

CONSERVACIÓN E INSTALACIÓN DE PUENTES DE MADERA EN LA DIRECCIÓN DE VIALIDAD

FACTORES DE RIESGO, COSTO E IMPACTO AMBIENTAL



Puente Ruta T-265, acceso alternativo a Parque Nacional Villarrica, Coñaripe, marzo de 2018

Elaboró:

Carlos Ferrada

Ingeniero Civil – Universidad de Santiago

Gerente de Ingeniería, Mardones – BPB Creosote Treaters S.A.

Revisó:

Ernesto Inostroza

Ingeniero Civil – Universidad de Chile

Alejandro Bozo – González

Ingeniero Forestal – Universidad de Chile

Magíster en Ciencias Forestales – Universidad de Chile

Doctor en Ingeniería Civil – Washington State University

Santiago, enero de 2019

Cuantificación del problema

La Dirección de Vialidad tiene a su cargo en el país aproximadamente unos 4 mil puentes y pasarelas peatonales de diversa tipología, los cuales se construyeron y conservan con elementos de madera tanto en la infraestructura como en la superestructura (*Aguilera Z., en revista EMB Construcción, 2005*). Estas estructuras se encuentran localizadas preferentemente en caminos regionales entre las regiones VIII y XI, permitiendo un tránsito diario de vehículos, personas y animales.

En general se trata de puentes sometidos a la circulación de vehículos de pasajeros y carga, con un límite de hasta 15 toneladas y luces de 8 a 12 metros, los cuales muchas veces soportan vehículos de 20 toneladas (*Winkler E., 2012*), o bien pasarelas peatonales que admiten el tránsito de vehículos menores y animales, con un límite de hasta 5 toneladas.

Aun cuando estos diseños como solución provisoria han sido de utilidad para resolver la conectividad de localidades más apartadas (con baja densidad poblacional), en la actualidad representan un problema serio para la Dirección de Vialidad, principalmente por el deterioro acelerado que sufren las maderas no preservadas expuestas a la intemperie, en particular en las regiones más húmedas que es donde se concentra la mayor parte de ellos, y que a veces ocasionan el colapso de los viaductos, con consecuencias graves o fatales para los usuarios.

Solo en la Región de La Araucanía existen unos 1.600 puentes de madera dispersos en una red de casi 12 mil kilómetros de extensión, la red caminera de mayor tamaño de todas las regiones del país (*Millalén J., Schanack F. y Pérez R., 2014, y Ministerio de Obras Públicas, 2012*).

Origen del problema

Se verifica que, salvo contadas excepciones, la construcción y conservación de estructuras de madera por parte de la Dirección de Vialidad responde a una práctica obsoleta en la industria vial en países modernos, cual es el uso de este material expuesto a la intemperie sin aplicar un proceso estandarizado de preservación química, contrariamente a lo recomendado en las normas NCh789, NCh790 y NCh819.

Bajo tales condiciones, tan pronto se instalan nuevos elementos de madera en un puente, ya sea como resultado de actividades de conservación o de construcción de nuevas estructuras, la madera comienza a ser degradada por agentes bióticos (hongos e insectos xilófagos) y abióticos (exposición al sol e intercambio de humedad con el ambiente) exhibiendo el material una pérdida significativa de su integridad físico-mecánica dentro de los primeros 5 años de servicio (*Winkler E., 2012*).



Estribo de un puente conformado por una jaba de madera rellena con áridos, la cual está en franca descomposición por la acción de hongos xilófagos (digestores de madera) que actúan cuando no se ha preservado químicamente el material antes de exponerlo a la intemperie.

Tablones de rodado y resistencia en franca descomposición por la acción de hongos xilófagos que actúan cuando no se ha preservado químicamente el material antes de exponerlo a la intemperie.



Puente Confluencia, sobre el Río Ñuble, Región de Ñuble.

El riesgo de aplicar madera así expuesta en obras civiles es incalculable, pues el material perderá progresiva y aleatoriamente sus capacidades resistentes exponiendo a las estructuras a fallas imprevistas y a acciones de conservación de emergencia, caracterizadas por una muy baja durabilidad, baja serviciabilidad, alto riesgo para los usuarios y alto costo de mantenimiento debido a permanentes trabajos de reparación, o llanamente su total reposición en un breve plazo.

Puente Caipulli, Ancud, enero de 2018, semi – colapsado a los 4 años de construido por la acción de organismos horadadores marinos xilófagos en una de las cepas de madera que lo soportaba .



Imagen: www.soychile.cl/Chiloe/Politica/2018/01/08/510021/MOP-repondra-el-puente-Caipulli-en-Ancud.aspx

La excepción a lo antes descrito se encuentra en la Región de Aysén donde hace 20 años que se ha implementado la preservación industrial al vacío de las maderas destinadas a la construcción y conservación de más de 40 puentes de madera (*Certificado Dirección Regional de Vialidad de Aysén, 2013*), los cuales a la fecha no presentan los inconvenientes señalados anteriormente, habiendo eventualmente dicha región prescrito el uso de madera sin preservación química (*Vázquez L., 2011*).



1998



2018

(20 años en servicio)

Pasarela Ñadis, Aysén .

Marco normativo

En 2016, la Dirección Nacional de Vialidad modificó el numeral 7.307.9 (Instalación de Puentes de Madera) del Manual de Carreteras, recomendando que las maderas que se empleen para este efecto sean preservadas según los procedimientos químicos establecidos en las NCh789, NCh790 y NCh819.

A mayor abundamiento, en 2017 y 2018, la Región de La Araucanía incorporó una cláusula en las bases de los “Contratos de Conservación Global de Caminos” (*Bases de Licitación N° ID: 2261-7-LR17, 2261-3-LR17, 2261-4-LR17, 2261-1-LR17, 2261-2-LR17, 2261-75-LR16, 2261-38-LR16, 2017-2018*) estableciendo la obligatoriedad para los contratistas de aplicar en la reparación de puentes solo maderas preservadas químicamente al vacío y presión de acuerdo a lo establecido en el Manual de Carreteras y en las normas NCh790 y NCh819.

Sin embargo, pese a los hechos expuestos, en la práctica, hasta la fecha, salvo excepciones, esta normativa no se ha implementado y la conservación de tales estructuras continúa realizándose con maderas verdes sin preservación química en todo el país, menos en la Región de Aysén.

Impacto ambiental

En países desarrollados (Canadá, Noruega, Suecia, Dinamarca), donde hay recursos forestales abundantes como en Chile, existen políticas para promover la construcción de puentes de madera, aun tratándose de puentes emplazados en autopistas, los cuales alcanzan luces libres de apoyos intermedios de hasta 70 metros, con capacidad soportante de hasta 100 toneladas. Tales diseños contemplan la aplicación de maderas preservadas químicamente mediante procesos normados de vacío y presión confiriéndole a la madera y a la estructura en la que sirven una proyección de vida útil superior a 50 años (Abrahamsen R. & Jacobsen B., 2010).



Puente Kjellsæter, Amot, Noruega, 2006.

Las políticas antedichas se fundan no solo en la mayor armonía arquitectónica que logra una estructura de madera en un paisaje boscoso, como los del sur de Chile, sino muy en particular en el hecho de que la madera es el material que posee la menor huella de carbono, con el más bajo impacto en el medio ambiente, comparado con otros materiales que consumen grandes cantidades de energía y producen mayor liberación de gases de efecto invernadero en su fabricación (Lefebvre D. & Richard G. 2014).

Sin embargo, para contar con el efecto virtuoso asociado al uso de la madera en toda clase de obras, los bosques deben estar manejados en equilibrio respecto de las tasas de cosecha y sus capacidades de crecimiento.

Paradójicamente, la aplicación actual que la Dirección de Vialidad está haciendo de la madera, es un factor depredador del recurso forestal nativo más que en una palanca de desarrollo del mismo, según se explica a continuación.

