ARQUITECTURA Y MADERA

PUENTES

Ejemplos de uso

Boxhome, Sami Rintala
Fotografía: Ivan Brodey

3 INTRODUCCIÓN

2

OBRAS

4 PUENTE TRAVERSINA I
Ingeniería Jurg Conzett; Branger & Conzett AG
www.cbg-ing.ch

8 PUENTE AMANOGAWA
Sami Rintala
www.rintalaeggertsson.com

10 PUENTE PEATONAL SOBRE EL RÍO MUR
Marcel Meili & Marcus Peter Architekten
www.meilipeter.ch

13 PUENTE TRAVESINA II
Ingeniería Jurg Conzett; Rolf Bachofner, Branger & Conzett AG
www.cbg-ing.ch

ARQUITECTURA Y MADERA.

PUENTES
Ejemplos de uso

INTRODUCCIÓN

Puente Traversina I, Ingeniería Jurg Conzett

Si bien existe una importante tradición de puentes realizados con estructura de madera su uso aparece vinculado a un uso rodado pequeño o bien destinado a un uso peatonal.

Los sistemas tradicionales han venido a enriquecerse en los últimos años con las posibilidades que ofrece el tensado de la madera ofreciendo importantes y espectaculares ejemplos.

PUENTE TRAVESÍA I

Ingeniería Jurg Conzett; Branger & Conzett AG
www.cbg-ing.ch

Suiza
1996

Puente Traversina I, Ingeniería Jurg Conzett

El puente Traversina salva obstáculos típicos para las estructuras alpinas, un lugar remoto con un acceso complicado, altas restricciones económicas y un corto periodo de construcción posible. En muchos aspectos el diseño y la construcción se llevaron al límite mediante métodos no convencionales. El peso propio de la subestructura del puente fue limitada a la capacidad de carga del helicóptero más potente posible; y el proceso de diseño en sí mismo era similar al diseño de un avión en el sentido de que, entre varios principios básicos, no había una opción segura, y a veces los juicios subjetivos eran necesarios.

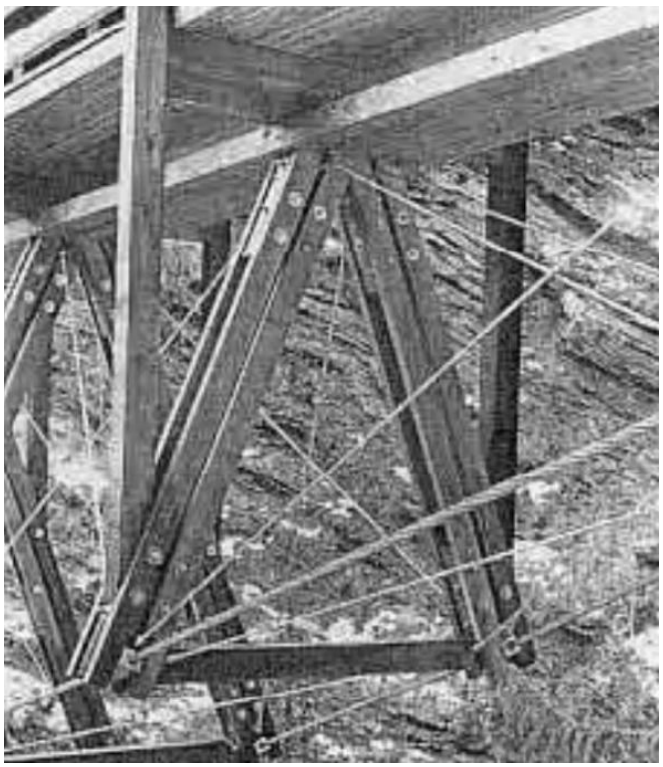
El puente forma parte del "Eco-museo" en una región Alpina de alto valor paisajístico, conectando dos fragmentos de una antigua vía romana. Debido a que la mayor parte de la maquinaria y los elementos estructurales tenían que ser transportados por helicóptero, el peso máximo admisible de una carga estaba restringido a 4.3 t. Así, el puente consiste en un sistema espacial muy ligero con barandillas laterales paneladas actuando como elementos rigidizadores. Los materiales utilizados para la construcción son predominantemente madera de alerce y cables de acero no corrosibles.

La vía romana, ahora apenas visible, probablemente cruzara el barranco de Traversina en curva, vadeando el arroyo. Ya que hubiese sido muy complicado y caro reconstruir esta pieza en el terreno húmedo y erosionado, se propuso un nuevo puente, uniendo los restos de la vía en cada lado del barranco. Esta solución parecía ser más durable y mucho más atractiva. Las condiciones geológicas para los dos apoyos fueron satisfactorias, localizándose sobre las piedras romanas que quedaban. El puente requería una luz de 47 m, con una inclinación del 6%.

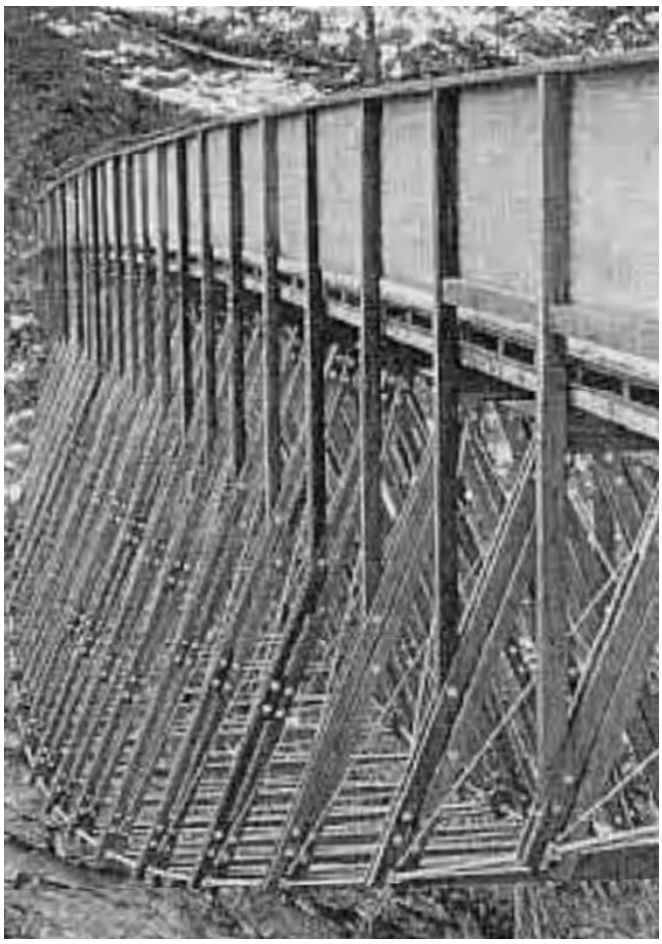
Diseño.

