



PUENTE CON TABLERO DE MADERA TENSADA

ÚNICO EN SU ESPECIE

El Puente Cautín, sobre el río del mismo nombre en la localidad de Cajón, en la región de la Araucanía, es el protagonista de una historia inédita. Hace cuatro años el Fondo de Innovación Tecnológica del Ministerio de Obras Públicas (MOP) se arriesgó con un proyecto único, remodelar el viaducto con un tablero de madera tensado transversalmente. *Partió como una prueba a escala natural y hoy se encuentra en plena operación. El primer puente de alto tráfico de Chile y el más largo de Latinoamérica elaborado con esta tecnología.*

DANIELA MALDONADO P.
PERIODISTA REVISTA BIT



A

SIMPLE VISTA, hasta el más experto de los profesionales se puede engañar. A la distancia el puente Cautín, parece uno más de tantos viaductos construidos en Chile. No es así. Tiene una particularidad que lo hace único en su especie, al menos en nuestro país.

El puente se construyó a finales de la década del '30 con un tablero de madera nativa, teniendo que ser reemplazado hace 6 años. Desde ese momento, y debido al rápido deterioro, a partir del segundo año se sometió a una mantención mensual.

El alto costo de los trabajos incentivó a la Dirección de Vialidad de la IX Región a buscar una solución definitiva, apostando por el proyecto de la Universidad de Concepción denominado Puentes de madera postensada. "Hace 15 años que tenemos un grupo en la universidad que estudia el uso de la madera en Chile. El objetivo era hacer un tablero de prueba a escala natural, que se pudiera monitorear y ver cómo se comportaba a través de los años", comenta el ingeniero civil y propulsor de esta tecnología en nuestro país, Mario Giuliano.

Con \$30.000.000 proporcionados por el Fondo de Innovación Tecnológica del MOP, los docentes y estudiantes memoristas del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Concepción, investigaron durante tres años, cómo debería materializarse el tablero de madera postensada, que ya se aplicaba en Canadá, Estados Unidos, Suecia y Alemania. El ingeniero forestal Luis Valenzuela, analizó el tratamiento de las maderas para darles estabilidad dimensio-

FICHA TÉCNICA

Nombre del proyecto: Puente de madera postensada

Ubicación: Localidad de Cajón, IX Región de la Araucanía

Financiamiento: \$100 millones. Fondo de Innovación Tecnológica del Ministerio de Obras Públicas y Dirección de Vialidad IX región.

Dimensiones del puente: 97 m de largo por 4,50 m de ancho.

Soporte de carga: 32 toneladas

Estructura del puente: Dos estribos y tres cepas de hormigón distanciadas a 25 m respectivamente.

Sistema Constructivo: Madera postensada cubierta de asfalto.

Tipo de madera: pino radiata

Cantidad de madera utilizada: 100 m³

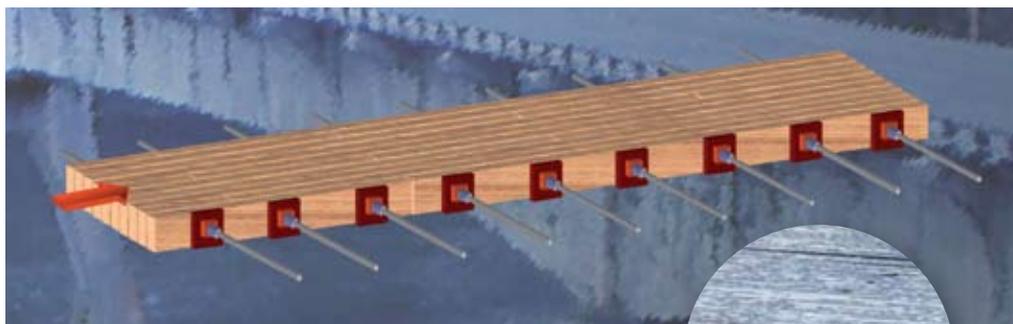
Impregnación: Con creosota

Dimensión de la madera: 2" de espesor por 9" de ancho.

Equipo Dirección de Vialidad: Nestor San Martín, Yasna Yuri, Luis Vásquez

Equipo Universidad de Concepción: Mario Giuliano (ingeniero civil); Peter Dechent (ingeniero civil); Luis Valenzuela (ingeniero forestal); Marsella Salgado (ingeniero civil), Gustavo Ugalde (memorista)

Los tableros dispuestos de canto son tensados en la dirección transversal por medio de barras de acero. El tensado le entrega continuidad al tablero, con lo que éste actúa como una placa sólida de madera.



nal, además de indagar en las propiedades mecánicas y en la estructura interna de este material.

