
PUENTES DE MADERA EN CHILE: USO DE MADERA PRESERVADA EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Autores:

Julio Bravo Aparicio

Departamento de Conservación, Dirección Regional de Vialidad Región de Aysén
Riquelme 465, 2° piso, Coyhaique
E-mail: julio.bravo@mop.gov.cl
Tel 56 9 98221460

Ignacio Araneda Viveros

Mardones Ingeniería en Madera Limitada, Departamento de Ingeniería,
Tucapel 2045, Santiago, Chile
E-mail: ignacio.araneda@puentesmodulares.cl
Tel 56 2 28365400

PUENTES DE MADERA EN CHILE: USO DE MADERA PRESERVADA EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Julio Bravo ¹, Ignacio Araneda²

¹ Ministerio de Obras Públicas, Dirección Regional de Vialidad de Aysén, Coyhaique, Chile,
julio.bravo@mop.gov.cl

² Mardones Ingeniería en Madera Limitada, Santiago, Chile, ignacio.araneda@puentesmodulares.cl

Resumen

Este trabajo presenta los resultados comparados, durante 26 años del estudio técnico – económico, del uso de madera, preservada (según la Especificación Técnica Aysén – 001 – 1998) y no preservada, en pasarelas y puentes de la región de Aysén, con el objetivo de visualizar la conveniencia de ambas prácticas.

Se compara la especificación antedicha con la normativa chilena (NCh789/1, NCh790 y NCh819, Manual de Carreteras) y con otros estándares internacionales homólogos, con el objetivo de validar la vigencia de la especificación en uso respecto del estado del arte en la materia.

Los resultados indican que la especificación singularizada está a nivel de los estándares más modernos a nivel global y que el uso de madera sin preservar afecta gravemente la vida útil y la confiabilidad de una estructura vial. Se concluye que su aplicación permite reducir el costo de mantenimiento, aumentando significativamente la vida útil de la estructura.

Palabras Clave: Madera, Preservada, Puentes, Aysén.

1 Introducción

A nivel nacional, existe un total de 6.800 puentes de tuición de la Dirección de Vialidad (Ministerio de Obras Públicas, 2009), de los cuales hay alrededor de 4 mil estructuras (58,82%) que poseen componentes de madera (Aguilera, 2005) y que son estratégicos para la conectividad.

Las estructuras que poseen componentes de madera se hallan preferentemente localizadas en las zonas del país más húmedas. Estas estructuras materializadas con madera sin preservar, tienen baja durabilidad; en general, si se desea conservar un buen estándar, se debe reemplazar los componentes de la superestructura entre 5 a 7 años y los componentes de la infraestructura entre 10 a 12 años. El deterioro observado en ellos más que resultado de sobrecarga, es originado en la descomposición natural (pudrición) de la madera una vez puesta en servicio (Winkler, 2011).

En el informe de la Dirección de Presupuestos de 2024 se verifica que la Dirección de Vialidad posee solo 33 obras en ejecución para la reposición de puentes, lo que resulta indicativo del tiempo que tardará en reemplazar todas las estructuras que contienen elementos de madera. En consecuencia, es conveniente para una buena gestión de los activos fiscales y la conectividad de las personas, el introducir tecnología actualizada en las prácticas de conservación de las estructuras de madera.

El presente trabajo tiene como primer objetivo el exponer la experiencia de la Región de Aysén con la preservación de madera para uso vial en la conservación de puentes. Al año 2024, la región de Aysén con una red de aproximadamente 3.600 km., cuenta con 327 puentes con una longitud total de 12.268 m. de los cuales 94 puentes cuentan con elementos de madera, principalmente tableros y rodados, con una longitud de 3.224 m. lo que equivale al 26.28% de la longitud total de puentes. De los 94 puentes, 54 de ellos se encuentran con madera preservada, con una longitud de 2.317m., lo que equivale a un 71.87% de la longitud total de puentes de madera.

Las primeras estructuras con preservación (creosota), datan de 1999, lo que implica a la fecha una puesta en servicio de 26 años, exhibiendo escaso deterioro. Antes de esa fecha, las estructuras se materializaban exclusivamente con madera sin preservar.

El segundo objetivo es validar la vigencia de las especificaciones técnicas Aysén – 001 – 1998, comparándola con la normativa actual, tanto chilena (Manual de Carreteras, normas chilenas oficiales) como con la normativa y literatura internacional.