Para minimizar el peso de la construcción de las unidades ensambladas, la estructura se dividió en una ligera subestructura y una superestructura mucho más pesada, diseñada para rigidizar y proteger la subestructura. Este diseño de dos construcciones principales enteramente diferentes evoca una técnica típica utilizada en la era preindustrial, en la que ninguna solución era apropiada para este caso en particular.

Para el diseño de la subestructura, se compararon un gran número de sistemas estructurales, incluyendo los entramados de Schwedler y Pauli, para encontrar el método más ligero para conseguir una luz de 47 m. La solución que probó ser más adecuada era una viga de tres cordones entramados con dos cables parabólicos como cordones inferiores. La forma parabólica de los cordones inferiores tenía la ventaja añadida de que las diagonales apenas soportan tensiones bajo carga permanente, lo cual facilita mucho su posible reemplazo en el futuro.



Puente Traversina I, Ingeniería Jurg Conzett



La subestructura, similar a un gajo de naranja en forma, que descansa sobre dos soportes, necesita ser estabilizada frente a reacciones de torsión de la superestructura. Esta parte del puente consiste en vigas rigidizadoras compuestas de paneles contrachapados triples, y una viga horizontal de madera laminada encolada bajo el paso. La superestructura se conecta a la subestructura mediante tornapuntas verticales. La resistencia frente al viento fue el factor determinante en el diseño de la sección transversal.

De hecho, la carga de viento y la resistencia al viento fueron factores determinantes para la forma y el coste del puente. Las investigaciones sobre la velocidad del viento y los efectos direccionales, así como las simulaciones en el túnel del viento para estimar el coeficiente de rozamiento, eran completamente irreales para este presupuesto tan bajo.

El puente se sitúa paralelo a la dirección principal del viento "Föhn" en un lugar protegido. Esto fue suficiente para adoptar una reducción no aprobada del factor hasta 0.8, similar al "Factor de importancia" 0.87 en la norma ASCE 7-95 para estructuras, representado muy pocas posibilidades de fallar. Se tomó un coeficiente de rozamiento de 1.8 comparando diversos valores sugeridos con los valores relevantes de la normativa suiza SIA 160. Esto permitió la adopción de un valor máximo de fuerza lateral del viento de 1.3 kN/m.

Los cables con pequeñas fuerzas normales tienen elementos estructurales débiles. Durante un vendaval, el cordón inferior

en la zona expuesta al viento podría perder su tensión y la pieza de paso del puente podría rotar sobre el cordón inferior no expuesto. La seguridad, teniendo en cuenta este tipo de fallo depende de la carga de viento, de la carga permanente y del diseño de la sección transversal de la estructura. Esta resistencia geométrica del entramado es igual al 0.4 del total de la carga permanente, correspondiendo a 1 kN/m. Entonces, la estructura puede resistir un máximo de cinco años seguidos de viento con la resistencia del entramado únicamente. El descenso debido a este caso de carga sería de 92 mm.

Para soportar la máxima carga lateral de viento, se proporciona una resistencia lateral adicional a partir de la viga de madera laminada encolada localizada bajo la pasarela. Esta viga está elásticamente coaccionada en sus extremos, ya que los dos apoyos de la misma se encuentran fijados. La rigidez horizontal de la viga añade una resistencia de 1.15 kN/m al valor inicial, a pesar de que la flecha en los laterales se incrementa hasta 490 mm. El equilibrio de las fuerzas resistentes, incluyendo los valores de seguridad parciales, se satisfacen aunque sin valorar la comodidad del usuario. Ya que la madera expuesta al exterior tiene una durabilidad limitada, fue necesario diseñar el puente de forma que se protegieran los elementos estructurales más importantes y también para permitir el cambio de las partes expuestas.

Las principales características de la estructura son tres cordones de subestructura. Los cables expuestos, son de acero no corrosible. El cordón superior, trabajando a compresión, está hecho de madera laminada encolada de alerce de clase A, protegida del agua por la viga rigidizadora frente al viento situada en la parte superior. Los tornapuntas están hechos de tableros de madera de alerce fina, cada uno de 30 x 80 mm en sección, que pueden ser reemplazados de forma individual. La sección transversal esbelta acelera el tiempo de secado después de la lluvia y así contribuye a su durabilidad. Todos los nodos están diseñados para permitir el reemplazo fácil de los elementos conectores.

Debido al sistema estático, los esfuerzos bajo carga permanente son pequeños tanto para las barras bajas tranversales como para los cables diagonales de acero. Las partes expuestas de la superestructura son fácilmente accesibles y reemplazables. Tornapuntas, barras transversales, y pasarela están construídos en madera de alerce aserrada sin acabado. Las barandillas son tres paneles contrachapados de abeto Douglas. Toda la madera se deja sin tratar.