La construcción y conservación de puentes de madera en la Dirección de Vialidad contempla el uso de madera proveniente de bosques nativos de las especies forestales roble (*Nothofagus obliqua*) y coigüe (*Nothofagus dombeyi*) debido a que sus propiedades físico-mecánicas son las que pueden satisfacer los requerimientos de diseño de las estructuras de acuerdo a las cargas que las solicitarán en el servicio. Los árboles que dan origen a dichas maderas tardan en crecer entre 40 y 60 años, dependiendo de la condición de clima y suelo donde se desarrollan (Illanes J., 2008; Grosse H., 2009). Empero, su aplicación a la intemperie sin la protección necesaria otorgada por procesos de preservación química industrial normados, obliga a su reposición dentro de los primeros 5 a 10 años (Winkler E., 2012), condición que evidentemente no es sostenible en el largo plazo. Según Emanuelli A. y Milla F. (2004), la falta de un manejo técnico adecuado del recurso forestal nativo contribuye a su deterioro y degradación. Conforme a Guajardo G. (2007), “para 1914 se presentaba una crisis en el modelo chileno de explotación de recursos naturales, caracterizado por la falta de tecnología moderna, ausencia de métodos racionales y de inversión para enfrentar el agotamiento de las ‘altas leyes’ del bosque virgen”. Según la Misión Forestal de Estados Unidos que asesoró a CORFO en 1943, las maderas de roble que se empleaban en ferrocarriles y en la construcción debían ser preservadas, recomendación que motivó la instalación de una planta de preservación de durmientes de maderas nativas por parte de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado en 1950 (Guajardo G., 2007).

Para acceder a los beneficios ambientales del uso de madera en la construcción de obras civiles, ésta debe ser preservada bajo técnicas normadas que garanticen su durabilidad por un tiempo superior, o al menos igual, al que tardan en crecer los árboles que le dan origen, permitiendo entonces el manejo sostenible del recurso.

Política actual

La política de las direcciones regionales de Vialidad ha apuntado a no modificar los criterios obsoletos respecto del uso de madera sin preservación química en los puentes de madera, argumentando que se trata de estructuras provisionarias que deben ser reemplazadas por otras definitivas (hormigón armado), por cuanto no valdría la pena mejorar las técnicas constructivas actualmente en uso.

Sin embargo, debido al valor de una estructura de hormigón armado, al tiempo que se requiere para implementar un proyecto de reemplazo de una estructura de madera por otra de hormigón y a las restricciones presupuestarias del Ministerio de Obras Públicas, los puentes de madera que se proyecta reemplazar anualmente por otros de hormigón no supera al 0,4% del total de puentes de madera existentes (Ministerio de Obras Públicas, 2018. Campusano J., Martin E. y Wilson W., 2009), lo que en esencia implica que el problema de conservación de los puentes de madera no será resuelto por su sustitución y continuará generando altos costos de mantenimiento y alto riesgo en su operación en un gran volumen de estructuras.

El reemplazo de la totalidad de los puentes de madera existentes por otros de hormigón podría representar para el Ministerio de Obras Públicas la necesidad de invertir más de 3.000 millones de dólares americanos en la demolición de los puentes existentes y en su total reconstrucción, un proceso que posiblemente tardaría más de 100 años, no resultando precisamente lo más eficiente.

Para el cálculo de números anteriormente indicados se considera el reemplazo de 34 puentes (*Campusano, Martin y Wilson, 2009*) de largo igual a 20 m (se considera un puente definitivo a uno con largo no menor a 20 m) y una capacidad de inversión anual de US\$ 31.000 por metro lineal. Esto significa que para el universo actual de 4.000 puentes se tendría una necesidad de inversión de MMUS\$ 2.480, lo que sumando a demoliciones y obras anexas se aproximaría a MMUS\$ 3.000, implicando en definitiva 119 años de plazo para que todos estos puentes sean reemplazados.

En consecuencia, mejorar la seguridad de las miles de estructuras de madera existentes, su serviciabilidad, las condiciones de conectividad de las localidades más apartadas y reducir el costo de conservación de los mismos, es de suma urgencia. Lograr los objetivos señalados, depende directamente de la implementación de técnicas modernas de construcción y conservación de las estructuras, entre las cuales la de mayor impacto resulta ser la aplicación de preservación química por métodos estandarizados (conforme a las NCh790 y NCh819) de la madera que se instala rutinariamente en ellas para reponer los elementos deteriorados. Así lo ha demostrado la Región de Aysén en los últimos 20 años, donde el costo de conservación de estas estructuras se ha reducido a menos de un tercio de lo que era antes de la introducción de la preservación química de las maderas empleadas para este efecto, resultado que está documentado en el estudio conjunto realizado por el Instituto de Investigación Forestal (INFOR – CORFO) y la Dirección de Vialidad de Aysén (*Vásquez L., 2012*).

Pasarela Ñadis, Aysén .



1998 – 2018 (20 años en servicio)

Madera preservada al vacío y presión .

El costo de la solución técnica normada

Al día de hoy, el consumo anual de maderas sin preservación química adquiridas por la Dirección de Vialidad para conservación de puentes y pasarelas en las regiones donde está la mayoría de las estructuras de esta naturaleza es el siguiente:

Tabla I

COSUMO Y VALOR ACTUAL DEL SUMINISTRO ANUAL POR REGIÓN DE MADERA SIN PRESERVACIÓN

Región	Volumen (m3)	Valor (USD)
VIII	825	546.875
IX	1.533	1.015.625
XIV	708	468.750
X	1.769	1.171.875
Total	4.835	3.203.125

**Fuente propia.*

Considerando contratos de conservación global de caminos de cada región.

El total de madera consumido por año, arriba indicado, se emplea en conservar unas 3.600 estructuras que representan más del 90% de los puentes y pasarelas de madera del país, cuyo valor actual, como obras en servicio, puede alcanzar a USD 400 millones. Esto resulta luego de multiplicar los US\$ 11.000 promedio de costos por metro lineal de los distintos puentes de madera (*Ministerio de Obras Públicas, 2018*) por 10 m de largo que en promedio tienen estos puentes y por la cantidad de 3.600 puentes.

Tomando como referencia los valores de adquisición de maderas preservadas químicamente al vacío y presión conforme a la NCh790 y NCh819 empleadas por la Dirección de Vialidad de Aysén, se proyecta en la Tabla II siguiente, el aumento de inversión anual que se requeriría por parte de la Dirección de Vialidad de las regiones que se indica, para establecer el uso de un criterio normado que garantice el rendimiento, la durabilidad y estabilidad de la madera que se emplea en las 3.600 estructuras señaladas.

Tabla II

PROYECCIÓN DEL CONSUMO Y VALOR DEL SUMINISTRO ANUAL POR REGIÓN DE MADERA PRESERVADA

Región	Volumen (m3)	Valor (USD)
VIII	825	765.625
IX	1.533	1.421.875
XIV	708	656.250
X	1.769	1.640.625
Total	4.835	4.484.375

**Fuente propia*

Precio unitario venta de pulgada de madera preservada en Órdenes de Compra de Licitación N° ID: 999-12-2E18 (OC: 999-99-SE18), 1002-37-LP18 (OC: 1002-399-SE18), 1005-7-LE18 (OC: 1005-42-SE18).

No es difícil comprender que en materia de la conservación de estas 3.600 estructuras existe un importante atraso tecnológico al efectuar reparaciones y/o construcción de nuevas obras aplicando maderas en servicio a la intemperie sin la protección química que garantice su estabilidad y durabilidad una vez expuestas a los factores naturales de degradación, tal como lo recomienda el Manual de Carreteras en el numeral 7.707.9 y las normas chilenas oficiales NCh789, NCh790 y NCh819.

Implementar una política a nivel regional, especialmente en las regiones más húmedas, que actualice tal criterio y establezca el uso de maderas preservadas químicamente costaría al Ministerio de Obras Públicas no más de USD 1,3 millones adicionales por año, según se puede observar en las tablas I, II y III, contribuyendo con ello a dar seguridad y disminuir considerablemente el costo de conservación de miles de obras, valoradas en más de USD 400 millones, hoy caracterizadas por su inestabilidad, alto costo de conservación e impacto negativo en los bosques naturales por la alta tasa de reposición de maderas nativas que están demandando.

Tabla III

INVERSIÓN REQUERIDA POR REGIÓN PARA GARANTIZAR LA DURABILIDAD DE LA MADERA (NCh790 Y NCh819)

Región	Volumen (m3)	Costo de Preservación (USD)
VIII	825	218.750
IX	1.533	406.250
XIV	708	187.500
X	1.769	468.750
Total	4.835	1.281.250

**Fuente propia.*

Precio unitario venta de pulgada de madera preservada en Órdenes de Compra de Licitación N° ID: 999-12-2E18 (OC: 999-99-SE18), 1002-37-LP18 (OC: 1002-399-SE18), 1005-7-LE18 (OC: 1005-42-SE18).

Bibliografía

- 1) Abrahamsen R. & Jakobsen B. (2010). Heavy Traffic Bridges in Norway. Internationales Holzbau-Forum 10. Garmisch-Partenkirchen. Alemania.
- 2) Campusano J., Martin E. y Wilson W. (2009). Puentes para Chile 2020. Santiago.
- 3) Dirección Regional de Vialidad de Aysén (2013). Certificado de uso de madera preservada. Coyhaique. Chile.
- 4) Dirección Regional de Vialidad de Los Lagos (2018). Bases de Licitación N° ID: 2261-7-LR17, 2261-3-LR17, 2261-4-LR17, 2261-1-LR17, 2261-2-LR17, 2261-75-LR16, 2261-38-LR16. (2017, 2018).
- 5) Dirección Regional del Bio-Bio (2018). Licitación N° ID: 999-12-2E18 (OC: 999-99-SE18), 1002-37-LP18 (OC: 1002-399-SE18), 1005-7-LE18 (OC: 1005-42-SE18).
- 6) Emanuelli, A., Milla, F. (2006). Alternativas de Productos Madereros del Bosque Nativo Chileno. 162pp. Santiago. Chile.
- 7) González T. (2013). Identificación del Patrimonio de Ingeniería en Puentes en la Región de Los Ríos con ejemplo de evaluación de la Posibilidad de Conservación. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.
- 8) Grosse H. (2009). Silvicultura del Bosque Nativo Chileno. 136pp. Santiago. Chile.
- 9) Guajardo G. (2007). Tecnología, Estado y Ferrocarriles en Chile, 1850 – 1950. 246pp. Ciudad de México. México.
- 10) Illanes J. (2008). Prospección de Productos de *Nothofagus obliqua* Mirb. y *Nothofagus alpina* (Poepp. Et Endl.) Universidad de Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Santiago. Chile.
- 11) Lefebvre, D., Richard, G. (2014). Design and Construction of a 160-Metre-Long Wood Bridge in Mistissini, Québec. Québec. Canadá.
- 12) Ministerio de Obras Públicas (2018). Comisión Planificación Mantenimiento Puentes y Caminos. Informe julio de 2018. Santiago. Chile.
- 13) Ministerio de Obras Públicas (2016). Valor del Patrimonio Vial de la Red Vial Nacional – Año 2013. Santiago. Chile.

- 14) Ministerio de Obras Públicas. (2012). Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Santiago. Chile.
- 15) Millalén, J., Pérez, R., Schanack, F. (2014). Puentes Mixtos Madera-Hormigón Como Alternativa Definitiva Para los Puentes de Madera. Ponencia 11 Congreso Internacional PROVIAL. Valdivia. Chile.
- 16) Molina N. (2012). Diseño de un Sistema de Gestión de Puentes Bajo Enfoque de Priorización de la Inversión. Tesis de Grado para optar el título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral. Valdivia. Chile.
- 17) Quiroz, J. (2001). Levantamiento Catastro y Valoración del Patrimonio de Infraestructura de Chile: Valoración. Informe final. Santiago. Chile.
- 18) Revista EMB Construcción. (2005) Entrevista a Zeus Aguilera en Edición Especial Puentes. Santiago. Chile.
- 19) Vásquez, L. (2011). Estudio Comparativo de Costos y Daños en Cuatro Pasarelas de La Región de Aysén Construidas Con Tableros De Madera Creosotada (IPV) Y Verde (Carbonileum). Años 1997/2011. Instituto de Investigación Forestal – INFOR. Concepción. Chile.
- 20) Winkler, E. (2001). Proposición de Mantención, Rehabilitación y Recomendaciones de Diseño para Puentes de la Región de Los Lagos. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.