2 Metodología

2.1 Experiencia práctica en la región de Aysén

Con el fin de poder realizar una comparación técnico-económico, la Dirección Regional de Vialidad Aysén, toma la decisión en el año 1999 de construir la pasarela Pangal N°2 con madera creosotada, comparándola con la pasarela Pangal N°1 construida en el año 1997 con madera sin preservar. Ambas estructuras se encuentran en el mismo camino y separadas entre ellas por 7 km. de distancia, cuyos antecedentes generales se presentan a continuación:

I. Pasarela Pangal N°1

Ubicación : Camino X-544, camino Pangal Km 10,189; Comuna de Aysén.
Longitud : 62 metros
Ancho Calzada : 2,2 metros
Capacidad : 5 toneladas
Tipo de tablero : Madera sin preservar

II. Pasarela Pangal N°2

Ubicación : Camino X-544, camino Pangal Km 3,013; Comuna de Aysén.
Longitud : 90 metros
Ancho Calzada : 2,2 metros
Capacidad : 5 toneladas
Tipo de tablero : Madera Preservada con creosota según EE.TT. Aysén – 001 – 1998.

2.2 Revisión del estado del arte en la construcción de puentes de madera

Se realiza un enfoque investigativo que incluye una revisión exhaustiva de la normativa chilena e internacional relacionada con la preservación de maderas para uso vial.

Se analizaron comparadamente los tipos de preservantes, métodos de aplicación, controles de calidad de los procesos y resultados exigidos a los mismos, según los criterios de las fuentes antes consultadas, que proveen detalladas recomendaciones, y las prestaciones esperadas, contrastando dichos requerimientos con lo establecido en la especificación Aysén – 001 – 1998, a fin de validar este cuerpo técnico.

2.2.1 Revisión de la Especificación Técnica Aysén – 001 – 1998

Se analizan los criterios de aceptación de especies forestales, el grado estructural, y la forma especificada para realizar la preservación de la madera, en particular lo relativo al contenido de humedad, los rangos de temperatura y presión que se deben alcanzar en las cámaras preservadoras, las características del preservante, su retención y penetración, como también los métodos de control y registros establecidos.

2.2.2 Revisión de las normas chilenas oficiales (INN)

Respecto del mismo contenido que se analiza la especificación Aysén – 001- 1998, se revisan las normas chilenas que se refieren a la materia, principalmente las últimas versiones y el trabajo en curso para las actualizaciones más recientes de las siguientes normas: NCh819, NCh789, NCh790.

2.2.3 Revisión de las recomendaciones del Manual de Carreteras

Se revisan los capítulos, secciones y operaciones del Manual de Carreteras que hacen referencia a los requerimientos con que debe cumplir un puente de madera, tales como: Volumen 3 – Instrucciones y Criterios de Diseño; Volumen 4 – Planos de Obras Tipo; y Volumen 7 – Mantenimiento Vial.

2.2.4 Revisión de las normas, estándares y literatura internacional

Se consultan algunas recomendaciones respecto del diseño, construcción, conservación e inspección de puentes de madera en los manuales de la AASHTO y literatura especializada internacional tales como: AASHTO M 133 (AASHTO, 2002; AASHTO, 2020); Libro de Estándares de la AWWA (AWWA U1-24, T1-24, P1/P13, P1-24, P2-24, P3-24, A4-19-A19-19, A52-17, A53-17, A54-23, A54-23, A55-23, A56-23, A57-23); y el trabajo de Pousett et al, del Instituto de Investigación de Suecia- RISE (2017), sobre Puentes Durables de Madera.

3 Resultados

3.1 Estudio técnico – económico comparado, del uso de madera preservada y sin preservar

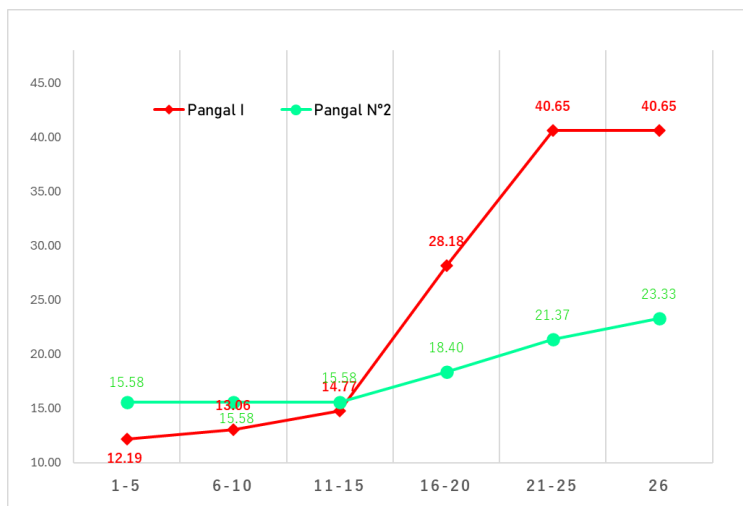
En el caso de las pasarelas Pangal N°1 (construida con madera sin preservar) y Pangal N°2 (construida con madera preservada con creosota conforme a la EE.TT. Aysén – 001 – 1998), se lleva desde su instalación hasta el presente un registro de las operaciones de conservación de las estructuras y un registro del costo de ellas, expresado en Unidades de Fomento (UF) por metro lineal (ml), lo que se visualiza acumulado para todo el período en la Tabla 1 y en la Gráfica 1 siguientes. El valor de los contratos de suministro de materiales o servicios de construcción, valor neto, se convirtieron de pesos (CLP) a UF, empleando para ello el valor de la UF al 31 de diciembre de cada año.