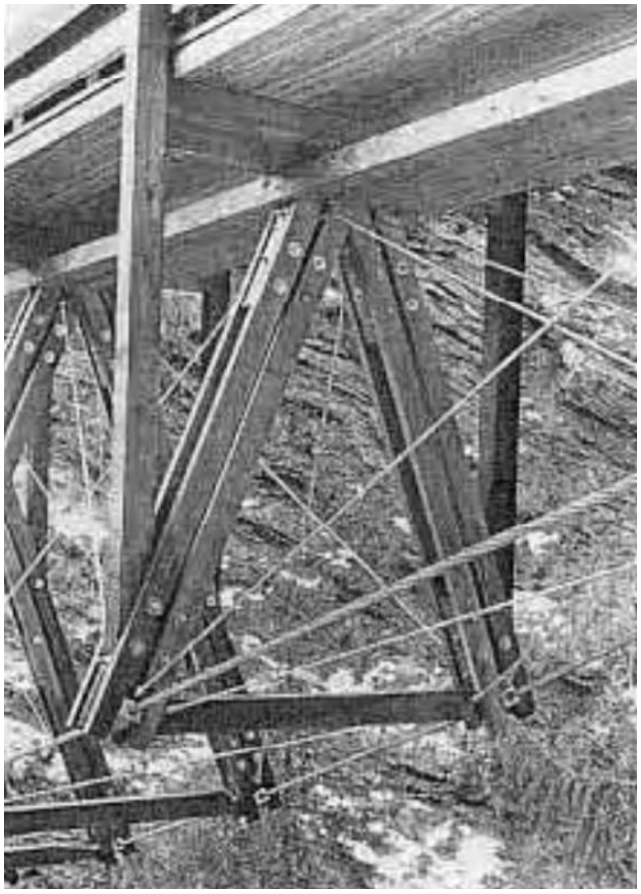
Construcción.

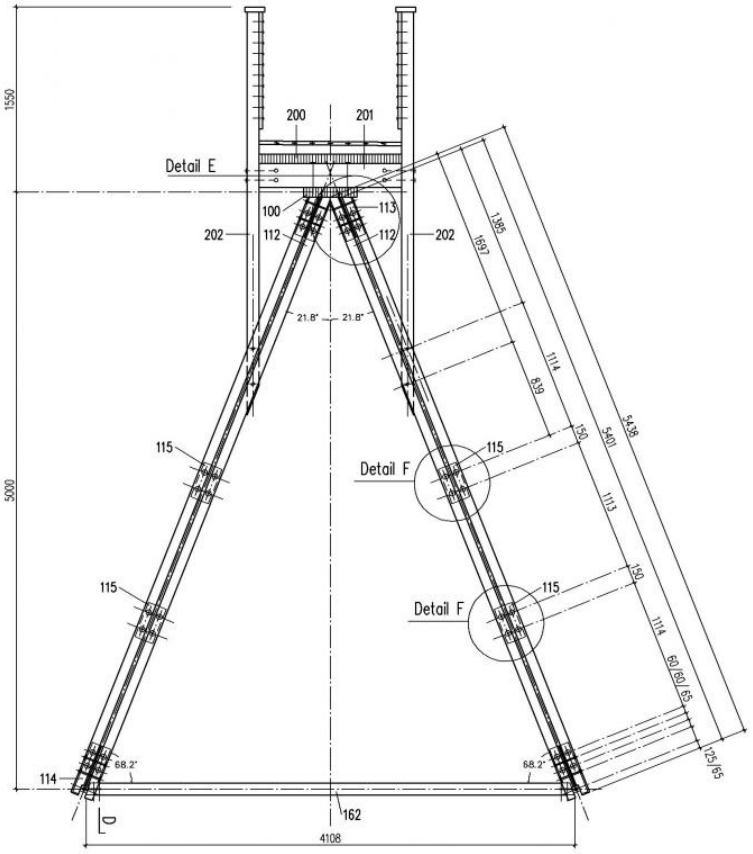
La subestructura se erige en una zona de ensamblaje a 500m de su destino final. En primer lugar, el cordón superior fue montado en torres de andamio, entonces los elementos triangulares se ataron desde la parte inferior. Ya que las tolerancias de longitud de las diagonales de acero era tan sólo de $\pm$5mm, se debía mantener un alto grado de precisión. Finalmente se ataron los cables principales de acero

Durante la construcción, el peso de las partes desordenadas de la estructura fue monitorizado. Con la subestructura completa, todos los andamios excepto las dos torres finales de apoyo, se eliminaron. La subestructura fue entonces levantada por una pequeña grúa, demostrando que los valores de medición correspondían exactamente a los valores de cálculo. Además, todas las partes se cubrieron cuidadosamente para protegerlas frente a la humedad durante la lluvia, lo cual habría incrementado su peso.
La subestructura se llevó al lugar con un helicóptero tipo Kamov Ruso, con dos propulsores concéntricos. Para minimizar los efectos del lavado inferior en la construcción, se colgó a una distancia a 60 m del helicóptero. En este lugar, el puente se recogió con cuerdas en ambas esquinas y se descendió con un aparejo de poleas hasta su posición final. La tarea se terminó en media hora. Las barras transversales y los tornapuntas verticales de la superestructura fueron llevados a su lugar con un helicóptero más pequeño y colocados in situ.

Puente Traversina I, Ingeniería Jurg Conzett

Dos escaleras colgando de cada lado del triángulo servían como andamios. Finalmente la viga de viento, los elementos para caminar sobre él y las barandillas, se fijaron desde arriba. Se pegaron más paneles entre los tornapuntas verticales para rigidizar las uniones entre las barandillas. Una estructura tan ligera, es susceptible de sufrir oscilaciones. La elasticidad de los cables de acero es aproximadamente un tercio del de una barra de acero. Las primeras ocho frecuencias naturales fueron calculadas en un modelo tridimensional por ordenador.





Puente Traversina I, Ingeniería Jurg Conzett

La primera vibración es torsional, 0.58 Hz, la segunda es horizontal 0.92 Hz, y la tercera vertical, 1.67 Hz.

Los valores correspondientes observados en el puente completo son un 25% mayores para los dos primeros modos. El periodo de oscilación vertical, sin embargo, es igual al supuesto. Debería destacarse que algunas partes secundarias en la superestructura actual no deberían considerarse en el modelo por ordenador, por ejemplo, las barandillas y la pasarela. La conexión excéntrica entre los tornapuntas y los paneles triples de madera contrachapada fue simplificada también en el modelo estático. Las diferencias observadas en los dos primeros modos muestran el significado de la superestructura con miras a la rigidez torsional y horizontal, y su papel menor para cargas verticales. El modelo de la vibración torsional también indica cómo el momento de plegado en las barandillas se concentra en las tres últimas secciones a cada lado del puente. Por esta razón, los bordes inferiores de los paneles fueron rigidizados por secciones de madera encolada previniendo el pandeo.

Las frecuencias naturales del puente deberían afinarse para evitar una banda de frecuencias de excitación entre 1.6 y 2.4 Hz verticales y 0.8 a 1.2 Hz para vibraciones horizontales.

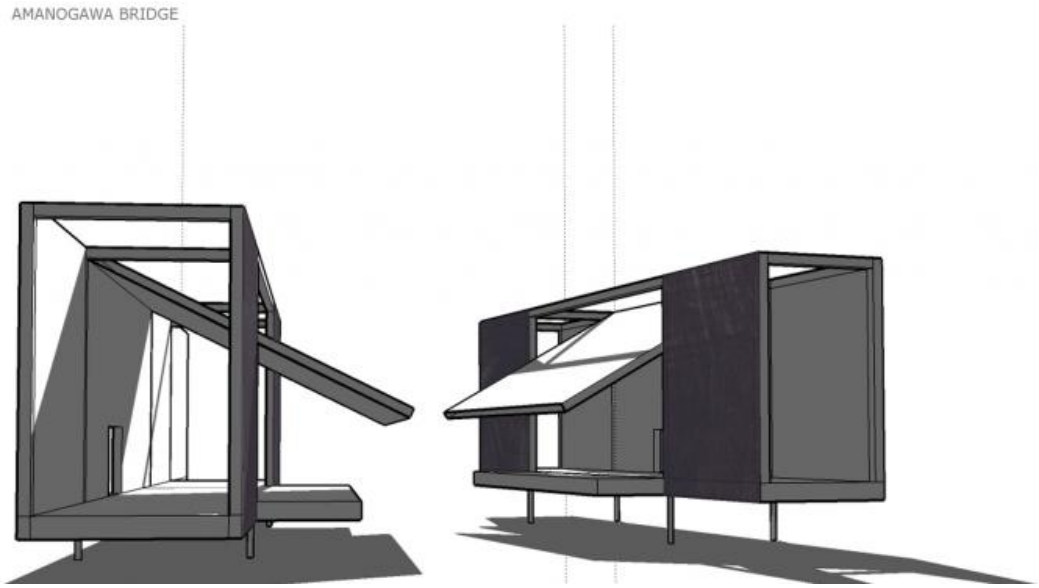
Ninguno de estos requerimientos, sin embargo, podrían satisfacerse con los costes tan restringidos. Se decidió seguir con el diseño, inalterado, contemplando la posibilidad de atar abajo la estructura con cables verticales adicionales si fuera necesario. Este logro fue aceptable, ya que era una cuestión de servicio, no de seguridad estructural.

La experiencia ha demostrado que los movimientos del puente son bastante destacables. Esto no resulta ser un problema para los usuarios, que parecen considerarlo aceptable para una estructura de cables. Esto sugiere que la experiencia juega un papel importante en el juicio de un comportamiento dinámico aceptable. Sin embargo, las vibraciones se mantienen bajo las cimentaciones de algunos otros puentes más viejos, no rigidizados en la región.

PUENTE AMANOGAMA

Sami Rintala
www.rintalaeggertsson.com

Bosque de Tokachi, Minami-10, Haobi, Shimizu-cho,
Kamikawa-gun, Hokkadio, Japón
2007



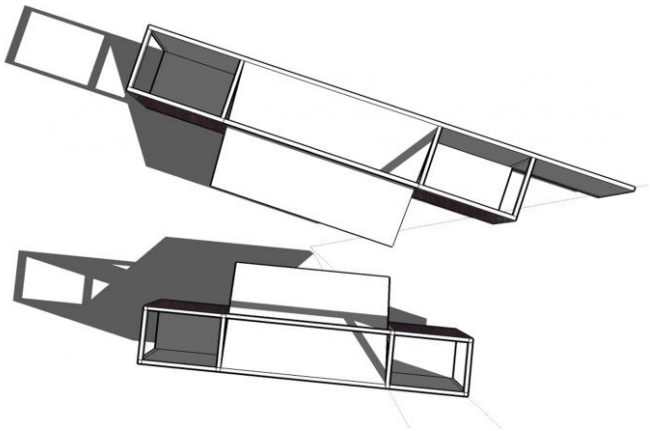
Puente Amanogama, Sami Rintala
Fotografía: Tomasso Nova

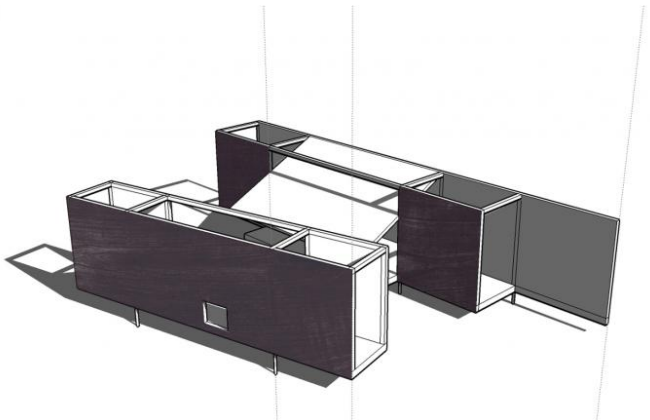
La naturaleza de Hokkaido recuerda a la naturaleza nórdica. Hay bosques de abedul, donde uno puede escuchar al cuco en la distancia y oler la misma fragancia de la hierba verde y el bosque húmedo tras una cálida noche de verano.

Queríamos que los visitantes descubrieran el pequeño arroyo del bosque, y cómo la luz del día juega con él y cómo su sonido alegre llena el espacio que nosotros construimos. Deteniéndose un rato se puede incluso ver alguna pequeña trucha cazando insectos. Esta atmósfera es un recuerdo infantil de otro bosque muy lejos de allí, en otro continente, hace unos treinta años.

Amanogawa es "Vía Láctea" en japonés, literalmente el río del cielo. Algunos indígenas e investigadores, tienen la creencia de que el tiempo pasa a una velocidad diferente en distintos lugares. Espero haber creado un pequeño lugar en que el tiempo fluya de forma tranquila.

Una luz entre apoyos tan pequeña que podría corresponder con la de una vivienda (4 metros) y permite resolver este mini-puente con una estructura igual que la que resultaría para una pequeña construcción. El juego que se realiza busca la confusión en la forma y en el funcionamiento entre un puente y una vivienda y puede ser más una estancia que un elemento para cruzar un arroyo.



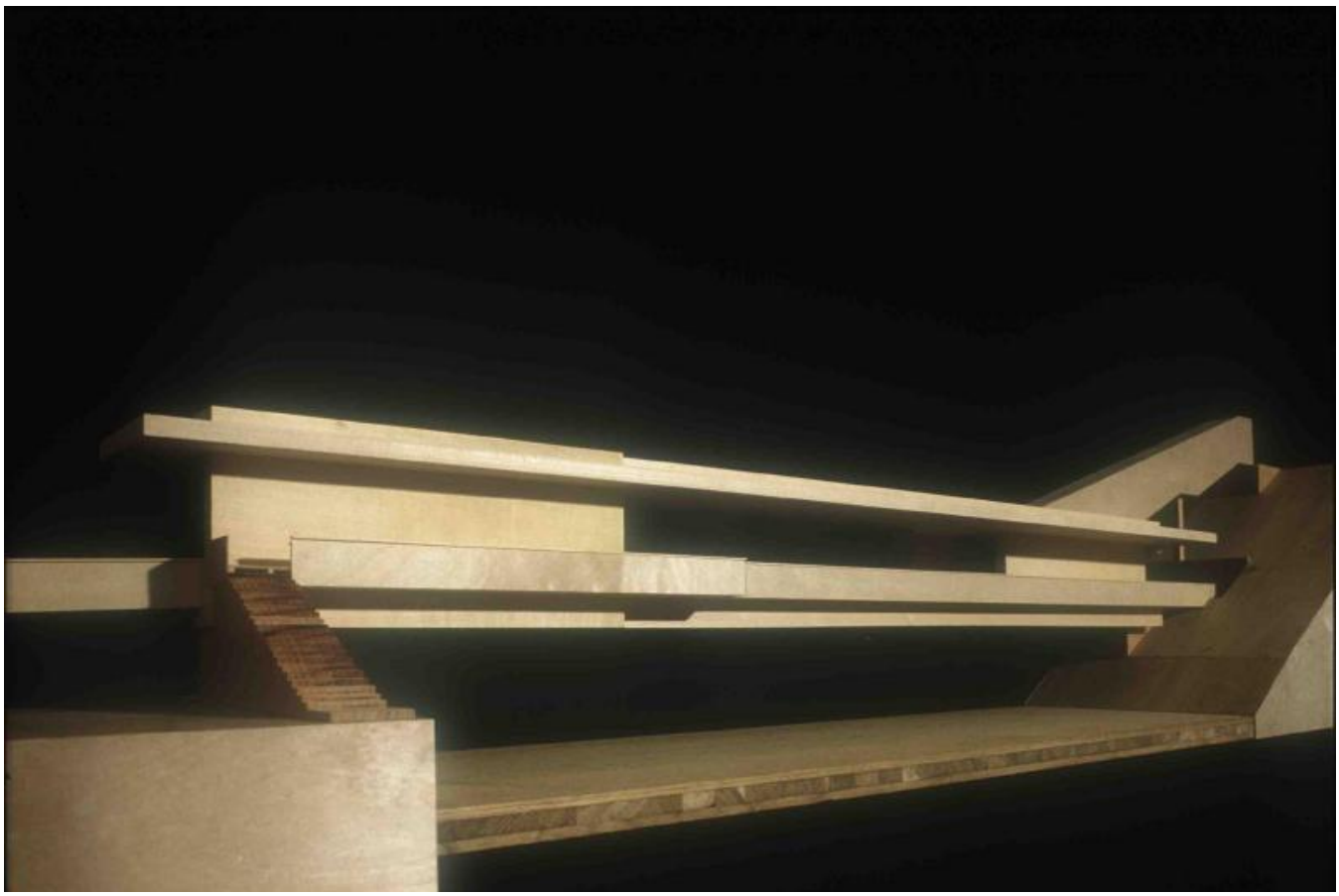


Puente Amanogama, Sami Rintala
Fotografía: Tomasso Nova

PUENTE PEATONAL SOBRE EL RÍO MUR

Marcel Meili & Marcus Peter Architekten
www. meilipeter.ch

Murau, Austria
1993-1995



Puente peatonal sobre el río Mur
Fotografía: Meili & Peter

Este puente cubierto se dispone sobre el río Mur en el punto exacto en que se situaba el anterior, medieval. El puente conecta a tres niveles diferentes: un paso horizontal, para peatones y bicicletas, que llegan sobre caminos pavimentados y se une a través de escaleras a la estación de tren, aproximadamente diez metros por encima, y el paseo del río, tres metros por debajo. En esencia, este puente peatonal es una gigantesca unión tridimensional.

Estos particulares condicionantes dan lugar a una estructura y forman el puente del río Mur. Habitualmente los puentes de madera se construyen como un par de vigas de madera que son consecuentemente entabladas y cubiertas para protegerse de la metereología. Sin embargo, el puente del río Mur se concibe con el espirítu de un "cuerpo monocasco". Un único, marco visible se centra en la sección del puente. Este marco no solamente lleva la carga estática completa, sino que genera la secuencia espacial y ordena las rutas a través del puente, al mismo tiempo.

El marco comprende dos cajas vacías de sección vertical, las "paredes de cizalla" hechas de paneles multicapa de madera, y los monolíticos cordones superior e inferior de madera laminada encolada. Sobre estos cordones los recorridos y la cubierta. La posición del marco principal estructural protegida en el interior del puente permite no colocarle un revestimiento especial para la protección a la intemperie. En este sentido, estructura y forma visible pueden fusionarse como una única entidad, a una gran pieza de madera.

El tema fundamental en el estudio arquitectónico y estructural de este puente es exactamente esta unión de la estructura con la forma superficial dando lugar a una figura única. En lugar de ser empleada como un material hecho a partir de cables y tableros, sugiriendo un proceso de junta aditiva, la madera es interpretada como homogénea, una masa fibrosa.

