

# Pasarelas de madera laminada encolada

FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI

La utilización de la madera maciza y laminada encolada en la construcción de puentes y pasarelas constituye una de las aplicaciones de este material más provocativas, por el reto que supone su utilización a la intemperie en muchos casos sin la protección de la cubierta.

Hasta la aparición del hierro en la construcción, los puentes de ferrocarril y vehículos eran contruidos con madera. Un claro ejemplo donde el Desarrollo se liga a la construcción de puentes es el de los **Estados Unidos** de América. Todavía hoy quedan cerca de 1.000 puentes de madera del siglo XIX y aunque se encontraban como "especies a extinguir", actualmente existen numerosos grupos que están activamente interesados en su conservación.

Sin embargo, la utilización de la madera en la construcción de puentes, no es un campo en desaparición, sino que está adquiriendo una vigencia y competitividad creciente. Como muestra de lo anterior, puede citarse el Programa de desarrollo de Puentes de Madera en los Países Nórdicos.

Se trata de una acción de cooperación entre participantes de **Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia**, que proceden de la industria de la madera, organismos de investigación y la administración implicada en la construcción de puentes de carretera. Su objetivo es el incremento de la competitividad de los puentes de madera frente a otros materiales como el acero y el hormigón. El programa comenzó en 1994 y su primera fase terminó en 1996.

Su actuación se desarrolla en seis líneas de trabajo que se concretan en varios proyectos de investigación:

- Estudio de mercado de los puentes de madera.
- Competitividad.
- Cálculo y proyecto.
- Puentes mixtos de madera y hormigón.
- Puentes en arco.
- Tableros de madera laminada postensada.
- Puentes de celosía.

- Uniones.
- Detalles constructivos.
- Pilas.
- Superficie de rodadura.
- Protección.

También en **Canadá**, el desarrollo del sistema de tablero laminado postensado, ha permitido que deje su papel limitado a puentes de carreteras secundarias para utilizarse en las vías principales. Este sistema consiste en construir un tablero

Puente de Eching en Alemania



compuesto por piezas de madera aserrada que se mantienen solidarias mediante la aplicación de una presión transversal gracias a barras de acero tensadas. Lo que comenzó siendo una técnica de rehabilitación de un puente con tablero laminado clavado en 1976, ahora queda recogido en la norma canadiense para el Proyecto de puentes de autopista.

Uno de los sistemas más prometedores desarrollados en **Canadá** es

## Pasarela en Eching (Alemania)

el sistema mixto de acero y madera. Se forma una estructura compuesta con un tablero laminado postensado, conectado a vigas de acero mediante conectores a rasante, sin emplear hormigón. Un proyecto de 1992 desarrolla un puente de vehículos de dos carriles con una luz de 50 metros, con un tablero de 292 mm de grueso conectado a 5 vigas de acero armadas en doble T y con un canto de 1.800 mm.

En este artículo se describen cuatro ejemplos de pasarelas construidas principalmente con madera laminada encolada, con soluciones muy diferentes entre sí, pero con la consideración de ciertos detalles constructivos dirigidos a aumentar su durabilidad y reducir el mantenimiento. Todas ellas se encuentran en Alemania.

El ejemplo más sencillo es el de Eching (1982), una pasarela de 21 metros de luz sin cubierta de protección, pero con numerosos detalles de encuentros bien resueltos.

La pasarela colgante sobre el Danubio (1990), con una longitud de unos 52 metros representa una solución estructural diferente, pero tiene los mismos riesgos de degradación al no contar con la cubierta.

La pasarela Alfred-Töpfer (1967), es un claro ejemplo de puente cubierto, con una longitud de 65 metros. En este caso la durabilidad es más fácil de alcanzar gracias a la cubierta. La mayor parte de las pasarelas del centro de Europa se encuentran cubiertas.

Finalmente, el caso de Remseck (1988) constituye un ejemplo con una luz de cierta importancia, 80 metros, y con una cubierta transparente.

Se trata de una pasarela de madera laminada encolada situada en la ciudad de Eching (próxima a Munich). Salva un vano de 21 metros sobre una rama del lago Ammer (Ammersee), tiene una anchura de 2 metros y discurre paralela a un puente de vehículos.

El proyecto es obra de los ingenieros Natterer y Dittrich. Fue construida en 1982 y lo primero que destaca al verla después de 15 años en servicio, es su color agrisado por efecto de la exposición a la intemperie, pero no presenta signos de deterioro importantes, gracias al adecuado diseño constructivo.

