de acero en los puntos medios y cuartos de las cerchas triangulares.



Foto 11



Foto 14. Puente ubicado en Tar River trail, Rocky Mount (Estado de New Cork, USA) construido en el año 2000, de 69 metros de luz, 4.25 metros de ancho y armado en madera con acabado asfaltado.



Para su construcción se eligió madera, por ser el material más armónico con el paisaje. Su estructura está basada en dos arcos de LPE, ayudados por dos vigas longitudinales de LPE, colocadas a manera de baranda que trabajan a flexo tracción. Ocho separadores tubulares de acero unen los arcos, complementados por diagonales de barras de acero que garantizan la rigidez espacial, evitando vuelco. (Foto 15 y Foto 16)

La solución de esta estructura es una combinación de acero y madera, que se integra perfectamente al paisaje noruego. Está sostenido por tres arcos de LPE, un arco principal y dos laterales apoyados sobre el principal, fijados sobre dos bases de concreto piloteados y anclados al suelo rocoso. El tablero, que actúa como cubierta del puente, está fabricado en madera de abeto sin tratar y descansa en el centro sobre el arco principal y sobre cuatro columnas de acero en los extremos. La estructura alcanza los nueve metros por encima del nivel de la autopista. 🏗️

Fotos 15 y 16. Puente Leonardo, un diseño de Leonardo Da Vinci, levantado en Aldea As, (Noruega) en 2001. Armado en madera sin tratar, tiene una luz de 45 metros y un largo total de 110 metros.



(*) Fuente:

Pilar Castro Casas: Arquitecta egresada Universidad Nacional 1998. Maestría en construcción Universidad Nacional 2005. Actualmente vinculada con la Industria de pisos laminados y de madera. E-mail: pilita99@hotmail.com

Citas:

1. Entramados: Armazón esquelético de piezas de madera; su función es la de soportar cargas distribuyendo los empujes producidos, sobre los apoyos.

2. Cercha: Entendido como componentes estructurales planos, retículas de contorno poligonal, formados por triangulación de elementos simples o compuestos que trabajan a tracción y compresión, donde es vital el arrostramiento horizontal trabajando como una gran viga.

3. Caseína: Fosfoproteína que se encuentra especialmente en la leche y también en algunas semillas. Polvo soluble en agua y disoluciones alcalinas, se utiliza en la preparación de plásticos, adhesivos, pinturas y fibras textiles.

4. Los pegantes usados actualmente son los que están preparados a base de resinas sintéticas. A esta clasificación pertenece el Urea-formaldehído, usada en estructuras no sometidas a la humedad y el Resorcinol-formaldehído, la melamina – formaldehído, Poliuretano, Epoxídicas, que resisten la humedad.

5. Por secado y economía se ha llegado a la conclusión de que el espesor de las láminas no debe ser menor a 19 milímetros ni sobrepasar los 50 milímetros. Si las láminas son paralelas al plano neutro de flexión del elemento, es llamada laminación horizontal; si por el contrario las láminas son perpendiculares al plano neutro de flexión, se conoce como laminación vertical.

6. Creosota: Destilado generalmente de alquitrán de hulla, constituido por una mezcla de hidrocarburos aromáticos sólidos y líquidos. Utilizado en la preservación e inmunización de la madera contra hongos, insectos o taladradores marinos.

* Tomado de M&M. Madera Laminada.

Bibliografía

- BANCALARI CORNEJO, Alejandra. Protección por diseño en puentes de madera. Ediciones Universidad del Bio-Bio. Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño. 2004.
- BLASSEM, H.J., AUNEM, P, CHOOSEN, B.S. Timber Engineering, Step two – Design, details and structural systems. 2002.
- CERVER, Francisco Asencio. New bridges. Arco Editorial S.A.
- FINGER, Andreas and MEILI, Markus. Durability of on covered timber bridges. EMPA. 2002.
- FINGER Andreas, MEILI Markus. Dauerhaftigkeit von offenen Holzbrücken. 2002. 105 p
- HERRERA, Jerónimo. Puentes. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería civil. Editorial Universidad Católica. 1996. 147 p.
- Initiative Architektur und Baukultur. Strassen Brücken, Bridges. Bundesministerium. 2002.
- KILLER, Josef. Die Werke der Baumeister Grubenmann. Editorial Lignum. Cuarta edición. 1998.
- NATTERER Herzog. Holzbau Atlas. Editorial Rudolf Müller. 1991. 332 p.
- Proyecto ALFA "Pasarelas". Universidad Bio-Bio. Editorial Holzbauinstitut. Universidad Biberach Alemania. 2002.
- Strassen Brücken. Ministerio de obras públicas Aleman. 2002. 95 p.
- TORRES ARCILA, Martha. Puentes. Editorial Atrium Internacional de México. 2002. 575 p
- UK ARCHITECTURE. Über Brücken. Building Bridges. Editorial Berlin Bauen. 1999.