La casi total supresión de la articulación tectónica, por otra parte típica de las construcciones de madera, permite una

posición tranquila, de relaciones elementales entre material forma y sitio. La forma sobredimensionada, sin revestimientos define las líneas primarias del puente en diálogo directo con la escala del paisaje. Las paredes de cizalla y las cubiertas en ambas terminaciones del puente reciben los diversos caminos de entre los árboles de forma separada, dura y direccional espacialmente, canalizándolos hacia el medio del río en una zona cuadrada y tranquila.

Aquí, donde las vistas son más bonitas, y donde se concentran las fuerzas estáticas, la estructura proporciona una larga y abierta ventana, libre de pilares y postes. Los tableros estructurales y las superficies, liberadas del flujo de cargas, desarrollan un juego de luces y sombras, de espacios abiertos y contenidos, de materialidad y apertura. En las riberas del río las escaleras y el pequeño puente peatonal de conexión llegan como tentáculos desde los alrededores. Aunque estos apéndices siguen los mismos principios estructurales que el marco principal, son concebidos como "astillas" sacadas del cuerpo principal, subrayando su compleja situación topográfica.

Puente peatonal sobre el río Mur
Fotografía: Meili & Peter

Estructura.

El concepto estructural se divide en tres ideas principales: primero, construir una protección frente a la climatología a través de una unión rígida de las partes; segundo, un tratamiento generoso de la carga espacial teniendo en cuenta las características de las paredes excéntricas unidas; y tercero, conexiones de madera que responden a los requerimientos de ensamblaje. Estos principios son inicialmente aparentes en una típica sección transversal de un puente. En medio descansa la carga y los cordones superior e inferior hechos de madera laminada encolada. Los laterales, las áreas de exposición más intensa a las condiciones climatológicas, sostienen un ligero pero destacable revestimiento independiente de la estructura portante. Así puede ser, posteriormente sustituido sin modificar la estructura portante o ser soportada con yugos temporales. En este sentido la cubierta y el paso, las partes funcionales, protegen el marco de la estructura principal.

La forma básica de la estructura portante del puente es un simple marco cerrado, una especie de viga Vierendeel de un único panel. Los cordones superior e inferior se unen prácticamente de una forma rígida en las cajas vacías laterales (las paredes de cizalla). Las destacables dimensiones de la apertura central se hacen entonces posibles. La longitud de las aperturas, cerca de la mitad de la longitud del puente, y estos cordones notablemente delgados, cuya relación largo sección no excede 1:20.

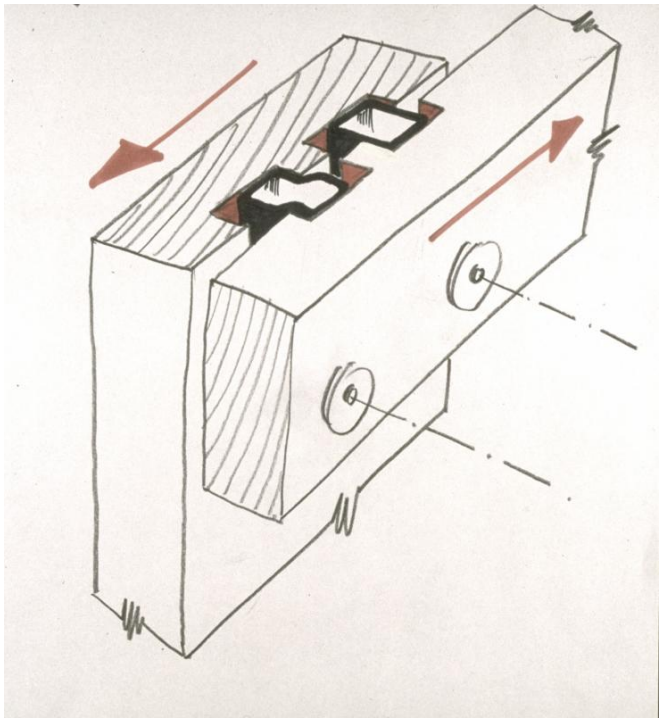
Una característica de la estructura es la posición excéntrica de las dos paredes de cizalla con respecto del plano central. Esta excentricidad, en primer lugar, es una reacción a la distinta significación de los espacios en el puente. Además, genera una calidad espacial en la sección intermedia del puente. El principal efecto de la construcción, tanto largo como ancho, no se consigue a través del material sino a través de un vacío espacial. La forma excéntrica ayuda también a endurecer el marco estructural principal en la tercera dimensión. Proyectadas en un plano transversal, las dos paredes de cizalla junto con la torsión de los cordones rígidos generan un marco cerrado. En este sentido, el efecto de la viga Vierendeel de un solo panel, se consigue como un corsé en contra de la fuerza del viento lateral.

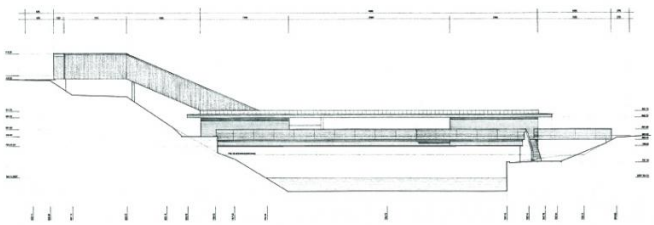
Conexiones dúctiles de cizalla.

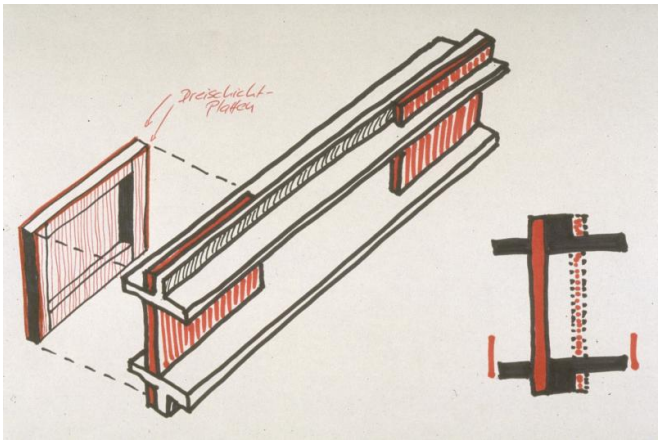
Para asegurar la transmisión adecuada de las cargas, se necesitaron métodos de unión especiales entre los cordones y las paredes de cizalla, una carga de aproximadamente 200 toneladas métricas se transmitía a lo largo de un intervalo de trece metros. Encolar durante el ensamblaje era demasiado arriesgado, especialmente en vista de la impredecible concentración de tensiones en las esquinas. Entonces, se desarrolló una "conexión dúctil", ésta podía deformarse ligeramente unos milímetros entre los cordones y las paredes

de cizalla sin llegar a romperse y sin reducir su capacidad para transmitir tensiones. La conexión que fue en el último momento implementada, se corresponde con el viejo principio de las uniones de vigas en clavijas, pero en lugar de clavijas de roble, se utilizaron secciones de tubo de acero. Las conexiones en clavija pudieron ser ejecutadas simplemente en una única ranura y asegurada con barras de acero horizontales, dispuestas de forma limpia. La construcción surge directamente de la idea primaria de las paredes laterales de cizalla ensambladas.

tensión, flexión y torsión, el cordón fue pos-tensado. Un cable de diámetro 16 centímetros se pasó a través de una ranura continua, el mismo tipo de cable que el utilizado en hormigón o en puentes de cables de tensión inclinada. La junta se rompió en intervalos correspondiéndose con los cortes de la madera laminada encolada y fue sellada un centímetro externamente. Seguidamente, el sellado fue rellenado con resina epoxi y un día después el cable se tensó con una fuerza de 410 toneladas.



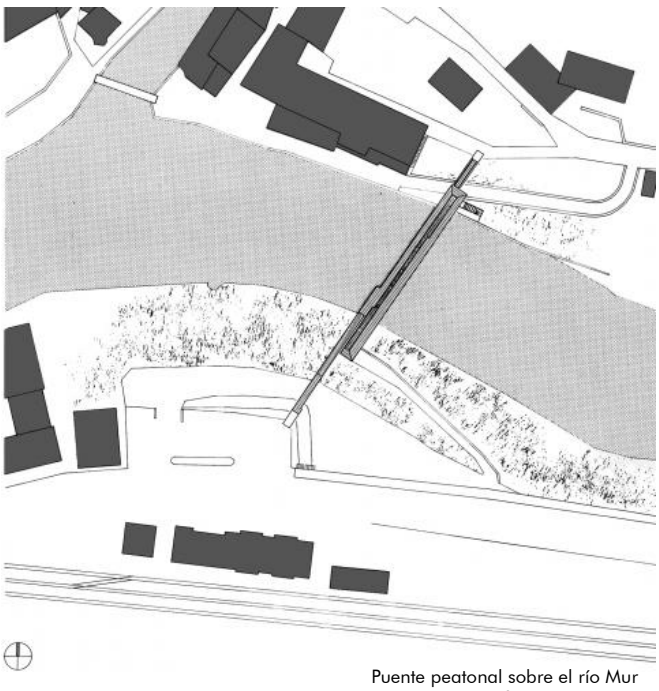




Prefabricación y ensamblaje.

Para acelerar el proceso constructivo y permitir la producción de trabajo, se consideró el máximo nivel de prefabricación posible. De hecho, cada cordón, de cincuenta metros de largo y de treinta y cinco toneladas de peso, tuvo que ser cortada en el centro para no sobrecargar la grúa situada en la ribera del río. El marco de la estructura principal fue entonces dividida en seis elementos, dos por cada cordón más dos paredes de cizalla, que fueron traídas a Murau desde las fábricas de Reuthe y dejadas en un apoyo temporal en el centro del río. La escalera en un lado y la conexión con la pasarela peatonal en el otro, representan dos elementos adicionales e independientes.

Los cordones se hicieron a través del método denominado "encolado de presión de clavo". Esta técnica consiste en múltiples capas de madera laminada encolada, cada una de 20 centímetros de grosor, que se colocan una encima de otra y se clavan fuertemente juntas para conseguir la presión necesaria para el pegado. Para proporcionar estabilidad para la junta del cordón inferior, fuertemente penalizada por la



Puente peatonal sobre el río Mur
Fotografía: Meili & Peter

PUENTE TRAVERSINA II

Ingeniería Jurg Conzett; Rolf Bachofner, Branger & Conzett AG
www.cbg-ing.ch

Valle de Traversina, Grisones, Suiza
2000-2005

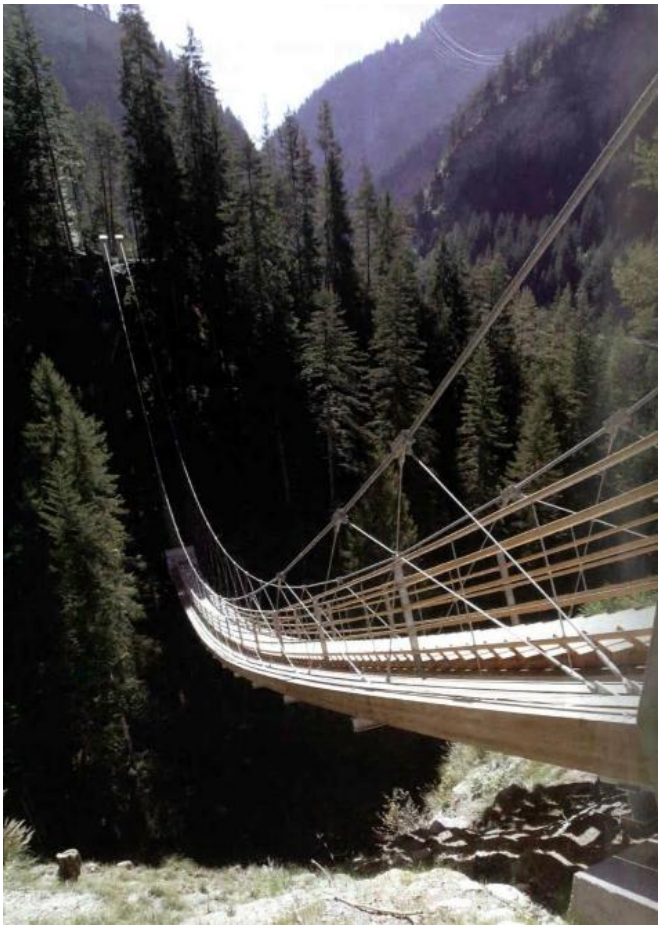
Puente Traversina II, Ingeniería Jurg Conzett

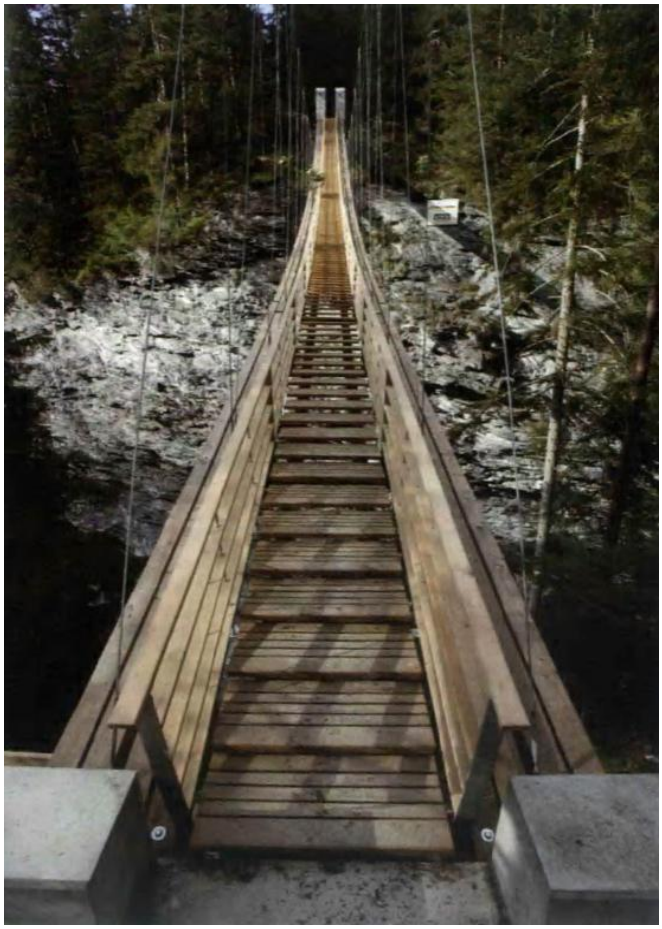
La "Veia Traversina", el camino al este del Rhin por la parte trasera de Viamala, era una antigua vía romana. Tras la apertura de la "Comerzialstrasse" en el siglo XIX el camino ya no se utiliza. Sin embargo, se mantuvo durante mucho tiempo después bien conservado. Para el Ecomuseo de Viamala, la "Veia Traversina" es muy importante, no sólo el restablecimiento del sendero, sino por la revitalización del senderismo en Viamala. Las rutas preexistentes son transitables de nuevo, se puede cruzar la Traversiner Tobel sin problemas tras el mantenimiento y recuperación de las mismas. Así pues, la idea de que se conserve el puente y la vía es una idea importante para conectar, también, los dos bordes del camino.

El primer puente Traversina, en el Tobel, permitió limpiar el entorno en el que se sitúa el actual. El antiguo puente era una combinación de vigas "Dreigurt" y una plataforma que la cubría con barandillas (petos), con una envergadura de 47 metros de luz. Las vigas y elementos estructurales de aquel puente se colocaron el 18 de Junio de 1996 mediante helicóptero y el 16 de Marzo de 1999 el puente quedó completamente destruido a causa de un desprendimiento de rocas. Tras el trágico suceso, las diferentes posibilidades que se debatieron de reconstruir el puente en el mismo lugar se truncaron por las dificultades del entorno y la peligrosidad de la construcción. Con el tiempo se acabó llegando a la conclusión de que el lugar está demasiado alto, lo cual es un peligro potencial para cualquier estructura rígida. En Febrero de 2000, Conzett, Bronzin, Gartmann AG realiza un estudio de viabilidad que identifica cuatro posibles variantes: plantear una nueva ubicación dentro de la Traversiner Tobel, crear unas escaleras colgantes, suspender una escalera de unos cables o crear un puente horizontal a la altura de Moränenkuppen. Basándose en la estimación de gastos, se optó por las escaleras suspendidas.

La propuesta que se decide es un puente compuesto por dos cables a una distancia de 1.10 m, con elementos verticales en los cuales, de cada uno cuelgan tres capas de pavimento. La barandilla, por razones de coste consiste en una cuerda. La baja rigidez tiene un resultado espectacular y produce una vibración dramática.

Esta situación no agradaba a los usuarios, los cuales sentían náuseas y vértigo, así que finalmente se decide realizar una escalera más rígida colgante y sustituir las barandillas de cuerda por barandillas de madera, mucho más rígidas y que proporcionan una cierta sensación de seguridad





Puente Traversina II, Ingeniería Jurg Conzett

En puente se realiza con madera laminada doble, de gran rigidez, y con elementos utilizados para teleféricos. En primer lugar se realizó la cimentación, posteriormente se dispusieron las cuerdas y luego se colgaron los elementos del puente que sirven de pasarela.

Si desea más información, puede contactar con:
lignum facile (lignumfacile@clustermadeira.com)
Teléfono: (0034) 981 937 261.
Fax: (0034) 981 937 106.
Localización: Praza Salvador García Bodaño 7, 1ºA.
CP. 15703. Santiago de Compostela.
Una iniciativa de: **Cluster de la Madera de Galicia**

Empresas colaboradoras:

Corral y Couto	www.corralycouto.com
Financiera Maderera	www.finsa.es
Galiperfil	www.galiperfil.com
Grupo byp	www.bypcocinas.com
Grupo Losan	www.losan.es
Grupo Molduras	www.grupomolduras.com
Laminados Villapol	www.villapol.com
Moblegal	www.moblegal.com
Maderas Peteiro	www.maderaspeteiro.com
Portadeza	www.portadeza.com
Xoane	www.xoane.com

Equipo de arquitectos:
Carlos Pita y Carlos Quintáns, con la colaboración de Nuria Prieto.

Con la participación:
Universidad de Vigo.
Consorcio de la Zona Franca de Vigo.