La estructura principal está constituida por dos vigas de madera laminada encolada con una sección de 20 x 115 cm. La estabilidad frente al vuelco lateral de las vigas se consigue mediante un sistema de armaduras transversales formadas por tornapuntas de madera que inmovilizan el cordón superior de las vigas.

Excepto las vigas de madera laminada de conífera, el resto de las piezas (montantes, largueros, diagonales y entablado del suelo) son de madera maciza de Azobe, especie tropical de gran durabilidad natural.

El tablero del puente se organiza con un despiece típico, aunque con ciertas particularidades. Los montantes (o piezas transversales a las vigas principales) se encuentran suspendidos de las vigas principales mediante redondos metálicos (M20) que se anclan en el borde superior de la viga.

Tienen una sección de 12 x 21 cm. Estos montantes sobresalen a ambos lados de la pasarela y recogen las tornapuntas de



Sección y planta: Vista general de la pasarela. Se aprecia como las tornapuntas de estabilización lateral protegen las testas de las piezas transversales (montantes).

Foto 2: Vista de la celosía inferior. Los montantes quedan colgados de las vigas principales y los tacos de madera clavados permiten la transmisión de los esfuerzos rasantes en el punto de encuentro de las dos diagonales.

Foto 3: Vista del interior de la pasarela.

Foto 4: Pieza de remate y protección del borde superior de la viga.

**arriostramiento.**

El hecho de colgar los montantes de las vigas, en lugar de la solución habitual en la que éstos apoyan en la cara de la viga mediante un herraje, presenta ciertas ventajas: la unión entre montante y viga es más simple y se reduce la posibilidad de acumulación de agua en los herrajes; se gana altura para aprovechar el canto de la viga principal como barandilla. El inconveniente que tiene es que la unión no es capaz de transmitir los esfuerzos rasantes por sí sola y precisa unos elementos de refuerzo que después se explican.

Sobre los montantes se apoyan dos largueros con una sección de 8 x 18 cm que sirven de soporte al entablado del suelo formado por tabloncillos de 18 x 6 cm. La estabilización del conjunto frente a los esfuerzos horizontales del viento se consigue mediante unas diagonales de madera maciza (sección 10 x 10 cm) que forman recuadros arriostrados en cada módulo de montantes.

La madera de Azobe (*Lophira alata* Banks ex Gaertn.), conocida también con el nombre de Akoga, es una madera frondosa tropical, procedente del centro y el oeste de África. Su densidad es muy elevada (950 - 1100 kg/m<sup>3</sup>). El duramen se clasifica como durable frente a la acción de los hongos y termitas y medianamente durable frente a los xilófagos marinos. Es una madera muy resistente a la abrasión, lo cual la hace especialmente indicada para suelos y peldaños de escaleras. El

color del duramen es pardo oscuro chocolate.

Los detalles constructivos que resuelven los encuentros están diseñados correctamente, lo que resulta de vital importancia en una construcción de estas caracte-

rísticas, dada su exposición a la intemperie sin la protección de la cubierta. A continuación se comentan alguno de estos detalles.

Sobre la cara superior de las vigas se dispone una pieza de madera resistente a la intemperie que sirve de pasamanos y se inclina ligeramente para hacer de vierteaguas. A su vez protege las vigas de la acción directa del agua y del roce del uso, y su reposición es sencilla.

Las tornapuntas que inmovilizan el borde superior de las vigas principales se encuentran con los montantes de manera que la misma tornapunta cubre y protege la testa del montante; de esta manera el agua de lluvia resbala con facilidad.

Los largueros discurren paralelos a las vigas principales pero manteniendo una separación para permitir la ventilación y evitar el depósito de agua que podría ocurrir en el caso de estar adosadas.

Finalmente, los tabloncillos que constituyen el suelo, quedan con holguras entre sí y también las testas no llegan a tocar la cara de las vigas, permitiendo así, la hinchazón transversal libre y evitando la acumulación de barro y humedad.