En marzo de 2004, la teoría pasó a la práctica. Un anticipo: Los tableros de madera postensada consisten en tabloncillos dispuestos de canto en la dirección longitudinal del puente, que se postensan en conjunto en la dirección transversal, por medio de barras de acero de alta resistencia. Pero vamos por parte.

El puente Cautín está conformado por dos estribos y tres cepas de hormigón distanciadas a 25 m respectivamente. Posee dos vigas longitudinales rigidizadas por vigas travesaño, sobre los que se apoyaba el tablero de madera nativa. La estructura de hormigón se mantuvo, sólo se reemplazó la carpeta. "Las cepas estaban en buenas condiciones para resistir un tablero de madera. Si se hubiese elegido una carpeta de hormigón o aumentar las dimensiones del puente, no podría haberse utilizado la infraestructura del puente para las cargas de servicio que se exigen actualmente", comenta el constructor civil Néstor San Martín, quien estuvo a cargo de la obra en representación del MOP.

Trabajos preliminares

Con el tránsito suspendido, el primer paso consistió en la realización de los trabajos

preliminares. Éstos comenzaron con el desarme del tablero antiguo, que se encontraba en muy malas condiciones. "Siempre se recordaba la anécdota de un ciclista que iba detrás de un camión que aplastó una tabla y que salió volando hasta caer al río. Afortunadamente no le pasó nada, pero esto da cuenta del mal estado en que se encontraba el puente", señala Mario Giuliano.

Con personal de la Dirección de Vialidad de la IX Región, se procedió a retirar la totalidad de los tabloncillos. Con la ayuda de herramientas metálicas, se extrajeron manualmente las piezas sujetas con espárragos. "A continuación, se botaron las barandas y con la estructura a la vista, nos dimos cuenta que el puente estaba totalmente desnivelado", relata el docente de la Universidad de Concepción. Para realizar la nivelación, se procedió en primer lugar a elaborar un levantamiento topográfico del nivel de las vigas transversales, las que servirían de apoyo al tablero. Este análisis arrojó desniveles no permisibles entre apoyos. Para corregir esta situación se nivelaron los apo-

yos con viguetas sobrepuestas a las existentes, con hormigón tipo grout (de alta resistencia). A éstas se insertaron pernos de anclaje, que servirían para instalar una solera de madera. "Se procedía a hacer la perforación en la solera, se instalaba ésta dentro de los pernos, se fijaba y se sellaba con alquitrán", comenta Giuliano.

Esta solera, conformada por vigas de made-



1. Retiro de tabloncillos de resistencia.
2. Hormigonado en travesaños, parte de los trabajos de nivelación.
3. Colocación de soleras.

IMPREGNACIÓN DE LA MADERA

La madera utilizada en el puente Cautín correspondió a madera estructural, certificada mecánicamente en grado C-24, según la certificación británica (BS EN 519). "Los 100 m³ de madera radiata empleados, fueron impregnados con creosota, preservante que se aplicó en un proceso de vacío para que penetrara el material", comenta Víctor Argomado, subgerente de Ventas Nacionales de CMPC Maderas S.A.

La elección del material tiene razones de peso. "Se usó pino radiata porque es la madera estructural de más disponibilidad en Chile. Está clasificada estructuralmente, es decir, se conocen sus propiedades resistentes y no posee variaciones importantes en sus propiedades", comenta el ingeniero civil Mario Giuliano.

Las maderas pueden ser tratadas con impregnantes hidrosolubles (productos que se disuelven en agua) y oleosolubles (disueltos en aceites), este último es el caso de la creosota, impregnante en base a alquitrán que protege de agentes externos como hongos o insectos, además de otorgar estabilidad dimensional a la madera.

ra en sentido perpendicular a la dirección del puente, constituía la base sobre la que se instalaría el tablero de madera tensada. Los trabajos preliminares demoraron tres semanas.

Montaje de tablero

Con la llegada de la madera estructural suministrada por la empresa CMPC Maderas S.A., comenzó el armado del primer patrón que serviría para guiar el resto de los tablonés. De 2" de espesor por 9" de ancho, cada tablón se impregnó con creosota de acuerdo a los estándares para este tipo de estructuras y perforado (ver recuadro Impregnación de la madera).

Todas las tablas eran de 4 m de largo, salvo las del inicio y final del puente que variaban entre 50 cm, 1 m, 1,50 m y 2 metros.

Cada patrón estaba formado por cuatro tablas, las cuales se clavaban para mantenerlas en posición. Siguiendo esta línea se procedió a colocar secuencialmente toda la madera.

"Justo cuando estábamos en el montaje del tablero, nos tocó una lluvia fuerte que duró una semana, esto no afectó a la madera porque estaba impregnada. Sin embargo, nos hizo reforzar las medidas de seguridad de los trabajadores debido a lo resbaladizo de la superficie del puente", comenta Mario Giuliano. Las cuatro personas que componían la cuadrilla, trabajaban amarradas con cinturones de seguridad que se sostenían a cables de acero que se ubicaban de un extremo al otro del puente.

Con los tablonés dispuestos de canto en la dirección longitudinal del puente, se iban tensando en la dirección transversal por medio de barras de acero de alta resistencia, las que se introdujeron en la madera por perforaciones hechas en planta. Para esta faena se utilizó acero ASTM A722, correspondiente a un material especial con hilo en toda su longitud. Para introducir el tensado, se empleó un sistema de anclaje ubicado en los



4

4. Primer patrón formado por cuatro tablas.

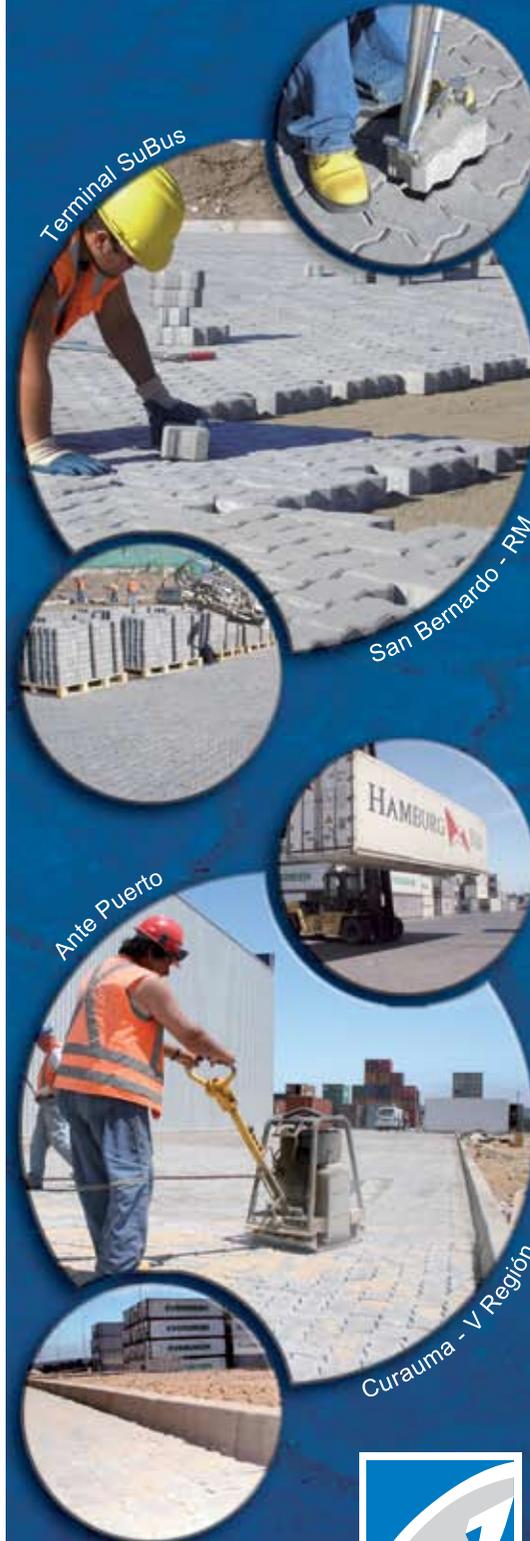


5

5. Ensamble del tablero tensado.

Adocreos Prefabricados

Alta resistencia y duración.



Innovación y
Vanguardia en
Prefabricados
de Hormigón



TABLEROS DE MADERA TENSADA EN EL MUNDO

El concepto de laminaciones postensadas fue desarrollado originalmente en 1976 en la ciudad de Ontario, en Canadá. La idea era rehabilitar puentes de tableros clavados, en los cuales las láminas se separaban debido a las variaciones en el contenido de humedad y a las sollicitaciones del tráfico. En los años 80, fueron construidos los primeros puentes de madera postensada en Estados Unidos. Desde entonces, se han utilizado mayoritariamente en la construcción de puentes vehiculares de caminos secundarios y rurales.

laterales del tablero. “En uno de los extremos, la barra tiene una tuerca y una placa de acero, la cual reacciona contra la madera. En el otro extremo, se encuentra otra placa. En ésta y con la ayuda de una gata, se estira la barra y se coloca la tuerca en el fondo. Cuando se suelta, toda la tensión de compresión se transmite al tablero”, relata Mario Giuliano.

El tensado se ejecutó con un cilindro hidráulico hueco, que aplicaba tensión a la barra, tirándola desde su extremo. Entre el cilindro hidráulico y la placa de apoyo existe una silla metálica soldada, que facilita el paso de una llave inglesa para apretar la tuerca de anclaje a medida que se aplica la tensión y la fuerza en la barra se mantiene cuando la presión del cilindro hidráulico se libera.

A través de este sistema de postensado transversal, señalan los especialistas, el tablero actúa como una placa sólida de madera, cuya función estructural es repartir las cargas de las ruedas de los vehículos a los tabloncillos vecinos que no actúan directamen-

te, colaborando a resistir parte de la carga.

Para que el puente de madera tensada opere correctamente, explica Mario Giuliano, todas las barras deben ser tensadas en secuencia en reiteradas ocasiones hasta uniformar la fuerza, lo que se logra generalmente tensando la primera barra en un extremo del puente y sucesivamente el resto. El tensado de las barras en el puente Cautín, se realizó en tres fases, primero un 25% del nivel de tensado, posteriormente un 50% y finalmente se llegó al 100%.

Para proteger las barras de la corrosión, éstas fueron embutidas en tubos o vainas de plástico (PVC) y luego se rellenaron con grasa. Después de cuatro días, el tablero de madera de 97 m de largo por 4,50 m de ancho, ya estaba finalizado. Pero aquí no termina la historia. Para proteger la madera, se realizaron obras de terminación.

Obras complementarias

Se recubrió la madera con una lámina asfáltica. Posteriormente se procedió a la colocación del material asfáltico. “Pese a ser de una sola vía, el puente se encuentra ubicado en un camino principal con bastante circulación, por lo que debido a la tracción que tie-

nen los neumáticos de los vehículos, resultaba imprescindible proteger la madera”, comenta el profesional del MOP, Néstor San Martín.

Hubo un desafío en esta etapa. “Por el ancho del puente, con el asfalto no pudimos darle la forma para evacuar las aguas, por lo que a un lado colocamos 7 cm de asfalto y al otro sólo 3 centímetros. El lado cubierto con mayor espesor se ha comportado muy bien, sin embargo, el otro lado está craqueado. Con este aprendizaje ya podemos definir cuál es el espesor mínimo”, relata el docente de la Universidad de Concepción.

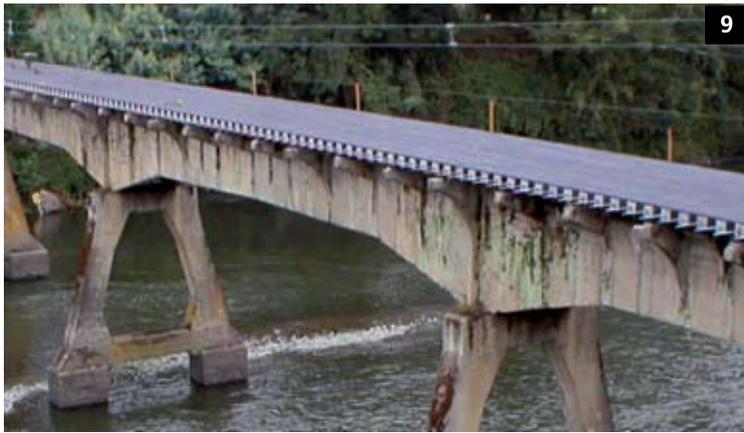
A continuación se montaron las barandas. “Hubiese sido ideal hacer las barandas de madera, sin embargo por un tema de costos y tiempo, se realizaron de acero, las cuales fueron montadas a la estructura de hormigón del puente”, comenta el especialista.

Las veredas peatonales son de madera, un punto a mejorar. “Como es un puente de alto tráfico de camiones, y éstos a veces se suben a las veredas, se han roto algunas partes, pero justamente ésa era la finalidad de este puente, ver cuáles eran los problemas que podíamos encontrar para mejorarlos en una segunda etapa”, comentan en la Universidad de Concepción.

Se aplicó un sistema antisísmico. Debajo



6. Alineación de las perforaciones.
7. Ensamblaje de tablero.
8. Tensado de barras.



9



10

9. Tablero de madera tensado. 10. Aplicación del material asfáltico. 11. Colocación de tacos de madera para atenuar los efectos de movimientos sísmicos.

del tablero se instalaron unos tacos de madera sólida, unidos a la solera con tirafondos. Éstos se colocaron por ambos lados de la solera con el objetivo de que el tablero no se deslizará horizontalmente (tanto en la dirección transversal como longitudinal).

Esta última etapa demoró 5 semanas, completando la construcción total del tablero postensado en dos meses y medio.

Ventajas del sistema

Los buenos resultados del proyecto, según la opinión de los especialistas, reflejan que el sistema de madera postensada resulta una alternativa válida ante otras soluciones constructivas para puentes. “Si comparamos un tablero de madera tensado con uno de madera tradicional de 97 m de largo y 3,6 m de ancho, podemos notar que el tensado tiene un costo de alrededor de \$ 57.000.000 versus el tradicional que cuesta \$ 32.000.000. Sin embargo, el tablero postensado está proyectado para que tenga una duración de 40 años, en cambio al tradicional hay que repararlo cada dos años, por lo que después de 40 años se ha gastado \$ 220.000.000”, señala Gustavo Ugalde, de la Universidad de Concepción.

Por otro lado, destaca Mario Giuliano, se trata de un montaje sencillo que no requiere mano de obra sumamente calificada. Sólo requiere una buena supervisión y especialización en la etapa de tensado. Además, se trata de un sistema constructivo rápido de ejecutar, demorando sólo 10 días aproximadamente, en el montaje del tablero, contra una losa de hormigón que lleva tres meses.

Evaluación y mantención

Durante los cuatro años de funcionamiento del puente con su nuevo tablero, los académicos

y alumnos han realizado un seguimiento para determinar las pérdidas de tensado, el comportamiento mecánico de la madera y la respuesta de este material a las condiciones de temperatura y humedad de la zona.

Se destaca el estudio del fenómeno del creep, característica natural que afecta el nivel de postensado. Cuando una fuerza de compresión constante es colocada en la madera, ésta lentamente se seguirá deformando en el tiempo, fenómeno conocido como creep. Por la carga de compresión a la que fue sometida la madera por el tensado de las barras, ésta padece creep, acortando el ancho del puente con la consecuente disminución de la tensión del cable y reduciendo su efectividad. La pérdida de tensión, sin embargo, se controla con retensado, según los especialistas. “Al principio calculamos que cada 5 ó 6 años hay que retensar el tablero. De todas formas hacemos mediciones a cada barra para medir cuánta tensión ha perdido en estos años, la cual, hasta ahora, ha coincidido con las determinadas en los ensayos de laboratorio”, comenta Giuliano.

El cálculo estructural elaborado por la Universidad de Concepción, se basó en la normativa de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), guía de especificaciones para el diseño de tableros postensados publicada en 1991, siendo adaptada a las condiciones de nuestro país, previa aprobación de la Dirección de Vialidad.

La Universidad de Concepción, conjuntamente con la Corporación de la Madera (CORMA), trabajan en un proyecto financiado a través de CORFO y cofinanciado por



11

las empresas del Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera (CTT-CORMA), “orientado a estandarizar la oferta de estos puentes, permitiendo la incorporación de soluciones tecnológicas en el Manual de carreteras para facilitar los procesos de licitación del MOP”, señala Enrique Escobar, Gerente de CTT-CORMA. ■

www.udec.cl
www.vialidad.gov.cl
www.cttmadera.cl
www.cmpcmaderas.cl

EN SÍNTESIS

La remodelación del Puente Cautín, ubicado en la IX región, se basó en el montaje de un tablero de madera tensado transversalmente. Los tableros de madera postensada consisten en tablonces dispuestos de canto en la dirección longitudinal del puente, que se postensan en conjunto en la dirección transversal, por medio de barras de acero de alta resistencia. La construcción total del tablero tuvo una duración de dos meses y medio y un costo de \$100 millones. Es el único puente de Chile y el más largo de Latinoamérica que cuenta con esta tecnología.