Tabla 1 Costo comparado de construcción y conservación (UF/ml)

Nombre	Costo Acumulado por Quinquenio (UF / ml)					
	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26
Pangal N°1	12.19	13.06	14.77	28.18	40.65	40.65
Pangal N°2	15.58	15.58	15.58	18.40	21.37	23.33

Los valores anuales (en UF/ml) se agruparon por quinquenio, lo que permitió la elaboración de la Gráfica 1, siguiente, donde se expresa dicho valor acumulado hasta la fecha de emisión del presente trabajo.

De la gráfica 1 siguiente, se desprende que al año 12, el costo acumulado de la construcción de la pasarela Pangal N°1 más sus mantenciones y/o reconstrucción, comienza a ser superior al costo de construcción de la pasarela Pangal N°2 con madera preservada con creosota.



Gráfica 1, Costo comparado de construcción, conservación y reconstrucción, acumulado por quinquenio y expresado en UF/ml

3.2 Revisión de la Especificación Técnica Aysén – 001 – 1998

La “Especificación Técnica para El Suministro de Madera Latifoliada Impregnada Con Creosota Aysén - 001 – 1998”, es un cuerpo técnico que fue elaborado por la Dirección de Vialidad en 1998, con el propósito de obtener madera estándar, durable, para la conservación de puentes y pasarelas en la región.

Respecto de las especies forestales, de acuerdo con las limitaciones a los defectos establecidos en la misma especificación, Grado Estructural 1 o 2 (NCh1970/1), según sus dimensiones y principales solicitudes, se aceptan especies que permitan una Clase Estructural al estado verde f8 o superior (NCh1990:1986).

Respecto de la preservación de la madera se definió un contenido máximo de humedad de la madera de 50% al cual se puede iniciar el proceso de preservación, lo anterior basado en las recomendaciones del estándar AWP A T1-24 (actualizado). También se definió al preservante como una mezcla de creosota (60%) destilada de alquitrán de hulla y petróleo (40%), basado en la NCh790:2012 (actualizado), en los estándares de la AWP A P1/P13-24, AWP A P2-24 y P3-23 (actualizados), a la práctica existente a la época en Canadá, EEUU, los países nórdicos y a la disponibilidad en el mercado local. En lo relativo a los resultados de retención y penetración mínimos, se homologaron a lo establecido según el nivel de riesgo de descomposición y el costo de reemplazo conforme a la ubicación en la estructura.

3.4 Revisión de la normativa chilena

El 2 de mayo de 2024, vía el Decreto 17 exento del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, se promulgó la aprobación y declaración en calidad de norma oficial de la NCh789/1:2023, la cual entra en vigor el día 8 de noviembre de 2024 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2024). La actualización mencionada introdujo cambios importantes con relación a la edición derogada, NCh789/1:1987. En la edición derogada de la norma, se definían 5 categorías de durabilidad natural para las especies forestales chilenas, donde las

categorías dependen únicamente de la especie forestal. En su edición de 2023, las categorías, que son las mismas, ya no dependen exclusivamente de la especie forestal, sino que lo hacen en principal medida del nivel de riesgo de deterioro, definido en NCh819, así como del agente de biodeterioro (Instituto Nacional de Normalización [INN], 2023). Adicionalmente, la edición 2023 de la norma establece de forma taxativa que las maderas clasificadas como no durables deben ser preservadas.

El cambio en el criterio de clasificación de NCh789/1 tiene consecuencias directas, pues especies que antes eran consideradas durables, ya no lo son necesariamente. En la Tabla 2 se compara la Categoría de durabilidad de distintas especies según NCh789/1:1987 y NCh789/1:2023 para el nivel de riesgo de deterioro R5 y hongos de pudrición. Resulta de valor notar que ninguna especie de la tabla aquí presentada, ni del listado completo, clasifica como durable. Se revisa el nivel R5 porque así lo estipula NCh819 para maderas estructurales en puentes.