## Pasarela colgante sobre el Danubio

Esta pasarela, construida en 1990, se encuentra en el camino desde Ausburg a Freiburg y tiene una longitud de unos 52 metros sobre el río Danubio. El sistema estructural es el de una viga colgada desde una pila situada en un punto al tercio de su longitud, formando así dos vanos de unos 17 y 35 metros. La pila está constituida por una estructura metálica en forma de pórtico en V, y en su extremos superior se anclan los cables de suspensión de las vigas del tablero. Las vigas principales son de madera laminada encolada y se disponen en un plano ligeramente inclinado adaptándose al trazado de los cables en su convergencia en el extremo superior.

La cara externa de las vigas queda protegida mediante un entablado fijado sobre un enrastrelado. De esta forma la superficie de la viga queda ventilada y a cubierto de la intemperie, mientras que el entablado puede reponerse con facilidad.

Los montantes o travesaños se disponen a distancias del orden de 3 a 4 metros y actúan como costillas de la estructura cumpliendo diversas funciones. Están construidas con perfiles metálicos; el horizontal, en H, que sirve de apoyo a los largueros de

madera laminada y los verticales fabricados en tubo hueco de sección variable que terminan rematando la barandilla y el pasamanos. Además, estos últimos se aprovechan para unirse a las vigas y restringir el vuelco lateral de las mismas, actuando como marcos rígidos en forma de U.

Los tabloncillos que forman el suelo de la pasarela se disponen con holgura suficiente para permitir la evacuación del agua de lluvia y se apoyan sobre los dos largueros. Éstos quedan separados de las caras de las vigas, con el mismo objetivo de evitar la acumulación de humedad.

Además, bajo los tabloncillos se coloca una pieza de madera aserrada atornillada, en el centro del vano de los mismos, con el fin de conseguir un reparto de las cargas que actúan sobre los tabloncillos, impidiendo que trabajen de modo independiente. Gracias a esta disposición, una carga puntual aplicada sobre uno de los tabloncillos se reparte entre varias piezas.

El arriostramiento frente a las acciones horizontales se garantiza mediante unos recuadros con tirantes metálicos en Cruz de San Andrés cada dos montantes metálicos. El anclaje de los tirantes en las vigas principales se realiza insertando una placa metálica en la sección de las vigas, sellando con silicona la junta en la cara superior. Esta solución presenta un riesgo importante de provocar problemas por degradación de la madera si el agua puede introducirse en el interior.

