

## Pasarelas de madera laminada encolada

Francisco Arriaga Martitegui. Dr. Arquitecto

El artículo muestra cuatro pasarelas de madera laminada encolada realizadas en Alemania: pasarela de Eching, pasarela colgante sobre el Danubio, pasarela de Stuttgart y pasarela de Remseck. Se describen sus aspectos constructivos y los problemas de durabilidad.

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 construidos con madera. Un claro ejemplo donde el desarrollo se liga a la construcción de puentes son 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 1.994 y su primera fase terminó en 1.996.

Su actuación se desarrolla en seis líneas de trabajo que se concentran 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 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 a utilizarse como una técnica de rehabilitación de puente con tablero laminado clavado en 1.976, ahora queda recogido en la norma canadiense para el Proyecto de puentes de autopista.

Uno de los sistemas más prometedores desarrollado en Canadá es 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 1.992 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 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, (1.982), 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 (1.990), 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.

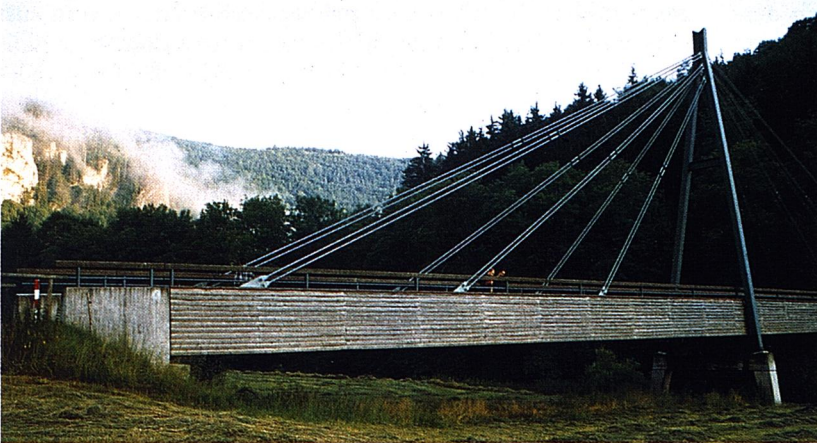
La pasarela de Stuttgart (1.980), es un claro ejemplo de puente cubierto con una longitud de unos 50 metros. En este caso la durabilidad es más fácil de alcanzar gracias a la cubierta y a los forros laterales. La mayor parte de las pasarelas del centro de Europa se encuentran cubiertas.

Finalmente, el caso de Remseck (1.988) constituye un ejemplo con una luz de cierta importancia, 80 metros, y con una cubierta transparente.





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



Vista general de la pasarela colgante sobre el Danubio.



Vista general de la pasarela de Stuttgart. Sistema estructural en celosía de madera laminada encolada.



Vista general de la pasarela de Remseck.



### PASARELA EN ECHING (ALEMANIA)

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  $20 \times 115$  cm. La estabilidad frente al vuelco lateral de las vigas se consigue mediante un sistema de armaduras transversales forma-

das 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  $12 \times 21$  cm. Estos montantes sobresalen a ambos lados de la pasarela y recogen las tornapuntas de 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



Pieza de remate y protección del borde superior de la viga. El corazón queda hacia arriba para impedir la aparición de las fendas de secado en la cara superior.



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.



Vista del interior de la pasarela.



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  $8 \times 18$  cm que sirven de soporte al entablado del suelo formado por tabloncillos de  $18 \times 6$  cm. La estabilización del conjunto frente a los esfuerzos horizontales del viento se consigue mediante unas diagonales de madera maciza (sección  $10 \times 10$  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 ( $950-1100 \text{ kg/m}^3$ ). 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.

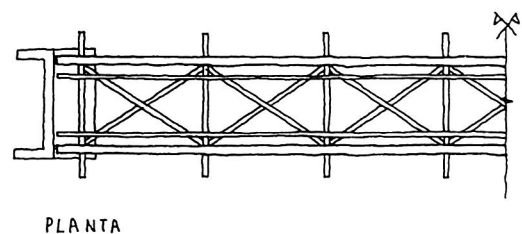
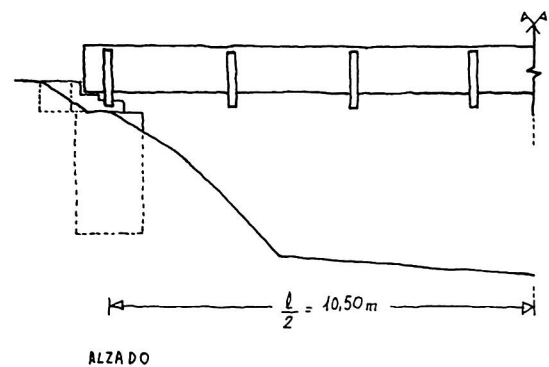
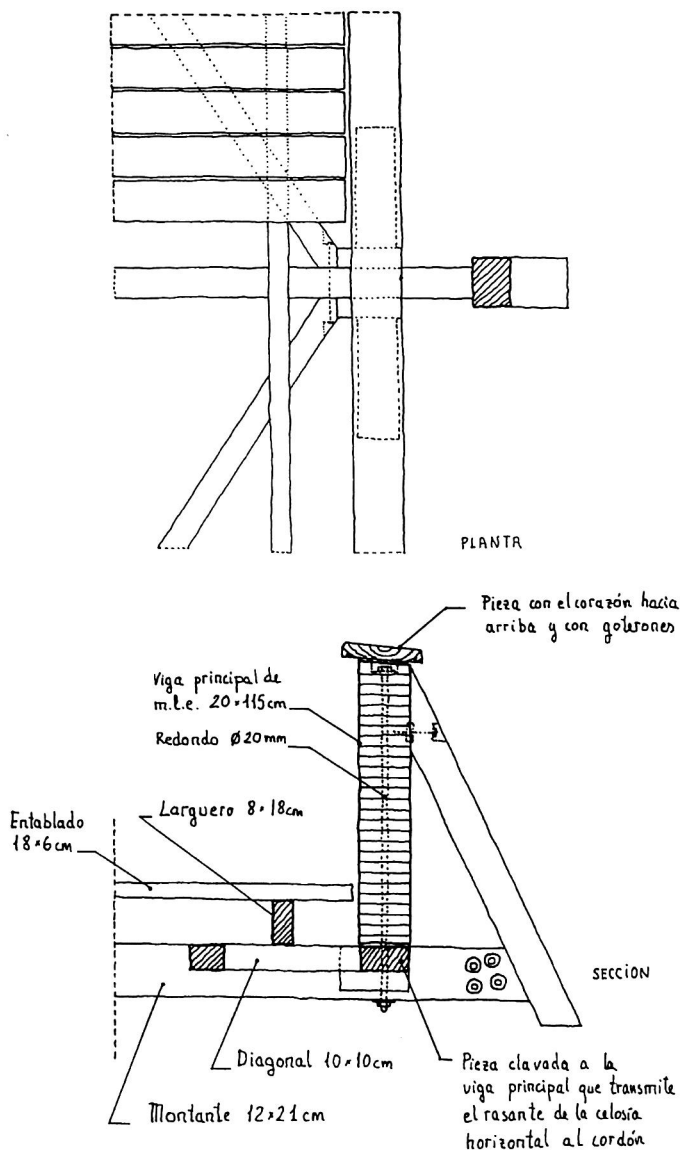
Los detalles constructivos que resuelven los encuentros están diseñados correctamente, lo que resulta de vital importancia en una construcción de estas características, dada su exposición a la intemperie sin la protección de la cubierta. A continuación se comentan alguno de estos detalles.

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.

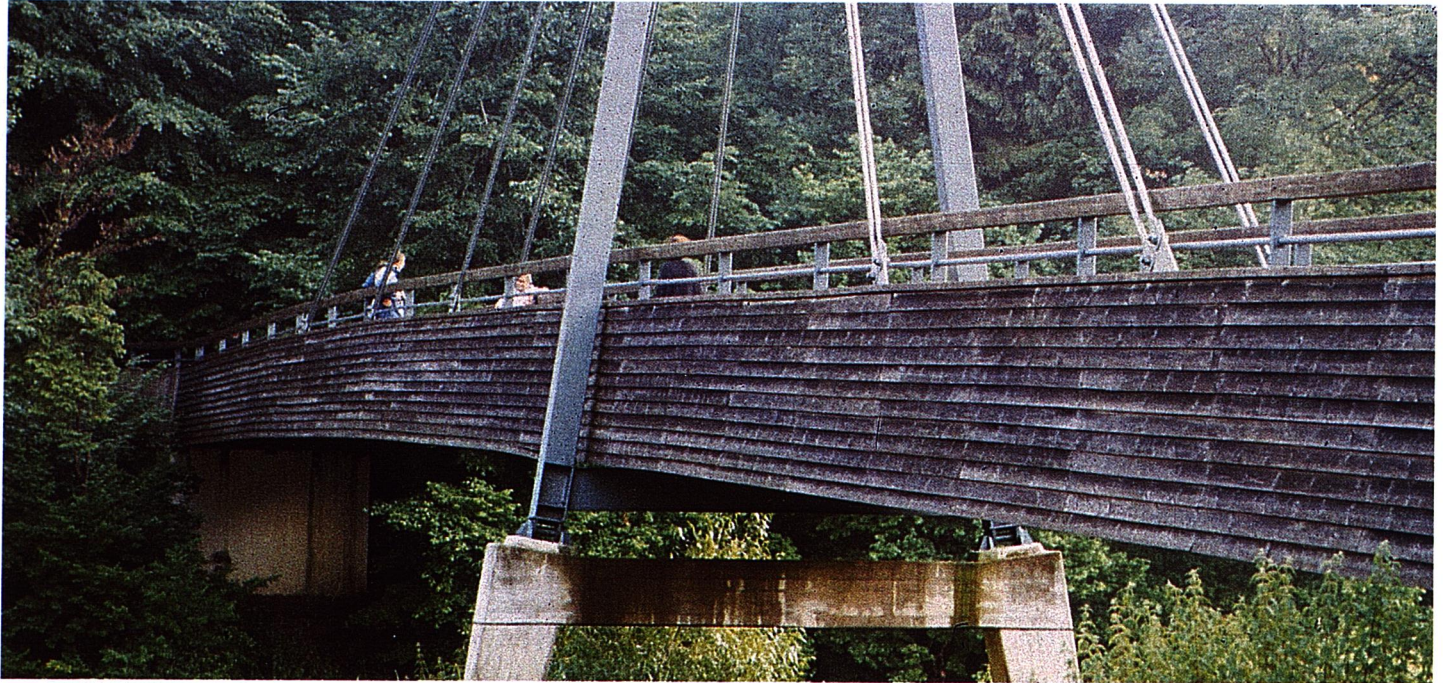
Las tornapuntas que inmovilizan el borde superior de las vigas principales se encuentran con los montantes de manera que la misma tornapunta cubre y protege la testa del montante; de esta manera el agua de lluvia resbala con facilidad.

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.

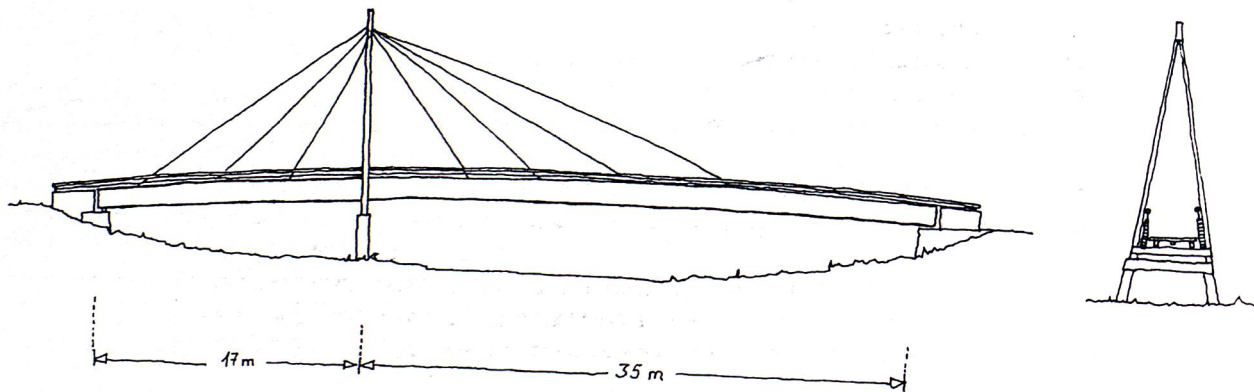
Finalmente, los tabloncillos que constituyen el suelo, quedan con holguras entre sí y también las testas no llegan a tocar la cara de las vigas, permitiendo así, la hinchazón transversal libre y evitando la acumulación de barro y humedad.







Vista general de la pasarela.



### 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.

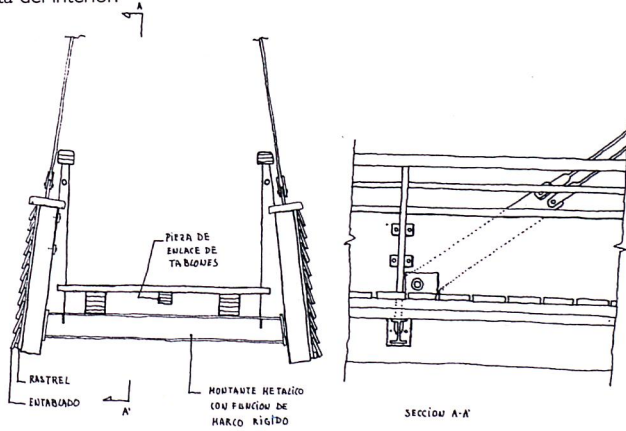
Los montantes o travesaños se disponen a distancias del orden de 3 a 4 metros y actúan como costillas de la estructura cumpliendo diversas funciones. Están construidas con perfiles metálicos; el horizontal en H que sirve de apoyo a los largueros de madera y los verticales fabricados en tubo hueco de sección variable que terminan rematando la barandilla y el pasamanos. Además, éstos últimos se aprovechan para colgarse de las vigas y restringir el vuelco lateral de las mismas actuando como marcos rígidos en forma de U.

Los tablonces que forman el suelo de la pasarela se disponen con holguras suficientes para permitir la evacuación del agua de lluvia, y se apoyan sobre los dos largueros. Estos quedan separados de las caras de las vigas, con la misma fi-





Vista del interior.



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

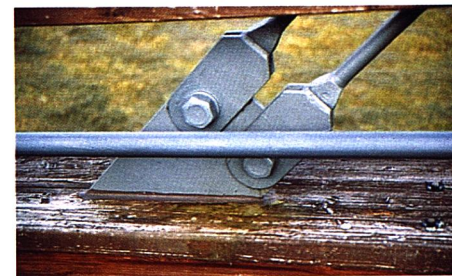
El arriostamiento frente a acciones horizontales se garantiza mediante unos recuadros con tirantes metálicos en cruz de San Andrés entre cada dos montantes metálicos. El anclaje de los tirantes en las vigas principales se realiza insertando una placa metálica en la sección de las vigas sellando con silicona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



Arriostamiento en Cruz de San Andrés formando recuadros entre los montantes. Pieza de madera aserrada atornillada a los tablonos que actúa como repartidor de las cargas.



Vista del entablado de protección fijado sobre un enrastrelado a la cara de la viga principal.



Placa de anclaje de los tirantes metálicos.



Perfil vertical de los montantes fijado a la cara de la viga, que remata la barandilla.



### PASARELA CUBIERTA EN STUTTGART

Se trata de una pasarela peatonal situada en la ciudad de Stuttgart que salva el río Neckar con dos tramos de unos 25 metros cada uno. Tiene una anchura de 3,5 metros aproximadamente y se encuentra cubierta prácticamente en todo su recorrido.

El sistema estructural consiste en una viga en cajón formada por celosías tipo Warren, con una modulación de unos 9 metros. Cada cordón está constituido por una sección compuesta por tres piezas: dos laterales de 30 × 40 cm y una central, que se interrumpe en los nudos, con una sección aproximada de 40 × 35 cm. Para alcanzar esta anchura, inusual en piezas de madera laminada, se han encolado por el canto láminas dispuestas al tresbolillo.

Aunque no conocemos su fecha de construcción, parece tener una cierta antigüedad a juzgar por su aspecto envejecido, tal vez de al menos 15 ó 20 años.

El suelo se forma con un entablado que tiene una escuadría de 150 mm de anchura de un grosor de 50 mm, y se disponen con una holgura de 10 mm, para permitir el paso del agua. Tal vez esta separación resulta algo escasa, al menos en los tramos de arranque, ya que es fácil la obstrucción del hueco con el barro arrastrado en la entrada.



El tablero inferior de la pasarela está formado por otra celosía tipo Pratt, de montantes y diagonales. Para el apoyo del entablado, se han dispuesto al tresbolillo unos largueros para acortar el vano.



La estructura de celosía es visible desde el interior. En el apoyo central, la dirección de la pasarela se quiebra para evitar una excesiva longitud visual, además de poder observar desde el interior la propia fachada del puente.



Nudo de encuentro de un montante y una diagonal de la celosía superior. El herraje galvanizado recibe a las dos piezas anteriores y transmite el esfuerzo al cordón superior a través de pemos con conectores de placa dentada. Pueden observarse los alambres o púas que impiden la estancia de las palomas u otras aves que con sus excrementos pueden provocar la corrosión del acero.



El alero es muy escaso y no protege las piezas de fachada. Para reducir el efecto del envejecimiento se ha dispuesto un forro con un entablado que a la vez constituye la barandilla. Tres tablas solapadas hacen de vierteaguas y el faldón de protección. Estas piezas pueden sustituirse con relativa facilidad.





Apoyo central que se materializa con dos piezas de madera laminada formando una V, reforzado con otras dos piezas de acero en una V más cerrada.



Como puede observarse parte del entablado del suelo ha sido recientemente sustituido, lo que muestra un defecto en el diseño a efectos de protección pasiva. El agua de lluvia que resbala por las caras de las barras inclinadas termina, en parte, acumulándose en el nudo de encuentro. Probablemente este hecho ha originado la degradación de la madera en esos puntos. Pueden observarse unos forros de chapa metálica que pretenden proteger los extremos de las barras inclinadas.



Arranque de la pasarela en el que se aprecia que la cubierta se retrasa varios metros respecto a la entrada. Pueden apreciarse las secciones compuestas de los cordones superiores.



## PUENTE PEATONAL SOBRE EL RÍO NECKAR EN REMSECK. (ALEMANIA)

Remseck 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.

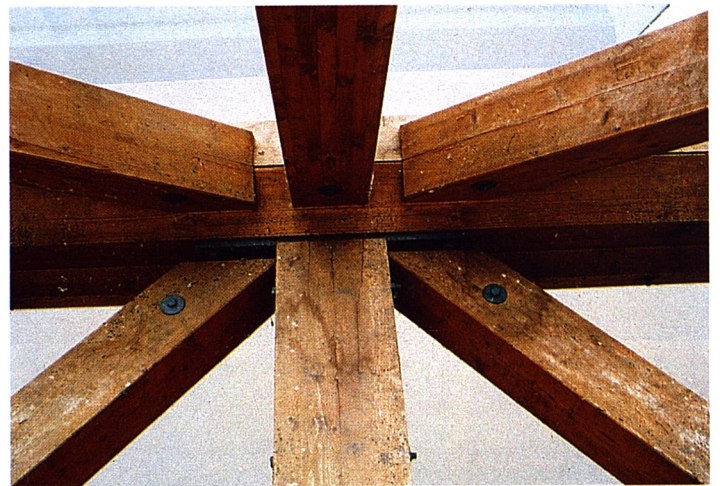
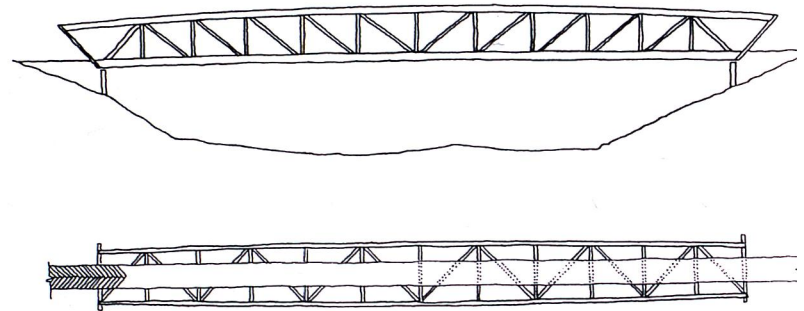
Las uniones entre las barras de la celosía se realizan con placas de acero cosidas con pasadores. El tablero del puente se forma con tres vigas de madera laminada dispuestas horizontalmente y apoyadas sobre los montantes de la celosía inferior. Sobre estas vigas se colocan rastreles para el apoyo del 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 del viento a los peatones, mejora enormemente la durabilidad de la madera.

Fue construida en los años 1.988-89, 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.

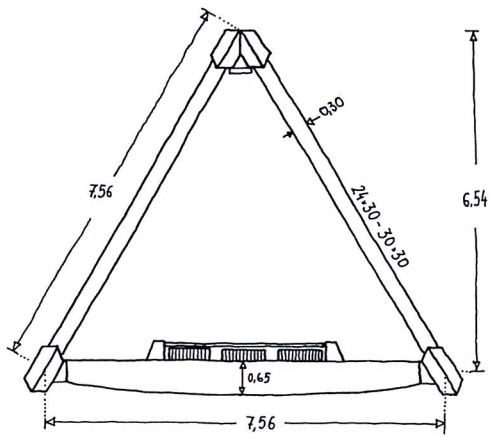
A continuación de esta pasarela existe otra que salva otra rama del río, con una luz ligeramente inferior (del orden de los 60 metros), pero con el mismo diseño, que fue construida posteriormente. Únicamente se observan pequeñas diferencias en la resolución de los detalles de encuentros y uniones que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



Encuentro de las barras de la celosía en el vértice superior.

Detalle del acristalado sobre piezas de madera con perfil escalonado.





Vista interior en la que se observa la contraflecha de ejecución.

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