Tabla 2 Clasificación de maderas según durabilidad natural (INN, 1987; INN, 2023)

Nombre común	Nombre científico	Categoría en NCh789/1:1987	Categoría en NCh789/1:2023, para nivel de riesgo de deterioro R5 y hongos de pudrición
Roble	<i>Nothofagus obliqua</i>	Muy durable	Poco durable
Raulí	<i>Nothofagus alpina</i>	Durable	Poco durable
Lenga	<i>Nothofagus pumilio</i>	Durable	Semidurable
Canelo	<i>Drimys winteri</i>	Moderadamente durable	No durable
Coigüe	<i>Nothofagus dombeyi</i>	Moderadamente durable	Poco durable
Pino radiata	<i>Pinus radiata</i>	No durable	No durable

Esta nueva clasificación de durabilidad obliga a una revisión profunda en los proyectos de construcción y/o de mantención de puentes, ya que especies tradicionalmente utilizadas para estructuras sin preservación ahora requieren tratamiento químico al vacío y presión, lo que afectará tanto los costos como las especificaciones técnicas.

El otro pilar de las normas para madera preservada es representado por NCh819/2019, la cual define en su alcance la clasificación de riesgo de deterioro que pueden sufrir las maderas de distintas especies disponibles en Chile, bajo condiciones de uso por el ataque de agentes biológicos, los requisitos de retención y penetración del preservante, y los criterios de muestreo.

3.5 Revisión del Manual de Carreteras

En el Volumen 7, se encuentra el numeral 7.307.0902(2), dentro de la Operación 7.307.9 – Instalación de puentes de madera, que indica que las maderas pertenecientes a las categorías 4 o 5 de la NCh789 deben ser tratadas con preservantes conforme a lo dispuesto en NCh790. Para las maderas de categorías 1, 2 o 3, este tratamiento es opcional. Sin embargo, el Manual no menciona explícitamente las versiones de las normas a las que se refiere, omitiendo tanto el sufijo que indica la parte de la norma como el año de publicación. Se infiere que estas referencias corresponden a NCh789/1:1987 y NCh790:2012, lo cual genera confusión respecto a las actualizaciones normativas más recientes. Considerando la alta calidad técnica del Manual de Carreteras y la permanente actualización que de él se hace, al igual que para los otros materiales como acero y hormigón, en el caso de la madera debiera recoger las últimas versiones disponibles de las normas chilenas oficiales publicadas.

3.6 Revisión de normativa, estándares y literatura internacional

Las publicaciones de la AASHTO (EUA) indican en sus respectivos apartados que toda pieza de madera destinada a tener aplicaciones de exposición permanente debe ser impregnada a presión con algún preservante según los requerimientos de la especificación AASHTO M 133 (AASHTO, 2002; AASHTO, 2020). En la AASHTO LRFD se define una vida de diseño de 75 años para los puentes, sin discriminaciones arbitrarias entre materiales; es decir, toda materialidad estructural (acero, hormigón o madera), alcanzan niveles de rendimiento y durabilidad equivalentes cuando se respetan los estándares de diseño y especificaciones técnicas que a cada cual aplica.

De acuerdo con lo reportado por Pousette et al. (2017) la madera preservada con creosota puede durar hasta 100 años dependiendo de la cantidad de creosota usada. Esto es tan así, que la *Norwegian Public Roads Administration* (NPRA) considera que el tratamiento con creosota es crucial para alcanzar la vida útil de diseño (100 años) que ella misma demanda para todos los puentes nuevos en Noruega (Manhert y Hundhausen, 2017).

4 Conclusiones

Luego del análisis comparativo entre las pasarelas Pangal N°1 y Pangal N°2, se concluye que a pesar de que en la construcción inicial, el costo de la pulgada de madera preservada es mayor en un 251% que el costo de la madera sin preservar, a 26 años, la pasarela Pangal N°2, con un costo inicial de 15.58 uf/ml y acumulado de 23.33 uf/ml, resulta 43% más económica que la Pangal N°1, a pesar de que el costo de construcción inicial con madera creosotada es un 28% superior, a partir del año 12, la menor necesidad de mantenciones la hace más rentable.