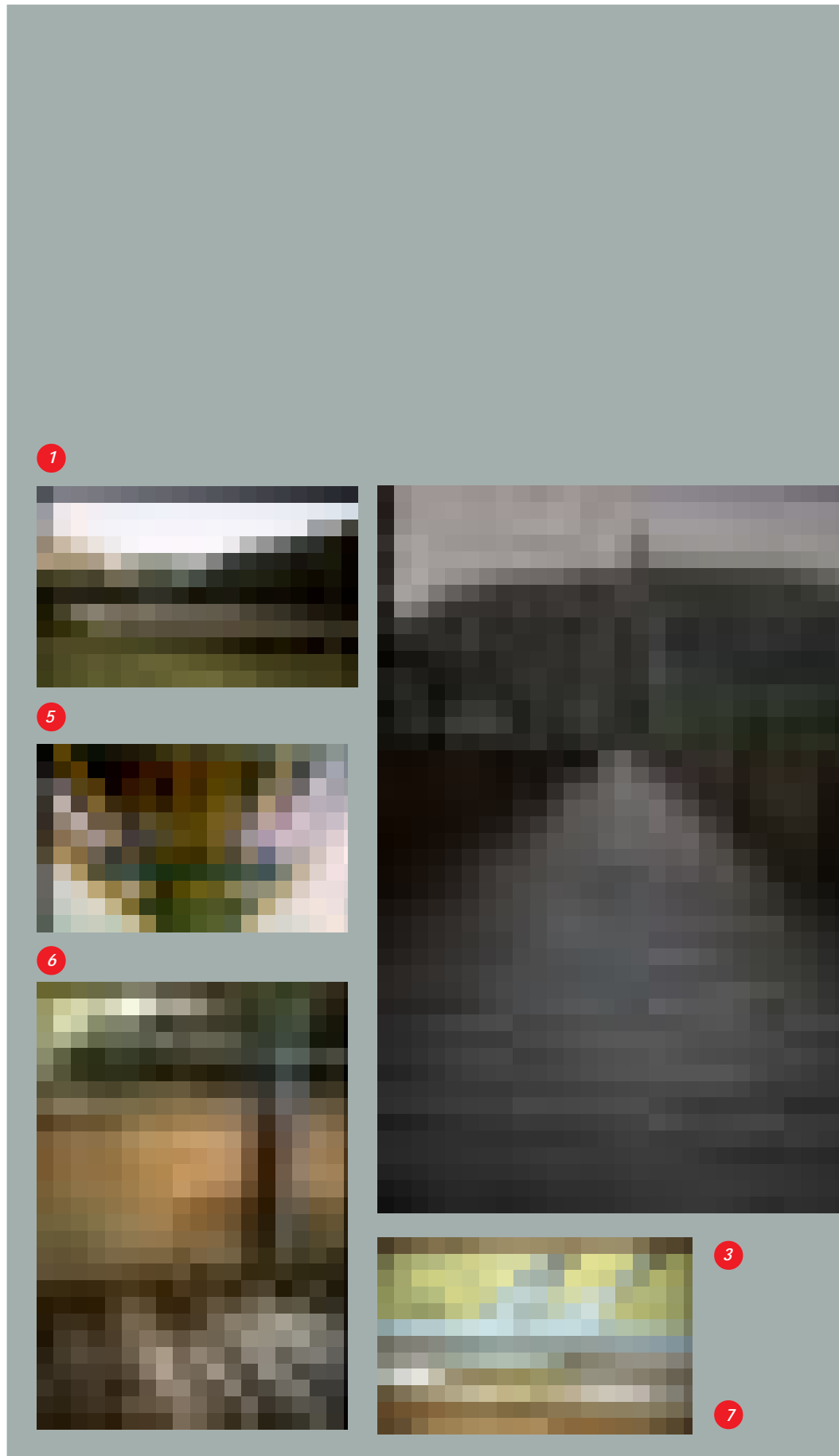
Foto 1: Vista general de la pasarela

Foto 3: Vista del interior

Foto 5: Arriostramiento en Cruz de San Andrés formando recuadros con los montantes. Pieza de madera aserrada atornillada a los tabloncillos que actúa como repartidor de las cargas

Foto 6: Perfil vertical de los montantes fijado a la cara de la viga que remata la barandilla

Foto 7: Placa de anclaje de los tirantes metálicos



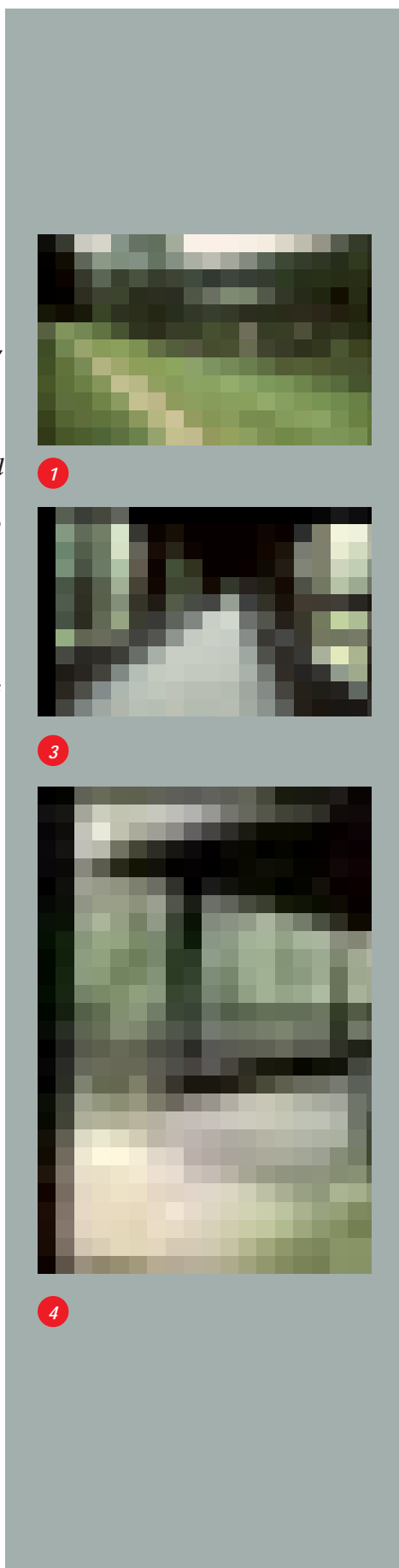
## Pasarela “Alfred - Töpfer”

**E**ste puente peatonal conocido como el “puente Alfred - Töpfer”, cruza el río Sauer, frontera entre Alemania y Luxemburgo. Fue inaugurado el 7 de abril de 1967 con ocasión del intercambio del Documento de ratificación del tratado germano-luxemburgués. Tiene una longitud de 65 metros y apoya sobre tres pilas intermedias, salvando cuatro vanos de unos 15 metros de luz. Los costes totales ascendieron a 183.748 marcos alemanes. La estructura consiste en unas vigas de madera laminada encolada con canto variable en las zonas de apoyo sobre las pilas de mampostería. La estructura de la cubierta es independiente de la del tablero y está formada por una serie de pórticos de cerchas sobre pilares, que apoyan sobre las vigas inferiores. En el plano horizontal existe una celosía para arriostrar la cubierta y resistir los esfuerzos del viento, similar a la que se dispone bajo el tablero de la pasarela. Para estabilizar esta estructura de la cubierta y los apoyos de las vigas, se disponen unos soportes de mayor sección en las secciones correspondientes a las pilas. La impermeabilización de la cubierta se realiza mediante tejuela de madera. El estado aparente de la madera es correcto con la excepción de la parte inferior de los soportes de estabilización lateral, debido a la acción del agua que moja esta pieza, ya que el alero de cubierta es reducido.

Foto 1: Vista general de la pasarela “Alfred - Töpfer”

Foto 3: Vista del interior de la pasarela.

Foto 4: La entrada a la pasarela cuenta con una rejilla metálica para la limpieza del barro del calzado.



## Puente peatonal sobre el río Neckar

**R**emseck es una población situada en los alrededores de Stuttgart. Esta pasarela para peatones y ciclistas salva una luz de 80 metros y está constituida por una viga en celosía espacial. Tres vigas trianguladas forman un sección triangular equilátera con una base de 6,40 metros en los apoyos, que aumenta hasta 7,56 metros en el centro del vano. Los cordones inferiores tienen doble curvatura, una en el plano horizontal para aumentar la base del triángulo y otra en el plano vertical para conseguir una contraflecha de ejecución. Las dos vigas que forman las paredes de la pasarela son celosías de tipo Pratt, y la celosía de la viga del suelo es de tipo Warren con montantes intercalados. Los cordones están constituidos por dos piezas adosadas de madera laminada encolada de canto variable y presentan dos empalmes en toda su longitud. Las uniones entre las barras de la celosía se realizan con placas de acero cosidas con pasadores. El tablero del puente se forma con tres vigas de madera laminada dispuestas horizontalmente y apoyadas sobre los montantes de la celosía inferior. Sobre estas vigas se colocan rastreles para el apoyo del entablado de pino que constituye el pavimento. La anchura de la banda transitable es de tres metros. Una de sus características más particulares es su ligereza y transparencia, en parte lograda por el revestimiento con vidrio de seguridad que se fija a unas piezas de madera laminada dispuestas a modo de pares. Esta solución, además de proteger de la lluvia y



## PASARELAS

del viento a los peatones, mejora enormemente la durabilidad de la madera.

Fue construida en los años 1988-89, según proyecto de los arquitectos e ingenieros en estructuras Milbrandt y Sengler. La pasarela se montó íntegramente en una orilla y uno de los extremos se desplazó en barca hasta alcanzar su apoyo definitivo.

Se emplearon 296 metros cúbicos de madera laminada de abeto (*Picea abies*) y 10 metros cúbicos de madera aserrada para el pavimento.

Después de 8 años de servicio el estado de la madera es impecable salvo el polvo y suciedad que se acumula en las superficies horizontales no transitables. La limpieza del vidrio puede efectuarse desde el exterior mediante una cesta desplazable.

A continuación de esta pasarela existe otra que salva otra rama del río, con una luz ligeramente inferior (del orden de los 60 metros), pero con el mismo diseño, que fue construida posteriormente. Únicamente se observan pequeñas diferencias en la resolución de los detalles de encuentros y uniones que probablemente suponen mejoras respecto a la solución original ■



Foto 1: Vista general de la pasarela.

Foto 2: Vista interior en la que se observa la contraflecha de ejecución.

Foto 3: Encuentro de las barras de la celosía en el vértice superior.

Foto 4: Celosía inferior en la que se aprecian las tres piezas de madera laminada que sirven de soporte al entablado.

Foto 5: Detalle del acristalado sobre piezas de madera con perfil escalonado.