La especificación técnica Aysén – 001 – 1998, no solamente está plenamente vigente y en absoluta congruencia con la normativa chilena oficial y con los estándares de construcción de puentes de madera de los países modernos, sino, además, es el cuerpo técnico más completo que existe en el país que especifica madera para un usuario en particular. Sin embargo, los estándares de referencia que cita deben ser llamados como tal, en vez de anexos, como también deben ser citados en base a las actualizaciones más recientes que de ellos haya disponible.

Esta especificación tuvo la virtud de anticiparse en más de 25 años a las normas chilenas oficiales (NCh789:2019), estableciendo requerimientos de preservación en base a la clase de riesgo de uso del material en vez de fiarse de la durabilidad natural y de la proporción albura y duramen de las maderas provenientes de distintas especies forestales.

Los resultados de durabilidad y los costos de conservación en los puentes y pasarelas construidos con madera preservada en la Región de Aysén avalan lo concluido en los párrafos anteriores y la eficacia de la Especificación Aysén – 001 – 1998.

Actualmente, los puentes de madera en Chile son considerados provisorios por la Dirección de Vialidad. La vida útil definida por el Manual de Carreteras para una estructura definitiva es de 50 años. Sin embargo,

esta es coherente con la durabilidad de la madera preservada, lo que sugiere que estos puentes podrían ser permanentes en la medida que el material se especifique conforme a la normativa chilena oficial vigente.

La falta de implementación de tratamientos preservantes estandarizados, conforme lo establecen las normas chilenas oficiales y los manuales internacionales de diseño, construcción y conservación de puentes de madera que se citan en las referencias, es la principal causal de deterioro temprano de estas estructuras, tal como lo demuestra la experiencia en la Región de Aysén, afectando tanto la seguridad de los usuarios como generando un costo mayor de mantenimiento.

Desde una perspectiva económica, la utilización de madera preservada, aunque implica una mayor inversión inicial, reduce significativamente los costos de mantenimiento a largo plazo. Pero más allá de los beneficios económicos, el uso de madera preservada es también la única opción sostenible para la gestión del recurso forestal que tarda en crecer al menos 30 a 50 años después de una cosecha.

La reciente actualización de la norma NCh789/1, que incorpora la clasificación de la madera según categorías de uso, es un avance que actualiza la normativa nacional y la homologa con la de países modernos, en los cuales solo se utiliza madera preservada en condiciones de alta exposición. El Manual de Carreteras debe actualizar lo relativo a la utilización de madera en puentes, descartando categóricamente el uso de madera sin preservación normada en estructuras viales, garantizando de tal modo la durabilidad y seguridad de la infraestructura vial.

Referencias

- Aguilera, Zeus (2005). Entrevista sobre el control fiscal al diseño y ejecución de puentes en Chile. Revista EMB Construcción. Santiago. Chile: en edición especial de puentes del mes de octubre.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2020). *LRFD Bridge Design Specifications*. Washington, D.C., EUA: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). *Standard Specifications for Highway Bridges*. Washington, D.C., EUA: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2008). *Standard Specification for Preservatives and Pressure Treatment Processes for Timber* (M 133-08). Washington, D.C., EUA: AASHTO.
- Decreto 17 de 2024 [Ministerio de Vivienda y Urbanismo]. Aprueba y declara norma oficial de la República de Chile la norma técnica NCh789/1 Maderas - Parte 1: Durabilidad de la madera. 2 de mayo de 2024.
- Dirección de Presupuestos, Ministerio de Hacienda. (2024). Informe de identificación y ejecución de inversión pública al 29/02/2024 – Ley de Presupuestos. Programa 120204: Dirección de Vialidad. Santiago. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (2023). *Maderas – Parte 1: Durabilidad de la madera* (NCh789/1:2023). Santiago, Chile: INN.
- Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas (2023). *Manual de Carreteras*. Santiago, Chile.
- Ministerio de Obras Públicas. (2009). *Puentes para Chile 2020*. Santiago. Chile.
- Moya, I., Salinas, J., y Vásquez, L. (2012). Estudio comparativo de costos y daños en cuatro pasarelas de la región de Aysén construidas con tableros de madera creosotada (IPV) y verde (carbonileum). *INFOR, Sede Patagonia*.
- Pousette, A., Malo, K. A., Thelandersson, S., Fortino, S., Salokangas, L., y Wacker, J. (2017). *Durable timber bridges: Final report and guidelines* (SP Rapport 2017:25). RISE Research Institutes of Sweden.
- Winkler, E.J., (2011). *Proposición de Mantención, Rehabilitación, y Recomendaciones de Diseño para Puentes de Madera de la Región de Los Lagos*. Valdivia. Chile: Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile.