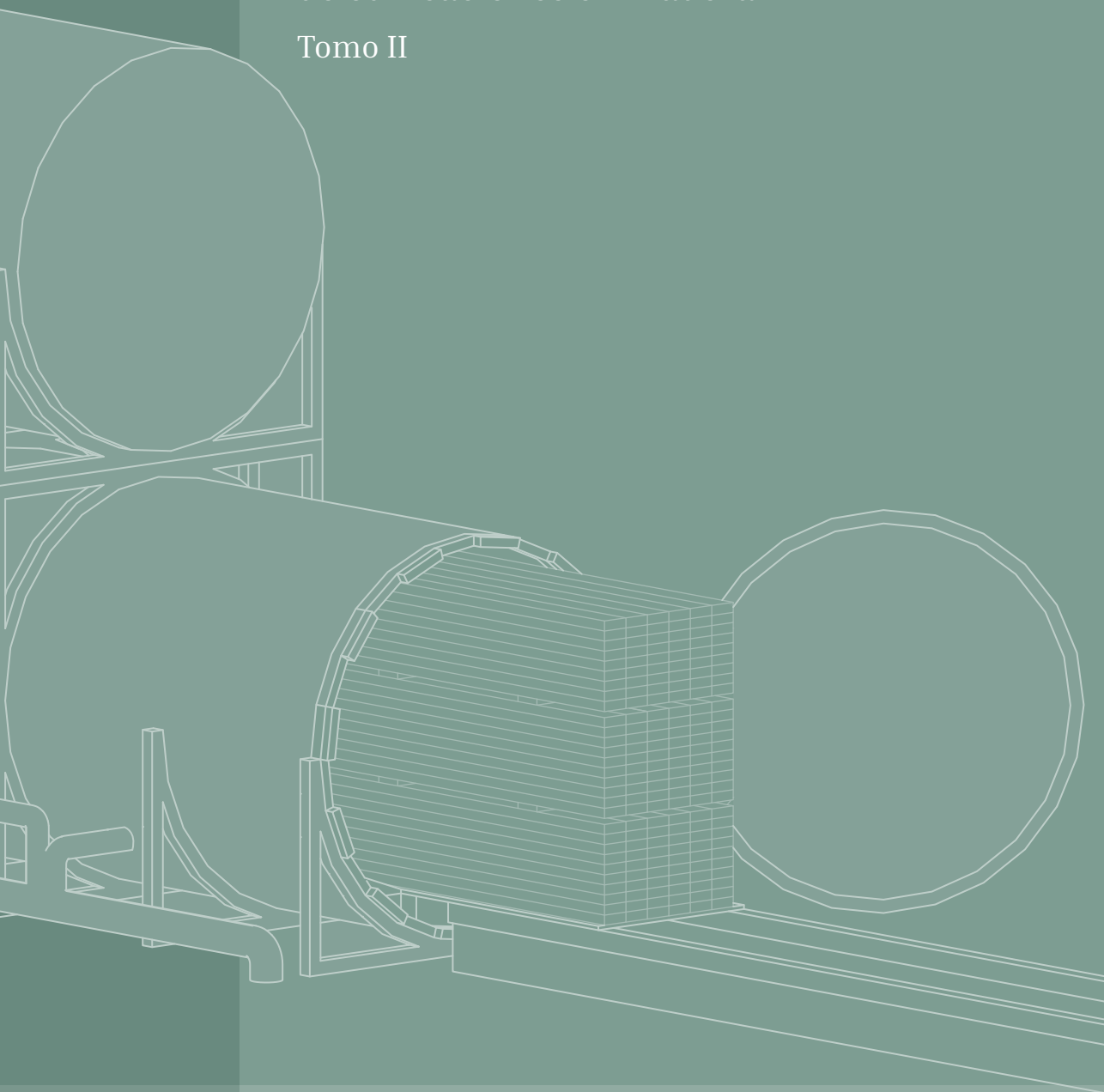




Manual de preservación de la madera: Tratamientos y control para la durabilidad de edificaciones en madera

Tomo II



Vicente López, Josefina Marambio

Vicente López, Josefina Marambio

Manual de preservación de la madera: Tratamientos y control para la durabilidad de edificaciones en madera

Tomo II



Manual de preservación de la madera: Tratamientos y control para la durabilidad de edificaciones en madera

Este manual fue elaborado por el Centro UC de Innovación en Madera (CIM UC) y el Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD), a partir de un encargo realizado por Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal.

Cualquier reproducción total o parcial de este manual debe ser reconocido referenciando esta publicación:

Citación: “López V., Marambio J. (2025) *Manual de preservación de la madera: Tratamientos y control para la durabilidad de edificaciones en madera*. Centro UC de Innovación en Madera (CIM UC), primera edición, ISBN: 978-956-14-3536-0. Santiago, Chile”.

English citation: “López V., Marambio J. (2025) *Wood preservation manual: Treatments and control for the durability of timber buildings* (in Spanish). Timber UC Innovation Center (CIM UC), first edition, ISBN: 978-956-14-3536-0. Santiago, Chile”.

ISBN: 978-956-14-3536-0

Autoría:	Colaboradores:	Diagramación:	Ilustración:
Vicente López	Cristián Barría - Protección de Madera	Vanessa Naranjo	Vicente López
Josefina Marambio	Rodrigo Besnier - Protección de Madera		Josefina Marambio
	Andrés Ducaud - Protección de Madera		
	Paula Montes - Protección de Madera		
	Cecilia Fuentealba - UDT - CENAMAD		
	María Graciela Aguayo - UBB - CENAMAD		
	Fabiana Lorca - CIM UC - CENAMAD		

Los autores, colaboradores, empresas patrocinadora y editores no asumen ninguna responsabilidad por cualquier daño directo o indirecto, lesión, perjuicio o pérdida que pueda producirse o sufrirse como resultado del uso, la confianza, la aplicación y/o la referencia a la información incluida en esta publicación. Consulte a su jurisdicción local o a un profesional del diseño para asegurarse de que se cumplen las disposiciones legales y ordenanzas locales de construcción.

© 2025. Pontificia Universidad Católica de Chile, “Manual de preservación de la madera: Tratamientos y control para la durabilidad de edificaciones en madera”.

Todos los derechos reservados.

Prefacio

Manual de preservación de la madera: Un aporte a la industria maderera en Chile

La industria maderera ha sido, desde sus orígenes, uno de los pilares fundamentales en el desarrollo económico y social de numerosas regiones alrededor del mundo. En Chile, esta actividad ha contribuido tanto a la generación de empleo como al impulso de innovaciones tecnológicas en el manejo sustentable de los recursos forestales. Sin embargo, la madera, a pesar de sus numerosas virtudes, es un material susceptible a diversos factores de deterioro que pueden comprometer su durabilidad y funcionalidad, afectando la rentabilidad y la sostenibilidad de la industria.

Este manual surge como respuesta a la necesidad de fortalecer los conocimientos y las prácticas relacionadas con la preservación de la madera, una temática que, aunque ampliamente estudiada en otros países, requiere una adaptación a las realidades y desafíos propios del contexto local. El objetivo principal es ofrecer una guía práctica y actualizada, que sirva tanto a profesionales experimentados como a nuevos actores del sector, para mejorar la resistencia y la vida útil de los productos madereros.

El contenido aquí presentado busca integrar los fundamentos científicos sobre agentes de degradación —como hongos, insectos y condiciones ambientales— con las mejores técnicas de protección disponibles, considerando normativas nacionales e internacionales, así como las tendencias en sostenibilidad y eficiencia productiva. Además, se enfatiza la importancia de la capacitación continua, la innovación y la colaboración entre empresas, centros de investigación y comunidades para enfrentar los desafíos emergentes del sector.

Esperamos que este manual se convierta en una herramienta valiosa para quienes trabajan en la industria maderera, contribuyendo a la mejora de procesos, la calidad de los productos y la promoción de una gestión responsable del recurso forestal. La preservación de la madera no solo representa una oportunidad económica, sino también un compromiso con el desarrollo sostenible y la conservación del entorno natural.

Agradecemos a todos quienes han colaborado en la elaboración de este documento y confiamos en que su difusión marcará un antes y un después en la manera de abordar la preservación de la madera en nuestra industria.

Rodrigo Besnier Zarzar, Gerente General

Un aporte de Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Químetal.

Contenido

Prefacio.....	5
01 Introducción	11
1.1 Comprensión de la madera y su comportamiento.....	11
1.2 Agentes de biodeterioro.....	12
1.3 Estrategias de preservación y tratamientos.....	13
1.4 Objetivos y orientación del Tomo II.....	14
02 Glosario.....	17
03 Requerimientos normativos	21
3.1 Clasificación de preservantes de madera.....	25
3.2 Elección del preservante para el proceso de impregnación	27
3.3 Exigencias del tratamiento preservante	29
3.3.1 Retención mínima.....	30
3.3.1.1 Exigencia.....	30
3.3.1.2 Ensayo de retención.....	30
3.3.2 Grado de penetración.....	32
3.3.2.1 Exigencia.....	32
3.3.2.2 Ensayos de penetración.....	34
3.4 Normativa para evaluar la durabilidad a escala laboratorio	35
3.4.1 Verificación del grado de durabilidad: procesos en laboratorio y terreno.....	36
3.4.1.1 Hongos xilófagos	37
3.4.1.2 Insectos xilófagos	40
3.5 Regulaciones de uso de preservantes en Chile (Registro SAG, plaguicidas).....	45
04 Tipos de preservantes	49
4.1 Hidrosolubles.....	50
4.1.1 B2O5 (SBX) [Óxido de boro].....	52
4.1.2 CA-B [Cobre más tebuconazol Tipo B].....	54
4.1.3 MCAz [Cobre micronizado más tebuconazol].....	56

4.1.4 μ CA-C [Cobre micronizado más propiconazol y tebuconazol]	58
4.1.5 CCA [Óxidos de cobre, cromo y de arsénico]	60
4.2 Oleosolubles	63
4.2.1 LOSP [Permetrina más tebuconazol y propiconazol]	64
4.3 Complementos para la preservación	66
4.3.1 Insecticidas	69
4.3.2 Fungicidas	70
4.3.3 Retardantes de fuego	72
4.3.4 Protectores de radiación (rayos ultravioleta e infrarrojo):	74
4.3.5 Impermeabilizantes	76
4.4 Productos Innovadores	78
4.4.1 Preservantes en base a Cobre	79
4.4.2 Preservantes en base a Boro	80
4.4.3 Preservantes en base a extractos naturales	81
05 Métodos de tratamiento	83
5.1 Aplicación Industrial	84
5.1.1 Tratamiento de presión	86
5.1.1.1 Vacío y presión	86
5.1.1.2 Vacío y vacío	88
5.1.2 Tratamiento de difusión	90
5.1.3 Otros métodos: Modificación celular	95
5.1.3.1 Termotratado	96
5.1.3.2 Acetilado	98
5.1.3.3 Furfurilado	100
06 Control de calidad	103
6.1 Muestreo y obtención de probetas	104
6.1.1 Muestreo por carga	105
6.1.1.1 Muestreo tratado con preservantes del tipo LOSP	106

6.1.2 Muestreo por lote	106
6.1.3 Obtención de probetas	108
6.1.3.1 Madera aserrada y elaborada.....	108
6.1.3.2 Madera laminada encolada.....	108
6.2 Verificación del tratamiento de impregnación industrial.....	109
6.2.1 Verificación interna: Materiales, procedimientos y registros.....	109
6.2.2 Verificación externa: Laboratorios inscritos	110
6.2.3 Documentos que acreditan la verificación interna o externa.....	110
6.2.3.1 Informe de ensayo	110
6.2.3.2 Certificado.....	113
6.3 Garantías de protección al usuario	114
6.4 Rotulado para la comercialización.	116
07 Mantenimiento de la madera preservada.....	118
7.1 Medidas preventivas.....	118
7.1.1 Inspección periódica y diagnóstico	118
7.1.2 Protocolo de manejo de productos en obra (exposición).....	121
7.2 Diagnóstico y mantenimiento de la madera preservada	127
7.2.1 Deterioro por Humedad	127
7.2.2 Deterioro superficial	130
08 Casos de aplicación en contexto nacional	133
09 Referencias	149
10 Agradecimientos	151



01

Introducción

La **madera**, uno de los primeros materiales utilizados por la humanidad, ha demostrado una **versatilidad excepcional** en aplicaciones de diversas escalas, lo que la mantiene como un recurso indispensable para la construcción y proyecta un papel aún más relevante en el futuro. En la actualidad, la **sustentabilidad** se ha consolidado como un eje prioritario en la agenda de las industrias, las políticas públicas y la sociedad en general. Esta preocupación responde a desafíos globales, como la reducción de emisiones de carbono, la eficiencia energética en edificaciones y la gestión responsable de recursos naturales y residuos.

En este contexto, la durabilidad y la preservación adquieren un papel fundamental, asegurando que los proyectos mantengan su integridad estructural y funcional a lo largo de su vida útil. Su adecuada protección no solo maximiza el aprovechamiento de los recursos, sino que además contribuye directamente a los objetivos de sustentabilidad, evitando reparaciones tempranas o reemplazos.

En Estados Unidos, aproximadamente un 10% de la madera cosechada se utiliza para reemplazar piezas que fallaron prematuramente debido a la degradación biológica. Si esta cifra se proyecta a nivel global, considerando que la FAO (*Food and Agriculture Organization*), reporta que la producción anual de madera ronda los 3.000 millones de m³, de los cuales un 60% se destina a la producción de productos y el resto a combustibles, se

estima que, en base a la madera destinada a la producción, cerca de 180 millones de m³ de madera podrían haberse conservado mediante un adecuado control del deterioro (Morrell, 2019). Este dato no solo evidencia la magnitud del impacto económico de la pérdida prematura del material, sino también su repercusión ambiental, al liberar nuevamente el CO₂ previamente almacenado en biomasa, lo que refuerza la necesidad de establecer estrategias sólidas de preservación y durabilidad como parte central del diseño y gestión de proyectos construidos en madera.

En este contexto, asegurar la durabilidad de los elementos de madera va más allá de cumplir con las normas sobre tratamientos preservantes, ya que implica avanzar hacia una comprensión más profunda de su comportamiento, y a partir de ahí, estimar cuánto va a durar el proyecto, bajo qué condiciones y qué acciones son posibles para intervenir activamente esa duración, prolongando su vida útil y asegurando el máximo aprovechamiento de los recursos.

1.1 Comprensión de la madera y su comportamiento

La madera se compone fundamentalmente de dos tipos de tejidos: un tejido conductor (albura) y un tejido estructural (duramen). El primero está encar-

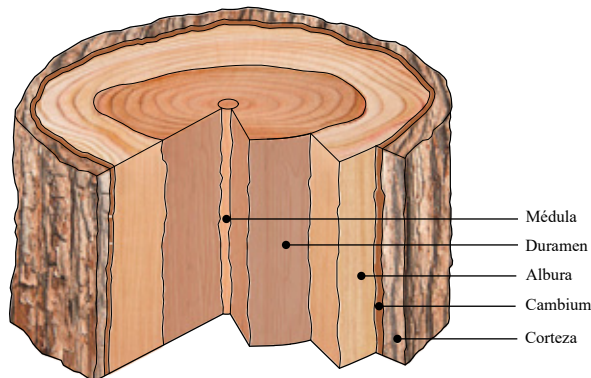


Figura 1.1 - Partes del tronco de un árbol

gado de transportar agua y sales minerales, además de almacenar sustancias de reserva generadas en la fotosíntesis. Con el paso de los años, esta zona activa, correspondiente a la albura, deja de cumplir sus funciones de conducción mediante el bloqueo progresivo de las conexiones entre las fibras, y se transforma en un tejido estructural e inerte, llamado duramen.

En ese contexto, surge el concepto de durabilidad natural de la madera, definido como la capacidad que posee la especie maderera para resistir el ataque de agentes de biodeterioro. Esta capacidad depende principalmente de las propiedades y características del duramen de cada especie maderera, dado que la albura carece de compuestos protectores naturales. En consecuencia, es el duramen el que determina los distintos grados de durabilidad según la especie. De este modo, las especies madereras naturalmente más durables ofrecen una mayor resistencia al ataque de agentes de biodeterioro, mientras que las menos durables pueden comportarse de manera similar a la albura, ya que no presentan resistencia.

Durante mucho tiempo, la albura no fue considerada como “madera útil”, ya que en ella se concentraban nutrientes que resultaban atractivos para los agentes de

biodeterioro, por lo que era habitual eliminarla de las piezas destinadas a la construcción. Sin embargo, hacia mediados del siglo XIX, con la expansión ferroviaria en Estados Unidos y la demanda masiva de durmientes, surgió el desarrollo de los primeros autoclaves para impregnar la madera. Esta innovación permitió tratar la albura con preservantes, otorgándoles la resistencia que se requería y devolviéndole un valor que antes no se reconocía.

En la actualidad, debido al dinamismo de la economía, el mercado forestal se sustenta principalmente en especies de rápido crecimiento, como es el caso del pino radiata. Este tipo de madera contiene en su mayor proporción albura, en comparación con el duramen. Si bien, la durabilidad natural de la albura es limitada, presenta la ventaja de poder ser impregnada, lo que permite mejorar significativamente sus prestaciones mediante tratamientos preservantes.

1.2 Agentes de biodeterioro

Estas prestaciones se enfocan principalmente en contrarrestar a los agentes de biodeterioro de la madera,

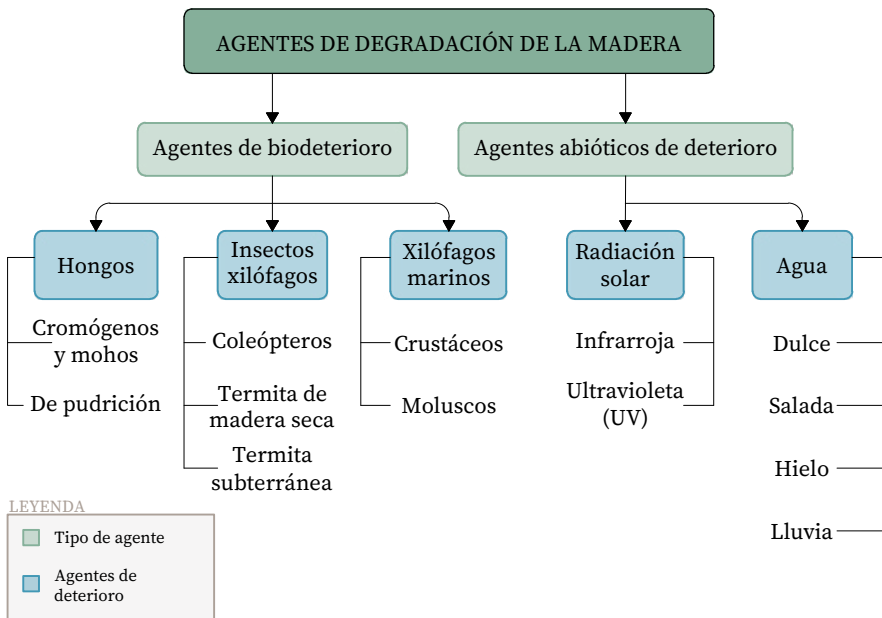


Figura 1.2 – Agentes de degradación de la madera

tales como los hongos de pudrición, los insectos xilófagos, como sería el caso de las termitas, y los xilófagos marinos, cuyos efectos forman parte del ciclo natural de reciclaje de la biomasa, al degradar el carbono, hidrógeno y oxígeno presentes en los árboles.

Hay que comprender que los agentes de biodeterioro solo se manifestarán si se cumplen ciertas condiciones ambientales. En el caso de las termitas, la condición principal es la presencia de colonias en la zona del proyecto, lo que hace necesario consultar fuentes oficiales o instituciones competentes que determinen su presencia.

Por otro lado, en lo que respecta a los hongos de pudrición, su desarrollo depende de que las esporas se depositen en la madera y encuentren un ambiente favorable para germinar. Estas condiciones están directamente relacionadas con la humedad: los hongos requieren un contenido de humedad en la madera entre el 20% y el 50% para desarrollarse. Si el contenido de humedad es demasiado bajo, no logran colonizar; y si es excesivo, como ocurre cuando el árbol está vivo o cuando la madera permanece permanentemente sumergida en agua, tampoco prosperan. Cabe señalar que, aunque estas condiciones son aproximadas, existen diversas especies de hongos y otros agentes de biodeterioro que podrían desarrollarse bajo circunstancias particulares.

Además de los agentes bióticos o de biodeterioro, la madera también puede verse afectada por agentes abióticos, los cuales son factores de origen físico, químico o ambiental que deterioran sus propiedades sin la intervención de organismos vivos. Mientras que los agentes de biodeterioro consumen y transforman químicamente la madera, provocando una

descomposición interna, como ocurre con los hongos de pudrición y las termitas, los agentes abióticos la degradan por acción física o química, generando alteraciones superficiales o estructurales, pero sin implicar un consumo biológico. Estos factores se relacionan principalmente con la exposición a luz, agua y viento, cuyo control se aborda habitualmente mediante el uso de productos complementarios (4.3).

1.3 Estrategias de preservación y tratamientos

Antes de establecer las estrategias de preservación y los tratamientos, es relevante diferenciar las distintas formas en que se describe la madera. La siguiente tabla muestra los principales términos, sus definiciones, características y ejemplos representativos.

De acuerdo con la tabla, los elementos de madera corresponden a aquellos productos que cumplen una función específica dentro de la edificación y ocupan una posición determinada en ella. Esto significa que se encuentran en un lugar geográfico específico, expuestos a condiciones climáticas particulares y a ciertos agentes de biodeterioro. Estos factores determinan el nivel de riesgo al que estará sometido el elemento y, junto con la especie maderera seleccionada, permiten definir si es necesario aplicar un tratamiento de preservación y qué exigencias normativas deben cumplirse.

Para llevar a cabo el tratamiento, la pieza de madera debe contener albura y la especie debe presentar una capacidad de impregnación adecuada, entendida como la capacidad de la madera para permitir el paso de un

TABLA 1 - DIFERENCIA ENTRE PIEZA, PRODUCTO Y ELEMENTO DE MADERA

Término	Definición	Características principales	Ejemplo
Pieza de Madera	Forma genérica para referirse a una unidad de madera, sea esta compuesta por uno o más productos.	-	-
Producto de madera	Material con características definidas.	- Tiene exigencias de penetración y retención según el nivel de riesgo asignado al elemento de madera. - Puede contar con adhesivos. - Incluye productos simples y compuestos	- Madera sólida aserrada (con o sin finger joint) - Madera sólida redonda (o cilíndrica) - Madera ingeniería: MLE, CLT, LVL, OSB, MDF - Productos chapas de madera: Contrachapado - Productos compuestos(1): Viga i-joint
Elemento de madera	Componente constructivo de una edificación compuesto de productos de madera.	- Rol estructural o arquitectónico definido en la edificación. - Nivel de riesgo según condiciones de exposición.	NCh819: Fundaciones, vigas pisos, entablado de piso sobre envidado, pisos de terraza, Soleras en contacto con hormigón, pie derecho en zonas húmedas, pie derecho en zona seca, vigas entrepisos, cerchas, tapacanes, revestimientos exteriores, molduras y carpinterías exteriores.

Notas:

(1) Los productos compuestos, para los tratamientos preservantes deben considerarse cada producto como una unidad independientes con sus propias exigencias.

líquido de una fibra a otra. Esta propiedad depende en gran medida de la forma y el tamaño de las estructuras que permiten la comunicación entre las células, conocidas como punteaduras. En función de ello, las especies se clasifican en distintos grados de capacidad de impregnación, lo que en la práctica implica que algunas especies no pueden ser tratadas de manera eficaz mediante este método.

1.4 Objetivos y orientación del Tomo II.

El conjunto de libros, conformado por tres tomos, aborda de manera integral la **durabilidad de la madera**. Tiene como objetivo general proporcionar a los profesionales de la construcción un marco de referencia, que permita comprender la madera desde su nivel molecular (Tomo I) hasta su utilización final en servicio, considerando aspectos de preservación y durabilidad. Asimismo, busca evaluar los factores que afectan su durabilidad y garantizar el cumplimiento tanto de los requerimientos normativos como de los principios del buen construir. Este enfoque se desarrolla mediante la preservación (Tomo II) y las estrategias de diseño (Tomo III), que aseguren un desempeño adecuado y sostenible de la madera en el tiempo.

En este contexto, el **Tomo II: Manual de preservación de la madera: Tratamientos y control para la durabilidad de edificaciones en madera**, tiene como objetivo principal exponer de manera secuencial (*Figura 1.3*) el procedimiento que debe seguir un elemento de madera para ser preservado. Este proceso comienza con la evaluación del nivel de riesgo y de los agentes de biodeterioro a los que estará expuesto, continúa con la definición del tratamiento necesario, la selección del tipo de preservante y su aplicación mediante un método específico, seguido del control de calidad y, finalmente, del mantenimiento que permite que las características de durabilidad adquiridas se mantengan en el tiempo.

Cada una de estas etapas está regulada por exigencias normativas, técnicas o legales que aseguran tanto la efectividad como la trazabilidad del proceso, desde el

producto preservante (registro en el SAG), el método de tratamiento (hoja de carga), la verificación del tratamiento mediante informes de ensayo en laboratorios, hasta el producto final de madera tratada (rotulado).

A través de este manual se pretende:

- i. Exponer los **requerimientos normativos** aplicables a la durabilidad de la madera y el uso de preservantes (*Capítulo 3*).
- ii. Caracterizar los **tipos de preservantes**, sus propiedades, aplicaciones y limitaciones (*Capítulo 4*).
- iii. Describir los distintos **métodos de tratamiento** industrial y sus criterios de aplicación (*Capítulo 5*).
- iv. Detallar los procedimientos de **control de calidad**, incluyendo verificaciones internas y externas de los tratamientos (*Capítulo 6*).
- v. Presentar las estrategias de **mantenimiento** preventivo y correctivo para prolongar la vida útil de la madera preservada (*Capítulo 7*).
- vi. Incorporar **casos de aplicación en contexto nacional**, que integren los conceptos y métodos descritos en los capítulos anteriores (*Capítulo 8*).

Este manual está dirigido a arquitectos, ingenieros, proyectistas, técnicos y otros profesionales vinculados a la industria de la construcción y a la cadena de suministro de madera preservada, que buscan asegurar su durabilidad y preservación, basándose en normativas nacionales vigentes y referencias internacionales reconocidas.

Esta guía se redactó utilizando la normativa chilena vigente a la fecha de publicación. Para las referencias con fecha, solo se considera la versión citada; para referencias sin año, se aplica la última edición disponible del documento correspondiente.



02

Glosario

Este glosario se elaboró considerando el enfoque y los objetivos específicos del presente manual. Por esta razón, algunas definiciones pueden haberse ajustado para favorecer la comprensión o coherencia interna del documento. Se recomienda verificar las fuentes citadas y el contexto de aplicación de cada término antes de su uso en otros ámbitos.

Agua Higroscópica: Agua contenida en la pared celular y cuya extracción produce fenómenos de contracción.
Fuente: NCh173

Autoclave: Estanque de acero provisto de cierre hermético en el que se aplica el proceso de impregnación de la madera, a presiones diferentes a la atmosférica.
Fuente: NCh630

Biocida: En preservación de maderas, un producto químico que mata los insectos xilófagos y/o no permite el desarrollo de hongos de pudrición. Por lo tanto, productos insecticidas y/o fungicidas.
Definición elaborada en base a NCh630

Contracción: Reducción de las dimensiones de una pieza de madera causada por disminución del contenido de humedad, a partir del punto de saturación de las fibras.
Fuente: NCh173

Durabilidad natural de la madera: Atributo de la madera que le otorga resistencia al ataque de agentes de daño. Tal resistencia es diferente para cada especie maderera y está referida a maderas que no han sido sometidas a ningún tratamiento de preservación o impregnación.
Fuente: NCh173

Durabilidad, Durabilidad frente a la acción de los agentes de biodeterioro: Resistencia de una especie de madera o de un material derivado de la madera frente a la acción de los agentes bióticos que degradan la madera, determinada mediante ensayos normalizados.
Fuente: NCh789-1

Grieta: Separación de la fibra de la madera que no alcanza a afectar dos caras de una pieza aserrada o dos puntos opuestos de la superficie de una madera redonda.
Fuente: NCh173

Hinchamiento: Aumento de las dimensiones de una pieza causada por el incremento de su contenido de humedad, dentro de los rangos higroscópicos.
Fuente: NCh173

Hongos: Organismos saprófitos y parásitos caracterizados por la ausencia de clorofila y por su forma de nutrición que provoca, en la mayoría de los casos, el deterioro de la materia orgánica.
Fuente: NCh630

Humedad de equilibrio: Contenido de humedad de la madera que se mantiene constante, bajo determinadas condiciones de temperatura y humedad relativa del medio ambiente.
Fuente: NCh173

Impregnación, Preservación: Técnica de proteger la madera, mediante la aplicación de preservantes a través de un proceso industrial contra el deterioro y destrucción causados por organismos vivos. Considerando que preservación implica tratamientos tanto preventivos como curativos.
Definición elaborada en base a NCh630

Ingrediente activo, sustancia activa o principio activo: Componente presente en la formulación que confiere la acción biológica esperada a un plaguicida y otorga la eficacia al producto según su propósito.
Fuente: Decreto N° 157, Ministerio de Salud

Insectos xilófagos: Insectos cuyos estados inmaduros y/o adultos se alimentan de la madera, causando su deterioro o destrucción.
Fuente: NCh630

Lixiviación: En madera preservada, la extracción parcial o total de preservante de la madera por la acción del agua.
Fuente: NCh630

Madera anhidra: Madera a la que se ha eliminado toda humedad, es decir, toda el agua libre y toda el agua higroscópica.

Fuente: NCh173

Madera seca: Madera aserrada con dimensiones determinadas cuyo contenido de humedad es menor a 20%.

Definición elaborada en base a NCh173

Madera impregnada, Madera preservada: Madera obtenida de procesos de impregnación industrial que cumple con los requisitos de retención y grado de penetración según las características de la pieza de madera y el nivel de riesgo al que se enfrentará en servicio, garantizando su protección a la acción de agentes de biodeterioro según lo especificado en la NCh819.

Definición elaborada en base a NCh630

Madera modificada: Madera que ha sido sometida a la acción de un agente químico o físico para mejorar algunas de sus propiedades según su uso requerido. En el caso de que la modificación tiene por objeto mejorar la resistencia a los agentes biológicos, se asume que el modo de actuación no es biocida.

Definición elaborada en base a NCh173

Madera verde: Madera cuyo contenido de humedad es mayor al punto de saturación de las fibras (sobre el 20%).

Fuente: NCh173

Mancha azul: Coloración azul principalmente en la albura, producida por hongos cromógenos y que no altera su estructura leñosa.

Fuente: NCh173

Riesgo (referido al deterioro de la madera): Probabilidad de ocurrencia de deterioro de la madera por el ingreso y ataque de agentes biológicos de deterioro, dadas las condiciones imperantes de uso.

Fuente: NCh819

Penetración: Profundidad a la cual entra el preservante en la madera en el sentido normal a las fibras.

Fuente: NCh630

Plaguicida: Cualquier sustancia, mezcla de ellas o agente destinado a ser aplicado en el medio ambiente, animales o plantas, con el objeto de prevenir, controlar o combatir organismos capaces de producir daños a personas, animales, plantas, semillas u objetos inanimados.

Fuente: Decreto N° 157, Ministerio de Salud

Plaguicida de uso sanitario y doméstico: Aquel destinado a combatir vectores sanitarios y plagas en el ambiente de las viviendas, ya sea en el interior o exterior de éstas, edificios, industrias y procesos industriales, bodegas, containeres, establecimientos educacionales, comerciales, parques, jardines y cementerios y en medios de transporte terrestre, marítimo o aéreo, así como repelentes o atrayentes no aplicados directamente sobre la piel humana o animal y aquellos contenidos en productos comerciales como pinturas, barnices, productos para el aseo y demás.

Fuente: Decreto N° 157, Ministerio de Salud

Preservación, Impregnación: Técnica de proteger la madera, mediante una aplicación industrial de preservantes contra el deterioro y destrucción causados por organismos vivos. Considerando que preservación implica tratamientos tanto preventivos como curativos.

Definición elaborada en base a NCh630

Preservante, Producto preservante: Producto o mezcla de sustancias químicas científicamente dosificadas y normalizadas, de efectividad comprobada, para ser aplicadas a la madera con el objeto de protegerla contra el ataque de organismos destructores y prolongar la vida útil de la madera. Se distinguen tres tipos de preservantes: hidrosolubles, solubles en líquidos orgánicos y creosotados.

Fuente: NCh630

Proveedor: Las personas naturales o jurídicas, de carácter público o privado, que habitualmente desarrollen actividades de producción, fabricación, importación, distribución o comercialización de madera estructural para construcción, a consumidores, por la que se cobre un precio o tarifa.

Fuente: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1196105&f=undefined>

Pudrición: Descomposición de la madera producida por la acción de hongos xilófagos, acompañada de un proceso gradual de cambio de características físicas, químicas y mecánicas.

Fuente: NCh173

Punto de saturación de las fibras: Contenido de humedad de la madera cuando ha perdido la totalidad del agua libre sin haber perdido agua higroscópica.

Fuente: NCh173

Retención en ingrediente activo: Cantidad de componentes activos del preservante que permanece en la madera después del tratamiento. Se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m³).

Fuente: NCh630

Tratamiento de difusión: Tratamiento en el cual un preservante del tipo hidrosoluble, se aplica a la superficie de la madera verde en una pasta o solución concentrada y se difunde gradualmente dentro de la madera debido al gradiente de concentración.

Fuente: NCh630

Tratamiento preservante: Operación de aplicar preservantes a la madera a través de un método de impregnación industrial para evitar o retardar la acción destructora de agentes biológicos, según lo indica la NCh819.

Definición elaborada en base a NCh173



03

Requerimientos normativos

En Chile, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) establece los requerimientos y las normativas de carácter obligatorio que deben cumplirse en toda edificación. En relación con la durabilidad de la madera, se indican los tipos de elementos que deben cumplir exigencias específicas en esta materia, con el objetivo de que puedan resistir en el tiempo y mantener su función en la edificación.

A continuación, la *Figura 3.1* presenta un diagrama de flujo que describe los distintos pasos que el usuario debe seguir para cumplir con los requerimientos normativos. Cada una de estas etapas se encuentra regulada por normativas específicas y requiere determinados datos de entrada que son necesarios durante el proceso.

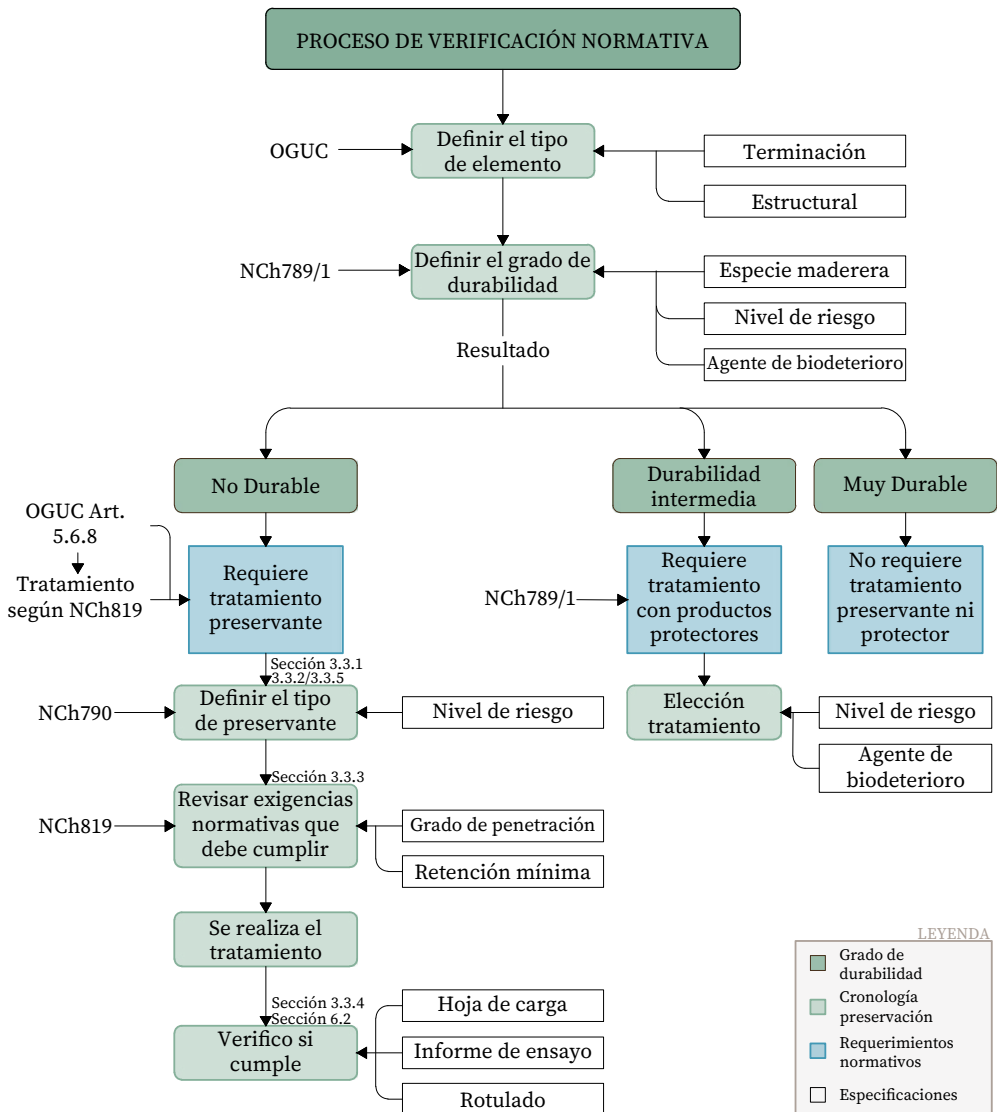


Figura 3.1 – Diagrama de flujo requerimientos normativos

El proceso para la verificación normativa comienza con determinar a qué elementos de madera se aplican los requerimientos normativos. La OGUC, en el “Título 5: De la construcción, Capítulo 6: Condiciones mínimas de elementos de construcción no sometidos a cálculo de estabilidad”, específicamente en el Artículo 5.6.8, establece la obligatoriedad de cumplir con los requisitos normativos de durabilidad para elementos estructurales, exigiendo un tratamiento preservante, conforme a la norma NCh819, cuando la categoría de durabilidad, determinada según la NCh789/1, corresponda a la categoría “No durable”.

Las normas citadas en este artículo son:

- i. NCh789/1 Maderas – Parte 1 – Durabilidad de la Madera
- ii. NCh819 Madera preservada - Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo

Por otro lado, en el artículo 5.3.2 de la OGUC, “Título 5: De la construcción, Capítulo 3: Clasificación de las construcciones”, se menciona que:

Artículo 5.3.2 – OGUC

“Las construcciones con estructura soportante de madera y las prefabricadas de madera a que se refieren las clases E y H, deberán cumplir con las disposiciones del artículo 5.6.8 de esta Ordenanza. Igualmente las piezas o elementos de madera, ya sea estructural o de terminación, sometidos o no a cálculo estructural que contengan las demás clases de construcción, deberán cumplir con las disposiciones de los artículos 5.6.6 y 5.6.8 de esta Ordenanza.”

NOTA:

- Clase E: Construcciones con estructura soportante de madera. Paneles de madera, de fibrocemento, de yeso-cartón o similares, incluidas las tabiquerías de adobe. Entrepisos de madera.
- Clase H: Construcciones prefabricadas de madera. Paneles de madera, yesocartón, fibrocemento o similares.

Este artículo vincula directamente las estructuras soportantes de madera con el cumplimiento del artículo 5.6.8, y extiende esta exigencia a los elementos de madera de terminación, que no son estructurales ni están sometidos a cálculo. Por lo tanto, los requerimientos de durabilidad no solo se aplican a los elementos estructurales, sino que también a cualquier elemento de madera presente en la edificación, independientemente de su función o sistema constructivo predominante.

Si bien se presentan exigencias a los elementos de terminación, la NCh819 en el Anexo A, categoriza los diferentes elementos de madera según el nivel de riesgo de deterioro al que se enfrentan, en la que se mencionan maderas no estructurales de uso exterior en la construcción, en donde la necesidad de preservarlos está asociada a aquellos elementos que se ubican al menos en una condición de riesgo 3, es decir, elementos por encima del suelo y expuestos a la intemperie, tal como lo demuestra la *Figura 3.2*. Por lo que para elementos de terminación en riesgos R1 o R2, la aplicación de estrategias de diseño o protección superficial debería ser suficiente para satisfacer las exigencias de durabilidad.

Una vez definido si la función del elemento es estructural o de terminación, considerando las particularidades previamente mencionadas, la segunda etapa consiste en determinar la categoría de durabilidad de la especie maderera que conforma la pieza o producto de madera. Esto permitirá establecer si ésta debe recibir un tratamiento preservante o de protección, o si no es necesario aplicar un tratamiento.

Para evaluar la categoría de durabilidad de un elemento de madera, se considera lo establecido en la NCh789/1. Esta normativa indica que, para asignar la categoría de durabilidad, es necesario cruzar distintos factores determinantes, como la **especie maderera**, el **nivel de riesgo** y los **agentes de biodeterioro** a los que está expuesto el elemento de madera.

El cruce de estos factores se presenta en el Anexo A (informativo) de la NCh789/1, a través de tres tablas, una para cada agente de biodeterioro: hongos de pudrición, termita subterránea y xilófagos marinos. Estas tablas permiten determinar la categoría de durabilidad (*Figura 3.8*) de la especie maderera, considerando el nivel de riesgo definido en la NCh819.

Por lo tanto, una especie maderera puede clasificarse en distintas categorías de durabilidad. Por ejemplo, el roble, según el Anexo A de la NCh789/1, se puede considerar muy durable, poco durable o no durable frente a hongos de pudrición, dependiendo del nivel de riesgo al que se encuentra expuesto.

Sin embargo, si el mismo elemento de roble se encuentra en una zona con presencia de termita subterránea, se clasifica en la categoría 5, “No durable”, para todos los niveles de riesgo, según la tabla correspondiente. En estos casos, cuando una pieza de madera está expuesta simultáneamente a más de un agente de biodeterioro, prevalecerá siempre la condición de durabilidad más desfavorable.

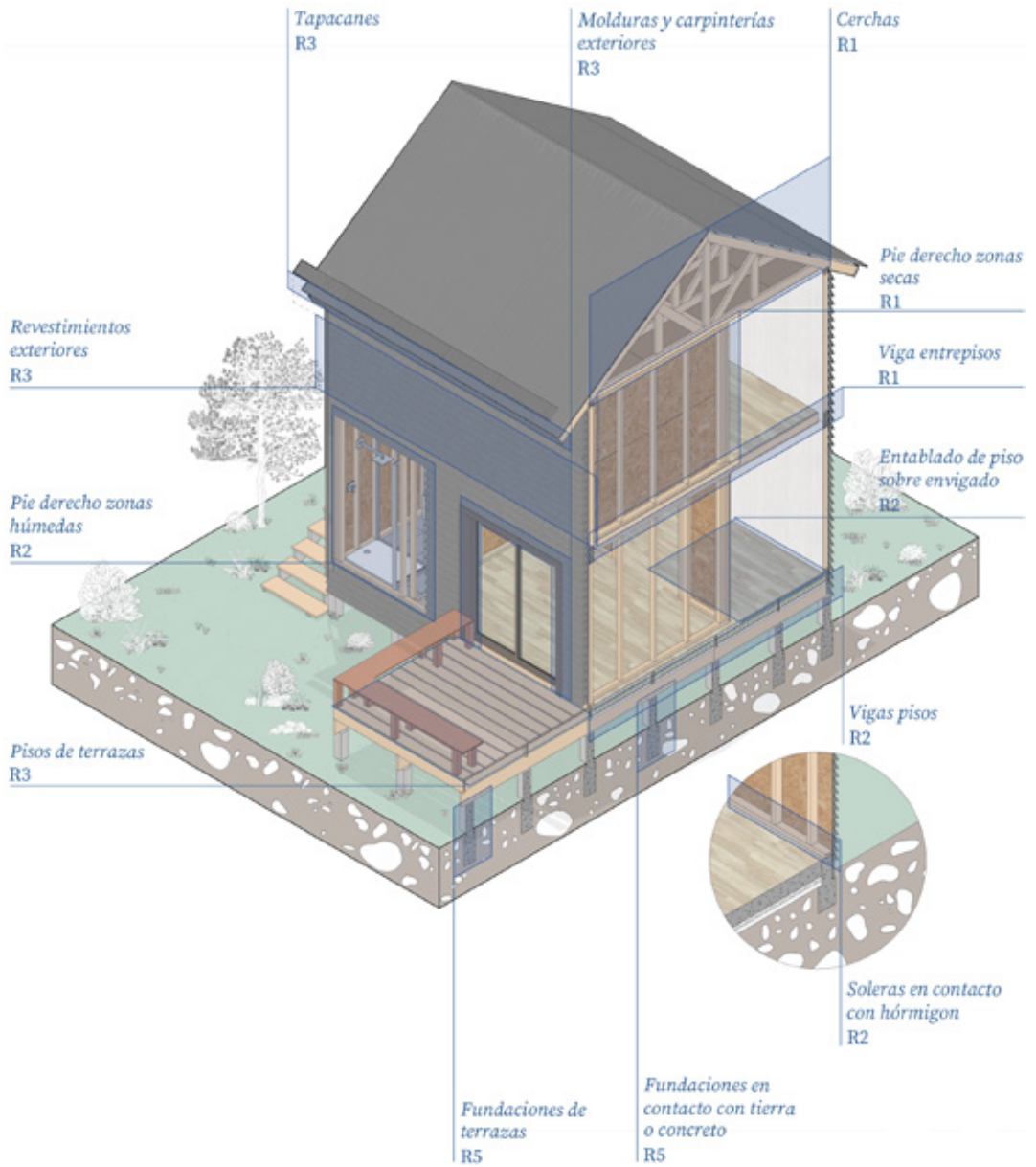


Figura 3.2 – Ejemplos de elementos que deben ser preservados según la normativa

Es responsabilidad del proyectista identificar el nivel de riesgo al que puede estar expuesto cada elemento de madera y, en función de ello, determinar cuáles requieren tratamiento preservante, el tipo de producto que debe aplicarse y las especificaciones que deben cumplir las piezas o productos tratados, a fin de satisfacer las exigencias normativas y alcanzar la durabilidad esperada. Contar con estos conocimientos permite, por un lado, que quien realiza el tratamiento pueda verificar si la retención mínima de producto y la penetración son adecuadas o si es necesario realizar ajustes; por otro lado, permite al distribuidor o cliente final asegurarse de que la madera no esté subprotegida ni sobreprotegida, evitando riesgos de biodeterioros o incrementos innecesarios en el costo final del producto.

Posteriormente, ya habiendo determinado la categoría de durabilidad, se deben aplicar las medidas correspondientes dependiendo de la categoría de durabilidad. Para la categoría de mayor durabilidad (Muy durable), se podría no realizar un tratamiento preservante, para las categorías intermedias, debe tratarse con productos protectores, según la condición de servicio y el agente de biodeterioro específico; y, por último, como lo indica el artículo 5.6.8 de la OGUC, se establece que, al asignar la última categoría de durabilidad, “No durable”,

la madera debe haber sido preservada conforme a lo indicado en la norma NCh819.

Esta norma define el tipo de proceso al que deben someterse las piezas o productos de madera, como en el caso del pino radiata, entre otras especies. En sus alcances y campos de aplicación, esta norma indica:

“1.2 Esta norma se aplica para la preservación de madera de pino radiata y de otras especies, coníferas o latifoliadas, mediante procesos de impregnación industrial.”

Por lo tanto, es obligatorio aplicar un tratamiento preservante a los productos o piezas de un elemento de madera que se encuentren en categoría “No Durable” mediante un **proceso de impregnación industrial**. Dicho tratamiento preservante tiene como finalidad contrarrestar su condición de “No durable”, mediante el cumplimiento de las exigencias normativas del tratamiento preservante (3.3), asegurando que la pieza o productos de madera tratados alcancen el desempeño en servicio esperado.

Cabe mencionar que, aunque una especie maderera se clasifique como “No durable” y, por lo tanto, deba someterse a un proceso de impregnación industrial,

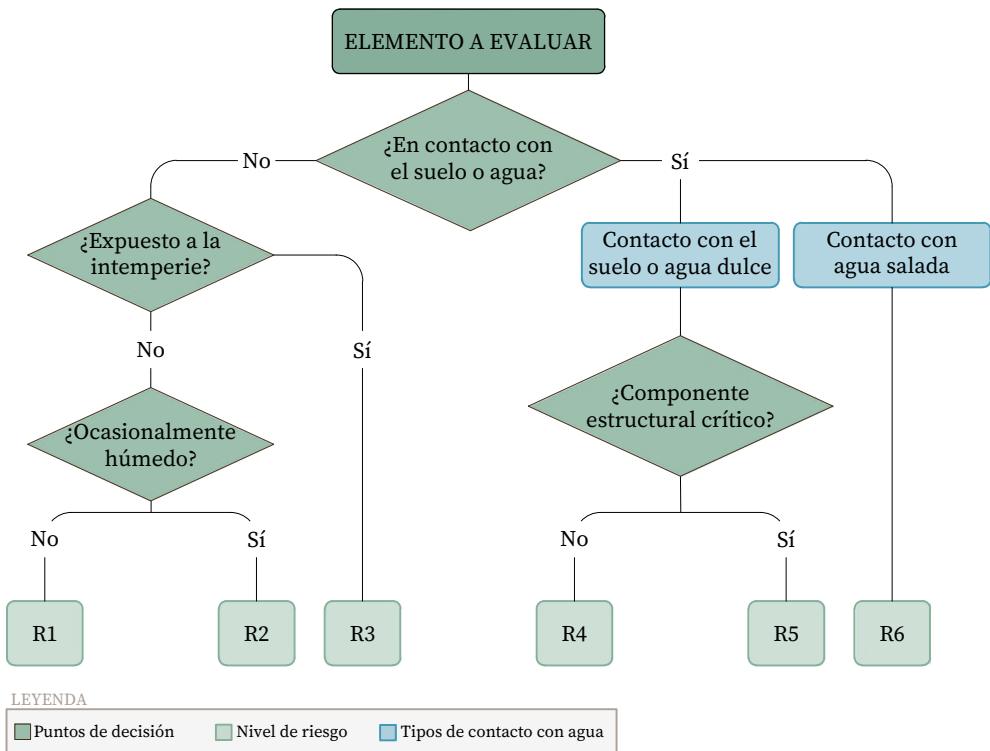


Figura 3.3 - Diagrama de flujo para la asignación de nivel de riesgo

algunas especies, debido a su morfología celular y otras características intrínsecas, no poseen la impregnabilidad suficiente para cumplir con las exigencias establecidas para el tratamiento preservante.

Este capítulo, requerimientos normativos, comenzará con una clasificación de los distintos tipos de preservantes para madera (3.1) y, a continuación, orientará la selección del preservante (3.2), en función del nivel de riesgo y de los agentes de biodeterioro a los que estará expuesto el material. Posteriormente, se expondrán las exigencias de desempeño que debe cumplir el tratamiento preservante (3.3). Finalmente, se presentarán los procedimientos de evaluación y control, que comprenden tanto la medición de durabilidad a escala de laboratorio (3.4), como la normativa que regula la formulación de productos preservantes (3.5).

Relacionado con esta última etapa del proceso, también se encuentra, en el capítulo 6, sección 6.2 del manual, la normativa asociada a la verificación del tratamiento de impregnación industrial.

3.1 Clasificación de preservantes de madera

Los productos preservantes en Chile deben estar incluidos en la normativa vigente. Sin embargo, es importante destacar que el hecho de que un producto preservante esté publicado en la normativa no implica necesariamente que esté aprobado para su uso, ya que debe contar con la aprobación del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Por ello, el usuario debe exigir y verificar que el producto preservante con el cual han sido tratadas las piezas de madera cuente con la etiqueta del producto preservante aprobada por el SAG.

La NCh790 indica un listado de los productos preservantes disponibles para madera, mientras que la NCh819 clasifica aquellos específicamente aplicables al pino radiata. Esta última categoriza los productos preservantes según el tipo de base disolvente utilizado en la solución de tratamiento, distinguiendo principalmente entre soluciones hidrosolubles (4.1) y óleosolubles (4.2).

TABLA 2 – CLASIFICACIÓN DE PRESERVANTES

Clasificación del producto preservante de madera	NCh790		NCh819 (para pino radiata)		Disponible en el mercado
	Tipo de preservante	Nombre de preservante	Tipo de preservante	Nombre de preservante	Aprobado por el SAG
HIDROSOLUBLE	MCAz	Cobre micronizado más tebuconazol	MCAz	Cobre micronizado más tebuconazol	✓
	B205 (SBX)	Óxidos de boro	B205 (SBX)	Óxidos de boro	✓
	μCA-C	Cobre micronizado más propiconazol más tebuconazol	μCA-C	Cobre micronizado más propiconazol más tebuconazol	✓
	CCA	Oxidos de cobre, cromo y de arsénico	CCA	Oxidos de cobre, cromo y de arsénico	✓
	CA-B	Cobre más tebuconazol Tipo B	CA-B	Cobre más tebuconazol Tipo B	✓
	ACQ	Cobre alcalino cuaternario		No permitido	✗
	BS	Boro-silicio		No permitido	✗
	LFF	Lignofenolformaldehído		No permitido	✗
OLEOSOLUBLE	LOSP	LOSP (Permetrina más tebuconazol más propiconazol)	LOSP	LOSP (Permetrina más tebuconazol más propiconazol)	✓
	LOSP	LOSP (Permetrina)	LOSP	LOSP (Permetrina)	✗
	LOSP	LOSP más TBTN (Tributilestaño)	LOSP	LOSP más TBTN (Tributilestaño)	✗
	Creosota	Creosota destilada de alquitrán de hulla y petróleo	Creosota	Creosota destilada de alquitrán de hulla y petróleo	✓

Nota: Desarrollada en base a Tabla 1 del punto 4.1 Clasificación de la NCh790, Tabla 2 del punto 4.2 de la NCh819 y registro SAG.

Para cada tipo de producto preservante, se exigen ciertos requisitos físicos y químicos específicos que debe cumplir. Los requisitos físicos se relacionan con el método y sistema de aplicación del producto preservante. Por otro lado, los requisitos químicos establecen la composición de los ingredientes activos, que corresponden a los componentes de la formulación de tratamiento que otorgan la acción biológica y eficacia esperada a un plaguicida. Esta se expresa en base al 100% de concentración de ingredientes activos, considerando márgenes de tolerancia. Esto quiere decir que cada ingrediente activo debe cumplir con una proporción promedio específica, además de alcanzar

un porcentaje mínimo de pureza. En algunos casos, también se imponen restricciones en el uso y requisitos de ciertos ingredientes activos.

Además, dentro de los requisitos que se deben cumplir en las soluciones de tratamiento, se exige un método de análisis del ingrediente activo y su solución, así como un método de análisis para la madera ya impregnada, siendo estos guiados por normativas chilenas y/o internacionales especificadas en la tabla de cada producto preservante dentro del punto 4.2.1 y 4.2.2 de la NCh790/1.

TABLA 3 – CLASIFICACIÓN DE PRESERVANTES PARA PINO RADIATA

Norma NCh790									Norma NCh819
Clasificación del producto preservante de madera	Tipo de preservante	Nombre de preservante	Clasificación preservante	Composición del preservante y requisitos físicos y químicos					Norma que especifica el sistema de aplicación del preservante
				Método de aplicación	Composición en base 100% de activos y tolerancias		Criterio de pureza de activos	Restricciones de activos	
					Ingrediente activo	Cantidad promedio (%)			
Hidrosolubles	B ₂ O ₃ (SBX)	Óxidos de boro	Hidrosoluble	Vacío-presión	Óxido de boro	100	98% pureza base anhidra	No hay restricciones	AWPA P25
	CA-B	Cobre más tebuconazol Tipo B	Hidrosoluble orgánico	Vacío-presión	Cobre	96,1	95% pureza base anhidra	No hay restricciones	AWPA P32
					Tebuconazol	3,9			
	CCA	Oxidos de cobre, cromo y de arsénico	Hidrosoluble inorgánico	Vacío-presión	Cobre	18,5	95% pureza base anhidra	La tolerancia en el producto mismo, del contenido total de óxidos activos respecto al contenido total nominal, es de ±2%.	NCh790
					Cromo	47,5			
					Arsénico	34			
	MCAz	Cobre micronizado más tebuconazol	Hidrosoluble orgánico	Vacío-presión-vacío	Cobre micronizado	96,1	97,50%	No hay restricciones	NCh790
					Tebuconazol micronizado	3,9			
	μCA-C	Cobre micronizado más propiconazol más tebuconazol	Hidrosoluble	Vacío-presión	Cobre micronizado	96,15	97%	No hay restricciones	NCh790
					Tebuconazol micronizado	1,92			
Propiconazol micronizado					1,92				
Oleosolubles	LOSP	LOSP (Permetrina más tebuconazol más propiconazol)	Soluble en líquidos orgánicos	Vacío-vacío	Tebuconazol	34,78	93% pureza mínima	No hay restricciones	AS 1604.1 o NZS 3640
					Propiconazol	34,78			
					Permetrina	30,44			

3.2 Elección del preservante para el proceso de impregnación

Luego de clasificar los distintos productos preservantes incluidos en la normativa y aprobados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (3.5) para la impregnación de la madera, corresponde establecer la relación entre los factores que determinan el nivel de riesgo, la durabilidad de la especie elegida y los productos preservantes permitidos y disponibles para el tratamiento preservante, abordados en la sección anterior (3.1).

La *Tabla 4* presenta un resumen actualizado de los requisitos normativos y las recomendaciones de tratamiento preservante según el nivel de riesgo, los agentes de deterioro, la clasificación del producto preservante y la retención mínima exigida. Paralelamente, la NCh819, en su Anexo A, proporciona información complementaria, que debe entenderse como apoyo y orientación para la asignación del producto preservante a utilizar. En relación con la edificación en madera, esta información se refiere específicamente al sistema de entramado ligero.

TABLA 4 - REQUISITOS Y RECOMENDACIONES DE TRATAMIENTO PRESERVANTE SEGÚN NIVEL DE RIESGO, AGENTE DE DETERIORO Y CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO PRESERVANTE

Nivel de Riesgo	Agente de biodeterioro / Retención según Tabla 3, NCh819:2019	Categoría (Anexo A, NCh789/1)	Hidrosolubles					Oleo solubles
			CCA ¹⁾	B.O. (SBX)	MCA	μCA-C	CA/B	LOSP (Permetrina + Azoles)
R1	Hongos de pudrición	M ²⁾	-	-	-	-	-	-
	Insectos xilófagos	N	P	P	P	P	P	P
	Retención mínima [kg/m ³]		4,00	4,4	1,0	0,8	1,7	0,086 + 0,26
R2	Hongos de pudrición	S ³⁾	P	P	P	P	P	P
	Insectos xilófagos	N	P	P	P	P	P	P
	Retención mínima [kg/m ³]		4,00	4,4	1,0	0,8	1,7	0,086 + 0,26
R3	Hongos de pudrición	N	P	✗	P	P	P	P
	Insectos xilófagos	N	P	✗	P	P	P	P
	Retención mínima [kg/m ³]		4,00		1,0	1,0 ⁴⁾	1,7	0,086 + 0,26
R4	Hongos de pudrición	N	P	✗	P	P	P	✗
	Insectos xilófagos	N	P	✗	P	P	P	✗
	Retención mínima [kg/m ³]		6,4		2,4	2,4	3,3	
R5	Hongos de pudrición	N	P	✗	P	P	P	✗
	Insectos xilófagos	N	P	✗	P	P	P	✗
	Retención mínima [kg/m ³]		9,6		3,7	3,7	5,5	
R6	Hongos de pudrición	N	P	✗	✗	✗	✗	✗
	Insectos xilófagos	N	P	✗	✗	✗	✗	✗
	Retención mínima [kg/m ³]		24 o 40 14 o 24					

- No es necesario preservar químicamente, pero tampoco se recomienda evitar. Queda a criterio del proyectista.

P Es necesario preservar químicamente la madera.

✗ No permitido.

Notas:

- 1) El CCA está permitido por la NCh819, pero su uso está prohibido en Europa, Australia y Nueva Zelanda, y restringido en Norteamérica para usos residenciales. Se sigue utilizando en aplicaciones industriales o estructurales sin contacto habitual con personas.
- 2) Si no hay riesgo de termita subterránea, según NCh819, para el nivel de riesgo R1 no existen las condiciones para el desarrollo de hongos de pudrición, calificándose el PR como Muy durable (M) - según FD P20-651 equivale a una durabilidad superior a 100 años.
- 3) Si bien el duramen de pino radiata en R2 frente a hongos de pudrición (y sin presencia de insectos xilófagos) se clasifica como "Semidurable", en general esta especie se comercializa con albura, la cual siempre es "No durable".
- 4) En clase de riesgo R3, para maderas en exterior que estarán protegidas de la lluvia con algún recubrimiento de terminación para exteriores recomendado por el fabricante de éste, construidas e instaladas de tal forma que el agua escurra rápido de la superficie de la madera, o con protección total y continua mediante diseño, construcción y mantenimiento, incluyendo la lluvia impulsada por el viento y el salpicado desde superficies horizontales o el suelo; la retención mínima de ingrediente activo es 0,8 kg/m³.
- 5) Desarrollada en base a Tabla 4 NCh819, punto 5.1 Retención en 5.Requisitos, y Tablas del Anexo A NCh789/1.

TABLA 5 - USO DE PRODUCTOS PRESERVANTES SEGÚN NIVEL DE RIESGO DE DETERIORO DE LA MADERA NCh819

Elementos Constructivos		Nivel de riesgo	B.O. (SBX)	CA-B	CCA*	MCA	μCA-C	LOSP (Permetrina + Azol)		
Maderas de uso estructural en construcciones comerciales y residenciales	Fundaciones	Fundaciones en contacto con tierra o concreto	R5	✗	✓	✓•	✓	✓	✗	
		Fundación de terrazas	R5	✗	✓	✓•	✓	✓	✗	
	Piso	Vigas pisos	R2	✓	✓	✓•	✓	✓	✓	
		Entablado de piso sobre envigado	R2	✓	✓	✓•	✓	✓	✓	
		Pisos de terrazas	R3	✗	✓	✓•	✓	✓	✓	
	Muro	Soleras en contacto con hormigón	R2	✓	✓	✓•	✓	✓	✓	
		Pie derecho zonas húmedas	R2	✓	✓	✓•	✓	✓	✓	
		Pie derecho zonas secas	R1	✓	✓	✓•	✓	✓	✗	
	Entrepiso	Vigas entrepisos	R1	✓	✓	✓•	✓	✓	✗	
	Techumbre	Cerchas	R1	✓	✓	✓•	✓	✓	✗	
	Maderas no estructurales de uso exterior en la construcción	No estructurales	Tapacanes	R3	✗	✓	✓•	✓	✓	✓
			Revestimientos exteriores	R3	✗	✓	✓•	✓	✓	✓
Molduras y carpinterías exteriores			R3	✗	✓	✓•	✓	✓	✓	

Notas:

- 1) * El CCA está permitido por la NCh819, pero su uso está prohibido en Europa, Australia y Nueva Zelanda, y restringido en Norteamérica para usos residenciales. Se sigue utilizando en aplicaciones industriales o estructurales sin contacto habitual con personas.
- 2) Desarrollada en base a Anexo A NCh819.



Figura 3.4 – Muestras de preservantes en laboratorio

3.3 Exigencias del tratamiento preservante

Las exigencias normativas para un tratamiento de impregnación se diferencian en dos parámetros mencionados en la normativa: **retención mínima** (3.3.1) y **penetración** (3.3.2). La retención mínima es un parámetro relacionado directamente con el nivel de riesgo asignado y el tipo de producto preservante seleccionado (4.1 y 4.2), ya que determina cuánta sus-

tancia correspondiente al ingrediente activo debe permanecer en la madera para garantizar su protección.

En cambio, las exigencias de penetración garantizan que el producto preservante alcance una profundidad adecuada dentro de la sección transversal del producto de madera, pero no dependen directamente del nivel de riesgo, sino que están condicionadas por el tipo de tratamiento preservante, el método de aplicación, la especie y las características físicas del producto de madera.

3.3.1 Retención mínima

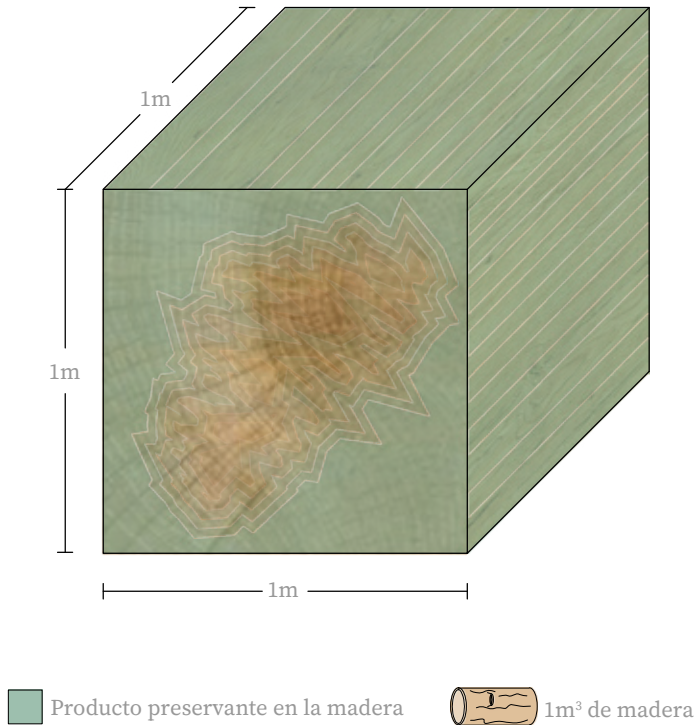


Figura 3.5 – Retención mínima de un producto preservante distribuido en 1m³ de madera

3.3.1.1 Exigencia

La retención mínima corresponde a la cantidad de ingrediente activo del tratamiento preservante que debe permanecer en la madera tratada. Esta se expresa en kg/m³, valor que depende del nivel de riesgo asignado al elemento de madera y del tipo de producto preservante utilizado. Este parámetro indica qué tan efectivo es el tratamiento preservante aplicado en función de su uso final en servicio.

Un tratamiento preservante puede alcanzar un grado de penetración adecuado, pero si la retención no cumple con las exigencias mínimas, el tratamiento no podrá ser considerado válido, ya que no garantizará la durabilidad esperada en servicio.

La [Tabla 4](#) expone las exigencias de retención que deben alcanzar los distintos tratamientos preservantes en relación con el nivel de riesgo asignado.

3.3.1.2 Ensayo de retención

La NCh819 indica los métodos de ensayo y las normas asociadas para determinar la retención del producto preservante. Para esto, la NCh819 se rige por ensayos de retención de normas internacionales, según cada tipo de producto preservante ([Tabla 6](#)), y se considera una zona de ensayo según el tipo de producto de madera, sus características físicas y nivel de riesgo de deterioro asignado al elemento ([Tabla 7](#) y [Tabla 8](#)).

TABLA 6 - ENSAYOS DE RETENCIÓN

Tipo de preservante	Ingrediente activo	Ensayo de retención según norma
B ₂ O ₃ (SBX)	Óxidos de boro	AWPA A40
CA-B	Cobre más tebuconazol tipo B	AWPA A9,AWPA A21 para Cobre. AWPA A31,AWPA A28 para azoles
CCA	Óxidos de cobre, cromo y arsénico	NCh763/1 o NCh763/2
LOSP (Permetrina más tebuconazol, Permetrina más propiconazol)	Permetrina más tebuconazol, Permetrina más propiconazol	AWPA A28,AWPA A31,AS/NZS 1605, parte 3
MCA	Cobre micronizado más tebuconazol	AWPA A9,AWPA A21,AWPA A28, AWPA A31 o NCh763/1 o NCh763/2
μCA-C	Cobre micronizado más tebuconazol más propiconazol	AS/NZS 1605, parte 3 o AWPA A9, AWPA A21,AWPA A31 o NCh763/1 o NCh763/2

NOTA: Desarrollada en base a Tabla 4 de la NCh819, dentro del punto 5.1 Retención, en 5. Requisitos.

TABLA 7 - ZONA DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RETENCIÓN DEL PRESERVANTE SEGÚN PRODUCTO Y NIVEL DE RIESGO DE DETERIORO DE LA MADERA (EXCEPTO LOSP)

Producto	Nivel de riesgo	Zona de ensayo ³⁾
Madera aserrada de espesor menor o igual que 50 mm	R1, R2, R3 y R4	15 mm desde la superficie
Madera aserrada de espesor mayor que 50 mm		25 mm desde la superficie
Madera aserrada no estructural de espesor menor o igual que 50 mm	R5	15 mm desde la superficie
Madera aserrada no estructural de espesor mayor que 50 mm		25 mm desde la superficie
Elementos estructurales aserrados críticos	R5	Entre 13 mm y 50 mm ¹⁾
Madera redonda sobre el nivel del suelo	R2 y R3	15 mm desde la superficie
Madera redonda en contacto con el suelo	R4	25 mm desde la superficie
Postes y otros elementos estructurales de sección circular	R5	Entre 13 mm y 50 mm ¹⁾
Contrachapados de espesor menor que 16 mm ⁴⁾	R1, R2, R3, R4, R5 y R6	Todo el espesor
Contrachapados de espesor mayor o igual que 16 mm ⁴⁾	R1, R2, R3, R4, R5 y R6	16 mm desde la superficie, por la contracara
Madera laminada encolada	R1, R2, R3, R4, R5 y R6	Entre 13 mm y 25 mm ²⁾
Pilotes marinos	R6	50 mm desde la superficie (zona exterior de la probeta, desde 0 mm hasta 12 mm. Zona interior de la probeta, desde 13 mm hasta 50 mm)

Notas:

- 1) Probeta de 50 mm de largo, en que se eliminan los 12 mm exteriores.
- 2) Probeta de 25 mm de largo, en que se eliminan los 12 mm exteriores.
- 3) Si la porción a extraer de una probeta es inferior por presencia de duramen, analizar sólo la albura.
- 4) Se debe considerar la masa de adhesivo utilizado en la fabricación del tablero contrachapado. Tal masa debe ser informada por el fabricante del tablero contrachapado.
- 5) Desarrollada en base a Tabla 5 de la NCh819, dentro del punto 5.1 Retención, en 5. Requisitos.

| TABLA 8 - ZONA DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RETENCIÓN DEL PRESERVANTE LOSP EN LA MADERA

Producto	Clasificación de riesgo	Zona de ensayo
Madera aserrada	R1, R2 y R3	Sección transversal de al menos 15 mm de espesor, según 6.2.8*
Polines sin contacto con el suelo	R2 y R3	Sección transversal de al menos 15 mm de espesor, según 6.2.8*
Contrachapados de espesor menor que 16 mm	R1, R2 y R3	Todo el espesor, según 6.2.8*
Contrachapados de espesor mayor o igual que 16 mm		16 mm desde la superficie, por la contracara, según 6.2.8*

Notas:

- 1) *6.2.8 en la NCh819.
- 2) Desarrollada en base a Tabla 6 de la NCh819, dentro del punto 5.1 Retención, en 5. Requisitos.

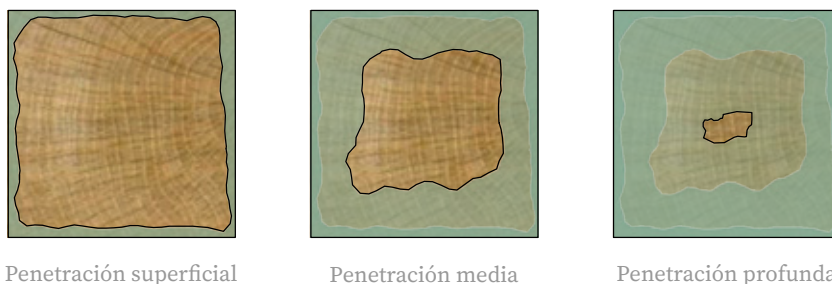


Figura 3.6 – Niveles de penetración de un producto preservante

3.3.2 Grado de penetración

3.3.2.1 Exigencia

El grado de penetración se refiere a la profundidad que alcanza el producto preservante dentro de la madera tratada. Este parámetro asegura que el producto preservante alcance la zona requerida de la pieza de madera, según el tipo de elemento de madera al que corresponda, para garantizar su durabilidad.

La normativa establece los requisitos mínimos de penetración de la solución de tratamiento en función del producto preservante de madera, el nivel de riesgo asociado y el porcentaje (%) de albura presente en la

pieza de madera (*Tabla 9 y Tabla 10*). Como se mencionó en la introducción de este capítulo, la penetración está condicionada por el tipo de tratamiento preservante, el método de aplicación, la especie y las características físicas del producto de madera.

Aunque la penetración no está directamente relacionada con el nivel de riesgo, influye en la distribución del producto preservante dentro de la pieza. Por lo tanto, es un factor determinante para asegurar la retención mínima en las zonas requeridas, considerando que ésta se mide por volumen de madera (kg/m^3), y que su cumplimiento es necesario para validar el tratamiento preservante.

| TABLA 9 - PENETRACIÓN DE LOS PRESERVANTES (EXCEPTO LOSP)

Producto	Clasificación de riesgo	Requisitos mínimos de penetración en albura o profundidad mínima (mm) en las caras	
		Albura	Profundidad mínima (en caso de duramen expuesto en la superficie)
Madera aserrada	R1, R2, R3	100%	3 mm
Madera aserrada de espesor menor que 50 mm	R4	100%	15 mm
Madera aserrada de espesor mayor o igual que 50 mm	R4	100%	25 mm
Madera aserrada	R5 y R6	90%	89 mm
Madera redonda sobre el nivel del suelo	R1, R2 y R3	100%	13 mm
Madera redonda en contacto con el suelo	R4	100%	25 mm
Postes y otros elementos estructurales	R5	90%	89 mm
Contrachapados ¹⁾	R1, R2, R3, R4, R5 y R6	Cada una de las chapas debe estar penetrada 100%	
Madera laminada encolada ²⁾	R1, R2, R3, R4, R5 y R6	100%	75 mm
Pilotes marinos	R6	100%	64 mm

Notas:

1) Ver AWWA C9.

2) Ver AWWA C28.

3) Se recomienda que la madera aserrada cortada con posterioridad al tratamiento de preservación sea protegida en su sección cortada con fungicida e insecticida.

4) Desarrollada en base a Tabla 7 de la NCh819, dentro del punto 5.2 Penetración, en 5. Requisitos.

| TABLA 10 - PENETRACIÓN DE LOS PRESERVANTES LOSP

Producto	Clasificación de riesgo	Requisitos mínimos de penetración en albura o profundidad mínima (mm) en las caras	
		Albura	Profundidad mínima (en caso de duramen expuesto o baja porción de albura en la superficie)
Madera aserrada	R1, R2, R3	100%	<p>Debe cumplir uno de los requisitos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> Maderas con espesor mayor que 35 mm: La penetración debe ser mayor o igual que 8 mm en todas las superficies Maderas con espesor menor o igual que 35 mm: La penetración debe ser mayor o igual que 5 mm en todas las superficies Duramen no tratado: Se permite en tanto que comprometa menos del 20% de la sección transversal de la pieza y que no se extienda más de la mitad de la distancia que existe entre superficies opuestas y que no exceda la dimensión media del lado de la sección transversal en la cual está presente
Polines sin contacto con el suelo	R2 y R3	100%	La penetración debe ser menor o igual que 8 mm, desde la superficie

Nota: Desarrollada en base a Tabla 8 de la NCh819, dentro del punto 5.2 Penetración, en 5. Requisitos.

3.3.2.2 Ensayos de penetración

Al igual que para la retención mínima, la normativa establece métodos de ensayo de penetración y, además, establece distintos indicadores químicos que permiten verificar visualmente la profundidad de penetración del producto preservante (*Tabla 11*).

TABLETA 11 - ENSAYOS DE PENETRACIÓN

Preservante	Norma	Indicador
B203 (SBX)	AWPA A78	Curcumina
CA-B	NCh755 o AWPA A69,AWPA A72	Cromo azulol o ácido rubeánico
CCA	NCh755 o AWPA A69,AWPA A72	Cromo azulol o ácido rubeánico
LOSP (Permetrina más propiconazol, Permetrina más tebuconazol)	AS/NZ 1605, parte 2	Carbonato de calcio y Red Oil
MCA	NCh755 o AWPA A69,AWPA A72	Cromo azulol o ácido rubeánico
μCA-C	NCh755 o AWPA A69,AWPA A72	Cromo azulol o ácido rubeánico

Notas:

- 1) Para los preservantes Creosota y Permetrina no existen indicadores colorimétricos para medir la penetración.
- 2) Para el preservante CCA basta con analizar la penetración de uno de los dos elementos, Cobre o Arsénico.
- 3) Desarrollada en base a Tabla 9 de la NCh819, dentro del punto 5.2 Penetración, en 5. Requisitos.

A continuación, se presenta un ensayo realizado mediante indicadores químicos de penetración (colorimétricos), el cual consiste en aplicar un indicador a una muestra de madera previamente seccionada, con el fin de evaluar visualmente y medir la profundidad de impregnación a través del cambio de color, para luego comparar los resultados obtenidos con los valores establecidos en la NCh819, con el objetivo de verificar la eficacia del tratamiento aplicado.



Figura 3.7 – Ensayo penetración mediante colorimetría. Tratamiento de impregnación con LOSP (Vacsol® Azure (RTU) mediante Vacío – Vacío de piezas de madera lateral

3.4 Normativa para evaluar la durabilidad a escala laboratorio

La NCh789/1 establece el método para determinar y clasificar la durabilidad de la madera frente a la acción de los agentes de biodeterioro. En este sentido, se pueden evaluar dos tipos de durabilidad.

La durabilidad natural, que está dada por la resistencia propia de cada especie y se evalúa considerando la degradación del duramen, parte de la madera que presenta distintos grados de durabilidad según la especie. La segunda es la durabilidad adquirida, que se refiere a la resistencia de productos de madera impregnados con productos preservantes, en este caso, las piezas de madera deben estar compuestas por albura, considerada la parte de la madera naturalmente no durable, pero susceptible de ser impregnada.

En función del nivel de durabilidad definido para cada especie, la norma establece que debe ser protegida y mantenida con productos preservantes que impidan la acción de los agentes de biodeterioro. Para ello, se clasifican las especies de acuerdo con el tipo de agente de biodeterioro.

En el caso de los hongos, se definen cinco categorías de durabilidad, mientras que para las termitas y los xilófagos marinos, la clasificación se divide en tres, como lo indica la [Figura 3.8](#).

La NCh789/1, en sus alcances y campos de aplicación, menciona que las maderas de especies naturalmente no durables se deben impregnar industrialmente. Para las durabilidades intermedias (en amarillo), se deben tratar con productos superficiales (insecticida y fungicida), también denominados productos protectores ([4.3](#)).

Cabe mencionar que la norma también alude al uso de otras especies que no estén incluidas en el documento. En estos casos, la evaluación final de su aplicación para algún uso en particular debe ser determinada un profesional especialista, considerando las distintas variables, como la presencia de agentes de biodeterioro, el nivel de riesgo en servicio, las condiciones ambientales y otras que puedan presentarse.

Esta sección expone los tipos de ensayos, tanto de laboratorio en condiciones controladas como los que se realizan en terreno. Luego, se aborda el método normativo para determinar y clasificar la durabilidad de la madera evaluada. Esta clasificación considera, por separado, los distintos tipos de agentes de biodeterioro, siendo estos los siguientes:

- Hongos Xilófagos (basidiomicetos y hongos de pudrición blanda).
- Insecto Xilófagos (termitas y coleópteros).
- Xilófagos Marinos.

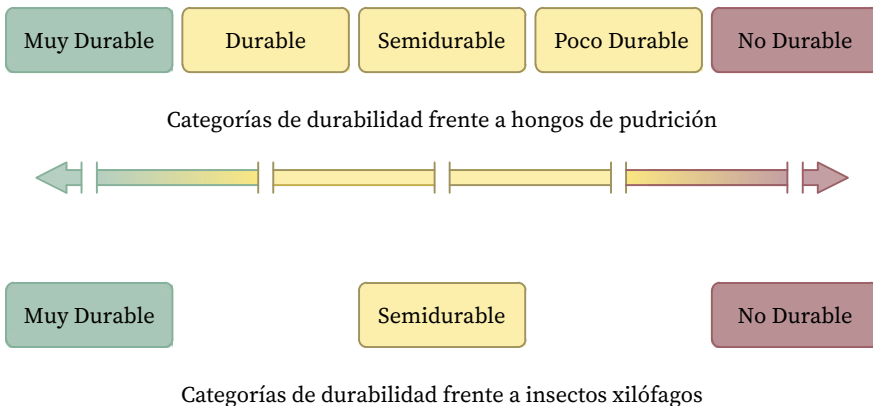


Figura 3.8 – Categorías de durabilidad frente a agentes de biodeterioro



Figura 3.9 – Cámara de envejecimiento acelerado para analizar la durabilidad en laboratorio

los ensayos en terreno permiten representar en forma directa el comportamiento en condiciones reales. Sin embargo, requieren un tiempo de evaluación prolongado, generalmente de 1 a 10 años o más.

Este proceso de verificación de la durabilidad se realiza tanto para asignar el grado de durabilidad de una especie de madera como para evaluar la eficacia de los preservantes, a través de estudios realizados en laboratorios autorizados. En Chile, generalmente se utilizan normas o estudios internacionales, debido a su mayor trayectoria y base de datos en esta materia, ambos especificados en el *Capítulo 6 - Control de calidad*.



Figura 3.10 – Probetas en máquina de envejecimiento acelerado

3.4.1 Verificación del grado de durabilidad: procesos en laboratorio y terreno

Para verificar el grado de durabilidad, se pueden utilizar dos métodos: el ensayo en laboratorio y el ensayo en terreno. Los ensayos de laboratorio se realizan en condiciones controladas y repetibles, permitiendo un procedimiento estandarizado y una comparación objetiva entre piezas de madera de distintas especies madereras o piezas con algún tratamiento preservante aplicado. La NCh789/1 establece métodos que están enfocados principalmente en su aplicación en laboratorios, referenciando distintas normas complementarias que detallan estos procedimientos.

Mientras que, los ensayos en terreno, que se indican únicamente en el caso de evaluación frente a hongos xilófagos, deben realizarse siguiendo ciertas normativas específicas, las cuales se detallan en la próxima sección (3.4.1.1). A diferencia del ensayo en laboratorio,

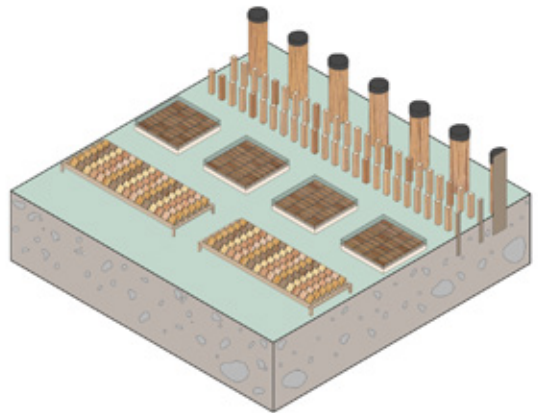


Figura 3.11 - Ensayo en terreno

3.4.1.1 Hongos xilófagos

Para determinar la resistencia de la especie de la madera frente a hongos xilófagos, se realiza un experimento en el laboratorio mediante normas de ensayo según la UNE-EN 350, la AWP A E10, entre otras normas, con el fin de determinar el porcentaje de pérdida de masa que tuvo la pieza de madera luego de la exposición al agente de biodeterioro (*Tabla 12*). Por otro lado, para determinar la durabilidad mediante ensayos en terreno, se debe consultar la AWP A E7 o AWP A E8 o AWP A E9.

TABLA 12 - CATEGORÍAS DE DURABILIDAD DE LA MADERA FRENTE A LOS ATAQUES DE HONGOS DE PUDRICIÓN DETERMINADO SEGÚN ENSAYO DE LABORATORIO

Categoría	Descripción	Definición
Muy durable	Sin ataque o ataque muy leve	Pérdida de masa <1%
Durable	Ataque leve	Pérdida de masa entre 1% y <5%
Semidurable	Ataque moderado	Pérdida de masa entre 5% y <10%
Poco durable	Ataque severo	Pérdida de masa entre 10% y <30%
No durable	Ataque muy severo	Pérdida de masa >30%

Notas: Desarrollada en base a Tabla 1 de la NCh789/1, dentro del punto 5 Hongos.

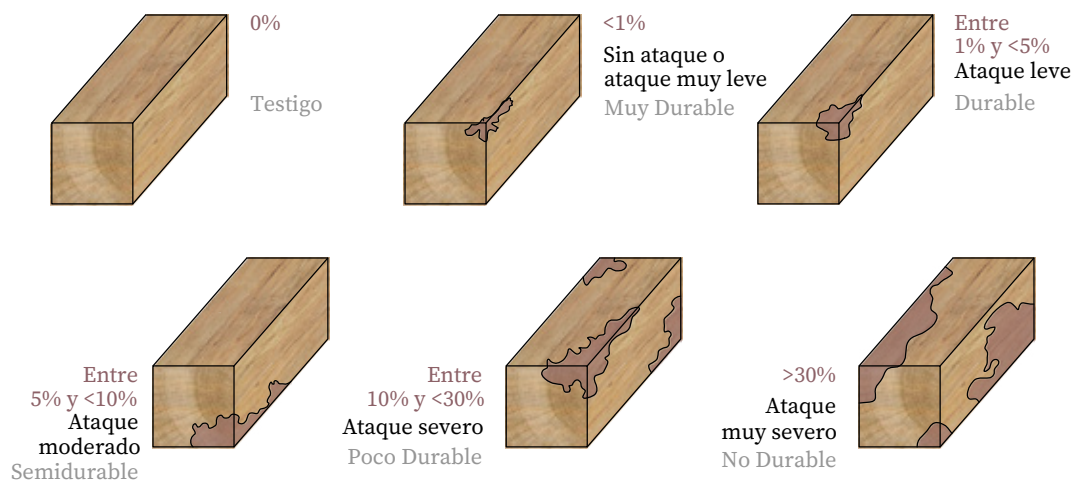


Figura 3.12 – Asignación durabilidad de la madera según ataque de hongos xilófagos

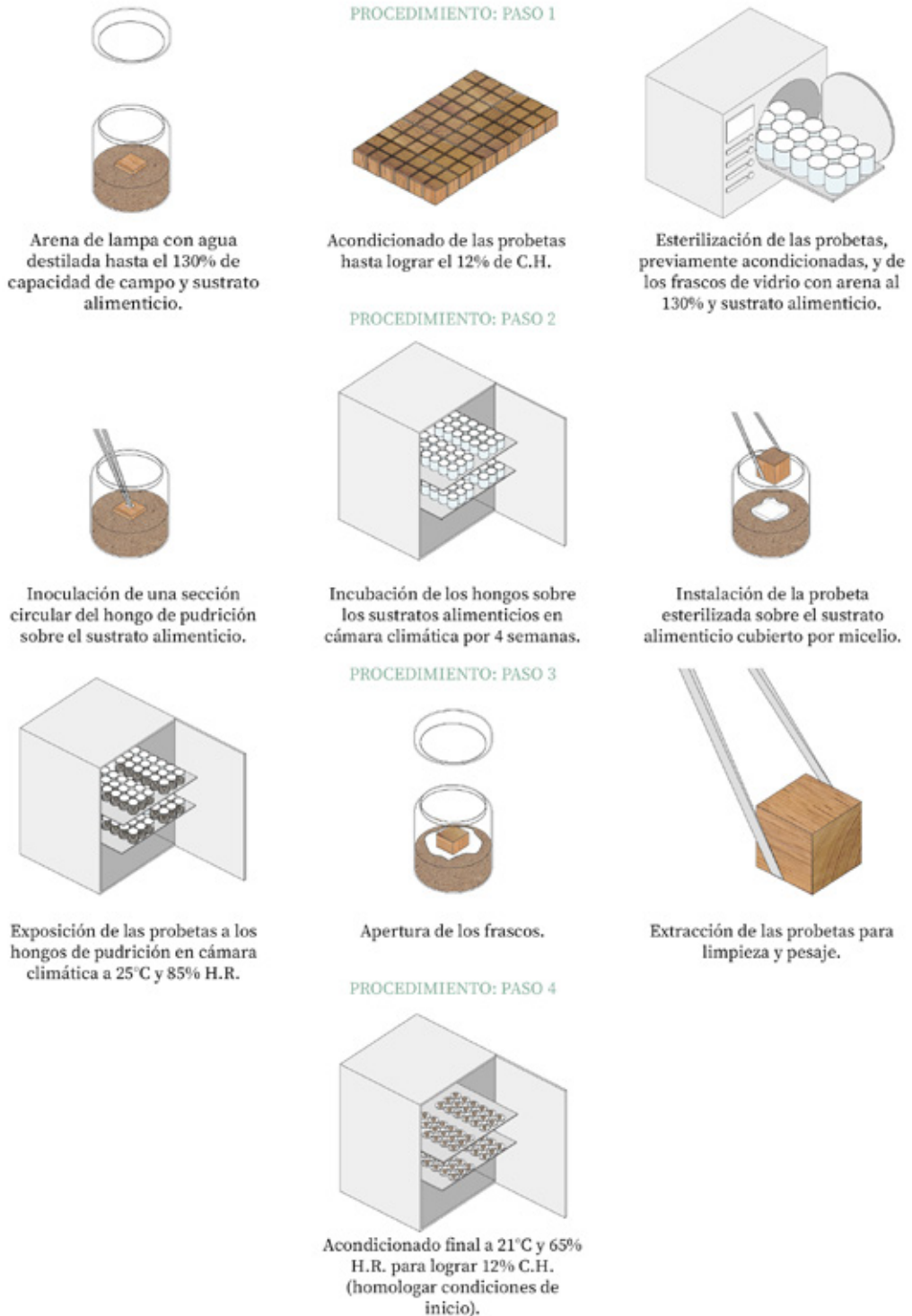


Figura 3.13 – Pasos para medir la durabilidad

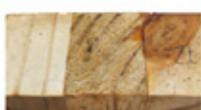
PROBETA TESTIGO



PROBETA CONTROL, SIN TRATAMIENTO



OXIDO DE BORO



PROBETA TRATAMIENTO SILLBOR

LOSP (PERMETRINA, PROPICONAZOL, TEBUCONAZOL)



PROBETA TRATAMIENTO VACSOL AZURE

PROPICONAZOL, TEBUCONAZOL, IMIDACLOPRID



PROBETA TRATAMIENTO WOLMAN AG

Figura 3.14 – Probetas ensayo exploratorio tratamiento envolvente superficial frente a hongos (*P.placenta*) con distintos tipos de preservantes

3.4.1.2 Insectos xilófagos

Entre los distintos insectos xilófagos, se considera que el ataque de la termita subterránea es el más dañino, por lo que se utiliza como referencia para la medición de la durabilidad de la madera.

La metodología para medir la durabilidad de una especie arbórea y/o tratamiento preservante frente a la termita subterránea se determina mediante al menos 10 probetas distintas, siguiendo los lineamientos de la NCh3060, norma que especifica el método para determinar tanto la durabilidad del duramen de la especie, como la eficacia de un preservante de la madera contra termitas subterráneas (*Tabla 13*).

Cuando se realiza procedimiento para medir la eficacia del producto preservante, se analizan principalmente las probetas previamente tratadas. Sin embargo, para cumplir con lo establecido en la norma, es necesario incluir otros tipos de probetas, indicadas a continuación; estas permiten contar con un marco comparativo más preciso para evaluar los resultados obtenidos.

- i. **Probetas tratadas:** probetas impregnadas que se someten al ataque de la termita subterránea; se utilizan al menos tres probetas
- ii. **Probetas-testigo, sin tratar:** para determinar la intensidad del ataque de las termitas, se someten tres probetas sin impregnar al ataque de la termita subterránea.
- iii. **Probetas-testigo, con disolvente o diluyente:** se someten tres probetas al ataque de la termita subterránea.

Luego, los resultados deben ser interpretados, clasificando el ataque ocurrido en cada probeta respecto a la pieza de madera, basándose en la *Tabla 13*. Después, y utilizando la *Tabla 14*, considerando en este caso las tres categorías de durabilidad (*Figura 3.15*), se puede clasificar la especie maderera y/o tratamiento preservante, dada la escala del ataque y cómo se distribuyen los ataques en las distintas probetas.

TABLA 13 - CLASIFICACIÓN DE ESCALAS DE ATAQUE FRENTE A TERMITAS

Escala	Descripción	Definición
0	Sin ataque	Ningún ataque
1	Ataque leve	i) Erosión superficial de profundidad escasa; o ii) Ataque hasta 0,5 mm de profundidad, si se restringe a un área o área no mayor(es) que 30 mm ² en total; o iii) Combinación de i) y ii)
2	Ataque moderado	i) Erosión de 1mm de profundidad limitada en extensión a 1/10 de la superficie de la probeta; o ii) Perforación única de profundidad menor que 3mm; o iii) Combinación de i) y ii)
3	Ataque severo	i) Erosión menor que 1mm de profundidad sobre una extensión mayor que 1/10 de la superficie de la probeta; o ii) Erosión de 1 mm a 3mm sobre una extensión menor que 1/10 de la superficie de la probeta; o iii) Perforaciones puntuales que no se extiendan formando cavernas y de profundidad mayor que 3 mm; o iv) Cualquier combinación de i), ii) y iii).
4	Ataque muy severo	i) Erosión de 1mm a 3mm de profundidad sobre una extensión mayor que 1/10 de la superficie de la probeta; o ii) Perforación profunda mayor que 3 mm que se extiende formando cavernas dentro de la probeta, pudiendo generar un estado de destrucción muy avanzado; o iii) Combinación de i) y ii).

Nota: Desarrollada en base a *Tabla 2* de la NCh789/1, dentro del punto 6 *Insectos Xilófagos*.

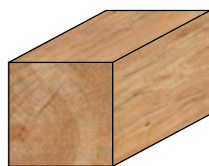
TABLA 14 - CATEGORÍAS DE DURABILIDAD DE LA MADERA FRENTE A LOS ATAQUES DE TERMITA

Categoría	Definición
Durable	≥90% de probetas en escala 0 o 1 y máximo 10% en escala 2
Semidurable	50% de probetas en escala 3 o 4
No durable	≥50% de probetas en escala 3 o 4

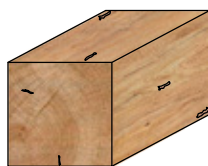
Notas:

- 1) Para evaluar la durabilidad frente al ataque de las termitas de la madera seca (*Neotermes chilensis*, *Cryptotermes brevis*), aplicar la metodología especificada para el género *Cryptotermes* - fam. Kalotermitidae. (Ver Anexo B de la NCh789)
- 2) Desarrollada en base a Tabla 3 de la NCh789/1, dentro del punto 6 Insectos Xilófagos.

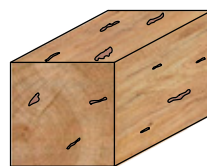
Pérdida de masa por ataque de termitas según escala



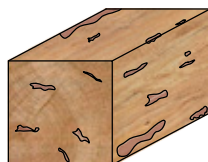
Sin ataque
Escala 0



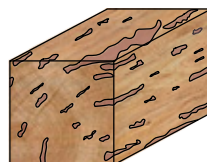
Ataque leve
Escala 1



Ataque moderado
Escala 2



Ataque severo
Escala 3

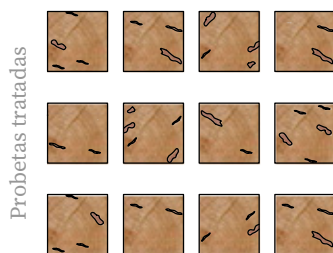


Ataque muy severo
Escala 4



Durable

≥90% probetas en escala 0 o 1 y máximo 10% en escala 2



Semidurable

50% probetas en escala 3 o 4



No durable

≥50% probetas en escala 3 o 4

Figura 3.15 – Asignación de durabilidad de la madera según ataque de insectos xilófagos

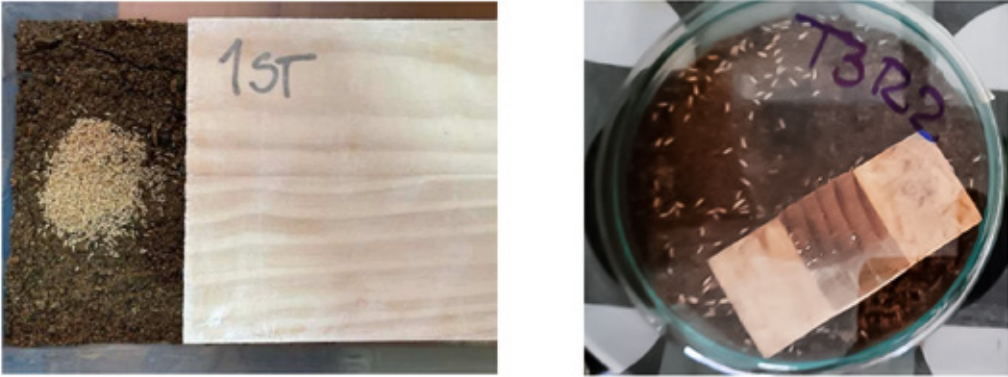


Figura 3.16 – Instalación de probetas para ensayo frente a termitas

PROBETA CONTROL, SIN TRATAMIENTO



PROBETA TRATAMIENTO, WOLMAN AG



PROBETA TRATAMIENTO, SILLBOR



PROBETA TRATAMIENTO, VACSOL AZURE



Figura 3.17 – Resultado de ensayos frente a termitas con distintos productos preservantes

3.4.1.3 Xilófagos marinos

Para determinar el grado de durabilidad frente a xilófagos marinos, se deben realizar ensayos según la UNE-EN 275 y clasificar la escala del ataque según la [Tabla 15](#) y la [Tabla 16](#). Estos ensayos requieren el uso de

probetas de albura de pino radiata. En caso de utilizar otra especie no durable como testigo, se debe emplear la fórmula indicada en la [Tabla 17](#). La probeta testigo debe ser reemplazada cuando el nivel de biodeterioro lo requiera. Finalmente, la durabilidad de la especie se evalúa según la durabilidad de la [Tabla 17](#).

TABLA 15 - CLASIFICACIÓN DE ESCALAS DE ATAQUE FRENTE A XILÓFAGOS MARINOS

Escala	Descripción	Definición	
		Limnoria y otros crustáceos	Teredo y otros moluscos*
0	Sin ataque	Ningún ataque	Ningún ataque
1	Ataque leve	Una o pocas galerías dispersas que cubren un área ≤10% del área total de la probeta (incluido todos sus lados). Sin cambios en su sección transversal original.	Uno o pocos túneles dispersos que cubren un área ≤15% del área total de la probeta
2	Ataque moderado	Galerías dispersas que cubren un área >10% del área total de la probeta. Prácticamente sin cambios en su sección transversal original.	Túneles cubren un área ≤25% del área total de la probeta.
3	Ataque severo	Superficie de la probeta totalmente cubierta con galerías. Dimensiones de la sección transversal sustancialmente reducidas.	Los túneles cubren un área >25% y ≤ 50% del área total de la probeta.
4	Probeta fallada (Ataque muy severo)	Pérdida de más de la mitad del volumen original de la probeta o probeta fracturada en el portamuestra o se puede romper fácilmente por la mano.	Túneles cubren un área >50% del área total de la probeta.

Notas:

* El área se refiere a la que aparece en la imagen de rayos X y se mide el ancho por el largo de la probeta.

- 1) La clasificación de una especie se determina sobre la base de la combinación del ataque de los agentes (ver [Figura 1](#)).
- 2) Desarrollada en base a [Tabla 4](#) de la NCh789/1, dentro del punto 7 [Xilófagos marinos](#).

TABLA 16 - ATAQUE POR XILÓFAGOS MARINOS

		Ataque por Teredo y otros moluscos				
Escala		0	1	2	3	4
Ataque por Limnoria y otros crustáceos	0	Sin ataque	Ataque leve	Ataque moderado	Ataque severo	Probeta fallada
	1	Ataque leve	Ataque moderado	Ataque severo	Probeta fallada	Probeta fallada
	2	Ataque moderado	Ataque moderado	Ataque severo	Probeta fallada	Probeta fallada
	3	Ataque severo	Ataque severo	Probeta fallada	Probeta fallada	Probeta fallada
	4	Probeta fallada	Probeta fallada	Probeta fallada	Probeta fallada	Probeta fallada

Notas: Desarrollada en base a [Figura 1](#) de la NCh789/1, dentro del punto 7 [Xilófagos marinos](#).

TABLA 17 - CATEGORÍAS DE DURABILIDAD DE LA MADERA Y DE LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE LA MADERA FRENTE AL ATAQUE POR XILÓFAGOS MARINOS

Categoría	Resultados de ensayos de campo expresados por el valor x*
Durable	$x \geq 5$
Semidurable	$3 \leq x < 5$
No durable	$x < 3$

Según UNE-EN 275: $X = \frac{\text{(vida media de las probetas en estudio)}}{\text{(vida media del juego de probetas más durable de la especie de referencia)}}$

Notas:

* En la actualidad existen estudios de durabilidad frente al ataque de xilófagos marinos de corto y mediano plazo. Para estudios de largo plazo, existen antecedentes empíricos e investigaciones preliminares (Ver Anexo B NCh789/1).

- 1) Vida media es igual al promedio en años al tiempo de falla.
- 2) Desarrollada en base a [Tabla 5](#) de la NCh789/1, dentro del punto 7 [Xilófagos marinos](#).

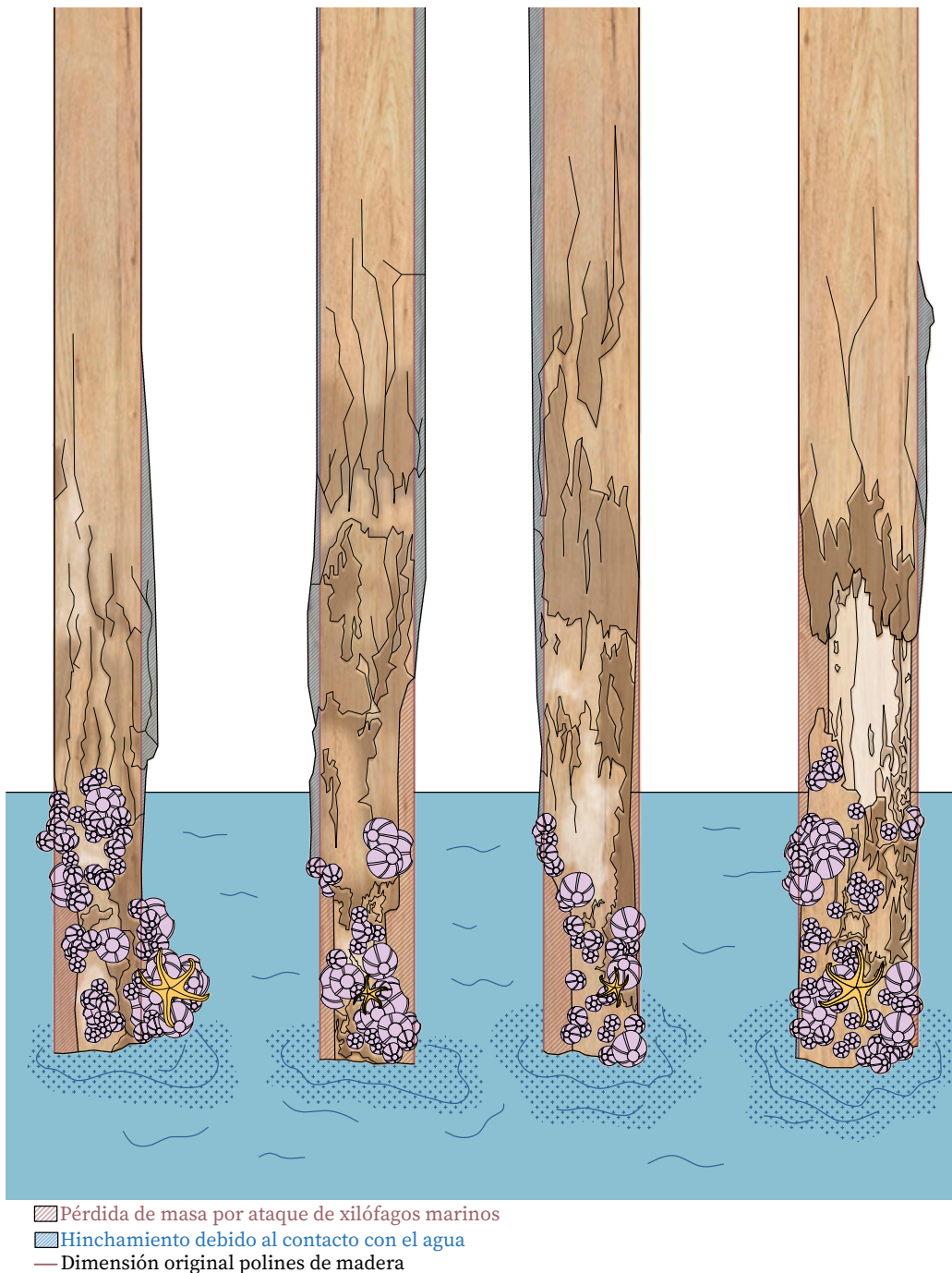


Figura 3.18 - Biodeterioro por xilófagos marinos



Figura 3.19 - Servicio Agrícola y Ganadero

3.5 Regulaciones de uso de preservantes en Chile (Registro SAG, plaguicidas)

En Chile, todo producto que contenga un plaguicida, en este caso los productos preservantes para madera, es regulado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Este organismo se encarga de regular, restringir o prohibir la fabricación, importación, exportación, distribución, venta, tenencia y aplicación de plaguicidas de uso agrícola.

Por ello, existen distintos requerimientos tanto técnicos como normativos con el fin de contar con información respecto a las características de cada uno de los plaguicidas utilizados en el país, lo que permite una adecuada evaluación de la eficacia y los riesgos que estos puedan tener asociados, tanto para las personas, el medio ambiente y las construcciones en que se van a aplicar.

Un plaguicida es un compuesto que se utiliza para combatir malezas, enfermedades o plagas potencialmente capaces de causar daños en organismos u objetos. Cuando se hace referencia a enfermedades o plagas agrícolas y forestales, incluye insectos, hongos y malezas.

La formulación de un plaguicida se compone de una sustancia activa más coformulantes. La sustancia activa corresponde a los productos químicos que pueden ser repelentes o letales contra plagas agrícolas, proporcionando la toxicidad a los plaguicidas. Por otro lado, los coformulantes son sustancias que se añaden a un producto plaguicida para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del producto, en este caso, del producto preservante.

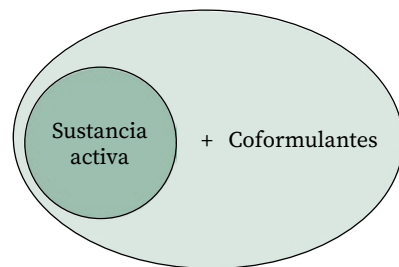


Figura 3.20 – Formulación de un plaguicida

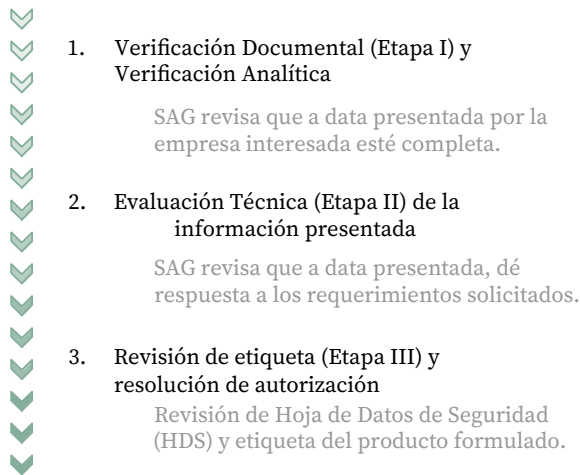


Figura 3.21 – Etapas para el registro de un plaguicida

Cuando se registra un producto químico, se debe contar con antecedentes y datos tanto de los ingredientes activos como de la formulación del plaguicida. Esta información debe cumplir con las exigencias para la autorización de plaguicidas establecida en la Resolución Exenta N°1557/2019¹, la cual otorga un registro de 10 años de duración, renovable. Para apoyar este proceso, el SAG dispone en su sitio web oficial de una página dedicada al procedimiento de evaluación y autorización de plaguicidas².

El proceso de registro de un plaguicida agrícola corresponde a un procedimiento técnico, legal y administrativo, mediante el cual se aprueba su venta y utilización. Este proceso se materializa a través de un acto administrativo denominado “Resolución”, que certifica que el producto es efectivo para el fin al que se destina y que no representa un riesgo inaceptable para la salud humana, animal ni para el medio ambiente. Este proceso contempla distintas etapas, tal como se indica en la *Figura 3.21*.

Los plaguicidas aplicados en la madera, a diferencia de otros de uso agrícola, se aplican industrialmente en plantas de tratamientos cerradas, aplicándose directamente sobre el sustrato (la madera), sin emisiones al medio ambiente. No obstante, para el SAG estos productos se consideran plaguicidas agrícolas y, en consecuencia,

son evaluados bajo los mismos criterios. Esta situación genera que el proceso de registro contemple exigencias que no siempre se ajustan con las condiciones reales de uso de los preservantes en la madera, lo que dificulta el desarrollo y el registro de nuevos plaguicidas innovadores en el país.

Para que un producto preservante pueda ser utilizado en madera, su sustancia activa (incluyendo sus coformulantes) debe contar con la aprobación correspondiente. Posteriormente, la formulación completa del preservante debe cumplir con las exigencias normativas vigentes establecidas (*3.1*), las cuales establecen los porcentajes permitidos tanto de sustancia activa como de coformulantes. Esta aprobación es otorgada por el SAG y se acredita mediante la emisión de una resolución exenta y de una etiqueta autorizada (*Figura 3.22*).

Este proceso proporciona el respaldo técnico y legal necesario frente clientes, certificadoras y autoridades, asegurando que el producto no presente riesgos de toxicidad ni deficiencias en su desempeño. Asimismo, otorga sustento para el cumplimiento de los requerimientos y exigencias de normativas como la NCh819, la NCh789/1 y otras relacionadas a la resistencia y durabilidad de la madera.

1. Se recomienda consultar la última versión publicada en el diario oficial.
2. <https://www.sag.gov.cl/ambitos-de-accion/proceso-de-evaluacion-y-autorizacion-de-plaguicidas>

PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS

WOLMAN CCA-C 70 % es formulado en base a Tróvidio de Cromo que pertenece al grupo químico de los compuestos inorgánicos del Cromo. Oxido cúbrico que pertenece al grupo químico de los compuestos de cobre, y a Pentóxido de arsénico que pertenece al grupo químico de los compuestos inorgánicos de Arsénico. Está clasificado toxicológicamente como Muy Peligroso (II). Es considerado peligroso para las personas y animales cuando no ha sido incorporado a la madera, es por ello que durante la manipulación del producto, se deberá evitar el contacto directo con la piel y los ojos.

Elementos de Protección Personal:
 Protejete usando anteojos, guantes de goma, óculos impermeables y botas de goma al igual que ropa adecuada como overoles impermeables. No use la aplicación del producto si está abierto de un accidente cerrado, el uso de elementos de protección personal se utilizará durante la apertura de esta, desde su incorporación además mascarilla con filtro. No comer, beber o fumar durante la manipulación y aplicación del producto. Lavarse las manos antes de comer y después de finalizar el trabajo. Lavar la ropa contaminada en forma separada a la doméstica. La manipulación de la madera tratada debe ser con guantes y no se deberá usar de la planta industrial antes de 48 horas post-manipulación.

Síntomas de Intoxicación: El producto es altamente tóxico. Dificultad para respirar, perforación y sangramiento de las nasales, dolor de garganta, irritación de las vías respiratorias, alergia, náuseas, vómitos, diarrea, quemaduras de mucosa gastrointestinal, dolor gástrico (gigi en alemán) y fiebre, dolor artrocutáneo, salivación, gastritis hemorrágica, ictericia, eructos y quemadura grave de la piel, dermatitis, sensibilización de la piel, hiperqueratosis e hiperpigmentación de la piel, coloración verde de la piel, cabello y dientes, vrices de MEEI (eritema laríngeo en las afás), eritemo y quemadura grave del ojo, conjuntivitis, anemia, leucopenia, dolor muscular, fatiga, escatofilia, debilidad muscular. Anorexia, náusea, dolor de cabeza, mareo, hipertensión, temblores, depresión SNC, convulsiones, shock, coma. Puede producir alucinaciones.

Primeros auxilios: Para todos los siguientes casos, trasladar **INMEDIATAMENTE** al afectado a un centro asistencial. Lavar el envase o etiqueta **IMEDIATAMENTE** tratándolo al efecto al agua fresca y mantenerlo mojado y en reposo. Si no respira, proporcionar respiración artificial. **NO INDUCIR VÓMITO**. Nunca que nada por la boca a una persona inconsciente. Lavar la boca con grandes cantidades de agua. **NO BEBER** con la boca, sacar los ojos y zapatos contaminados. Lavar la zona afectada con agua incluyendo pelo y uñas. **QUEDARSE EN LA ZONA**, evitar cualquier contacto futuro o secundario. Lavar los ojos con abundante agua limpia por 15 a 15 minutos manteniendo los párpados abiertos.

Tratamiento Médico de Emergencia: Información para el médico tratante. Los ingredientes activos de este producto pertenecen a los grupos químicos compuesto inorgánico de cromo, compuesto de cobre y compuesto inorgánico de arsénico. Las medidas de tratamiento son: **DESCOMPARTIMENTAR GASTROINTESTINAL:** si ha ingerido dentro de la primera hora, se deberá considerar lavado gástrico previamente evaluado por el médico puesto que se trata de sustancias irritantes corrosivas. La utilidad de carbón activado es cuestionado. Debido a que se producen daños pulmonares no se recomienda el uso de líquidos. Irrigación intestinal total. **DEQUILACIÓN:** de ser necesario la hidratación. Mantener flujo urinario y corregir desbalance electrolítico. **OPORTUNO:** acorde al volumen. **AUMENTO DE ELIMINACIÓN:** la hemodiálisis es efectiva en presencia de la intoxicación. Balance de fluidos, electrolitos, proteínas. Anemia y hemólisis. Sistema cardiovascular, ríen, hígado, gastrointestinal, SNC, sangrado.

Antídoto: Usar quelantes: Dimercapto (BAL) en dosis de 3 - 5 mg/kg 18 por cada 4 horas por 2 días, luego cada 12 horas por 7 - 10 días. Se puede usar en conjunto con 2-Penicilamina en dosis adultas 250 mg por 4 veces al día por 5 días y en niños 25 - 100 mg/kg por día dividido en 4 dosis, máximo 1 gramo al día.

Diagnóstico: El método más común para confirmar la absorción excesiva de arsénico es mediante la medición de excreción urinaria (microgramas por día).

Teléfono Centro de Información Toxicológica Universidad Católica (OTIUC-ARPA): (56-2) 2031 3000
 Teléfono de Emergencia del Fabricante: (56-2) 2381 7000

Información Ecológica: WOLMAN CCA-C 70% es tóxico para aves, peces, animales domésticos, abejas y fauna silvestre. NO deben ser liberados residuos en agua, río, alcantarilla, fuentes de agua o áreas no especificadas.

En caso de derrame, absorber el producto con arena, cal u otro material no biodegradable ni combustible. Limpiar el área de derrame con agua, utilizando un absorbente neutro para contener la lixiviación. Los remanentes no recuperables deben ser neutralizados con un colorante 100% de azul o 100% de amarillo de colorante 100% de azul.

Almacenamiento:
 Los envases no deben ser abiertos durante el almacenamiento sino al momento de ser empleados. El preservante debe guardarse en botellas apropiadas, en dosis, segura con llave, sellada, bien iluminada, quemada, con presión y huecos accesos. Los envases vacíos deben lavarse cuidadosamente con agua, empleando el sistema de triple lavado.
 Instrucciones para el Triple Lavado: Una vez sellado, vaciar el contenido del envase y enjuagar agua hasta 1/4 de su capacidad agitando por 30 segundos. Volver totalmente al enjuague al equipo de aplicación. Mantener 30 segundos el envase en posición de decantación. Repetir esta operación tres veces, incluir el enjuague e información al proveedor para su reutilización.

REALIZAR TRIPLE LAVADO DE LOS ENVASES, UTILIZARLOS Y ELIMINARLOS DE ACUERDO CON INSTRUCCIONES DE LAS AUTORIDADES COMPETENTES

MANTENER FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS Y DE PERSONAS NEURTAS

EN CASO DE INTOXICACIÓN MOSTRAR LA ETIQUETA O EL ENVASE AL PERSONAL DE SALUD

NO TRANSPORTAR NI ALMACENAR CON ALIMENTOS, PRODUCTOS VEGETALES O CUALSIQUERA OTROS QUE ESTEN DESTINADOS AL USO O CONSUMO HUMANO O ANIMAL.

NO LANAR LOS ENVASES O EQUIPOS DE APLICACIÓN LAVADOS, NI OTROS RESIDUOS DE AGUA

LA ELIMINACIÓN DE RESIDUOS DEBERÁ EFECTUARSE DE ACUERDO CON INSTRUCCIONES DE LA AUTORIDAD COMPETENTE.

NO INGRESAR AL ÁREA DE APLICACIÓN ANTES DEL PERÍODO INDICADO DE REGRESO.

WOLMAN CCA-C 70%

Insecticida - Fungicida Suspensión Concentrada (SC)

WOLMAN CCA-C 70 %, es un preservante concentrado para uso industrial en base a óxidos puros de cobre, cromo y arsénico, el cual es aplicado exclusivamente vía impregnación a vacío presión en productos tales como madera de construcción, postes de transmisión, estacas de uso agrícola, construcciones marinas y pilotes.

COMPOSICIÓN DEL PRODUCTO

Tróvidio de Cromo *	(CrO ₃)	33.0 g/p/p	(330 g/kg = 831 g/l)
Oxido cúprico **	(CuO)	13.0 g/p/p	(130 g/kg = 351 g/l)
Pentóxido arsénico**	(As ₂ O ₅)	24.0 g/p/p	(240 g/kg = 648 g/l)
Cofulorantes, c.s.p.		100 % p/p	(1,00 kg = 2,7 l)

- * equivalente a 17.16 % p/p (171.6 g/kg = 463.3 g/l) de Cromo
- ** equivalente a 10.38 % p/p (103.8 g/kg = 280.4 g/l) de Cobre
- *** equivalente a 15.64 % p/p (156.4 g/kg = 422.5 g/l) de Arsénico

Autorización Servicio Agrícola y Ganadero N° 2067

N° de Lote :
 Fecha de Vencimiento :
 Contenido Neto al Envasar :

Distribuido por :
PROTECCIÓN DE MADERA LTDA.

Fabricado por :
QUIMETAL INDUSTRIAL S. A.

Los Yacimientos 1301, Maipú
 Santiago CHILE

NO INFLAMABLE, NO CORROSIVO, NO EXPLOSIVO

LEA ATENTAMENTE LA ETIQUETA ANTES DE USAR EL PRODUCTO



MUY TOXICO

INSTRUCCIONES DE USO

WOLMAN CCA-C 70% sólo puede ser empleado en el tratamiento a presión de la madera y productos derivados. No se debe emplear sin disponer de las instalaciones industriales, del equipo de seguridad apropiado y del manual de instrucciones. La madera a ser impregnada no debe contener más de un 25 - 30% de contenido de humedad así como estar libre de arena, arena o aceites.

El preservante WOLMAN CCA-C 70% debe disolverse totalmente con el agua, no mezclando con otros preservantes y ser utilizado a concentraciones que fluctúan entre 1 % a 10 % en peso según las necesidades de retención.

La retención del preservante WOLMAN CCA-C 70 % depende del riesgo y uso final de la madera, según lo establecido en normas técnicas tales como N.Ch. 815 o AWWA serie C. El cumplimiento de dichas relaciones es la única manera de garantizar una eficaz protección contra hongos descomponedores o pudriores de madera del tipo basidiomiceta Coniophora olivacea, Trametes iliciclogiva, Sepulra lacrymans, Gloeophyllum abietinum; insectos xilófagos, termitas (Reticulitermes sp.) y horadadores marinos.

WOLMAN CCA-C 70 % es un producto de uso exclusivamente industrial y no debe usarlo en construcción. Una vez tratada y secada, la madera no ofrece ningún riesgo para el ser humano pues no se lixivia.

Carencia: No corresponde por el tipo de producto y la forma de aplicación de éste. La madera tratada mediante este proceso puede ser manipulada a las 48 horas de haber sido impregnada.

Incompatibilidad: Incompatible con materiales alcalinos, agentes reductores, zinc, acero inoxidable, hidrogeno naciente, aluminio.

Toxicidad: No corresponde al tipo de aplicación.

Tempo de Retención al Área de Aplicación: No corresponde por el tipo de aplicación del producto, el cual se lleva a cabo directamente a la madera dentro de una planta impregnadora sellada diseñada para dicho fin. Permitir el ingreso al área de aplicación sólo a personal autorizado y con equipo de protección personal, evitar el ingreso de animales.

NO UTILIZAR MADERA TRATADA CON EL PRODUCTO EN LA FABRICACIÓN DE ENVASES, EMBALAJES Y CONTENEDORES DE PRODUCTOS VEGETALES.

El fabricante certifica que este producto ha sido preparado conforme a la proporción de dosis indicada en la formulación 70%, y garantiza una protección contra los hongos, insectos, termitas y horadadores marinos según el cumplimiento de las normas. Este producto se expende asumiendo que el comprador conoce los riesgos de uso y manipulación, lo que libera al vendedor de toda responsabilidad frente a una mala aplicación o uso indebido.

SI ESTOS TERMINOS NO SON ACEPTADOS DEVUELVASE EL PRODUCTO AL FABRICANTE SIN ABRIR.

Figura 3.22 – Etiqueta de producto preservante aprobado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)



ALMACÉN DE
SUSTANCIAS
PELIGROSAS



04

Tipos de preservantes

La gama de productos para la protección de elementos de madera en edificaciones es amplia y variada. Constantemente se están desarrollando mejoras tanto en los productos para la protección, como en los métodos de tratamiento existentes. Mientras que, de manera paralela, se está investigando e innovando en el desarrollo de nuevas moléculas y formulaciones, impulsadas por la necesidad de encontrar alternativas más eficientes, responsables con el medio ambiente y sin riesgos para la salud.

Para asegurar la durabilidad de la madera, se debe aplicar el concepto de redundancia, combinando tratamientos químicos adecuados con un diseño que limite la exposición a agentes de deterioro y facilite el mantenimiento. Esto se debe a que la durabilidad no depende exclusivamente del producto aplicado, sino que forma parte de una estrategia integral de protección.

Para clasificar estos productos de protección, es importante establecer la diferencia entre productos preservantes (o de impregnación) y productos protectores. Si bien ambos tienen como objetivo común la protección de las piezas o productos de madera, cada uno está formulado para cumplir funciones específicas y complementarias. La elección de uno u otro depende del nivel riesgo de uso al que el elemento de madera estará expuesto en servicio, el nivel de riesgo debe ser evaluado según la NCh819 y la NCh789/1. Se recomienda consultar los requerimientos normativos del Tomo I y II (*Capítulo 3*) para clasificar los elementos de madera en relación con distintas variables, y así lograr una durabilidad adecuada y cumplir con la reglamentación en la materia.

Los productos preservantes tienen como objetivo proteger la madera contra agentes bióticos de deterioro, como los hongos de pudrición e insectos xilófagos. Estos productos

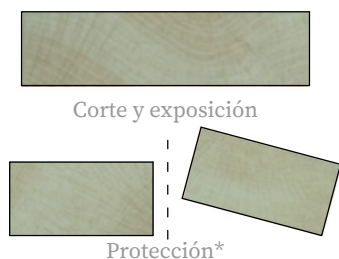
se aplican mediante un proceso de impregnación industrial (5.1), que es sistemático, controlado y repetible. Este proceso permite que el producto penetre a mayor profundidad y quede retenido dentro de la pieza de madera, logrando una impregnación homogénea. Al tratarse de un proceso industrial estandarizado, es posible asegurar la consistencia y calidad del tratamiento, garantizando un desempeño confiable y una protección duradera.

Por su parte, los productos protectores tienen como objetivo proteger la madera frente a factores abióticos y agentes superficiales, tales como la humedad, los rayos UV, los hongos superficiales (mohos de humedad) y los manchadores (mancha azul), entre otros factores ambientales. Estos productos se aplican sobre la superficie, generalmente mediante brocha, rodillo o pulverización. Su capacidad de penetración es limitada, en algunos casos alcanzando solo unos pocos milímetros de profundidad. A diferencia de los productos preservantes, su efectividad es temporal y requiere reaplicaciones periódicas para mantener su desempeño en el tiempo. Por ello, estos productos deben entenderse como un complemento a los tratamientos preservantes, y no como un sustituto.

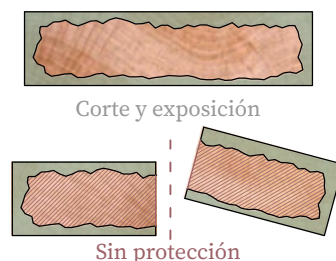
Además, se debe considerar la amenaza que implica cualquier corte o perforación posterior en un elemento de madera tratado, ya que esto puede generar puntos vulnerables que permitan el acceso de agentes de deterioro si no se realiza un tratamiento remedial o correctivo en esa zona (*Figura 4.1*).

Este capítulo presentará los distintos tipos de productos preservantes utilizados actualmente, clasificados según su base solvente en hidrosolubles (4.1) y óleo-solubles (4.2). Luego en la sección 4.3, se abordarán los productos de protección, categorizados como complementos a los productos preservantes y clasificados según su función (Insecticidas, fungicidas, ignífugos, entre otros). Finalmente, se presentarán los productos innovadores (4.4) que han comenzado a tomar protagonismo como propuestas para el mejoramiento del universo de productos para la durabilidad de la madera, con énfasis en soluciones más eficientes y sostenibles.

Pieza de madera con producto preservante



Pieza de madera con protección superficial



*No es requisito para todos los tipos de elementos un grado de penetración profunda del producto preservante.

Figura 4.1 – Exposición de la madera cuando se corta un elemento solo con protección superficial v/s uno mediante la aplicación de un producto preservante



Figura 4.2 – Planta de impregnación industrial

4.1 Hidrosolubles

Los preservantes hidrosolubles, son aquellos que utilizan el agua como vehículo para facilitar la penetración del ingrediente activo en la madera. Esta característica permite que este tratamiento preservante sea especialmente efectivo en maderas blandas y de baja densidad. También, presentan la ventaja de dejar una superficie seca, sin olores fuertes, que puede ser pintada o revestida, mostrando buena compatibilidad con productos de protección. Sin embargo, la cantidad de agua (solución) que ingresa en las piezas de madera a lo largo de este proceso de impregnación, provoca ciclos de hinchamiento y contracción dimensional durante el tratamiento preservante (Figura 4.3).

Esto significa que las piezas de madera impregnadas con productos preservantes hidrosolubles pasan por un segundo secado, ya que antes de iniciar el tratamiento preservante, pasan por un primer secado, pues las piezas salen del aserradero en estado verde (humedad interior mayor al 30%) y se deben secar hasta alcanzar un estado anhidro (humedad interior menor al 25%), para ser utilizadas en la construcción o en este caso poder someterse a un tratamiento preservante. La base acuosa, por consiguiente, lleva a las piezas de madera durante la impregnación nuevamente a un estado verde, por lo que deben ser secadas otra vez, lo cual puede acentuar las deformaciones de la madera por estrés debido al secado.

Debido a esto, en ciertas aplicaciones específicas, como en productos de madera de ingeniería o de carpintería fina, que requieren alta estabilidad dimensional, o en piezas cuya morfología y dimensiones dificultan el proceso de secado, como es el caso de los paneles de CLT, se prefiere utilizar preservantes a base de solventes orgánicos (LOSP - 4.2.1), en los cuales no hay agua involucrada en el proceso.

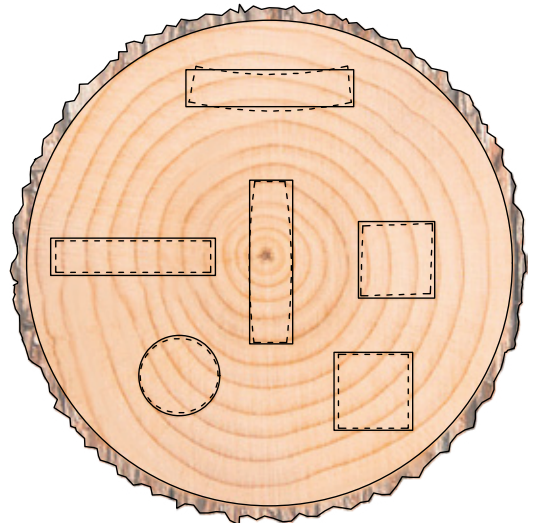


Figura 4.3 – Deformaciones de las piezas de madera tras secado según la posición en el tronco

La categoría de productos preservantes hidrosolubles generalmente contiene dos tipos de ingredientes activos, los cuales permiten proteger productos de madera frente al ataque de un amplio espectro de agentes de biodeterioro, como hongos xilófagos e insectos.

Dentro de los productos preservantes hidrosolubles más utilizados se encuentran:

- 4.1.1 - B2O5 (SBX) [Óxido de boro]
- 4.1.2 - CA-B [Cobre más tebuconazol Tipo B]
- 4.1.3 - MCAz [Cobre micronizado más tebuconazol]
- 4.1.4 - μ CA-C [Cobre micronizado más propiconazol y tebuconazol]
- 4.1.5 - CCA [Óxidos de cobre, cromo y de arsénico]

Los productos preservantes hidrosolubles, en su mayoría, deben contener componentes y mecanismos químicos que otorguen resistencia a la lixiviación del producto al entrar en contacto con el agua. Dentro de estas formulaciones, cada componente químico cumple una función específica.

Además del desempeño biocida, el uso de productos preservantes hidrosolubles debe considerar ciertos aspectos técnicos y ambientales, así como las nuevas formulaciones que se están desarrollando para este tipo de productos preservantes.

Desde el punto de vista técnico, se ha observado que algunos productos preservantes hidrosolubles basados en cobre pueden acelerar la corrosión de conectores metálicos en comparación con la madera no tratada.

Debido a esto, el profesional debe verificar la compatibilidad entre el preservante utilizado y los elementos de fijación, especialmente en ambientes expuestos a humedad, donde el riesgo de corrosión es mayor. Como alternativa, investigaciones indican que los tratamientos preservantes oleosolubles tienden a desacelerar este proceso (Lebow et al., 2019).

En lo ambiental, si bien la madera con un tratamiento preservante contiene químicos que podrían resultar potencialmente dañinos si son liberados al medio ambiente, la mayoría de los preservantes hidrosolubles tienen como ingrediente activo el cobre, un elemento con baja toxicidad para los mamíferos. Investigaciones indican que, en la mayoría de las aplicaciones, la cantidad de químicos que podría liberarse de una madera tratada es muy baja, por lo que no representa un riesgo significativo (Lebow et al., 2019).

Como respuesta a estas preocupaciones, la innovación en esta materia se ha enfocado en buscar un equilibrio entre la eficacia biológica y el impacto ambiental. Se han desarrollado investigaciones en líneas de preservantes en base a Cobre, Boro y extractos naturales (4.4).

A continuación, se presentarán fichas técnicas para cada tipo de producto preservante, que incluyen su composición, sus principales cualidades y características, apoyadas con información complementaria de producto preservante, para facilitar una toma de decisión informada durante el diseño y especificación del proyecto.

TABLA 18 – FUNCIÓN DE COMPONENTES DE PRESERVANTES HIDROSOLUBLES

Nombre	Símbolo	Función
Óxido de boro	B ₂ O ₅	Agente fungicida e insecticida, eficaz contra hongos de pudrición e insectos xilófagos. Alta solubilidad en agua y facilidad de penetración.
Cobre	Cu	Fungicida e insecticida de amplio espectro. Puede presentarse en forma soluble o micronizada, según la formulación.
Cobre micronizado	μ C	Forma física de cobre metálico en partículas finas. Proporciona protección duradera con menor lixiviación.
Tebuconazol	-	Fungicida triazólico sistémico. Alta eficacia contra hongos de pudrición y mohos superficiales.
Propiconazol	-	Otro fungicida triazólico, complementa al tebuconazol ampliando el espectro de protección frente a hongos.
Cromo	Cr	Actúa como agente fijador en la madera, ayudando a retener los principios activos. También tiene acción fungicida.
Arsénico	As	Componente insecticida potente, particularmente eficaz contra termitas y otras plagas que degradan la madera.

4.1.1 B₂O₅ (SBX) [Óxido de boro]

Los **óxidos de boro** están clasificados en la NCh790 como producto preservante hidrosoluble. Su formulación es pura, compuesta en un 100% por óxidos de boro como ingrediente activo, sin otros biocidas añadidos. El tratamiento de las piezas de madera se realiza mediante la técnica de vacío-presión (5.1.1.1).

A diferencia de otros productos preservantes hidrosolubles, los boratos se mantienen solubles en el agua después del tratamiento de impregnación industrial. Por lo tanto, si la pieza queda expuesta a humedad o agua, puede ocurrir la lixiviación del preservante. Por esta razón, los elementos de madera tratados con este producto preservante deben encontrarse en los niveles de riesgo R1 y R2 según la NCh819. Esto significa que el producto de madera no debe estar en contacto con el suelo, ni ubicarse a la intemperie, y solo puede estar expuesto de forma ocasional y no prolongada a la humedad.

Existen varias formulaciones para la soluciones de tratamiento en base a los óxidos de boro, siendo algunas en base a tetraborato de sodio, pentaborato de sodio y ácido bórico. Sin embargo, la más utilizada actualmente es el octaborato disódico tetrahidratado o en base a sus siglas en inglés *disodium octaborate tetrahydrate* (DOT), ya que presenta una mejor solubilidad en agua que otras formas de boro, lo que permite alcanzar ma-

yores concentraciones y, al mismo tiempo, una mayor penetración en el elemento de madera.

Una característica de este producto preservante es su capacidad autodifusiva; es decir, puede desplazarse hacia el interior de la pieza de madera, utilizando el agua contenida en ella como medio transportador, para movilizarse de zonas de mayor a menor densidad. Gracias a esta cualidad, el producto puede alcanzar el grado de penetración requerido sin depender necesariamente de un tratamiento de vacío- presión para lograrlo (Waldron et al., 2005).

Otro aspecto destacable de este producto preservante es su alta efectividad frente a las termitas subterráneas y otros insectos xilófagos, actuando como insecticida. Asimismo, posee propiedades fungicidas, siendo eficaz en la prevención del desarrollo de hongos de pudrición en condiciones de baja exposición a la humedad. Además, presenta propiedades ignífugas, ya que el boro contribuye a retardar la propagación del fuego y a reducir la generación de humo en la madera tratada (Bagheri et al., 2022).

En resumen, los productos preservantes a base de boro ofrecen una protección eficaz contra insectos xilófagos, hongos de pudrición y fuego en condiciones de riesgo limitado (R1 o R2). Se recomienda su uso únicamente en ambientes interiores protegidos, ya que su solubilidad en agua posterior a la impregnación industrial los hace susceptibles a la lixiviación.

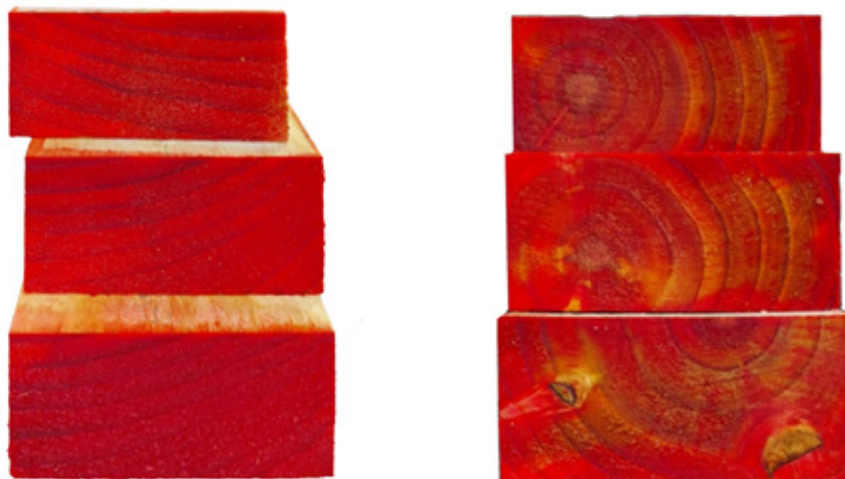


Figura 4.4 - Penetración tratamiento Borato (Sillbor RTU) mediante Impregnación Método Vacío - Vacío. En la izquierda se presenta piezas de madera lateral con una difusión del 100 % y en la derecha piezas con madera central con una difusión de \approx 70-80%

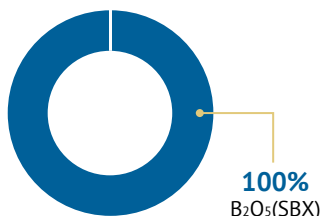
B₂O₅ (SBX)

Óxidos de boro

COMPOSICIÓN INGREDIENTE ACTIVO*

Los **criterios de pureza de activos** de esta solución deben cumplir con un **98%** de pureza en base anhidra.

COMPOSICIÓN EN BASE AL 100% DE ACTIVOS Y TOLERANCIAS



Ingredientes activos:

■ B₂O₅(SBX)
Óxidos de boro

* Según lo indicado en la NCh790 esta solución de tratamiento preservante no presenta restricciones de activos.

CUALIDADES DEL PRESERVANTE

Cambia de color ¹	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presenta olores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lixiviación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Riesgos para la salud	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Riesgo de corrosión	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resistente a hongos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resistente a insectos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Resistente a fuego	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¹ El boro es intrínsecamente incoloro, sin embargo, en algunos casos para identificar la presencia de este se utilizan tintes suaves.

APLICACIONES COMUNES

En vigas de pisos, entablado de piso sobre envigado, en soleras en contacto con hormigón, en pies derechos de zonas húmedas y secas, en vigas de entrepiso y cerchas.

CARACTERIZACIÓN DEL PRESERVANTE

Según lo que se establece en la NCh790, NCh819, AWPA y ASNZ-1604 las características principales de este preservante se pueden interpretar de la siguiente manera:

Clasificación:	Hidrosoluble
Método de aplicación:	Vacío-presión
Temperatura:	15° - 30° C (hasta 40°- 50°C)

IMPACTO DIMENSIONAL TRATAMIENTO*

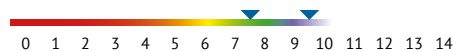
Estable Variable

* Doble secado provoca hinchamiento y contracción dimensional

Nivel de riesgo	Retención mínima
<input checked="" type="checkbox"/> R1	4,4 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R2	4,4 kg/m ³
<input type="checkbox"/> R3	x
<input type="checkbox"/> R4	x
<input type="checkbox"/> R5	x
<input type="checkbox"/> R6	x

pH

Entre **8 y 9 pH** siendo una solución a **ligeramente alcalina**, determinado mediante pH-metro a 20°-25°C.



CONDICIONES DE USO

Interior Exterior

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Concentrados y soluciones:

Concentrado:
AWPA A40

Solución:
AWPA A40

Madera Preservada:
AWPA A2 y AWPA A40

4.1.2 CA-B [Cobre más tebuconazol Tipo B]

El **cobre más tebuconazol tipo B (CA-B)** está clasificado en la NCh790 como un producto preservante hidrosoluble orgánico. La formulación del ingrediente activo se compone de 96,1% de cobre (Cu) y 3,9% de tebuconazol, considerando su base de 100% de activos y tolerancias. Según la norma, los ingredientes activos deben cumplir con al menos un 95% de pureza en base anhidra, y no se establecen restricciones adicionales en su composición. En cuanto a su aplicación, este producto preservante se administra mediante la técnica de vacío-presión.

Este tratamiento preservante combina cobre y un triazol (azol con tres anillos de nitrógeno), este último tiene la función de inhibir la síntesis de ergosterol, un componente esencial en la membrana celular de los hongos, por lo que detienen su crecimiento. En este caso se complementa la acción biocida del cobre con tebuconazol, ampliando el espectro de protección frente a especies de hongos xilófagos. Generalmente, esta

solución de tratamiento se prepara con cobre solubilizado en etanolamina, lo que otorga un color verde en las piezas de madera que pasan por este tratamiento de preservación (Kirker & Lebow, 2020).

A diferencia del producto preservante hidrosoluble en base a boro ([4.1.1](#)), el cobre en este producto preservante presenta una baja solubilidad en agua tras el tratamiento de impregnación, lo que reduce el riesgo de lixiviación. Esto permite su aplicación en elementos de madera expuestos a condiciones de humedad más severas, hasta el nivel de riesgo R5; este incluye el contacto con el suelo e incluso con cuerpos de agua dulce.

En resumen, los tratamientos preservantes a base de cobre y tebuconazol ofrecen una protección duradera y efectiva contra insectos xilófagos y hongos de pudrición, por lo que su aplicación resulta adecuada para proteger elementos de madera en ambientes con alta humedad y en contacto directo con el suelo, gracias a la lixiviación reducida y la estabilidad de sus principios activos.



Figura 4.5 -Penetración tratamiento CA-B

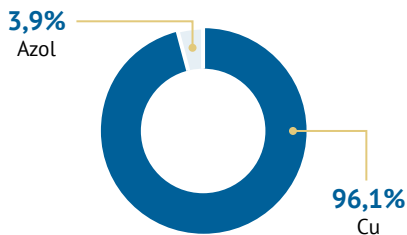
CA-B

Cobre más tebuconazol Tipo B

COMPOSICIÓN INGREDIENTE ACTIVO*

Los **criterios de pureza de activos** de esta solución deben cumplir con un **95%** de pureza en base anhidra.

COMPOSICIÓN EN BASE AL 100% DE ACTIVOS Y TOLERANCIAS



Ingredientes activos:

Cu Azol
Cobre Tebuconazol

* Según lo indicado en la NCh790 esta solución de tratamiento preservante no presenta restricciones de activos.

CUALIDADES DEL PRESERVANTE

Cambia de color	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presenta olores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lixiviación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Riesgos para la salud	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Riesgo de corrosión ¹	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resistente a hongos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resistente a insectos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Resistente a fuego	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¹ El cobre es corrosivo para metales comunes, se deben utilizar metales resistentes a la corrosión como acero inoxidable o galvanizado en caliente.

APLICACIONES COMUNES

En fundaciones; en vigas, pisos y entablados de piso sobre envigados; en soleras y pies derechos; en vigas de entrepiso y cerchas; y en tapacanes, revestimientos y molduras o carpinterías exteriores.

CARACTERIZACIÓN DEL PRESERVANTE

Según lo que se establece en la NCh790, NCh819, AWPA y ASNZ-1604 las características principales de este preservante se pueden interpretar de la siguiente manera:

Clasificación:	Hidrosoluble orgánico
Método de aplicación:	Vacío-presión
Temperatura:	20° - 60° C

IMPACTO DIMENSIONAL TRATAMIENTO*

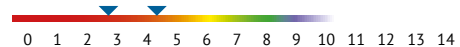
Estable Variable

* Doble secado provoca hinchamiento y contracción dimensional

Nivel de riesgo	Retención mínima
<input checked="" type="checkbox"/> R1	1,7 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R2	1,7 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R3	1,7 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R4	3,3 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R5	5,5 kg/m ³
R6	x

pH

Entre **3 y 4 pH** siendo una **solución ácida**, determinado mediante pH-metro con electrodo a **20°-25°C**.



CONDICIONES DE USO

Interior Exterior

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Concentrados y soluciones:

Concentrado:

Cobre:NCh763, AWPA A9 o AWPA A2
Tebuconazol: AWPA A28

Solución:

Cobre:NCh763, AWPA A9 o AWPA A2
Tebuconazol: AWPA A28

Madera Preservada:

Cobre:NCh763, AWPA A9 o AWPA A2
Tebuconazol: AWPA A48

4.1.3 MCAz [Cobre micronizado más tebuconazol]

El **cobre micronizado más tebuconazol**, conocido por sus siglas en inglés como *Micronized Copper Azole* (MCAz), está clasificado en la NCh790 como un producto preservante hidrosoluble orgánico. La formulación del ingrediente activo, en base al 100% de activos y tolerancias, se compone de 96,1% de cobre micronizado y 3,9% de tebuconazol micronizado. Según la norma, los ingredientes activos deben presentar al menos un 97,5% de pureza en base anhidra, sin restricciones adicionales en su formulación. En cuanto a su aplicación, este producto preservante se utiliza mediante las técnicas de vacío-presión y vacío-vacío.

Este producto preservante se compone de cobre micronizado, que actúa como el principal biocida frente a organismos xilófagos, mientras que el tebuconazol, un compuesto triazol, funciona como complemento biocida frente a los hongos de pudrición. La madera tratada con cobre particulado tiende a oscurecerse menos que la tratada con cobre soluble y puede resultar menos corrosiva en contacto con elementos metálicos. En el

caso de especies de madera de difícil impregnación, se puede incorporar formulaciones que contengan aminas, derivadas del amoníaco, para facilitar la penetración del producto preservante (Kirker & Lebow, 2020) (Lebow et al., 2019).

A diferencia del CA-B, esta formulación no requiere un solvente para solubilizar el cobre, ya que utiliza cobre finamente molido en forma de dispersión coloidal. Esto significa que las partículas de cobre no son lo suficientemente pequeñas para disolverse, ni tan grandes como para sedimentar, permaneciendo suspendidas de forma estable y uniforme en el líquido portador, en este caso, agua.

Ambos componentes, tanto el cobre como el tebuconazol, son poco solubles en agua, otorgándole a este tratamiento una buena resistencia a la exposición a la humedad y el agua luego de la impregnación industrial. Por esta razón, pueden aplicarse en elementos de madera que se encontrarán en servicio dentro de los niveles de riesgo R1 a R5. Si bien este tratamiento preservante es relativamente nuevo, presenta un buen rendimiento a largo plazo al ser aplicado de manera correcta. (Morrell, 2019)(Kirker & Lebow, 2020).

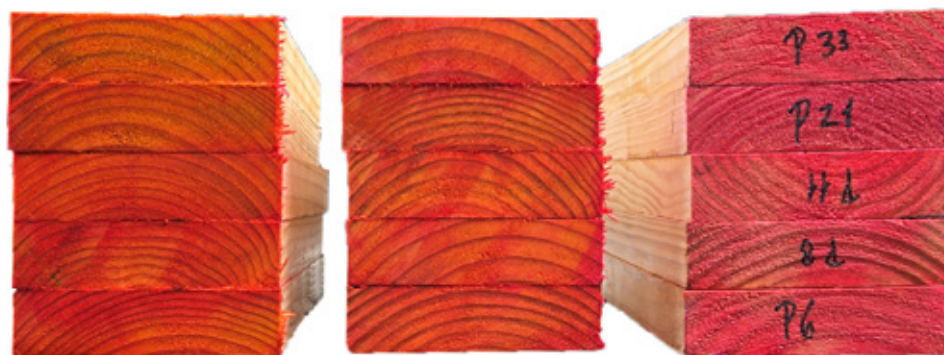


Figura 4.6 - Penetración tratamiento MCaz

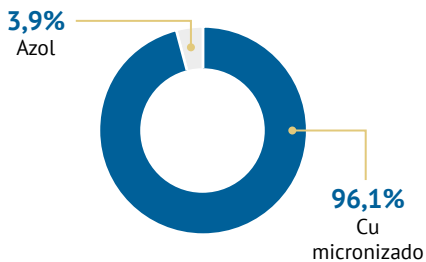
MCAz

Cobre micronizado más tebuconazol

COMPOSICIÓN INGREDIENTE ACTIVO*

Los **criterios de pureza de activos** de esta solución deben cumplir con un **97,5%** de pureza en base anhidra.

COMPOSICIÓN EN BASE AL 100% DE ACTIVOS Y TOLERANCIAS



Ingredientes activos:

Cu micronizado Azol
 Cobre micronizado Tebuconazol

* Según lo indicado en la NCh790 esta solución de tratamiento preservante no presenta restricciones de activos.

CUALIDADES DEL PRESERVANTE

Cambia de color	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presenta olores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lixiviación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Riesgos para la salud ¹	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Riesgo de corrosión	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resistente a hongos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Resistente a insectos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Resistente a fuego	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¹ El polvo de madera impregnada puede ser tóxico si se inhala, utilizar medidas de protección para corte y manipulación de piezas tratadas.

APLICACIONES COMUNES

En fundaciones; en vigas, pisos y entablados de piso sobre envidados; en soleras y pies derechos; en vigas de entrepiso y cerchas; y en tapacanes, revestimientos y molduras o carpinterías exteriores.

CARACTERIZACIÓN DEL PRESERVANTE

Según lo que se establece en la NCh790, NCh819, AWPA y ASNZ-1604 las características principales de este preservante se pueden interpretar de la siguiente manera:

Clasificación:	Hidrosoluble
Método de aplicación:	Vacío-presión-vacío
Temperatura:	15° C - 60° C

IMPACTO DIMENSIONAL TRATAMIENTO*

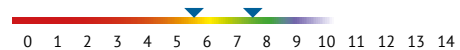
Estable Variable

* Doble secado provoca hinchamiento y contracción dimensional

Nivel de riesgo	Retención mínima
<input checked="" type="checkbox"/> R1	1,0 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R2	1,0 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R3	1,0 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R4	2,4 kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> R5	3,7 kg/m ³
R6	x

pH

Entre **6 y 7 pH** siendo una solución prácticamente **neutra**, determinado mediante pH-metro en **solución agitada**.



CONDICIONES DE USO

Interior Exterior

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Concentrados y soluciones:

Concentrado:

CuO: NCh763, AWPA A2, AWPA A9, o AWPA A21
Tebuconazol: AWPA A28, AWPA A31 y AWPA A48

Solución:

CuO: AWPA A2, AWPA A9 y AWPA A21
Tebuconazol: AWPA A28, AWPA A31 y AWPA A48

Madera Preservada:

Cobre micronizado: NCh763, AWPA A9 o AWPA A21
Tebuconazol micronizado: AWPA A31

4.1.4 μ CA-C [Cobre micronizado más propiconazol y tebuconazol]

El **cobre micronizado más propiconazol y tebuconazol**, conocido en inglés como *Micronized Copper Azole type C* (μ CA-C), está clasificado en la NCh790 como un producto preservante hidrosoluble. La formulación del ingrediente activo se compone de cobre micronizado (96,51%), propiconazol (1,92%) y tebuconazol (1,92%), en base al 100% de activos y tolerancias. Según la norma, los ingredientes activos de esta solución de tratamiento preservante deben cumplir al menos con una pureza mínima de 97% en base anhidra, sin restricciones adicionales en su formulación. Este producto preservante se aplica mediante la técnica de vacío-presión y, en algunos casos, también mediante vacío-vacío.

Este producto preservante combina cobre micronizado, que cumple un rol biocida frente a organismos xilófagos, con dos triazoles: propiconazol y tebuconazol, los cuales ofrecen protección frente a hongos de pudrición. A diferencia de otros productos preservantes, la

incorporación de dos fungicidas amplía el espectro de protección frente a un mayor número de especies de hongos de pudrición.

Entre la solución de tratamiento con cobre micronizado más tebuconazol (MCAz) y aquella con cobre micronizado más propiconazol y tebuconazol (μ CA-C), se mantienen prácticamente las mismas proporciones entre cobre y azol(es). La diferencia radica en que, en esta última, se incorporan dos triazoles en lugar de uno, distribuidos equitativamente (50% cada uno sobre la proporción total de azoles). Esta formulación amplía la acción fungicida, resultando altamente efectiva contra hongos e, incluso, adecuada para tratamientos frente al moho y las manchas en la albura (Kirker & Lebow, 2020).

Al igual que el MCAz (4.1.3), este producto preservante utiliza cobre micronizado en dispersión coloidal, junto con propiconazol y tebuconazol. Esta formulación le otorga una alta resistencia a la lixiviación y lo vuelve apto para aplicaciones en condiciones de servicio exigentes, incluyendo contacto con el suelo o agua dulce. Su espectro de protección abarca desde el nivel de riesgo R1 hasta el nivel de riesgo R5.



Figura 4.7 - Penetración tratamiento μ CAC (Wolman E) mediante Impregnación Método Vacío – Presión. En la izquierda se presenta piezas de madera lateral y en la derecha piezas con madera central

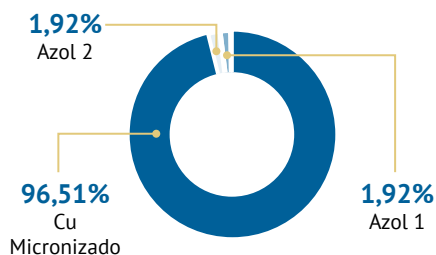
μCA-C

Cobre micronizado más propiconazol más tebuconazol

COMPOSICIÓN INGREDIENTE ACTIVO*

Los **criterios de pureza de activos** de esta solución deben cumplir con un **97%** de pureza en base anhidra.

COMPOSICIÓN EN BASE AL 100% DE ACTIVOS Y TOLERANCIAS



Ingredientes activos:

Cu micronizado **Azol 1** **Azol 2**
Cobre micronizado Propiconazol Tebuconazol

* Según lo indicado en la NCh790 esta solución de tratamiento preservante no presenta restricciones de activos.

CUALIDADES DEL PRESERVANTE

Cambia de color	■ ■ ■ □ □
Presenta olores	■ □ □ □ □
Lixiviación	■ □ □ □ □
Riesgos para la salud ¹	■ ■ □ □ □
Riesgo de corrosión	■ ■ □ □ □
Resistente a hongos	■ ■ ■ ■ ■
Resistente a insectos	■ ■ ■ ■ ■
Resistente a fuego	■ □ □ □ □

¹ El polvo de madera impregnada puede causar irritación, utilizar medidas de protección para corte y manipulación de piezas tratadas.

APLICACIONES COMUNES

En fundaciones; en vigas, pisos y entablados de piso sobre envigados; en soleras y pies derechos; en vigas de entrepiso y cerchas; y en tapacanes, revestimientos y molduras o carpinterías exteriores.

CARACTERIZACIÓN DEL PRESERVANTE

Según lo que se establece en la **NCh790**, **NCh819**, **AWPA** y **ASNZ-1604** las características principales de este preservante se pueden interpretar de la siguiente manera:

Clasificación:	Hidrosoluble
Método de aplicación:	Vacío-presión
Temperatura:	15° C - 60° C

IMPACTO DIMENSIONAL TRATAMIENTO*

Estable Variable

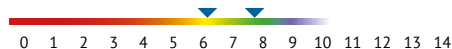
* Doble secado provoca hinchamiento y contracción dimensional

Nivel de riesgo	Retención mínima
R1	0,8 kg/m ³
R2	0,8 kg/m ³
R3	1,0 kg/m ³ (*)
R4	2,4 kg/m ³
R5	3,7 kg/m ³
R6	x

(*) Ver Tabla 3 NCh819

pH

Entre **6,5** y **7,5** pH siendo una solución **casi neutra**, determinado mediante pH-metro en **solución agitada**.



CONDICIONES DE USO

Interior Exterior

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Concentrados y soluciones:

Concentrado:

NCh763, AWPA A2, AWPA A9, AWPA A21, AWPA A28, AWPA A31 o AWPA A48

Solución:

NCh763, AWPA A2, AWPA A9, AWPA A21, AWPA A28, AWPA A31 o AWPA A48

Madera Preservada:

NCh763, AWPA A9, AWPA A21, AWPA A28, AWPA A31 o AWPA A48

4.1.5 CCA [Óxidos de cobre, cromo y de arsénico]

Los **óxidos de cobre, cromo y arsénico**, más conocido por sus siglas **CCA**, están clasificados en la NCh790 como producto preservante hidrosoluble inorgánico. La formulación del ingrediente activo se compone de 18,5% de cobre, 47,5% de cromo y 34% de arsénico, en base al 100% de activos y tolerancias. Según la norma, los ingredientes activos deben tener al menos un 95% de pureza en base anhidra. Entre las restricciones que presenta este preservante, se establece que la cantidad total del ingrediente activo (óxidos de cobre, cromo y arsénico), puede variar en un $\pm 2\%$ respecto del valor declarado por el fabricante. En cuanto a su aplicación, este producto preservante se emplea mediante la técnica de vacío-presión.

También se exige que la solución de tratamiento cumpla con ciertas características. En primer lugar, debe tener una solubilidad adecuada, es decir, puede contener como máximo un 0,5% de materia no disuelta respecto al peso total del producto preservante. En segundo lugar, cuando se prepara una solución de tratamiento al 2% (p/v), su nivel de acidez (pH) debe encontrarse entre 1,6 y 2,5, medido a 20°C a través de un electrodo de vidrio. Además, para estandarizar su clasificación, los preservantes tipo CCA deben incluir, junto a su nombre, el porcentaje de óxidos activos respecto al peso total del producto preservante. Por ejemplo, "CCA al 60%".

Respecto a los ingredientes activos, el cobre actúa como el biocida principal frente a organismos xilófagos,

mientras que el arsénico complementa esta acción, especialmente contra insectos xilófagos. El cromo, por su parte, funciona como agente fijador, reduciendo la lixiviación de los ingredientes activos, y además protege los conectores metálicos, mitigando la corrosión que el cobre podría provocar al contacto con metales ferrosos al generar reacciones electroquímicas no deseadas (Lebow et al., 2019).

La solución de tratamiento preservante CCA, o tratamiento verde, como es comúnmente denominada por el color que adquiere tras el proceso de impregnación, fue durante años el método predominante para la preservación de elementos de madera en el mercado global. Su efectividad y versatilidad lo convirtieron en el producto preservante más utilizado, tanto para elementos con un bajo nivel de riesgo, como para estructuras expuestas a múltiples agentes de biodeterioro que requieren alta durabilidad. Sin embargo, a nivel internacional, su uso se ha limitado a estructuras no residenciales debido a riesgos asociados a la salud humana. Si bien en Chile, no se ha restringido ni prohibido su uso, es importante considerar estos antecedentes al momento de seleccionar un tipo de producto preservante.

Gracias a su resistencia y su eficacia comprobada en el tiempo, el CCA ha sido probado en diversas aplicaciones por su resistencia a lixiviar y sus cualidades protectoras. Esto lo convierte en un producto adecuado para todos los niveles de riesgo, desde el R1 al R6, lo que incluye situaciones de contacto directo con el suelo, agua dulce o agua salada.



Figura 4.8 - Penetración tratamiento CCA mediante Impregnación Método Vacío – Presión

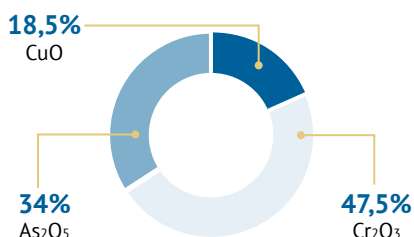
CCA

Óxidos de cobre, cromo y arsénico

COMPOSICIÓN INGREDIENTE ACTIVO*

Los **criterios de pureza de activos** de esta solución deben cumplir con un **95%** de pureza en base anhidra.

COMPOSICIÓN EN BASE AL 100% DE ACTIVOS Y TOLERANCIAS



Ingredientes activos:

■ CuO Cobre
■ Cr₂O₃ Cromo
■ Ar₂O₅ Tebuconazol

* Las restricciones de activos exigen que len a tolerancia en el producto mismo, del contenido total de óxidos activos respecto al contenido total nominal sea de ± 2%.

CUALIDADES DEL PRESERVANTE

Cambia de color	■ ■ ■ ■ □
Presenta olores	■ □ □ □ □
Lixiviación	■ □ □ □ □
Riesgos para la salud ¹	■ ■ ■ ■ □
Riesgo de corrosión	■ ■ ■ □ □
Resistente a hongos	■ ■ ■ ■ ■
Resistente a insectos	■ ■ ■ ■ ■
Resistente a fuego	■ □ □ □ □

¹ La AWPA considera que restringido para el uso residencial el CCA. En la AS/NZ junto con la Unión Europea, se encuentra prohibido el CCA.

APLICACIONES COMUNES

En fundaciones; en vigas, pisos y entablados de piso sobre envigados; en soleras y pies derechos; en vigas de entrepiso y cerchas; y en tapacanes, revestimientos y molduras o carpinterías exteriores.

CARACTERIZACIÓN DEL PRESERVANTE

Según lo que se establece en la **NCh790**, **NCh819**, **AWPA** y **ASNZ-1604** las características principales de este preservante se pueden interpretar de la siguiente manera:

Clasificación:	Hidrosoluble
Método de aplicación:	Vacío-presión
Temperatura:	15° C - 60° C

IMPACTO DIMENSIONAL TRATAMIENTO*

Estable
 Variable

* Doble secado provoca hinchamiento y contracción dimensional

Nivel de riesgo	Retención mínima
■ R1	4,0 kg/m ³
■ R2	4,0 kg/m ³
■ R3	4,0 kg/m ³
■ R4	6,4 kg/m ³
■ R5	9,6 kg/m ³
■ R6	24 o 40 ⁽¹⁾ 14 o 24 ⁽²⁾ kg/m ³

⁽¹⁾ Medición en probeta interior y ⁽²⁾ probeta exterior

* Riesgo de ataque de Teredo y/o Limnoria tripunctata

pH

Entre **1,6 y 2,5 pH** siendo una solución **ácida**, determinado mediante pH-metro con electrodo de vidrio a **20°-25°C**.



CONDICIONES DE USO

Interior
 Exterior

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Concentrados y soluciones:

Concentrado:

AWPA P5, AWPA A2

Solución:

NCh763 o AWPA A9

Madera Preservada:

NCh763 o AWPA A9





Figura 4.9 – Tratamiento oleosoluble

4.2 Oleosolubles

Los tratamientos preservantes en base a soluciones oleosas son aquellos que utilizan aceites o solventes orgánicos como medio para transportar los ingredientes activos dentro del elemento de madera. Estas formulaciones otorgan a los productos de madera un grado de repelencia al agua, que, a diferencia de los tratamientos preservantes hidrosolubles, no provocan hinchamiento ni merma, debido a que no requieren de un segundo secado de la madera al no utilizar agua. las variaciones dimensionales en esos tratamientos se pueden reflejar en grietas o fisuras en productos de maderas que contienen duramen.

Esta característica de estos productos preservantes los hace especialmente adecuados para elementos de madera donde mantener la estabilidad dimensional es crítica. Entre estos, se encuentran elementos de madera de gran sección que tienen dificultad para secarse o componentes con geometrías complejas, elementos

de madera de ingeniería, (CLT, vigas laminadas, entre otros), elementos de madera con uniones finger joint o adhesivos estructurales, ya que no interfieren en la línea de cola ni con la forma final del producto (Lebow et al., 2019), elementos de madera ya seca y componentes de carpintería fina, molduras, entre otros. Otra característica de este tipo de tratamientos preservantes es que, a diferencia de los productos preservantes con una solución de tratamiento en base a cobre, los productos preservantes óleosolubles no aceleran los procesos de corrosión en conectores metálicos.

Las normas chilenas NCh790 y NCh819 reconocen varios tipos de productos preservantes óleosolubles, pero en la práctica y en el contexto nacional actual, el único permitido y utilizado es LOSP [Permetrina más tebuconazol y propiconazol (4.2.1)].

A continuación, se presentará la ficha técnica para este tratamiento preservante, describiendo su composición, características técnicas, ventajas, limitaciones y aplicaciones recomendadas.

4.2.1 LOSP [Permetrina más tebuconazol y propiconazol]

El **LOSP (permetrina más tebuconazol y propiconazol)** está clasificado en la NCh790 como producto preservante soluble en líquidos orgánicos. La formulación del ingrediente activo se compone de 30,44% de permetrina, y partes iguales de azoles, con tebuconazol en un 34,78% y propiconazol en un 34,78%, en base al 100% de activos y tolerancias. Según la norma, los ingredientes activos deben tener un mínimo de 93% de pureza, sin restricciones adicionales en su composición. En cuanto a su aplicación, este producto preservante se aplica mediante la técnica de vacío-vacío.

Este producto preservante a base de solventes livianos incorpora biocidas específicos, como permetrina, un insecticida sintético cuya acción protectora enfrenta principalmente a insectos xilófagos, y se complementa con dos biocidas triazólicos orgánicos (tebuconazol y propiconazol), que amplían el espectro de protección principalmente frente a hongos de pudrición. Cabe señalar que la combinación de distintos ingredientes activos responde a los requerimientos específicos del lugar de uso. En este caso, la formulación ha sido diseñada para enfrentar el riesgo de termitas, que se presenta en casi todo el país, mientras ofrece como base una protección fungicida; en otros países se pueden emplear otras combinaciones adaptadas a las condiciones locales.

Como se menciona anteriormente, al pertenecer a la familia de los LOSP (*Light Organic Solvent Preservati-*

ves), este producto preservante se caracteriza por su base soluble en solventes orgánicos no acuosos. Esta propiedad evita el hinchamiento de los elementos de madera durante el tratamiento preservante, ya que no se incorpora agua ni se saturan de humedad, eliminando la necesidad de un segundo secado posterior al tratamiento, a diferencia de lo que ocurre con los tratamientos preservantes hidrosolubles. Esta cualidad lo hace especialmente recomendable para productos de madera con requerimientos dimensionales precisos, como molduras, carpintería de terminación, madera de ingeniería, entre otros. Además, este producto preservante es compatible con adhesivos utilizados en productos de madera.

Este tratamiento preservante está indicado para niveles de riesgo R1 al R3 según la NCh819, es decir, en ambientes interiores secos, interiores con humedad ocasional o exteriores protegidos de la lluvia directa. Sin embargo, no se recomienda para riesgos mayores, ya que sus ingredientes activos no están fijados químicamente y pueden ser lixiviados al estar en permanente contacto con el suelo, humedad o cuerpos de agua, reduciendo su eficiencia protectora.

Cabe señalar que la normativa menciona dos tipos de LOSP más, una solución de tratamiento a base de ingredientes activos de 100% de permetrina y una solución de tratamiento a base de ingredientes activos de tribulistaño en un 94,9% y permetrina en un 5,1%. Estos no tienen demanda del mercado ni hay registro en el SAG, a la fecha de publicación de este manual, por lo que no se abordarán.



Figura 4.10 - Penetración tratamiento LOSP (Vacsol® Azure (RTU)) mediante Impregnación Método Vacío –Vacío. En la se presentan piezas de madera lateral y semilateral

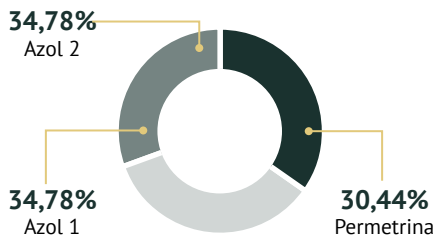
LOSP (Light Organic Solvent Preservative)

Permetrina más tebuconazol y propiconazol

COMPOSICIÓN INGREDIENTE ACTIVO*

Los **criterios de pureza de activos** de esta solución deben cumplir con un **93%** de pureza en base anhidra.

COMPOSICIÓN EN BASE AL 100% DE ACTIVOS Y TOLERANCIAS



Ingredientes activos:



* Según lo indicado en la NCh790 esta solución de tratamiento preservante no presenta restricciones de activos.

CUALIDADES DEL PRESERVANTE

Cambia de color	■	□	□	□	□
Presenta olores	■	■	■	□	□
Lixiviación	■	■	■	□	□
Riesgos para la salud	■	■	■	□	□
Riesgo de corrosión ¹	□	□	□	□	□
Resistente a hongos	■	■	■	■	■
Resistente a insectos	■	■	■	■	□
Resistente a fuego ²	□	□	□	□	□

¹ LOSP no es corrosivo para metales, por lo que es compatible con clavos, tornillos y herrajes comunes.

² LOSP puede aumentar la inflamabilidad si no está seco.

APLICACIONES COMUNES

En vigas de pisos, entablado de piso sobre envigado o de terrazas, soleras en contacto con hormigón, pies derechos de zonas húmedas y secas, vigas de entrepiso, cerchas, tapacanes, revestimientos y molduras exteriores.

CARACTERIZACIÓN DEL PRESERVANTE

Según lo que se establece en la NCh790, NCh819, AWPA y ASNZ-1604 las características principales de este preservante se pueden interpretar de la siguiente manera:

Clasificación:	Soluble en líquidos orgánicos
Método de aplicación:	Vacío-vacío
Temperatura:	10° C - 50° C

IMPACTO DIMENSIONAL TRATAMIENTO



Nivel de riesgo	Retención mínima
R1	0,086(P)+ 0,26(A) kg/m ³
R2	0,086(P)+ 0,26(A) kg/m ³
R3	0,086(P)+ 0,26(A) kg/m ³
R4	x
R5	x
R6	x

* (P) corresponde a permetrina, (A) corresponde a los azoles.

ÍNDICE DE ACIDEZ (MG KOH/G)*

Se evalúan otros parámetros como la acidez total, contenido de hidrocarburos, según el índice de acidez (mg KOH/g) según ASTM D664 aromáticos, viscosidad o penetración.

* No solubles en agua no tienen pH definido.

CONDICIONES DE USO



MÉTODOS DE ANÁLISIS

Concentrados y soluciones:

Concentrado:

AWPA A31

Solución:

AWPA A31

Madera Preservada:

AWPA A31



Figura 4.11 –Ensayo en terreno de productos complementarios de protección

4.3 Complementos para la preservación

Los complementos para la preservación, tal como dice su nombre, tienen la función de añadir propiedades complementarias de protección a las piezas de madera, estén o no sometidas a un tratamiento preservante. Esto resulta necesario cuando estas propiedades no pueden ser proporcionadas intrínsecamente por las características inherentes de la especie maderera o por los productos preservantes utilizados. La aplicación de estos productos protectores puede ser mediante la incorporación en la formulación misma del tratamiento preservante, cuando se trata de un producto protector disponible en ese formato, o aplicándolo posteriormente en la pieza de madera.

Los productos protectores ofrecen una protección temporal y preventiva, debido a que presentan una duración más limitada y superficial en comparación con la durabilidad que ofrecen los tratamientos de preservación (4.1 y 4.2), los cuales proporcionan una protección profunda y completa de la pieza, garantizando por varios años la durabilidad asignada al producto de madera impregnado.

Estos complementos o productos protectores generalmente corresponden a barnices, pinturas, tratamientos de fumigación y similares, que ofrecen tratamientos anti-manchas, protectores de luz (UV y/o infrarrojo), protectores de fuego, impermeabilizantes y soluciones complementarias plaguicidas (Fritz, 2008).

En Chile, al igual que los productos preservantes utilizados para impregnación industrial que deben estar certificados por el SAG por tener propiedades biocidas, los productos complementarios, considerados de uso sanitario o doméstico que cuenten con propiedades plaguicidas (insecticidas o fungicidas), deben contar con un registro sanitario otorgado por el Instituto de Salud Pública (ISP), según el Decreto Supremo N°157 del Ministerio de Salud (Subsecretaría de Salud Pública, 2007). Esta entidad es responsable, no solo registrar estos productos, sino también de autorizar la importación, fabricación nacional, distribución y de controlar o autorizar la publicidad y promoción de estos en el país, con el fin de garantizar los estándares de seguridad y eficacia que establece la autoridad sanitaria.

Según este decreto, un plaguicida corresponde a una sustancia o agente que tiene el objetivo de prevenir, controlar o combatir organismos que podrían producir

daños a seres vivos u objetos. El componente que otorga esta cualidad es denominado “ingrediente activo”, el cual confiere la acción biológica esperada en el plaguicida. Entre estos, es importante diferenciar los que son utilizados para combatir vectores sanitarios y plagas en el ambiente interior y/o exterior de una edificación, y aquellos que pueden ser incorporados en productos de protección complementaria, como pinturas, barnices, entre otros. En este último caso, si dichos productos optan por incorporar un plaguicida, este debe estar incluido en el listado definido en el Decreto Supremo N°157, el cual también establece las concentraciones máximas permitidas para cada ingrediente activo.

Por otro lado, los complementos para la preservación o productos protectores, que no tienen funciones plagui-

cidas, si bien no tienen una exigencia de certificación obligatoria por una entidad estatal como el ISP, deben respaldar sus propiedades mediante ensayos técnicos normalizados que demuestren su eficacia. Esto es especialmente relevante cuando se declaran funciones específicas, ya que su desempeño puede ser considerado en las especificaciones técnicas de un proyecto, y puede tener asociadas exigencias normativas relacionadas con el uso final del producto protector.

Para clasificar los distintos productos protectores o complementos para los tratamientos preservantes, se propone una categorización según la acción específica que realizan sobre la madera y si contienen algún plaguicida que deba cumplir con alguna validación técnica específica, tal como lo indica la [Tabla 19](#).

Tabla 19 - COMPLEMENTOS PARA LA PRESERVACIÓN

Categoría	Sección	Acción	¿Contiene plaguicida?	Normativa o validación técnica aplicable
Insecticida	4.3.1	Prevenir o eliminar insectos xilófagos (termita, carcoma, etc.)	✓	Decreto Supremo N°157, Registro ISP
Fungicida	4.3.2	Controlar hongos de pudrición o decoloración	✓	Decreto Supremo N°157, Registro ISP
Retardante al fuego	4.3.3	Reducir inflamabilidad o ralentizar la propagación del fuego	✗	NCh935
Protector de la luz (UV)	4.3.4	Proteger frente al deterioro por radiación ultravioleta	✗	
Impermeabilizante	4.3.5	Disminuir la absorción de agua, controlar hinchamiento/ fisuración	✗	

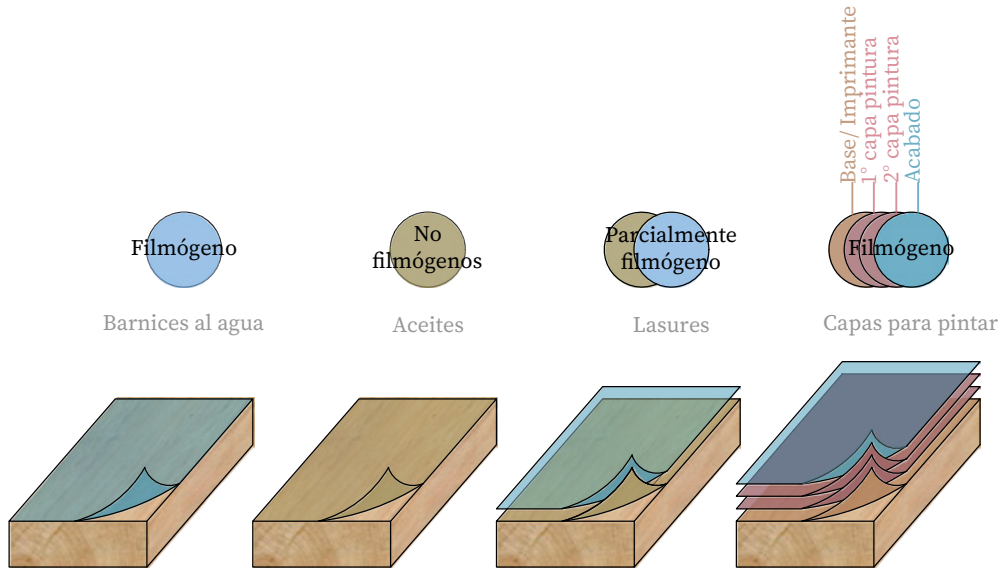


Figura 4.12- Tipos de acabados de productos protectores

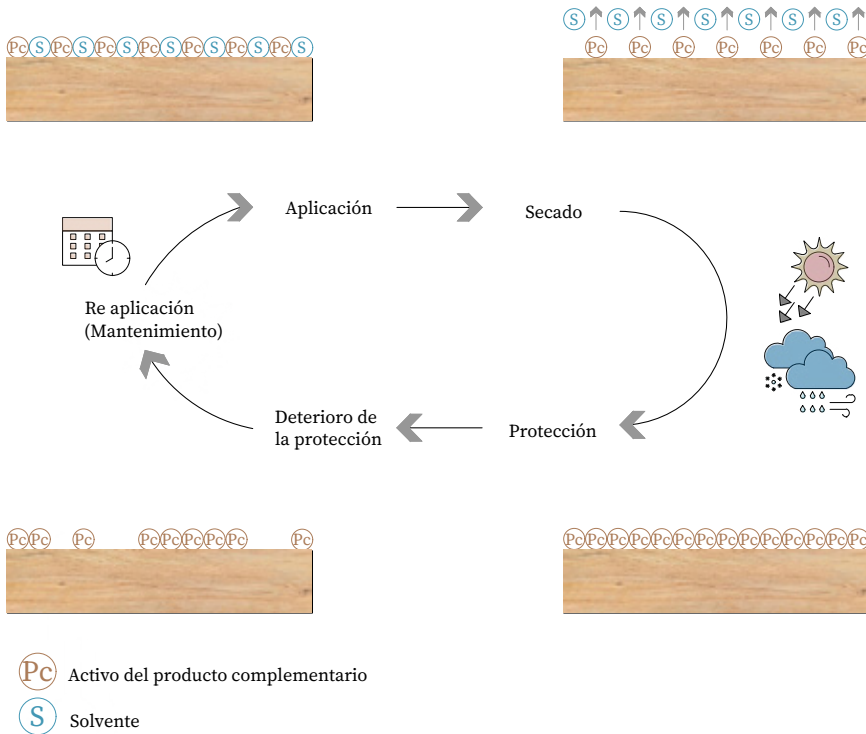


Figura 4.13 - Proceso de aplicación y re aplicación de productos protectores

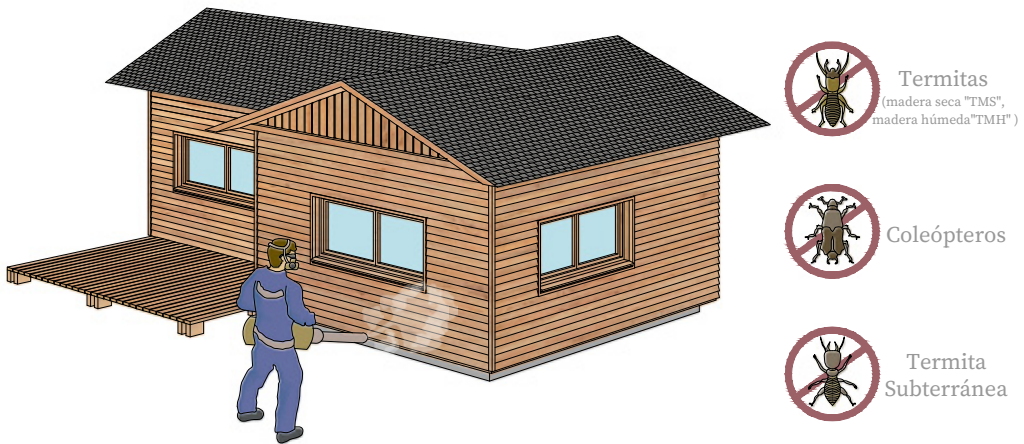


Figura 4.14 - Insecticidas

4.3.1 Insecticidas

Los complementos para tratamientos preservantes con características insecticidas protegen las piezas de madera frente a la acción de los insectos xilófagos. En este sentido, es relevante diferenciar entre aquellos productos con fines preventivos y aquellos con fines curativos.

La aplicación de estos productos protectores con ingredientes activos insecticidas puede realizarse mediante distintos métodos, que varían según la duración del efecto y el medio de aplicación.

Por un lado, están los tratamientos de acción preventiva, que suelen complementar directamente el tratamiento preservante. Estos productos protectores son los que se aplican generalmente mediante pintura, barnices y otros recubrimientos que contienen el ingrediente activo, una vez finalizado el tratamiento de preservación. Estos productos deben estar autorizados y registrados por el ISP, según la regulación del Decreto Supremo N°157 del Ministerio de Salud.

Por otro lado, están los productos protectores insecticidas que se utilizan como tratamientos remediales

o correctivos, que se aplican cuando los elementos de madera ya se encuentran en servicio y presentan ataques de algún agente de biodeterioro. Estos productos tienen una duración limitada y no permanecen adheridos a la madera. Dentro de esta categoría se incluyen aplicaciones localizadas en zonas afectadas² o tratamientos que abarcan a la estructura completa de la edificación, como en el caso de fumigaciones, donde los productos insecticidas deben estar autorizados y registrados por el ISP, mientras que las empresas aplicadoras de plaguicidas de uso sanitario y doméstico deben ser autorizadas y registradas por la Seremi de Salud.

Ambos tipos de productos pueden ser parte de una estrategia de preservación integral orientada a prolongar la vida útil de los elementos de madera. En construcciones nuevas, lo ideal es incorporar productos y tratamientos preventivos desde etapas tempranas, con el fin de evitar problemas futuros. En edificaciones existentes que no cuenten con tratamientos impregnantes o complementarios, se pueden implementar protocolos de inspección periódica (*Capítulo 7*), que permitan detectar patologías a tiempo y aplicar los tratamientos correctivos oportunamente, para extender la vida útil de los elementos de madera.

3. Dentro de los tratamientos remediales se encuentra el tratamiento preservante a base de óxidos de boro (4.1.1) que corresponde al listado de productos preservantes y debe contar con la autorización y registro del SAG.

Sin exposición a hongo de mancha azul



Sin producto protector fungicida

Exposición a hongo de mancha azul



Sin producto protector fungicida



Con producto protector fungicida

Figura 4.15 – Fungicida

4.3.2 Fungicidas

Cuando se refiere a la protección frente a la acción de hongos xilófagos en la madera, la estrategia principal debe corresponder al tratamiento de impregnación mediante productos preservantes hidrosolubles (4.1) u óleosolubles (4.2). Sumado a este tratamiento preservante, la aplicación de barreras adicionales de protección puede complementar esta protección, tanto en el uso final del elemento de madera como en una etapa de almacenamiento previo a ser utilizada en una edificación.

Los productos protectores fungicidas complementarios a los tratamientos de preservación están dirigidos principalmente a enfrentar a hongos superficiales, como en el caso de manchas. El hongo de mancha azul es un ejemplo común, siendo los productos más utilizados los quinolatos de cobre, ácido bórico, clorfenatos de sodio y carbendazimas. Este tipo de hongo se manifiesta mediante la coloración de la madera en tonos azul, gris, verde o café. Los productos protectores contra la mancha azul³ pueden ser preventivos, con protección residual, esto quiere decir que, una

vez aplicados sobre la madera siguen siendo efectivos durante un tiempo prolongado. De esta manera, se logra mitigar ataques activos o incluso eliminar este tipo de hongos una vez que ya ha afectado a la pieza de madera. Estos productos protectores se clasifican según el momento en que se enfrenta a este hongo superficial y pueden aplicarse mediante rociado o inmersión (Fritz, 2008)(Han, 1963).

En el caso de productos protectores con ingredientes activos fungicidas como pinturas y barnices, necesitan de una aprobación especial de ISP para agregar estos ingredientes activos en dichos productos, con concentraciones normadas de la misma manera.

Estos productos protectores, si bien protegen en parte a la madera de este tipo de agentes de biodeterioro, su objetivo es más bien el acabado estético de las piezas de madera. Sin embargo, es relevante considerar que la madera ya afectada en algún grado de deterioro o con presencia de un hongo superficial activo no tendrá la misma capacidad de adhesión y retención de la pintura o barniz, por lo que simplemente cubrir el hongo no soluciona el problema ni detiene el deterioro de la pieza de madera.

4. Los productos protectores para la mancha azul deben contar con un registro y autorización del SAG, si bien, la mancha azul implica un daño superficial, el tipo de aplicación no es de carácter doméstico.

Para tratamientos remediales o correctivos, la pieza debe secarse en un ambiente seco y ventilado, para eliminar la humedad. Luego, se puede realizar una limpieza mecánica, mediante un cepillo o lija y dependiendo del daño, finalmente se pueden aplicar productos protectores para combatir el hongo. De todos modos, se espera que la madera utilizada para nuevas construcciones o aplicaciones se encuentre, desde un principio, sin deterioro alguno y por este mismo motivo es necesario no exponerla a riesgos mientras se almacena para su uso futuro.

En los elementos de madera, la testa es una de las secciones más vulnerable a los agentes de biodeterioro. Es por esto que, para protegerla correctamente, es efectivo aplicar un líquido imprimante alquídico oleoso en estas superficies antes de utilizar pinturas o barnices (*Figura 4.16*). Incluso cuando se realice mantenimiento de este tipo de productos protectores mediante una nueva capa, es necesario revisar que no haya signos de descomposición, especialmente en la testa y en superficies en contacto con otros elementos (USDA et al., 2010).

Correcta protección del cabezal de la pieza o testa

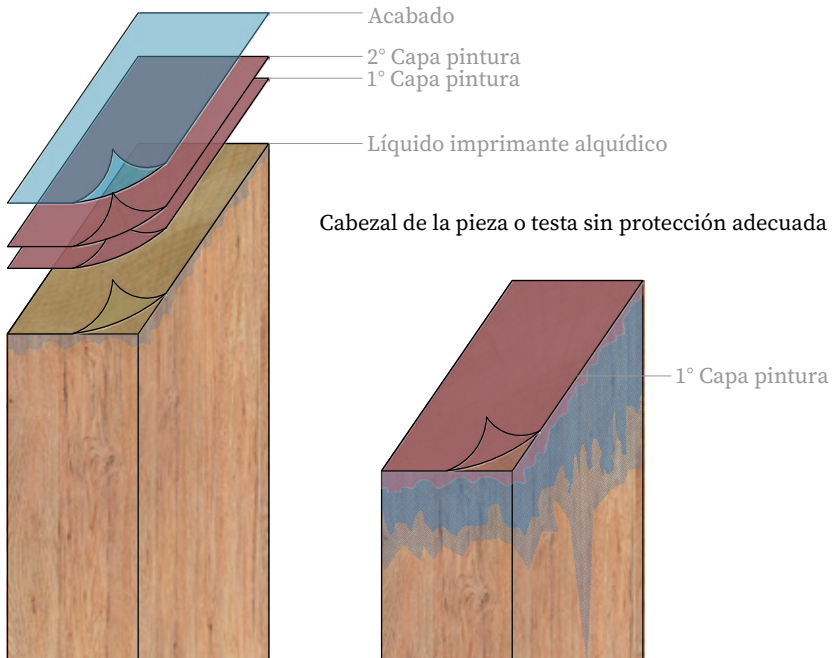


Figura 4.16 – Protección en la testa o cabezal de la pieza

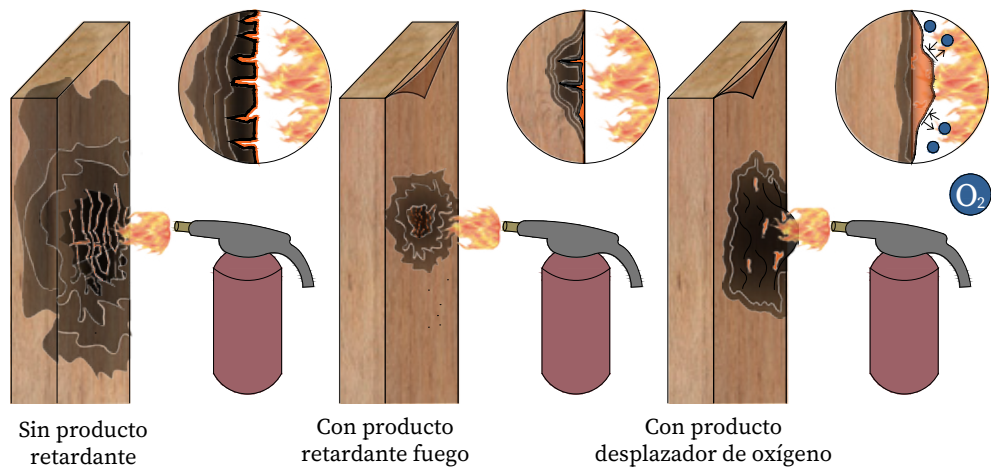


Figura 4.17 - Retardante de fuego

4.3.3 Retardantes de fuego

La madera, al ser un material combustible, presenta desafíos particulares en relación con la protección contra el fuego, especialmente si el uso de la madera es estructural. A lo largo de los años, tanto los fundamentos físicos del comportamiento de la madera frente al fuego como las distintas dinámicas de los incendios han sido objeto de estudio en la literatura. Gracias a estas investigaciones, hoy es posible predecir y controlar, en gran medida, cómo se comporta la madera en situaciones de incendio, lo que ha permitido el desarrollo de estrategias específicas de protección.

Entre estas estrategias, se distinguen aquellas que se atienden desde el diseño arquitectónico, donde la forma, la organización de los espacios y la exposición de elementos inciden directamente en el comportamiento del fuego. Por otro lado, está la relacionada con los elementos o productos protectores que permiten retrasar el inicio de una combustión y reducir la propagación de las llamas, la cual será abordada en esta sección. Es importante recalcar que ninguna de estas estrategias reemplaza a la otra, sino que ambas forman parte de una estrategia complementaria e integral.

En este contexto, los productos protectores ignífugos o retardantes de fuego se clasifican en dos tipos principales: por un lado, aquellos que forman una barrera que limita el acceso del oxígeno a la superficie de la madera durante un periodo determinado; y por otro, los que, al exponerse al calor, liberan compuestos que consumen o desplazan el oxígeno del entorno, dificultando así la combustión de la madera. En consecuencia, la resistencia al fuego del material no se ve modificada; lo que se consigue es retrasar la combustión, manteniendo las propiedades mecánicas de la madera (Fritz, 2008).

La aplicación de productos protectores retardantes de fuego puede orientarse a lograr distintos grados de penetración del producto, ya sea profunda o superficial. La penetración profunda se consigue mediante procesos de impregnación, habitualmente aplicados en autoclave bajo condiciones de vacío y presión. En cambio, la protección superficial se obtiene a través de la aplicación de pinturas o barnices con propiedades retardantes. Estos productos protectores suelen tener una durabilidad garantizada entre 5 y 10 años, lo que implica la necesidad de realizar mantenimiento mediante la reaplicación periódica de una nueva capa del producto (Guindos, 2019).



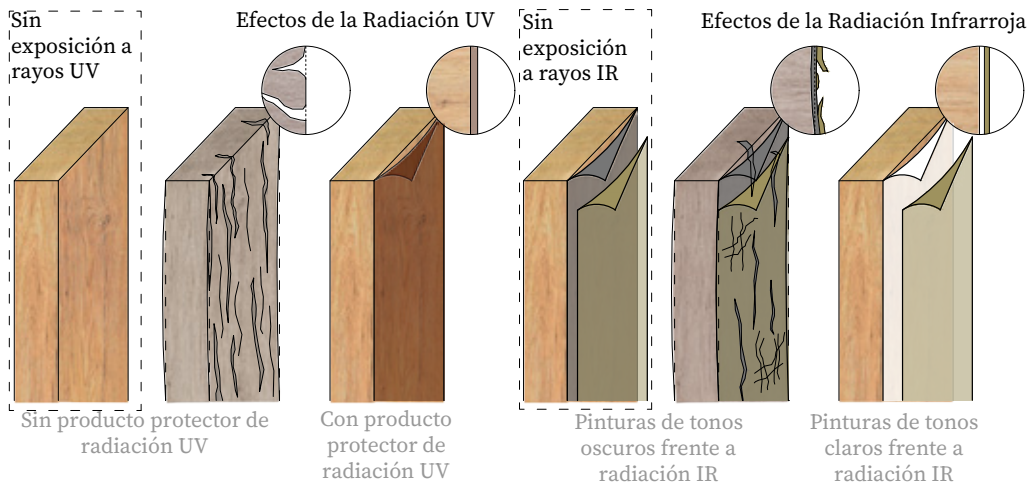


Figura 4.18. – Efectos de la radiación

4.3.4 Protectores de radiación (rayos ultravioleta e infrarrojo):

Los **productos protectores frente a la radiación solar** se encargan de mitigar los efectos provocados principalmente por los rayos ultravioleta (UV) y los rayos infrarrojos (IR). La radiación UV degrada las moléculas de lignina, generando un cambio de coloración característico hacia tonos grises en la madera, además de afectar las resinas presentes en los productos de acabado aplicados sobre su superficie. Por otra parte, la radiación infrarroja incrementa la temperatura del material, lo que, en combinación con la acción del agua lluvia, puede producir deformaciones en la madera y/o generar tensiones en los recubrimientos de tipo filmógeno.

Cuando estos efectos se combinan a otros agentes propios de la intemperie, como la lluvia, variaciones de temperatura y el viento, se produce la meteorización de la madera, entendida como su deterioro físico y químico. Este proceso se manifiesta en cambios de color, aparición de fisuras y pérdida gradual de fibras superficiales. Dicho deterioro superficial reduce la capacidad de adherencia de pinturas, barnices y otros productos protectores, por lo que no se recomienda exponer la madera sin protección previa, ya que, los tratamientos posteriores no alcanzarán el desempeño esperado.

Los productos protectores frente a la radiación corresponden a recubrimientos formulados con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera, generando distintos grados de oscurecimiento según el producto seleccionado. Sin embargo, los acabados oscuros o negros incrementan significativamente la absorción de radiación infrarroja, pudiendo incluso duplicar la temperatura de la superficie en comparación a acabados claros o blancos (Figura 4.19), de acuerdo con la norma la UNE EN-927- 1. Entre estos productos protectores se encuentran los **lasures**, los **saturadores** y los **barnices de exterior** con acabado filmógeno, tanto translúcidos como opacos (Touza, 2013)(USDA et al., 2010). Además, su formulación, a estos se les puede incorporar principios activos adicionales, como fungicidas, insecticidas y/o agentes hidrofugantes frente al agua líquida (Touza, 2013).

Los **lasures** son productos de base orgánica, disponibles en formulaciones tanto solubles en agua como en solventes. Presentan una acción impregnante superficial, ya que no forman película y dejan un acabado de poro abierto, lo que permite a la madera regular su humedad interna en relación con la humedad relativa del ambiente, conservando así sus propiedades mecánicas. La protección frente a la radiación se logra mediante la incorporación de pigmentos minerales, como óxidos de hierro resistentes al fotodeterioro, que reflejan la radiación UV, evitando el agrietamiento y la coloración gris

de la madera. Estos productos pueden ofrecer acabados brillantes o satinados de larga duración, además de un cierto grado de protección frente a insectos y hongos. Su formulación suele incluir resinas alquídicas y acrílicas con propiedades hidrorrepelentes, lo que convierte a los lasures en un complemento muy completo a los tratamientos preservantes, reforzando la protección de la madera en diversos frentes (Garay, 2007).

Los **saturadores**, contienen resinas y pigmentos que, además de proteger frente a la radiación UV, mejoran la estabilidad dimensional y el aspecto estético de la madera. Forman una película delgada, resistente a la acumulación de agua y al desgaste elevado. Su desempeño es similar al de los aceites impermeabilizantes (4.3.5), con la ventaja adicional de ofrecer protección frente a los efectos de la radiación, lo que los convierte en productos de amplia protección para elementos expuestos a la intemperie. Sin embargo, requiere un

mantenimiento frecuente, debiéndose replicar cada 1 a 2 años, lo que puede implicar un costo elevado de conservación (Touza, 2013).

Los **barnices de exterior** de acabado filmógeno son permeables al vapor de agua y presentan cierta elasticidad. Al ofrecer protección frente a la radiación, incorporan pigmentos y cargas minerales en su formulación, los cuales contribuyen a bloquear los efectos de la radiación UV. Se clasifican en translúcidos y opacos: los translúcidos permiten apreciar la veta de la madera, mientras que los opacos la ocultan. Estos últimos contienen mayores cantidades de pigmentos y cargas minerales, lo que aumenta su resistencia frente al fotodeterioro y otorga una mayor durabilidad; sin embargo, si el color es muy oscuro, puede incrementar la absorción de radiación infrarroja, tal como indica la norma UNE EN-927- 1 y se observa en la [Figura 4.19](#).

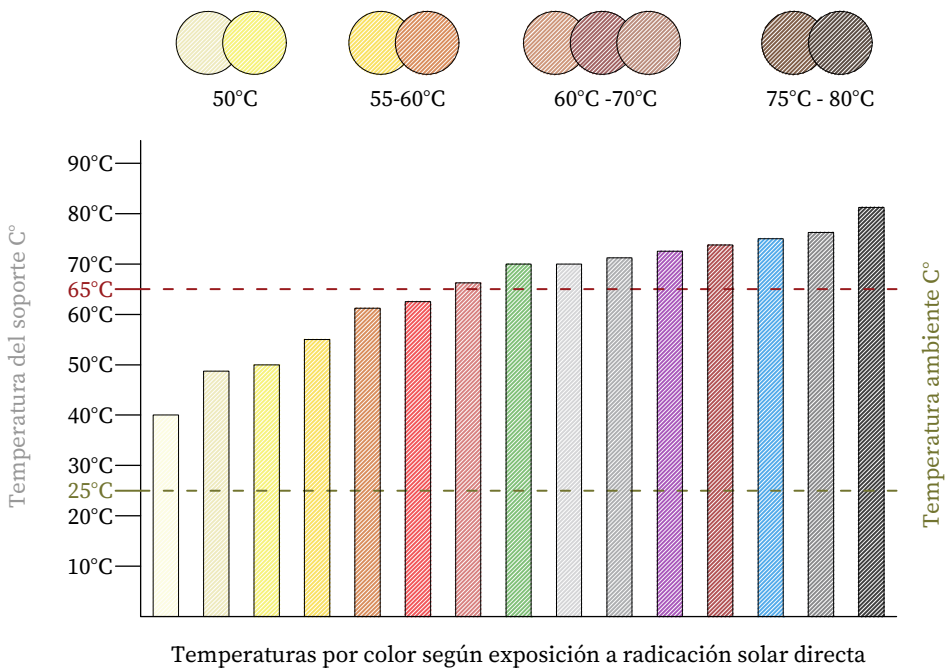


Figura 4.19 – Temperatura por color por radiación directa del sol

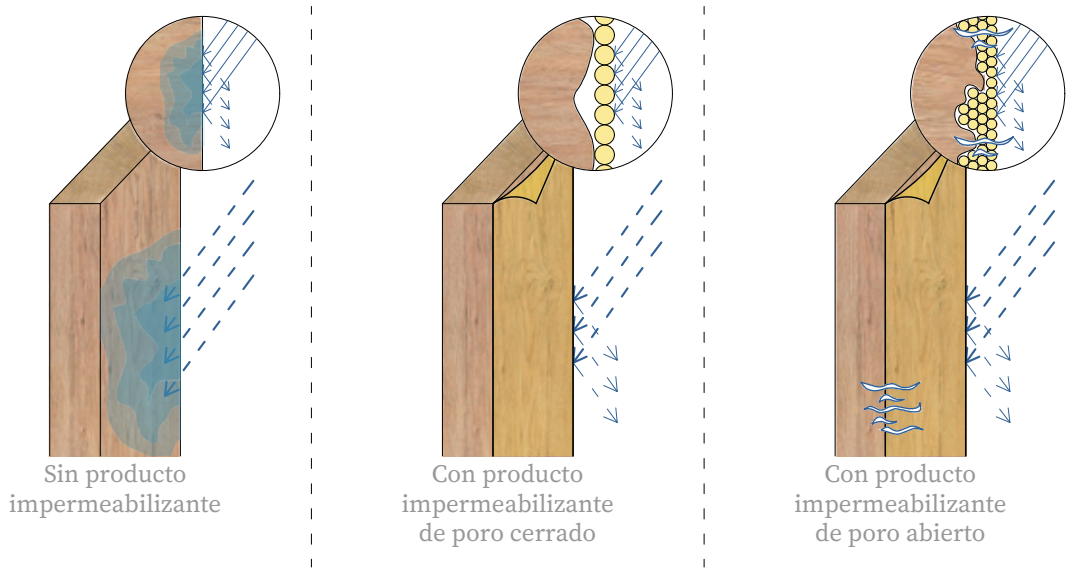


Figura 4.20 – Impermeabilizantes

4.3.5 Impermeabilizantes

Dentro de los productos protectores impermeabilizantes, es relevante diferenciar entre los distintos tipos disponibles para la madera. Por un lado, existen productos protectores de poro abierto, que permiten el intercambio de vapor de agua entre la madera y el ambiente. Por otro lado, se presentan productos protectores que sellan la superficie, restringiendo dicho intercambio. Cada producto protector, según su formulación y características, puede presentar un mayor o menor grado de permeabilidad al vapor, lo cual influye directamente en el desempeño y la durabilidad del producto protector impermeabilizante aplicado sobre la pieza de madera.

Los **impermeabilizantes de poro abierto** tienen como función principal reducir la absorción de agua líquida en la madera, especialmente en la testa, que es la superficie más vulnerable a la humedad. Al mantener el poro abierto, permiten que la madera regule su contenido de humedad en relación con la humedad relativa del

ambiente, favoreciendo su secado tras la exposición a la lluvia y ayudando a disminuir posibles deformaciones por hinchamiento y contracción. Algunos de estos productos protectores pueden incluso prevenir cambios drásticos del contenido de humedad en zonas con alta variabilidad ambiental, evitando la aparición de grietas. Entre estos productos protectores destacan los **aceites, tanto naturales como sintéticos**, que entregan resultados favorables; sin embargo, requieren un mantenimiento frecuente, debiéndose reaplicar cada 6 meses a 1 año como máximo (Touza, 2013).

Por otra parte, existen **productos protectores impermeabilizantes de poro cerrado** (Figura 4.21), que forman una película continua en la superficie de la madera. Estos productos protectores actúan como barrera frente al agua líquida y al vapor, bloqueando la entrada de agua y reduciendo significativamente el intercambio de vapor, lo que limita la capacidad de la madera para regular su contenido de humedad en relación con el ambiente. Debido a esto, se debe tener precaución con la humedad que puede quedar atrapada en el interior de la madera, ya que podría generar condiciones favora-

bles para el desarrollo de hongos xilófagos. Entre estos productos, destacan los **barnices filmógenos densos**, los **poliuretanos** y los **recubrimientos con parafinas**.

Para evaluar el comportamiento de estos recubrimientos frente al vapor de agua se utiliza un parámetro denominado eficacia de exclusión de humedad (EEM) o *Moisture Exclusion Effectiveness* (MEE), que mide qué tan eficaz es un recubrimiento impermeabilizante retarda la difusión de vapor. Esta eficacia depende de diversos factores, como la presencia de huecos, defectos o irregularidades en el espesor de la capa del producto, el tipo y la cantidad de pigmento, la composición química, la cantidad de resina, el tiempo de exposición de la pieza protegida y el gradiente de presión de vapor a lo largo

de la película aplicada sobre el elemento de madera (USDA et al., 2010).

La EEM se expresa en una escala de 0 a 100%, donde los valores más altos indican una mayor capacidad de restricción de la humedad. Sin embargo, un valor del 100% no significa que el producto protector sea completamente impermeable, ya que solo refleja su capacidad de ralentizar el proceso de absorción o desorción de humedad. Ningún producto protector impermeabilizante debe considerarse totalmente impermeable, considerando que su desempeño real dependerá de una correcta aplicación, y de condiciones de la superficie al momento de aplicar el producto. (USDA et al., 2010).

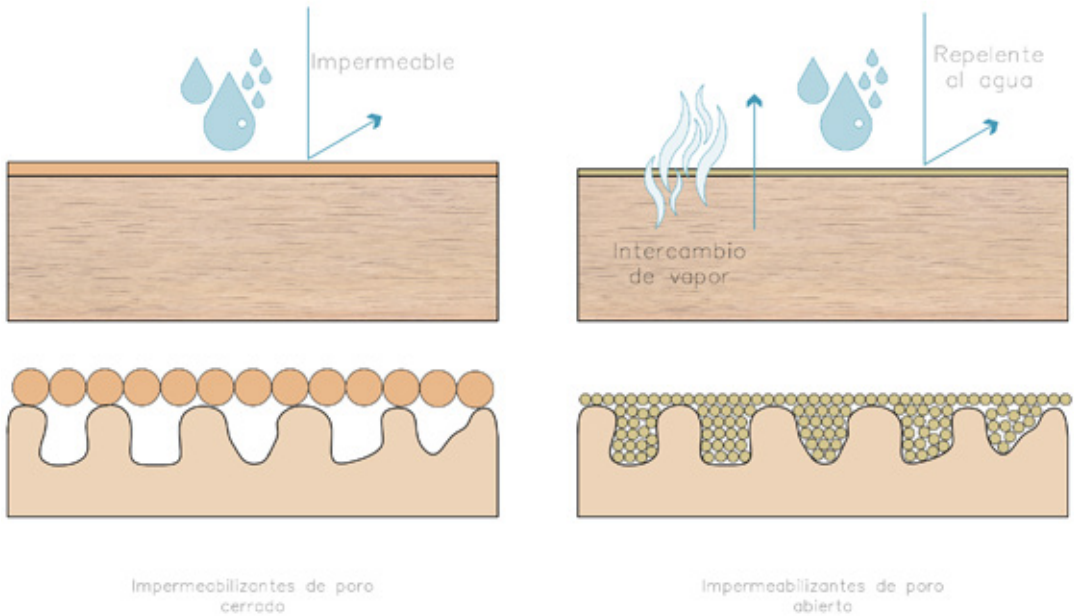


Figura 4.21 – Tipos de impermeabilizantes

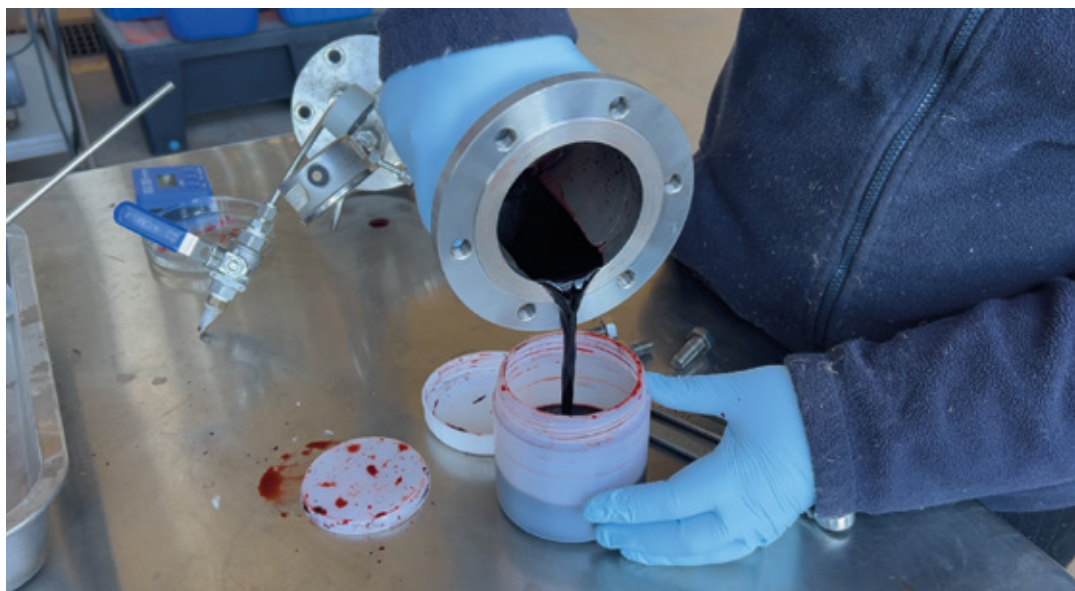


Figura 4.22 – Productos innovadores

4.4 Productos Innovadores

La innovación en productos destinados a la protección de la madera es un ámbito estratégico tanto para fortalecer la industria forestal como para garantizar que la madera cumpla su ciclo natural, un rasgo distintivo frente a otros materiales. Al optar por aplicar un producto preservante, no se busca impactar negativamente el medio ambiente ni el entorno mediante el uso de químicos que puedan afectar la tierra o los cursos de agua, sino que, al término de su vida útil, la madera pueda degradarse sin generar daño.

Desde esta perspectiva, la innovación busca equilibrar la eficacia biológica, otorgando a la madera la durabilidad necesaria para cumplir su función en servicio, con el menor impacto ambiental posible.

En Chile, los desarrollos innovadores en preservantes de madera se han orientado siguiendo distintos enfoques. Algunos productos se conciben para integrarse con los tratamientos preservantes actualmente utilizados, asegurando compatibilidad con los procesos industriales existentes. Otros se desarrollan de manera independiente, explorando nuevos productos de preservación, considerando la sustentabilidad desde su concepción.

Con el fin de organizar estos avances, a continuación, se presentan algunas tipologías de productos innovadores que actualmente se están posicionando en el mercado o que presentan un alto potencial para la industria de la preservación y durabilidad de la madera.

4.4.1 Preservantes en base a Cobre

Los preservantes formulados a base de cobre constituyen un grupo de compuestos ampliamente estudiados y utilizados en la protección de la madera. Históricamente, su aplicación se realizó mediante compuestos combinados con arsénico y cromo, como el arseniato de cobre cromato (CCA), reconocido por su alto desempeño protector. Sin embargo, los impactos ambientales derivados de la liberación de estos metales pesados hacia suelos y cuerpos de agua generaron importantes restricciones regulatorias a nivel internacional, encabezadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, 2002), que limitó drásticamente el uso de CCA en madera en contacto humano o animal; decisión replicada en la Unión Europea mediante el Reglamento REACH (CE N.º 1907/2006), así como en países como Canadá, Japón y Australia (JWPA, 2014)(Morais et al., 2021).

Como respuesta, surgieron formulaciones de cobre más seguras, destacando entre ellas el cobre micronizado (MCA), que reemplaza el cobre soluble por partículas finas de cobre metálico. Aunque esta formulación proporciona buena protección frente a hongos e insectos, su desempeño frente a termitas subterráneas aún presenta limitaciones (G. Mantanis et al., 2014). Para ampliar su acción biocida, el MCA ha incorporado co-biocidas orgánicos complementarios, como propiconazol y tebuconazol, que fortalecen la resistencia frente a agentes fúngicos. No obstante, las preocupaciones sobre su potencial toxicidad han impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles.

En esta línea, se han investigado nuevos biocidas de origen orgánico, híbridos o exentos de metales pesados,

tales como benzofenonas, benzotriazol, bencimidazoles, isotiazolonas, sulfamidas, carboxamidas, 3-yodo-2-propinil-butilcarbamato (IPBC) y 4,5-dicloro-2-N-ocetil-4-isotiazolina-3-ona (DCOI). Estos compuestos han mostrado una efectividad significativa frente a hongos y, en algunos casos, contra termitas, representando una transición hacia formulaciones más sostenibles (Singh, 2016)(Mehramiz et al., 2021).

En el ámbito nacional, la innovación se ha orientado al desarrollo de preservantes estables y ambientalmente más amigables, sin perder compatibilidad con los procesos de impregnación industrial existentes. El Proyecto Fondef ID19I10122 (2020-2022) tuvo como objetivo el desarrollo de un preservante hidrosoluble basado en nanopartículas de cobre (NPCu) y un nanomaterial. Este desarrollo buscó reducir la lixiviación del cobre, una de las principales limitaciones de los preservantes convencionales, mediante la incorporación de nanocristales de celulosa que actúan como soporte para mejorar la fijación del biocida en la madera.

El trabajo contempló la optimización de la formulación a escala de laboratorio, la caracterización físico-química y mecánica de la madera impregnada, y la evaluación de su desempeño biológico, logrando resultados satisfactorios que culminaron con la Patente de Invención N°70759 (INAPI), titulada “Una composición preservante de madera y método de elaboración de la misma”. Entre sus principales atributos destacan la mayor retención del biocida, la compatibilidad con la infraestructura industrial existente y un menor impacto ambiental, aspectos que posicionan a este desarrollo como una alternativa de nueva generación para la industria de preservación de la madera.



Figura 4.23 - Análisis de nanocristales de celulosa utilizados en la patente de invención

4.4.2 Preservantes en base a Boro

Los preservantes formulados a partir de compuestos de boro han sido ampliamente utilizados en la protección de la madera debido a su alta eficacia frente a hongos de pudrición y termitas. Se trata de productos de naturaleza inorgánica y baja toxicidad, lo que los ha posicionado como una alternativa ambientalmente más segura frente a los preservantes tradicionales basados en metales pesados, como el CCA (cromo-cobre-arsénico). No obstante, su principal limitación radica en la elevada solubilidad de los boratos en agua, lo que provoca riesgo de lixiviación y restringe su uso principalmente a aplicaciones de bajo riesgo (R1 y R2).

Frente a esta limitación, las investigaciones internacionales han enfocado sus esfuerzos en mejorar la retención del boro dentro de la madera. Entre las estrategias más estudiadas se encuentran su combinación con compuestos aromáticos y silicatos, la incorporación de boro junto a bifentrina y el uso de nanopartículas metálicas recubiertas con carbono. Si bien estas aproximaciones han logrado reducir la lixiviación, aún no se han consolidado a nivel industrial, aunque abren la posibilidad de nuevos campos de aplicación.

En Chile, el mercado de productos basados en boro es más limitado en comparación con los preservantes a

base de cobre, existiendo principalmente formulaciones destinadas a aplicaciones interiores o de menor exigencia. Sin embargo, tanto la investigación nacional como la internacional han comenzado a avanzar en soluciones que buscan reducir la vulnerabilidad del boro frente a condiciones de humedad. Un ejemplo de ello es el Proyecto Fondef ID25110258 (2025), orientado al desarrollo de un preservante avanzado a base de boro reforzado con nanopartículas de celulosa modificadas químicamente. Esta incorporación busca mejorar la retención del boro, reduciendo la lixiviación y optimizando sus prestaciones fungicidas e insecticidas efectivos en termitas.

El desarrollo del proyecto se validará a nivel de laboratorio, considerando tanto la caracterización fisicoquímica del preservante, incluyendo carga superficial, estabilidad coloidal y comportamiento térmico, como la evaluación integral de la madera impregnada en términos de retención, penetración, resistencia a la lixiviación, desempeño frente al fuego y eficacia biológica frente a hongos e insectos.

A nivel internacional, se han desarrollado productos ignífugos que incorporan boro, evidenciando su potencial multifuncional. Estas propiedades lo convierten en una alternativa prometedora para aplicaciones en construcción, especialmente donde se requiere una mayor durabilidad y seguridad.



Figura 4.24 – Muestras de madera de pino radiata sometidas a pruebas experimentales de resistencia al fuego, A) muestra control y B) muestras tratadas con soluciones experimentales en base a boro y nanopartículas modificadas (P Fondef ID25110258)

4.4.3 Preservantes en base a extractos naturales

Los preservantes a base de extractos naturales aprovechan sus compuestos activos biocidas presentes en plantas, como aceites esenciales, taninos, resinas, ceras y quitosano, los cuales pueden obtenerse de distintas partes del vegetal, corteza, hojas o raíces, según el tipo de compuesto. Esta estrategia permite transformar subproductos de la industria forestal en materias primas de valor comercial, evitando que sean desechadas durante el proceso productivo. La utilización de este tipo de preservantes busca mantener o aportar la durabilidad necesaria a los elementos de madera sin recurrir a metales pesados ni compuestos tóxicos, ofreciendo así una alternativa sostenible frente a los preservantes tradicionales.

En el contexto internacional, se ha demostrado la eficacia de extractos de corteza de mimosa (*Acacia mollissima*) y de duramen de quebracho (*Schinopsis lorentzii*) frente a hongos de pudrición blanca (González-Laredo et al., 2015). También se han destacado compuestos activos biocidas como fenoles, terpenoides, alcaloides, lectinas y polipéptidos con potencial protector (Broda, 2020). Asimismo, el quitosano ha sido objeto de interés por sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas (Xu et al., 2010)(Singh, 2013)(Khademibami et al., 2020). Por último, los avances industriales, como la patente ES 2800104A1 de la Universidad del País Vasco, presentan formulaciones a base de lignina y sales metálicas que ofrecen protección frente a hongos y organismos xilófagos, además de mejorar la higroscopicidad y la

resistencia al fuego, aunque aún requieren validación frente a la lixiviación y el escalamiento industrial.

En coherencia con las tendencias internacionales de innovación en preservantes naturales, Chile avanza en el desarrollo del proyecto “Aditivo natural obtenido de subproductos forestales e incorporado en la formulación de recubrimientos para aumentar la durabilidad de la madera de uso interior y exterior”, iniciado en 2023 tras la adjudicación de un Proyecto Fondef IDeA I+D de ANID ID23I10194 (2023). La iniciativa es liderada por un equipo de investigadores de la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción (UDT/UdeC), que forma parte del eje de Bioproductos del Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD), y cuenta con la participación de empresas de los sectores forestal y químico.

Los primeros ensayos desarrollados han arrojado resultados alentadores, indicando que los extractos fenólicos obtenidos de la corteza de eucalipto, recurso ampliamente disponible en Chile, presentan un potencial significativo como alternativa sostenible a los preservantes sintéticos. Al ser aplicados sobre madera de pino radiata, estos extractos demostraron buena resistencia frente a hongos de pudrición y a la fotodegradación por radiación ultravioleta, lo que se traduce en una mejora en la durabilidad del material y en su aptitud para aplicaciones tanto en ambientes interiores como exteriores. Estos resultados iniciales confirman la viabilidad técnica del enfoque propuesto y abren el camino para su futura validación a nivel industrial (www.cenamad.cl).



Figura 4.25 – Extractos naturales



05

Métodos de tratamiento

Si bien existe un amplio espectro de productos preservantes (4), cada uno presenta características diferenciadoras que determinan su uso según las funciones protectoras, la ubicación y el nivel de riesgo al que se expone el elemento de madera en servicio. La elección del producto preservante debe considerar de qué manera este contribuye a satisfacer los requerimientos específicos de durabilidad en cada situación. Estas soluciones pueden aplicarse a las piezas de madera mediante diversos métodos de tratamiento.

Los métodos de aplicación de tratamientos preservantes corresponden al proceso mediante el cual se introduce una solución de tratamiento en las piezas de madera para aumentar durabilidad en servicio. Estos pueden realizarse mediante procesos manuales o industriales. Mientras que los procesos manuales ofrecen una protección principalmente superficial o, en algunos casos, de penetración media, los métodos industriales permiten una impregnación profunda, asegurando la protección de la totalidad del elemento de madera. En consecuencia, la selección del método de aplicación es un factor determinante para que el tratamiento preservante cumpla con las exigencias normativas de retención mínima y grado de penetración.

En Chile, según lo establecido en la NCh819, y de acuerdo con sus alcances y campos de aplicación, todos los elementos de madera que requieran preservación deben tratados mediante impregnación industrial.

Por lo que, métodos como el pulverizado, pincelado o inmersión se consideran, en la mayoría de los casos, como métodos manuales, utilizados principalmente para la aplicación de productos protectores superficiales. Sin embargo, el uso de soluciones a base de óxidos de boro, aplicadas mediante difusión en condiciones de ambiente controlado, ha demostrado cumplir con

las exigencias normativas debido a sus propiedades de difusión interna. Este avance ha abierto la posibilidad de ampliar los métodos de aplicación, más allá del uso exclusivo de autoclaves.

Los métodos de aplicación de tratamientos preservantes pueden clasificarse en dos grandes grupos: aquellos que requieren la aplicación de **ciclos de vacío y/o presión** (5.1.1) y los que se basan en la **difusión del preservante** (5.1.2), aprovechando las propiedades inherentes del producto preservante para penetrar en la madera. Dentro de este segundo grupo, los tratamientos preservantes se pueden subdividir en cuatro técnicas de aplicación: en **línea de cola, pincelado, pulverización e inmersión**.

El grado de penetración que puede alcanzar el tratamiento preservante en la madera está determinado por diversos factores, como el espesor de la pieza, la cantidad de capas aplicadas, el tiempo de exposición al producto preservante y las condiciones del proceso de tratamiento, entre otros. En función de estas variables, se distinguen tres grados de penetración: **superficial, media y profunda**, los cuales deben verificarse conforme a la normativa vigente, la cual establece los diferentes métodos de aplicación y el grado de penetración requerido para cada caso.

Es importante mencionar que, internacionalmente, en algunas especies madereras con baja durabilidad natural y difícil impregnabilidad, se recurre a técnicas que efectúan incisiones o incluso perforaciones, con el fin de facilitar que el preservante alcance una mayor profundidad. No obstante, estos procedimientos pueden comprometer las propiedades mecánicas de las piezas. En contraste, el pino radiata no requiere de este tipo de técnicas, ya que es una especie de fácil impregnación debido al alto porcentaje de albura con que se comercializa.

▮ TABLA 20 – MÉTODOS DE PROTECCIÓN E IMPREGNACIÓN

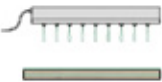


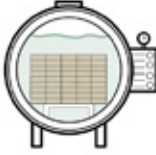
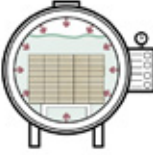



	Manuales			Industriales	
Métodos de aplicación					
	En línea de cola	Pincelado	Pulverizado	Inmersión	Presión y/o Vacío
Grado de penetración					
	Superficial	Media		Profunda	



Figura 5.1 – Tipos de autoclave

5.1 Aplicación Industrial

Cuando se hace referencia al término “industrial”, asociado a una aplicación o proceso, no implica necesariamente el uso de alguna máquina específica. El concepto también puede atribuirse a procedimientos sistemáticos destinados a la mejora, control o implementación de un producto de protección para la madera.

Además, toda invención, entendida como una solución a un problema técnico que origine un quehacer industrial,

debe ser factible y reproducible, de manera que cada vez que se ejecute permita obtener los mismos resultados.

Por lo tanto, para cumplir con este requisito de aplicación industrial, el experto en la materia, en este caso, la empresa que realice el tratamiento preservante, debe verificar y documentar, de manera explícita o implícita, el tipo de aplicación que se llevó a cabo.

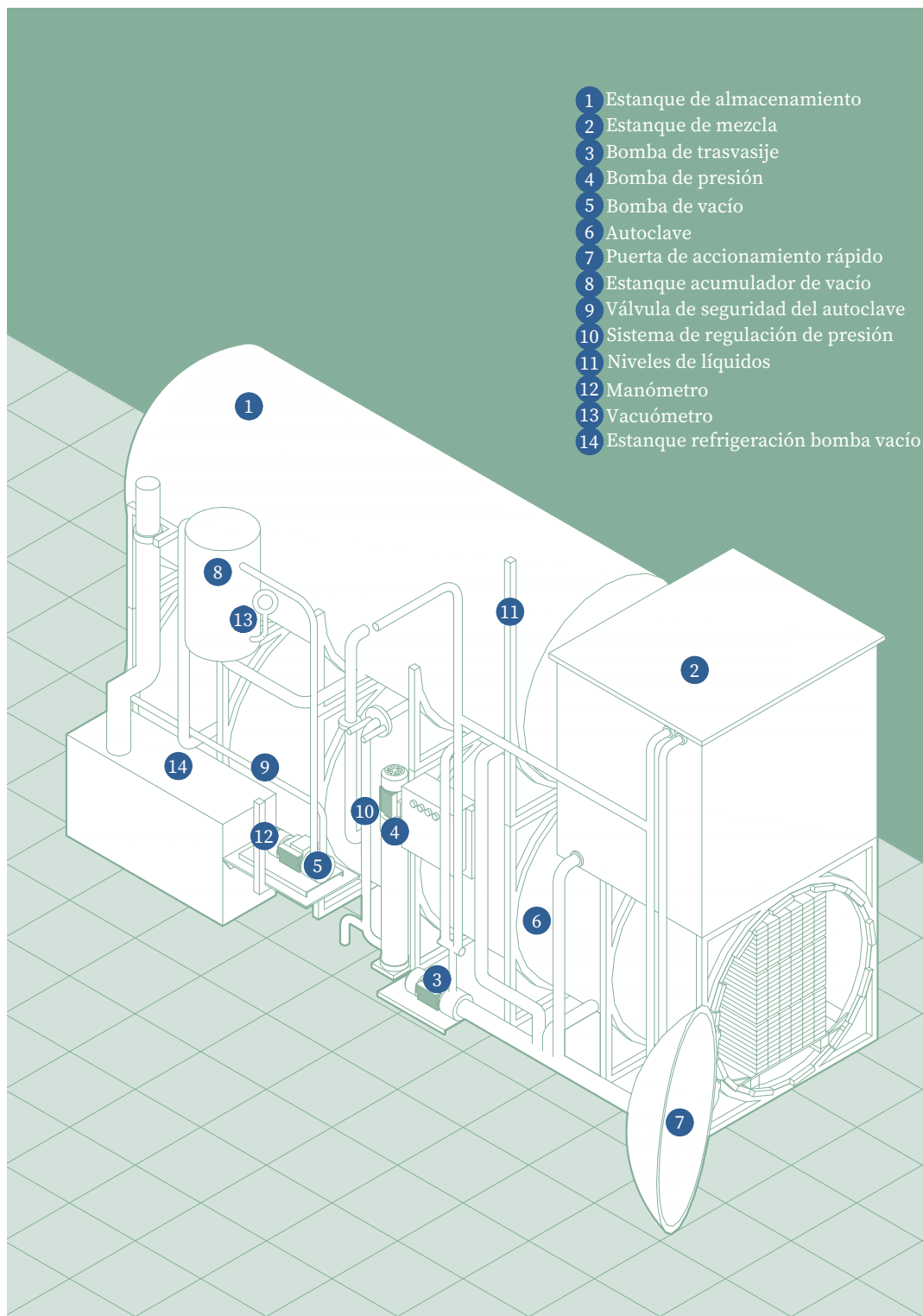


Figura 5.2 – Partes de un autoclave

5.1.1 Tratamiento de presión

5.1.1.1 Vacío y presión

Dentro de las metodologías de tratamiento industrial para la impregnación de piezas de madera, destaca el **método de vacío y presión**, dado que la mayoría de los preservantes se aplica mediante esta técnica. Este tratamiento preservante se realiza en máquinas cilíndricas llamadas autoclaves, recipientes herméticos donde se introducen los lotes de piezas de madera. En su interior, se incorpora la solución de tratamiento preservante, logrando una penetración profunda mediante ciclos de vacío y presión.

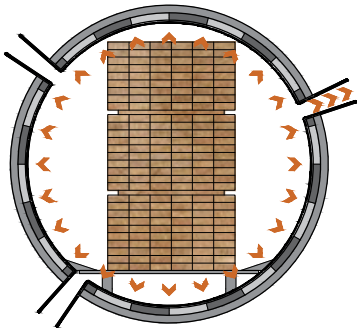
Dependiendo del tipo de producto preservante y de la especie maderera utilizada, existen soluciones de tratamiento que requieren calor para forzar, activar o facilitar la penetración profunda del producto preservante. En general, la metodología de vacío y presión permite una penetración del producto preservante más uniforme y profunda que otros métodos de aplicación (Lebow et al., 2019).

El proceso estándar por el que pasan las piezas de madera con esta metodología toma el siguiente orden (Kirker & Lebow, 2020):

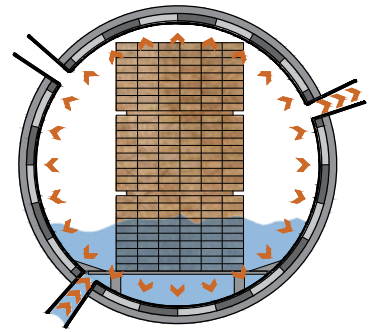
1. Las piezas de madera se posicionan dentro del **cilindro del autoclave**. El sistema se cierra y sella, aplicando un vacío inicial que extrae el aire presente en las células de la madera.
2. Manteniendo el vacío en el interior del autoclave, se llena de la **solución de tratamiento preservante**, iniciando una **fase de inmersión**.
3. A continuación, se aplica **presión** para forzar la penetración de la solución de tratamiento en la estructura de la madera.
4. Después, se libera la presión y comienza el **vaciado del cilindro** del autoclave, extrayendo la solución de tratamiento restante.
5. Finalmente, se aplica un **vacío final** para remover los excesos de solución de tratamiento no impregnada y se retiran del cilindro los elementos de madera ya tratados.

Cuando se trata de soluciones de tratamiento de **base hidrosoluble (4.1)**, el proceso implica introducir la madera seca. Luego de impregnarla con una solución acuosa, la madera debe someterse nuevamente a un proceso de secado. Esto provoca hinchamiento y contracción en la madera, generando un **estrés higrotérmico** que puede originar cambios dimensionales o deformaciones no deseadas (Lebow et al., 2019).

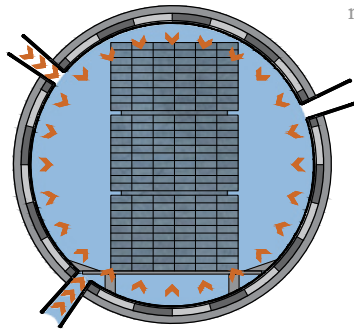
Cabe destacar que los cambios dimensionales de **estado verde a anhidro** en dirección tangencial (T) son habitualmente del orden del 8% para coníferas, mientras que en dirección radial (R) las variaciones son aproximadamente la mitad, cerca del 4%. En consecuencia, esto produce **tensiones internas o estrés** en las piezas de madera, que pueden derivar en deformaciones, e incluso en la aparición de grietas o fisuras, especialmente si el secado o el cambio de humedad relativa del ambiente ocurre de manera abrupta (Guindos, 2019).



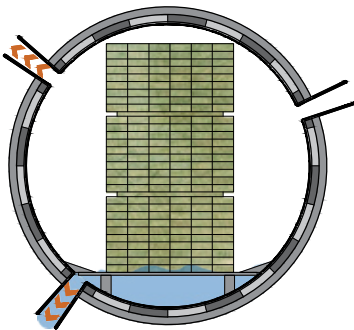
1. Vacío inicial
Para eliminar el aire de las células de la madera



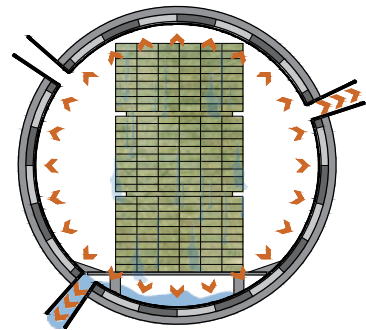
2. Inundación
Ingresa la solución preservante mientras se mantiene el vacío



3. Presión
Se libera el vacío y se aplica presión para introducir la solución a la madera



4. Vaciado
Se libera la presión y comienza el vaciado del cilindro



5. Vacío final
Para eliminar excesos de producto y luego almacenar

Figura 5.3 – Pasos de la metodología vacío - presión

5.1.1.2 Vacío y vacío

Otra modalidad de impregnación industrial para la impregnación de piezas de madera es el **método de vacío-vacío**. Este método de aplicación de tratamientos preservantes es similar al método de vacío y presión, ya que también se realiza en autoclave; sin embargo, los autoclaves utilizados suelen ser de **forma prismática**, dado que, al no aplicarse presión, las esquinas no representan un punto con riesgo de apertura. Además, esta geometría permite **optimizar el volumen de espacio ocupado por los lotes de piezas de madera** (Figura 5.1), reduciendo la cantidad de solución necesaria. Este procedimiento también se puede realizar en autoclaves cilíndricos, aunque, como se mencionó, la forma prismática es más eficiente. Esta metodología permite una **penetración profunda y uniforme** de la solución de tratamiento y es compatible tanto con soluciones de tratamiento de base hidrosoluble (4.1) y como con base oleosoluble (4.2) (Lebow et al., 2019).

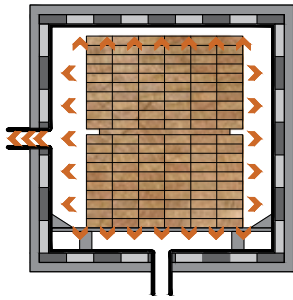
El proceso se desarrolla generalmente en el siguiente orden de etapas (Kirker & Lebow, 2020):

1. Ingreso del lote de elementos de madera al autoclave y la aplicación de un **vacío inicial rápido y de baja intensidad**, extrayendo el aire de las células de la madera.
2. Manteniendo el vacío en el autoclave, este **se llena con la solución preservante**, lo que permite utilizar una menor cantidad de producto preservante y una

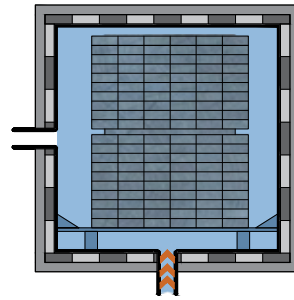
mayor absorción inicial, ya que la madera desgasificada facilita la penetración del producto preservante desde la zona superficial al interior.

3. Posteriormente, se **libera el vacío**, dejando las piezas de madera en **inmersión**, lo que permite que el producto preservante penetre mediante **difusión capilar**.
4. Tras el tiempo necesario, según el tipo de preservante y las características del elemento de madera, **se vacía el cilindro**, extrayendo el producto preservante restante.
5. Finalmente, se aplica un **vacío final**, que elimina el exceso de solución de tratamiento preservante y el aire residual, asegurando una **retención controlada** del producto preservante.

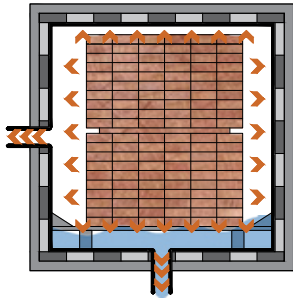
Entre los beneficios de esta metodología de aplicación de tratamientos preservantes, destaca el **menor riesgo de hinchamiento o deformación** de las piezas de madera en comparación con el método de vacío y presión. Esto se debe a la menor cantidad de solución utilizada, ya que la madera absorbe menos producto preservante, y a la ausencia de presión, lo que resulta en un tratamiento preservante menos agresivo. Por estas razones, esta metodología es más efectiva para piezas que requieran **mayor precisión dimensional y/o estética**, como diafragmas estructurales (muros y pisos) y marcos de ventanas (Kirker & Lebow, 2020).



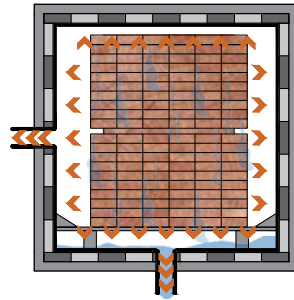
1. Vacío inicial
Para eliminar el aire de las células de la madera



2. Inundación
Ingresa la solución preservante mientras se mantiene el vacío



3. Vaciado
Se libera el vacío y se extrae el producto preservante del autoclave



4. Vacío final
Para eliminar excesos de producto y luego almacenar

Figura 5.4 - Pasos de la metodología vacío - vacío

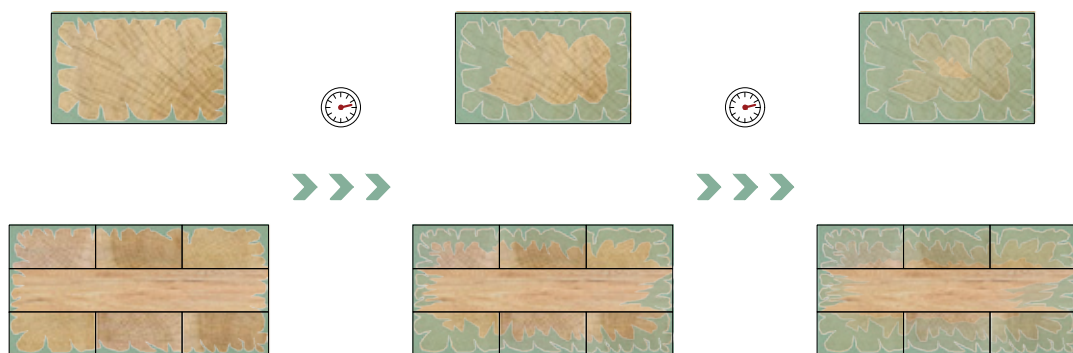


Figura 5.5 – Tratamientos de difusión

5.1.2 Tratamiento de difusión

Esta metodología de aplicación de productos preservantes es una alternativa viable para ciertos **productos químicos con propiedades difusoras**. Si bien los tratamientos preservantes aplicados de forma superficial generalmente no logran una penetración suficiente para proteger por completo la pieza de madera, especialmente en elementos de madera de gran sección, este tipo de tratamiento de difusión de forma envolvente se plantea como una metodología viable para tratar elementos de madera masiva de grandes dimensiones.

Desde la definición que aborda la norma ASNZ-1604:2021, se considera que la metodología de tratamiento de forma envolvente consiste a cubrir de manera continua un elemento de madera por todas sus caras con un producto preservante. Según el producto preservante aplicado, este debe cumplir con un grado de penetración asignado conforme al tipo de producto de madera y el nivel de riesgo al que se expondrá el elemento de madera en servicio. En los países donde se aplica esta norma, los rotulados de elementos de madera impregnados bajo esta metodología de tratamiento incluyen una advertencia que especifica que, si se realizan acciones como corte, perforación, lijado u otras que rompan la barrera de esta protección envolvente, el elemento de madera requerirá de un tratamiento remedial o correctivo para garantizar la durabilidad previamente asignada.

Existen **productos preservantes químicos con propiedades de difusión interna**. Estas son soluciones de tratamiento preservante de base hidrosoluble que pueden presentarse en estado líquido, sólido o pasta, y cuya acción se basa en la capacidad de difundirse desde el agua contenida en la solución o pasta hacia el agua de la madera, a través de los capilares de la estructura celular de esta.

Los **métodos de aplicación de productos preservantes en la industria**, considerando la **difusión**, se pueden agrupar en cuatro tipos:

1. En línea de cola
2. Pincelado
3. Pulverizado
4. Inmersión

Entre los ingredientes activos más comunes utilizados para este método de tratamiento se encuentra el boro, mientras que otras opciones menos frecuentes incluyen el fluoruro y el cobre.

Esta metodología de aplicación de tratamientos de preservación, como se mencionó en la introducción, adquiere relevancia cuando se van a tratar **elementos de madera masiva**, como sucede con los paneles de CLT o piezas de MLE, que se caracterizan por sus grandes dimensiones, lo que no les permite entrar en autoclaves para recibir un tratamiento a presión (Quin et al., 2023); (Bagheri et al., 2022). Para profundizar sobre el tratamiento de impregnación de elementos de CLT, se recomienda consultar la “Guía de diseño y especificación de madera contralaminada (CLT)” (Reyes et al., 2024).

Bajo este alero, el concepto de tratamiento envolvente por difusión o envoltura difusiva toma relevancia. Este método consiste en aplicar un **producto preservante difusible** directamente sobre la pieza de madera. Luego, se requiere un tiempo de espera, durante el cual la difusión del producto preservante ocurre de manera progresiva, facilitada por la humedad propia de la madera y/o del ambiente. Este ambiente puede ser controlado o no, dependiendo del procedimiento



Figura 5.6 – Penetración Tratamiento Borato (Sillbor RTU) mediante el método Pulverizado manual

empleado, lo que influye directamente en la eficiencia y el resultado esperado.

Cuando se utiliza esta metodología para aplicar un producto preservante, como una opción para generar un ambiente controlado, se puede utilizar una envoltura hermética de polietileno o PVC. Esta debe cubrir toda la pieza o sector y mantenerse bien sellada en todos los bordes, ya sea mediante cinta o grapas, para evitar pérdidas por evaporación y permitir que el preservante se mantenga en contacto con la madera. Para piezas o productos de madera de tamaños incompatibles con autoclaves, la metodología de aplicación de tratamientos preservantes de **difusión por envoltente** resulta una opción muy eficaz cuando se requiere un **post-tratado**, es decir, cuando el tratamiento preservante se aplica después de procesos como el encolado o el corte de la madera.

Uno de los aspectos que se deben considerar son los efectos de los productos preservantes de base acuosa, debido a la variabilidad dimensional que puede producirse durante el segundo secado de la madera. Este proceso puede provocar deformaciones, grietas o fisuras debido a los ciclos de hinchamiento y contracción de la madera (Tascioglu et al., 2003). Además, se suma el estrés generado por la restricción de movimiento en piezas encoladas, como ocurre en CLT o MLE.

Además, para que las piezas de madera tratadas con productos preservantes recuperen las dimensiones requeridas, generalmente deben someterse a un proceso de cepillado y lijado. Esta etapa puede comprometer la zona más expuesta al tratamiento preservante, ya que existe un gradiente de concentración del producto preservante, desde la superficie hacia el interior de la madera, como se indica en la Figura 5.7. Asimismo, se deben considerar los riesgos para la salud asociados al proceso de rectificación dimensional, debido al aserrín que contiene productos preservantes liberados al ambiente.

Este método de aplicación de tratamientos preservantes también se puede emplearse en piezas de madera ya instaladas o en lugares de difícil acceso, como una solución de tratamiento remedial o correctivo, especialmente en componentes estructurales de madera. No obstante, aunque se encuentra contemplada en la norma ASNZ-1604:2021, esta metodología aún se encuentra en etapa de estudio y no cuenta con respaldo científico suficiente hasta la fecha. Aun así, ha sido reconocida como una opción prometedora (Ayanleye et al., 2022). Por ello, su implementación debe acompañarse de pruebas de retención mínima y de grado de penetración, con el fin de garantizar un control de calidad adecuado.

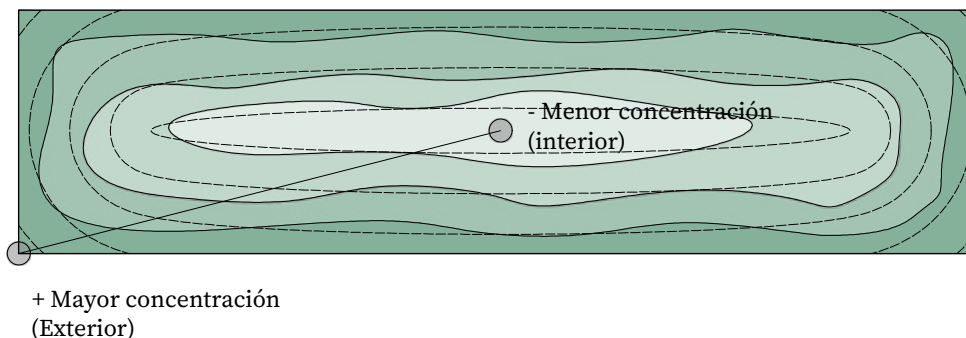
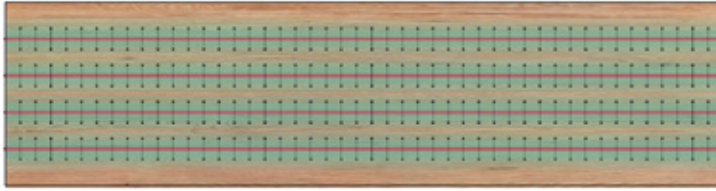


Figura 5.7 - Gradiente de concentración por difusión en la madera

i. En línea de cola

Tablero Contrachapado







-  Línea de cola
-  Dirección difusión
-  + Mayor concentración
-  - Menor concentración

Figura 5.8 – Difusión del preservante desde la línea de cola

ii. Pincelado

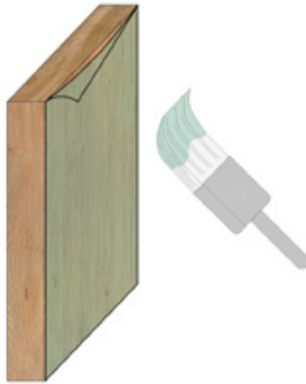


Figura 5.9 – Pincelado

iii. Pulverizado

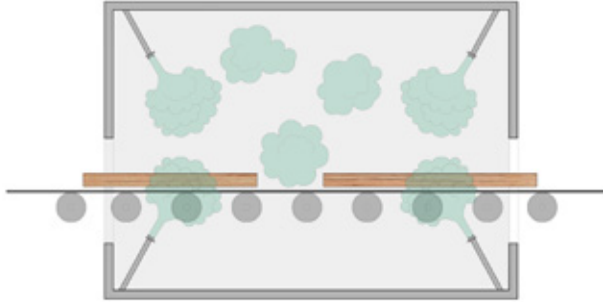


Figura 5.10 - Pulverizado mecánico

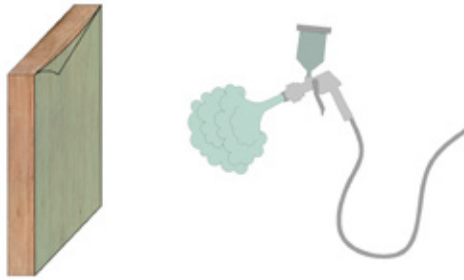


Figura 5.11 – Pulverizado manual

iv. Inmersión

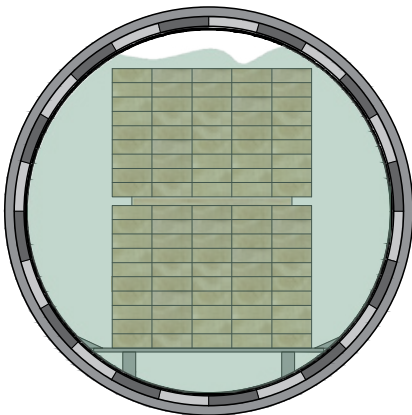


Figura 5.12 - Inmersión en autoclave

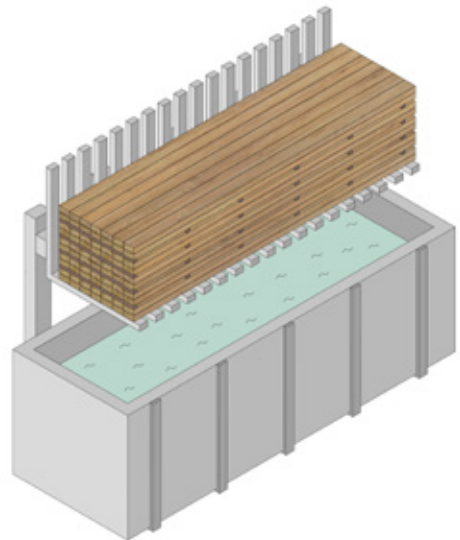


Figura 5.13 – Inmersión en estanque



Figura 5.14 - Termotrado

5.1.3 Otros métodos: Modificación celular

La **modificación celular de la madera** corresponde a un tratamiento químico, biológico o físico, que altera de manera permanente una o varias de sus propiedades. Como resultado, la madera modificada se considera un **nuevo material**, con propiedades distintas a las de la madera en su estado natural (Touza, 2013).

Cuando el objetivo de la modificación de la madera es aumentar su resistencia a ataques biológicos, el mecanismo de acción no se basa en un efecto biocida, sino en transformar la madera en un sustrato poco atractivo como fuente de nutrientes para hongos e insectos xilófagos. De este modo, se obtiene un material más estable y duradero, que además presenta la ventaja medioambiental de no requerir la aplicación de productos tóxicos para alcanzar una alta durabilidad.

Entre los procesos de modificación celular, existen principalmente dos tipos; térmica y química. Por un lado, la **modificación térmica**, utiliza el calor como agente de tratamiento, aplicado bajo condiciones específicas de temperatura, oxígeno y humedad, lo que provoca la degradación parcial de los componentes de la pared celular, principalmente de las hemicelulosas. Por otro lado, la **modificación química** ocurre cuando un reactivo químico reacciona con los polímeros de la pared celular (lignina, hemicelulosa o celulosa), generando un cambio químico permanente en la estructura macromolecular de la madera.

Los principales métodos de modificación química son el acetilado (5.1.3.2) y el furfurilado (5.1.3.3). Ambos confieren mejoras significativas en términos de durabilidad y desempeño frente a la humedad; sin embargo, presentan diferencias relevantes en sus propiedades y aplicaciones. La **madera acetilada** destaca por su excelente estabilidad dimensional, generalmente superior a la madera furfurilada, y por su alta durabilidad sin necesidad de incorporar biocidas adicionales. En contraste, la **madera furfurilada**, se caracteriza por su mayor dureza y rigidez, lo que la convierte en una alternativa atractiva para aplicaciones exteriores exigentes, como terrazas, revestimientos y mobiliario urbano. Cabe señalar que estas propiedades pueden variar en función de la especie maderera utilizada, el uso final, el proyecto específico y las posibles variaciones en las fórmulas de tratamiento (Mantanis, 2017).

Según la normativa vigente en cada país o los criterios de normalización aplicados, la madera modificada se clasifica como un nuevo material, con una durabilidad propia determinada por la especie maderera y el proceso de tratamiento al que ha sido sometida. Si bien el desarrollo tecnológico de estos procesos no es reciente, el acceso al mercado de la madera modificada ha cobrado impulso en los últimos años, impulsado principalmente por la preocupación ambiental en torno al uso de biocidas y por las restricciones de importación de especies naturales de alta durabilidad. En este contexto, la madera modificada se posiciona como un material con popularidad creciente y un uso comercial en expansión (Touza, 2013).

5.1.3.1 Termotratado

El objetivo del termotratado es modificar de manera permanente la estructura química de la madera mediante un pirólisis inerte controlada, con el propósito de mejorar propiedades como la resistencia frente a agentes de biodeterioro, entre ellos hongos e insectos xilófagos. Gracias a estas mejoras, la madera termotratada puede emplearse en elementos expuestos en edificaciones, especialmente en revestimientos exteriores y terrazas, donde se requiere una mayor durabilidad frente a los efectos de la intemperie y un comportamiento dimensional más estable ante a variaciones de humedad. No obstante, este tratamiento requiere de productos protectores complementarios contra la radiación ultravioleta (UV), ya que la superficie expuesta tiende a deteriorarse con rapidez. Asimismo, resulta fundamental considerar la compatibilidad con uniones metálicas, adhesivos, tratamientos complementarios, acabados y otros tratamientos complementarios, con el fin de asegurar el adecuado desempeño del material en servicio (Touza, 2013)(Lebow et al., 2019).

El **termotratado** consiste en un proceso en el cual las piezas de madera se exponen a temperaturas elevadas, entre 160°C a 260°C, durante un período aproximado de 8 horas, aunque esta duración puede reducirse a la mitad o duplicarse según la sección de la pieza (Lebow et al., 2019). El tratamiento se lleva a cabo en hornos especializados bajo condiciones estrictamente controladas, caracterizadas por una atmósfera inerte con un bajo contenido de oxígeno. Para ello se emplean vapor de agua, vacío, nitrógeno o incluso aceites vegetales, cuya función es minimizar la presencia de oxígeno y, de este modo, evitar el deterioro químico no deseado asociado a procesos de combustión o reacciones de oxidación.

El tratamiento térmico es compatible con una amplia variedad de especies madereras, lo que lo hace especialmente útil en aquellas que resultan difíciles de impregnar con soluciones químicas de preservación. No obstante, este método no garantiza protección

frente a ataques de termitas, por lo que su aplicación se recomienda en elementos que no tengan contacto directo con el suelo (Touza, 2013)(Lebow et al., 2019).

Los cambios más relevantes que experimenta la madera al ser sometida a termotratamiento son los siguientes (Guindos, 2019)(Touza, 2013):

- Incremento de su **durabilidad natural**.
- **Reducción de la capacidad de absorción de humedad**, lo que mejora su **estabilidad dimensional** al evitar el estrés de la hinchazón y contracción.
- **Disminución de la conductividad térmica**, mejorando el aislamiento del material.
- Conservación de su **aspecto natural** en una tonalidad más oscura.
- Eliminación de las resinas presentes en la pieza.
- **Posibilidad de reciclaje**, ya que el proceso no implica el uso de productos químicos adicionales.

No obstante, este tratamiento de modificación celular también presenta desventajas. Se ha documentado una reducción de aproximadamente un 30% en la resistencia a flexión (Guindos, 2019), así como disminuciones en el módulo de elasticidad y en la resistencia al impacto (Touza, 2013). En consecuencia, las propiedades mecánicas originales de la madera no se conservan por completo tras el proceso de termotratado.

Además, se trata de un proceso con un costo elevado en comparación tanto con la madera natural como con aquella tratada químicamente. Aunque en Europa su uso está ampliamente difundido con fines comerciales, en América su aplicación sigue siendo limitada, principalmente debido a los costos asociados. (Guindos, 2019) (Lebow et al., 2019).

TERMOTRATADO

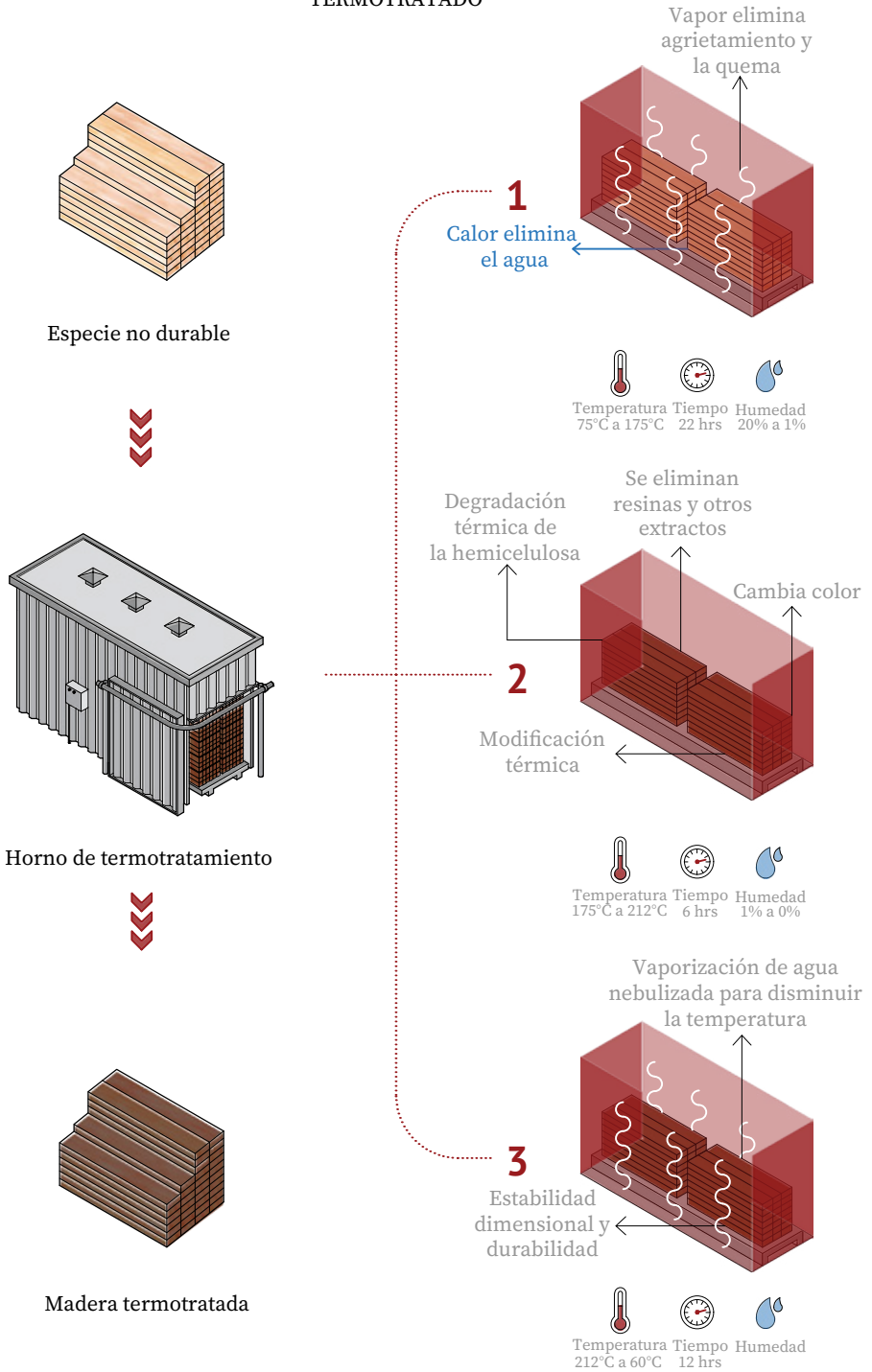


Figura 5.15 – Proceso Madera termotratado

5.1.3.2 Acetilado

El **acetilado** tiene el objetivo de **mejorar de forma permanente la durabilidad natural y estabilidad dimensional de la madera**, mediante una **modificación química** que reduce significativamente su capacidad de absorber agua y la hace resistente al ataque de hongos, insectos xilófagos e incluso algunas especies de termitas. Gracias a estas propiedades, la madera acetilada se suele utilizar en aplicaciones exigentes, como ventanas, envolventes, terrazas, mobiliario urbano e incluso en elementos en contacto con agua dulce (Touza, 2013) (Ayanleye et al., 2022).

Este proceso de acetilado para la modificación celular de la madera consiste en **sustituir los grupos hidróxilo** (-OH), presentes de forma natural en la madera, y responsables de la absorción de agua, **por grupos acetilo** (-COCH₃), los cuales son hidrofóbicos y reducen la capacidad de la madera de absorber humedad. Este proceso se lleva a cabo utilizando **anhídrido acético**, que se aplica mediante la metodología de vacío y presión, lo que permite impregnar en profundidad la madera. Como producto secundario de esta reacción, **se genera ácido acético**, el cual puede ser recuperado y transformado nuevamente en anhídrido acético, cerrando así el ciclo de utilización del reactivo (Touza, 2013).

Este tratamiento de modificación celular **incrementa la masa de la pieza de madera tratada entre un 15% y**

un 20%, lo que refleja la incorporación de una cantidad considerable de reactivos para alcanzar los niveles de durabilidad esperados. Sin embargo, este proceso permite que la madera alcance el máximo nivel de durabilidad establecido para las especies madereras (EN 350-2). El resultado es un material altamente resistente al biodeterioro, incluyendo ataques de hongos e insectos xilófagos, entre ellos algunas especies de termitas, dado que las enzimas de estos organismos no logran degradar eficazmente la madera acetilada. Asimismo, este tratamiento mejora notablemente la resistencia frente a factores ambientales, como la meteorización y los efectos asociados a la humedad.

No obstante, aún no existen suficientes estudios sobre el desempeño de este tipo de maderas frente a ciertas dificultades asociadas a su uso. Por ejemplo, la reducción de la higroscopicidad puede influir en la calidad de la adhesión, lo que obliga a verificar en cada caso la **compatibilidad entre los adhesivos y de la madera acetilada**. A diferencia del termotratado, este método de modificación no rompe la estructura interna de la pared celular, por lo que no debería afectar de manera significativa las fibras estructurales de las células ni las propiedades mecánicas de resistencia. Sin embargo, resulta necesario comprobar mediante ensayos específicos si la madera acetilada mantiene un comportamiento adecuado frente a distintas sollicitaciones mecánicas (Ayanleye et al., 2022).

ACETILADO

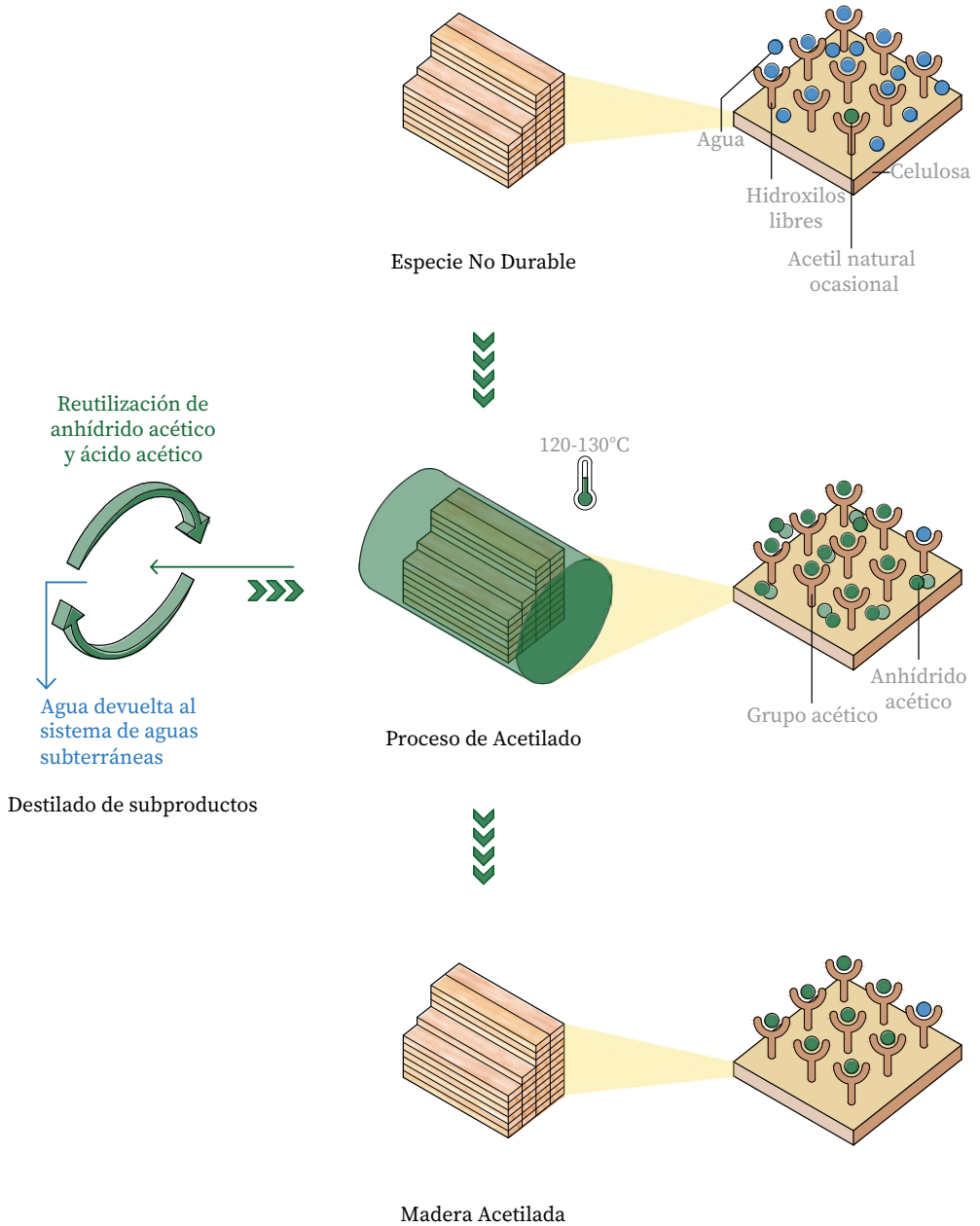


Figura 5.16 – Proceso Acetilado

5.1.3.3 Furfurilado

La **madera furfurilada** corresponde a un tratamiento de modificación cuyo objetivo es **aumentar significativamente la durabilidad natural de la madera**, mediante la incorporación de una resina biobasada en su estructura celular. Gracias a estas propiedades, la madera furfurilada se emplea en aplicaciones exigentes como carpintería y molduras exteriores, mobiliario urbano, terrazas y cubiertas de embarcaciones marinas (Touza, 2013)(Ayanleye et al., 2022).

El proceso de **furfurilado**, como tratamiento de modificación celular química de la madera, consiste en impregnarla con **alcohol furfurílico**, un compuesto derivado del furfural, obtenido a partir de residuos agrícolas. Una vez incorporado en la madera, este alcohol se polimeriza mediante la aplicación de calor, formando una resina *in situ* que rellena las paredes celulares. Se ha propuesto, además, que el alcohol furfurílico reacciona con algunos componentes estructurales de la madera, como la lignina, responsable de la rigidez y cohesión de la pared celular, lo que contribuiría a mejorar su estabilidad dimensional.

Esta metodología se lleva a cabo en autoclaves mediante **ciclos de vacío y presión**, e incluye un **secado intermedio**, etapa en la que ocurre la **polimerización dentro de las células de la madera**, seguido de un **secado final**. Durante el proceso, se generan **excedentes** que deben

ser gestionados de acuerdo con los requerimientos ambientales y normativos del lugar. (Touza, 2013) (Lebow et al., 2019).

Al igual que en el acetilado, la furfurilación de la madera provoca un **incremento en la densidad de la madera**, resultado de la retención del producto químico dentro de la estructura celular. En este caso, el aumento de masa generalmente supera el 20% de la madera original, lo que evidencia la cantidad de producto químico necesario para alcanzar la durabilidad y estabilidad dimensional esperadas.

Este tipo de modificación química mejora diversas propiedades de la madera, como la **higroscopicidad, densidad y dureza**, aunque provoca un **oscurecimiento del color natural de la madera** debido al calor necesario para activar los ingredientes activos. En cuanto a las propiedades mecánicas, es preciso realizar ensayos y cálculos conforme a las normativas de cada país para poder asignar un valor estructural adecuado a la madera furfurilada. De acuerdo con la UNE-EN 350-2, este tratamiento puede alcanzar el nivel más alto de durabilidad frente a hongos de pudrición. Respecto a las termitas, se considera que incrementa la durabilidad natural, aunque aún no existen estudios suficientes que respalden esta afirmación de manera concluyente (Lebow et al., 2019)(Touza, 2013).

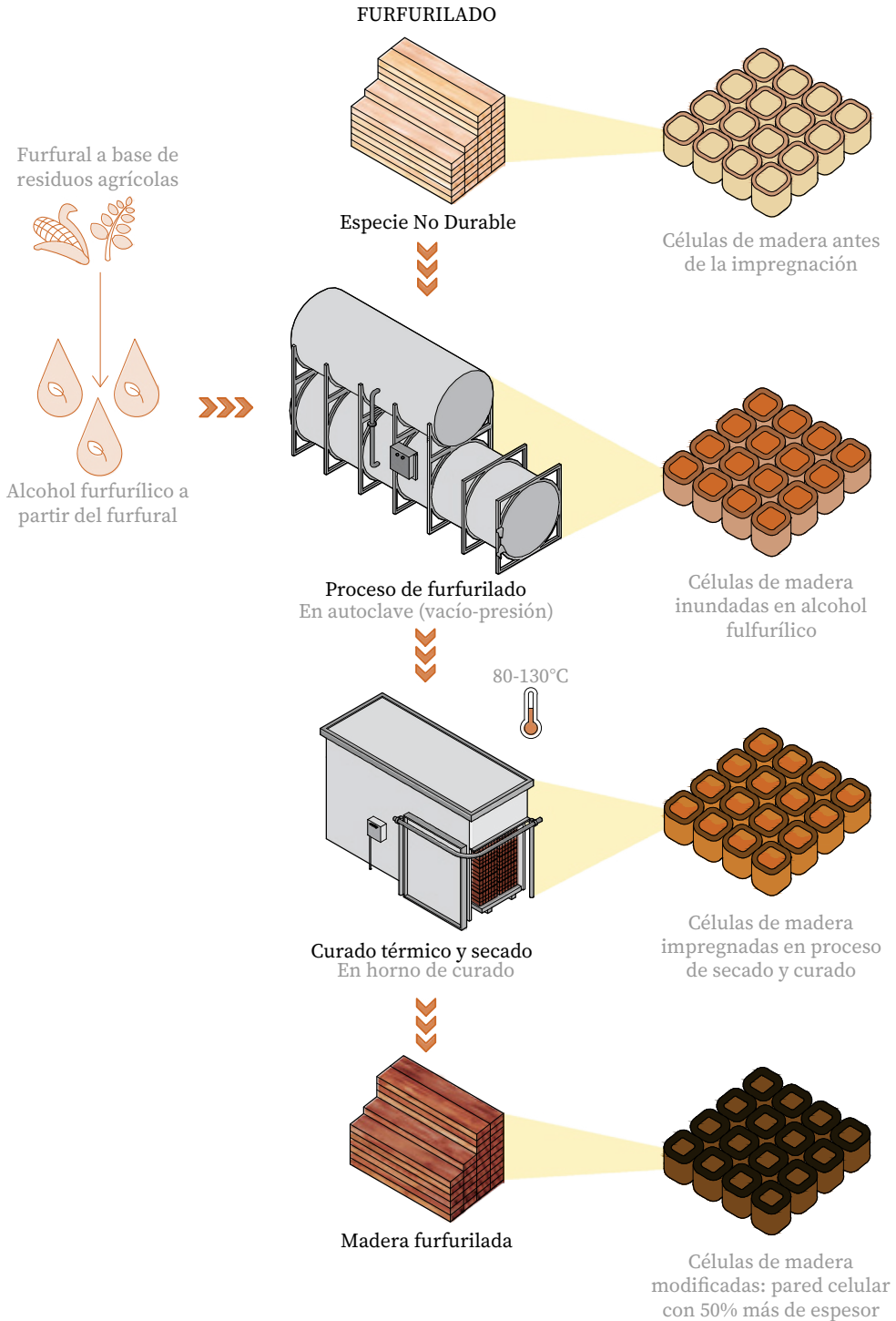


Figura 5.17 – Proceso furfurilado



06

Control de calidad

Para asegurar que la madera preservada alcance la durabilidad esperada frente a los distintos agentes de biodeterioro, se debe verificar que los resultados del tratamiento preservante cumplan con las exigencias normativas establecidas (3.3). Para ello, existen documentos que registran el proceso, como la hoja de carga (Figura 6.2), así como informes de ensayo o certificados que analizan las piezas después del tratamiento. Esta verificación posterior del tratamiento de impregnación, se puede realizar de manera interna (6.2.1), por la empresa que impregna, el distribuidor o el cliente, o de manera externa (6.2.2) a través de un laboratorio acreditado.

Los tratamientos preservantes deben cumplir con dos exigencias: la retención mínima (3.3.1) y el grado de penetración (3.3.2). Para ambas, se requiere verificar

mediante ensayos que hayan alcanzado los niveles adecuados, conforme a lo detallado en las secciones 3.3 - *Exigencias del tratamiento preservante* y 3.4 - *Normativa para evaluar la durabilidad a escala laboratorio*.

Este capítulo se organiza en cuatro secciones. La sección 6.1 describe el proceso de obtención de probetas, conforme a la normativa vigente. La sección 6.2 presenta los métodos de verificación del tratamiento de impregnación industrial, incluyendo tanto la verificación interna como la realizada por laboratorios externos. En la sección 6.3 se presentan los mecanismos de garantías y protección al usuario. Finalmente, la sección 6.4 aborda el rotulado para la comercialización, herramienta que identifica las cualidades de un producto de madera, permitiendo su trazabilidad y una correcta selección de este.



Figura 6.1 – Muestra y obtención de probetas

6.1 Muestreo y obtención de probetas

El **muestreo** es un proceso para evaluar la calidad del tratamiento preservante aplicado a productos de madera. La normativa NCh819 establece el procedimiento para realizar el muestreo y la **metodología para la obtención de probetas**, con el objetivo de garantizar la representatividad y confiabilidad de los ensayos de laboratorio que evalúan la retención y penetración del preservante.

De acuerdo con la NCh819, el muestreo puede realizarse por carga o por lote, dependiendo de cómo se haya gestionado el tratamiento. El **muestreo por carga** se aplica cuando se dispone de información clara y trazable del tratamiento aplicado a un conjunto específico de piezas, es decir, todas ellas fueron tratadas juntas bajo las mismas condiciones, respaldadas por una hoja de carga (Figura 6.2).

En cambio, el **muestreo por lote** se utiliza cuando no se tiene trazabilidad individual de las piezas de madera por carga, por mezclas de distintas cargas o por acuerdo entre cliente y proveedor. En este caso,

el lote se considera como una unidad de análisis y las muestras deben representar proporcionalmente las características del conjunto.

En ambos casos, el muestreo debe realizarse de manera aleatoria, siguiendo lo establecido en la NCh43, y ser representativo del conjunto de piezas tratadas, de modo que los resultados obtenidos reflejen con precisión la calidad del tratamiento aplicado. Una vez realizados los ensayos de laboratorio, dichos resultados, según indica la NCh819, deben evaluarse de acuerdo con los niveles de aceptación definidos en la normativa, considerando tanto los valores obtenidos de retención (3.3.1) como los de penetración del preservante (3.3.2). Con esta información, se determina qué porcentaje de unidades analizadas cumple con los niveles de aceptación (Tabla 21), tomando en cuenta el tipo de muestreo (carga o lote), la norma de muestreo aplicada y el AQL (Acceptable Quality Level) preestablecido, para verificar si corresponde aceptar o rechazar la carga o lote. En caso de rechazo, si el muestreo se realiza por censo de cargas, solo se rechaza la carga que no cumple con los niveles de aceptación. En cambio, si el muestreo se realiza sobre un lote, evaluado mediante una muestra representativa del conjunto, se debe rechazar la totalidad del lote.

TABLA 21 - NIVELES DE ACEPTACIÓN PARA LOS REQUISITOS DE RETENCIÓN Y PENETRACIÓN DEL PRODUCTO PRESERVADO

Tipo de muestreo	Norma de referencia	Nivel de aceptación para el requisito de penetración	Nivel de aceptación para el requisito de retención
Muestreo por carga	Censo	90% o más de las probetas cumplen requisito	≥ requisito grupo riesgo (Tabla 3)
	NCh1208 Nivel V		AQL 10
Muestreo por lote	NCh1208 Nivel I	90% o más de las probetas cumplen requisito	AQL 10
	NCh44 Nivel S-4	AQL 6,5	AQL 6,5

Nota: Desarrollada en base a Tabla 10 de la NCh819, dentro del punto 5.3 Aceptación y rechazo, en 5. Requisitos.

Las disposiciones generales para el muestreo indican lo siguiente según la NCh819:

- i. El producto por muestrear se puede presentar por carga o por lote.
- ii. Cada lote o carga debe estar claramente identificado y contar con elementos o piezas que permitan su trazabilidad.
- iii. En lo posible, cada lote o carga debe estar constituido por piezas del mismo tipo.
- iv. Cuando un lote está constituido por dos o más cargas, estas se deben someter a procesos de preservación bajo las mismas condiciones.

se muestrean las cargas en esta modalidad, se debe seguir la NCh1208, inspección normal, Nivel V, que determina el tamaño de la muestra y los criterios de aceptación y rechazo. Específicamente, para postes de transmisión y pilotes de circunferencia mayor que 950 mm, la muestra comprende todas las piezas de la carga.

Un informe de ensayo debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

La hoja de carga debe presentar un listado mínimo de antecedentes, según indica la NCh819; estos corresponden a los siguientes:

- Numero de carga.
- Fecha de aplicación del proceso de preservación.
- Contenido de humedad de la madera.
- Volumen y cantidad de piezas por dimensiones.
- Tipo de preservante.
- Grupo de riesgo.
- Concentración de la solución.
- Tiempos de proceso.
- Retención esperada.

6.1.1 Muestreo por carga

El muestreo por carga requiere que cada conjunto de piezas esté acompañado de una hoja de carga que contenga, como mínimo, los antecedentes presentados a continuación. Para realizar un muestreo por carga existen dos modalidades descritas en la NCh819 y expuestas en la [Tabla 21](#):

- **Censo:** este considera extraer 20 piezas de forma aleatoria de la carga. De cada una de estas piezas se debe extraer una probeta. Si la carga se compone de un número menor a 20 piezas, se extraen probetas de todas las piezas de la carga e incluso, de ser necesario para el análisis, se debe extraer más de una probeta por pieza.
- **Aleatorio:** este método de selección de muestras al azar se rige por la NCh43, que describe cómo se deben realizar los procedimientos aleatorios. Cuando

Si las piezas del conjunto de los lotes y cargas no son homogéneas, es decir, cuando existen diferencias significativas entre las piezas tratadas, se debe realizar un muestreo estratificado. Este proceso divide el conjunto total de piezas en subgrupos o estratos que comparten características en común, como dimensiones de las

piezas, espesor, presencia de duramen expuesto u otros criterios técnicos. A partir de estos subgrupos, se seleccionan las muestras de forma aleatoria y en proporción a su volumen, garantizando la representatividad del muestreo.

Respecto al proceso, a cada unidad de muestreo seleccionada se le debe extraer, al menos, una probeta, la cual será utilizada inicialmente para evaluar la penetración del preservante (3.3.2). Luego, todas las porciones extraídas de las probetas se deben juntar y mezclar en una sola muestra compuesta para el análisis de retención (3.3.1).

Para garantizar los resultados, la zona de extracción de probetas debe estar libre de defectos naturales o mecánicos que puedan alterar las condiciones de penetración y/o retención, tales como nudos, bolsas de resina, grietas, rajaduras u otras irregularidades.

6.1.1.1 Muestreo tratado con preservantes del tipo LOSP

En el caso específico de maderas tratadas con preservantes de tipo LOSP (*Light Organic Solvent Preservatives*), el procedimiento de muestreo es distinto y presenta un orden detallado debido a las características fisicoquímicas de este tipo de productos. Se deben preparar 10 probetas de 300 mm de largo, a partir de piezas de igual sección y características técnicas. Estas probetas deben numerarse, pesarse y sellarse con abundante adhesivo PVA en sus extremos para evitar la evaporación del preservante.

Además, se debe identificar y distinguir la madera de albura y la de duramen mediante análisis colorimétrico, ya que el duramen no debe considerarse en el análisis de retención. Las probetas deben ubicarse aleatoriamente en distintos puntos para cubrir todas las zonas de la carga sometida al proceso de preservación, de modo que su posterior evaluación represente, efectivamente, los valores de penetración y retención de la carga o del lote en su conjunto.

Finalizado el proceso de preservación, se recuperan inmediatamente las probetas para cuantificar la retención obtenida y se mide la penetración en cortes transversales de 30 mm de longitud obtenidos de cada probeta.

6.1.2 Muestreo por lote

El muestreo por lote se realiza cuando se ha perdido la trazabilidad o identidad de las cargas, o por acuerdo entre cliente y proveedor. Este tipo de muestreo debe cumplir con distintas disposiciones; en este caso, las unidades deben extraerse de forma aleatoria, siguiendo la norma NCh43, y representar proporcionalmente las diferentes escuadrías o diámetros del presente lote.

Cada unidad de muestreo debe evaluarse individualmente para determinar el grado de penetración (3.3.2). Luego, se analizan todas las zonas de ensayo de esas probetas para realizar un análisis de retención (3.3.1), según los requerimientos normativos (*Capítulo 3*).

El tamaño de la muestra dependerá del tamaño del lote y del tipo de inspección elegida:

- Por **atributos**, se usa la NCh44, inspección normal, Nivel S-4, siendo proporcional a las escuadrías del lote.
- Por **variables**, se usa la NCh1208, inspección normal, Nivel I.

Según el tipo de inspección, se guían los requerimientos de niveles de aceptación de los requisitos de penetración y retención, por lo que el lote, para ser aprobado, debe cumplir en su conjunto ambos resultados, según lo que indica la *Tabla 21*.

HOJA DE CARGA

Producto: Wolman CCA / 60%
 Planta : X
 Carga N° : 54 Fecha: 04/08/2019

TRATAMIENTO

CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA A TRATAR

# Piezas	Dimensión mm	m2	Descripción / uso	Cliente	Orden N°
450	45 x 69 x 3200	4,47	ASERRADA - SECA	CONSTRUCTORA XX	XX
Cantidad de piezas: 4,47 m2			CONTENIDO DE HUMEDAD: <20%		
El contenido de humedad no debe exceder el 28%					

HISTORIAL DE TRATAMIENTO

	Presión máxima o Vacío	Hora de Partida	Hora de Término	Tiempo transcurrido	
				Horas	Mins.
Período de vacío inicial	Pulg./Hg.	09:55	10:05		10
Inundación de Cilindro		10:05	10:10		5
Período de presión	Psi	10:10	10:35		25
Vaciado de Cilindro		10:35	10:50		15
Vacío Final	Pulg./Hg.	10:50	10:10		20
Vaciado Final del Cilindro		11:10	11:13		3
Tiempo total de tratamiento:				1	18

ESPECIFICACIÓN (2) DEL TRATAMIENTO

Retención 4,0 Kgxx/m3
 NCh819 = 6,7 KgWol/m3

Concentración de la solución	t° 15 c° d 1,0090	conc. 1,87%
Retención Requerida (a)		6,7 Kg/m3
Absorción Requerida (b)		358 Lt/m3
Cantidad de Madera (c)		4,47 m3
Absorción total requerida (d)=(b)x (c)		1600 Lts.

RESULTADO DEL TRATAMIENTO

Preservante Específico(1)	(c)x Conc.% Kg.	30
Preservante Consumido(1)	(j)x Conc.% Kg.	30

Volúmen de solución de antes de tratamiento (e)	11.500 Lts.
Volúmen de solución de después de la inundación (f)	4000 Lts.
Volúmen de solución de después de la Presión (g)	1950 Lts.
Volúmen de solución de después de Trasvasije (h)	9400 Lts.
Volúmen de solución de después del vacío final (i)	9900 Lts.
Absorción Total obtenida (j)=(e) - (i)	1600 Lts.
Absorción por m3 (k)=(j) / (c)	358 Lts./m3
Retención obtenida (L)=(k)x Conc.%	6,7 Lts.
Sobre carga - Bajo carga	____ Lts. ____ %

- 1)La concentración debe ser en producto
- 2)En especificación del tratamiento, la concentración y retención deben ir arriba, en producto y en óxido.
- 3)La concentración en producto se calcula: concentración en óxido dividido por concentración del preservante concentrado.

OBSERVACIONES:

LA CARGA CUMPLE CON
LO ESPECIFICADO

Dirección planta de tratamiento - Teléfono / Fax planta de tratamiento
 Dirección de oficina de planta de tratamiento

Figura 6.2 – Hoja de carga tipo

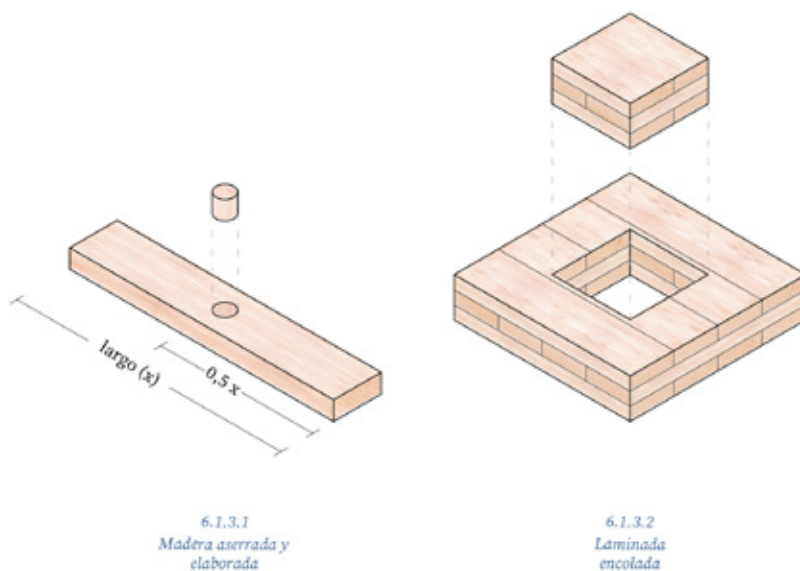


Figura 6.3 – Tipos de probeta

6.1.3 Obtención de probetas

La obtención de probetas, según lo indicado en la NCh819, depende del tipo y de las características específicas del producto de madera tratado. Esta norma diferencia cuatro tipos de productos para la obtención de probetas, dentro de los cuales dos aplican en el caso de la construcción: madera aserrada y elaborada (6.1.3.1) y madera laminada encolada (6.1.3.2).

6.1.3.1 Madera aserrada y elaborada

En cada unidad de muestreo se deben extraer probetas hasta el centro de la pieza, de forma perpendicular a la superficie, preferentemente en dirección perpendicular a los anillos de crecimiento, en la zona de mayor espesor de la albura y, siempre que sea posible, de la

parte central de la pieza en sentido longitudinal y aproximadamente en el punto medio de la cara muestreada. Las probetas no se pueden romper y se debe eliminar cualquier presencia de médula.

6.1.3.2 Madera laminada encolada

Las probetas para ensayo de penetración se deben extraer perpendicularmente a la superficie, de una lámina o de cualquier zona de la pieza o elemento de madera laminada encolada. Las probetas no se pueden romper y se debe eliminar cualquier presencia de médula y nudos.

Para el análisis de retención, se deben extraer las probetas en la lámina, en dirección preferentemente perpendicular a los anillos de crecimiento y en la zona de mayor espesor de albura.

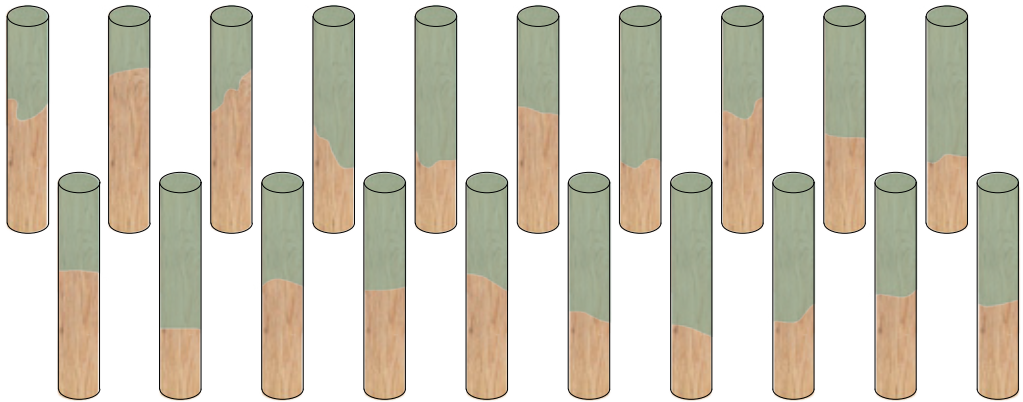


Figura 6.4 – Probeta tipo tarugo

6.2 Verificación del tratamiento de impregnación industrial

La verificación (o validación) posterior al tratamiento de impregnación industrial siempre debe realizarse con el objetivo de comprobar si los productos de madera alcanzaron los requerimientos exigidos. Esta verificación se puede realizar de manera interna, es decir, que la puede realizar la empresa que impregna, el proveedor del producto o el cliente final. Por otro lado, si se requiere una verificación externa, esta la debe realizar un laboratorio inscrito y autorizado, el cual entregará los resultados mediante un informe de ensayo.

6.2.1 Verificación interna: Materiales, procedimientos y registros

Los productores de madera impregnada tienen la obligación de satisfacer y cumplir con los requisitos de calidad impuestos por la NCh819. Esto implica utilizar productos que tengan registro SAG y realizar un estricto control de calidad de todos los materiales,

mediante procedimientos y registros que se ejecuten antes y después de un ciclo de impregnación o carga.

Para lograr un procedimiento óptimo se deben determinar los objetivos básicos que aseguren que el producto final cumpla con los requerimientos exigidos. Estos incluyen el nivel de retención y grado de penetración deseados, el peso del producto tratado y el tiempo de ciclo o nivel de producción.

Adicionalmente, factores como la especie maderera, sus dimensiones, el contenido de humedad y la capacidad de los equipos de las plantas afectan el tipo de tratamiento utilizado. Los ciclos de tratamiento aplicados para un mismo material pueden variar entre distintas plantas, dependiendo de su objetivo y equipamiento. Por lo tanto, es fundamental que las plantas de impregnación calibren constantemente sus procesos internos.

Además del control operativo de cada ciclo, las plantas de impregnación deben mantener una gestión interna sistemática que permita asegurar la calidad del tratamiento y su trazabilidad. Para ello, es vital mantener registros de las hojas de carga (Figura 6.2), contar con personal capacitado para operar los equipos, preparar

soluciones y evaluar los resultados, y generar la retroalimentación necesaria, ya que su conocimiento técnico influye directamente en la consistencia del proceso. Asimismo, los instrumentos utilizados deben ser verificados y calibrados periódicamente para garantizar su precisión. Finalmente, estos procesos deben verificarse internamente con ensayos que confirmen los valores de los niveles de retención y grado de penetración del preservante requeridos, ya sea mediante indicadores visuales y/o análisis químicos.

6.2.2 Verificación externa: Laboratorios inscritos

La verificación por una entidad externa mediante un laboratorio inscrito no está estipulada como un requerimiento obligatorio en la NCh819; sin embargo, puede ser exigida en ciertas ocasiones, como en casos de proyectos de vivienda social donde el MINVU exige el cumplimiento de requisitos técnicos específicos que garanticen la durabilidad de los elementos de madera, los cuales, según la normativa, deben pasar por un proceso de impregnación industrial y ser protegidos, reportándolo mediante un informe de ensayo (6.2.3.1) realizado por un laboratorio autorizado.

Estos laboratorios deben ser entidades acreditadas, y encontrarse inscritas tanto en el Instituto nacional de normalización (INN), en el listado de laboratorios de ensayo acreditados⁵, que se puede encontrar en el Directorio de acreditados. Por otro lado, deben estar en el Registro Nacional de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de la Construcción⁶, publicado por el Departamento de Gestión de Proveedores y Registros Técnicos de la Ditec – MINVU.

A la fecha de publicación de este documento, los laboratorios indicados en la *Tabla 22* son aquellos que se encuentran registrados.

6.2.3 Documentos que acreditan la verificación interna o externa.

Para acreditar que la impregnación de la madera ha sido verificada, ya sea de forma interna o externa, existen dos documentos reconocidos en la normativa: el informe de ensayo y el certificado. En el escenario

actual de Chile, el único que se utiliza actualmente es el informe de ensayo.

6.2.3.1 Informe de ensayo

El informe de ensayo es el principal respaldo técnico cuando se realiza una verificación del tratamiento de impregnación. Según lo establecido en el punto 8.1 de la NCh819, este informe debe contener, como mínimo, la información que se presenta a continuación. Puede ser emitido internamente (6.2.1) o por una entidad externa (6.2.2). Su propósito es comprobar si el tratamiento alcanzó los niveles mínimos exigidos y sirve como un instrumento válido para el proceso de control de calidad.

Un informe de ensayo debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

- a) Número único y correlativo del informe de ensayo.
 - b) Fecha de muestreo.
 - c) Fecha de los ensayos.
 - d) Fecha del informe.
 - e) Nombre de la persona responsable del muestreo.
 - f) Nombre de la persona responsable de los ensayos.
 - g) Nombre y firma de la persona responsable de la información contenida en el informe de ensayo.
 - h) Tipo de muestreo.
 - i) Volumen de madera.
 - j) Preservante utilizado.
 - k) Grupo de riesgo.
 - l) Resultados de los ensayos de retención.
 - m) Resultados de los ensayos de penetración.
- Se recomienda incluir también:
- n) N° de la carga⁷.

5. <https://directorio.inn.cl/>

6. <https://proveedores tecnicos.minvu.gob.cl/registro-de-laboratorios-2/>

7. Variable que permite la trazabilidad interna en la plata de producción.

| TABLA 22 - LISTADO LABORATORIOS

Nombre de la Empresa		Laboratorios Acreditados		Laboratorios que realizan los análisis sin acreditación	
		Sociedad Consultora Profesional Limitada Holzbeton Kontroll Ltda. O Coprof Ltda.	Laboratorio Ciencias de la Construcción de Universidad del Bio-Bío.	Terroir	Analab
Especialidad		Madera preservada	Madera preservada	Agrícolas y vitivinícolas	Alimentos, agroindustria y medioambiente
Vigencia (año)		2026	2027	No aplica	No aplica
Listado de Laboratorio acreditado	INN	✓	✓	No aplica	No aplica
	Ditec - Minvu	✓	✓	No aplica	No aplica
Muestreo acreditado	Segun NCh819:2012 y 2019	✓	✓	No aplica	No aplica
Medición Penetración	B2O3 [Óxido de boro]	-	-	-	-
	CA-B [Cobre más tebuconazol Tipo B]	✓ ⁽¹⁾	✓ ⁽¹⁾	-	-
	MCA-z [Cobre micronizado más tebuconazol]	✓ ⁽¹⁾	✓ ⁽¹⁾	-	-
	μCA-C [Cobre micronizado más propiconazol y tebuconazol]	✓ ⁽¹⁾	✓ ⁽¹⁾	-	-
	CCA [Óxidos de cobre, cromo y de arsénico]	✓	✓	✓	-
	LOSP [Permetrina más tebuconazol y propiconazol]	-	-	-	-
	Medición Retención	B2O3 [Óxido de boro] AWPAA78	-	-	-
CA-B [Cobre más tebuconazol Tipo B]		✓ ⁽²⁾	✓ ⁽²⁾	✓	✓ ⁽³⁾
MCA-z [Cobre micronizado más tebuconazol]		✓ ⁽²⁾	✓ ⁽²⁾	✓	✓ ⁽³⁾
μCA-C [Cobre micronizado más propiconazol y tebuconazol]		✓ ⁽²⁾	✓ ⁽²⁾	✓	✓ ⁽³⁾
CCA [Óxidos de cobre, cromo y de arsénico]		✓ ⁽²⁾	✓ ⁽²⁾	✓	✓
LOSP (Permetrina más tebuconazol y propiconazol)		-	✓ ⁽⁴⁾	✓	✓

Notas:

⁽¹⁾ NCh819, no especifica indicadores colorimétricos para asoles.⁽²⁾ Solo activo cobre, no los azoles⁽³⁾ Solo azoles⁽⁴⁾ Solo Permetrina

Eurofins también está acreditado pero el 31/12/2024, decidió e informo a la industria el cierre de su laboratorio de control de calidad de madera.

LABORATORIO ÁREA CALIDAD DE LA MADERA
INFORME DE ENSAYO N°01

MUESTRA : Trozos de madera impregnada con Vacsol
 PRESERVANTE : VACSOL
 TRATAMIENTO : Vacío - vacío
 SECADO : Cámara
 NOMBRE CLIENTE :
 DIRECCIÓN CLIENTE :
 AT.SR/A :
 PARA/MANDANTE :
 OBRA/PAÍS :
 PROVEEDOR :
 N° GUÍA :
 LUGAR MUESTREO :
 NOMBRE MUESTREADOR :
 MÉTODO DE MUESTREO/PLAN : No aplica
 NIVEL DE INSPECCIÓN : N° MUESTRAS : 02
 PUNTO DE MUESTREO :
 EQUIPO : TLMa13
 FECHA/HORA MUESTREO : FECHA RECEPCIÓN :
 FECHA/HORA INICIO ENSAYO : FECHA/HORA TÉRMINO :
 LUGAR/FECHA DE EMISIÓN : Laboratorio Maderas / ENSAYO :
 INFORME :
 DIRECCIÓN LABORATORIO :

RESULTADOS

N° Registro	N° Carga	Identificación Muestra*	Fecha Impregnación*	Absorción Lt/m3	Retención (Kg/m3)				Grupo Riesgo	Situación
					Permetrina	Tebuconazol	Propiconazol	Total		
8728	1195	NT97418 FASCIA NUD 30x188x7200	03/05/2024	24,3	0,063	0,261	0,157	0,481	R1, R2, R3	CUMPLE
8729	1195	NT97493 FASCIA NUD 30x188x4800	02/05/2024	30,8	0,057	0,220	0,138	0,415		CUMPLE
Exigencia (mínima) NCh819:2019					0,088	0,260		0,346		

N° Register	N° Load	Identification Sample*	Date Impregnation*	Absorption Lt/m3	Retention (% mass/mass based on the oven-dried mass of the treated wood)				Hazard Class	Situation
					Permetrina	Tebuconazol	Propiconazol	Total		
8728	1195	NT97418 FASCIA NUD 30x188x7200	03/05/2024	24,3	0,013	0,05	0,03	0,09	R1, R2, R3	ACCEPTED
8729	1195	NT97493 FASCIA NUD 30x188x4800	02/05/2024	30,8	0,01	0,05	0,03	0,09		ACCEPTED
Exigencia (mínima) NCh819:2019					0,02	0,06		0,08		

REQUISITOS

Ensayo	Requisito mínimo	Grupo Riesgo	Norma	Requisito mínimo	Grupo Riesgo	Norma
Retención	0,086 + 0,26 Kg/m3	R1, R2, R3	NCh819:2019	0,08 P/P	HAZARD 3	AS/NZS 1604.1

Requisito mínimo	Grupo Riesgo	Norma
Penetración	R1, R2, R3	NCh819:2019
La penetración debe ser mayor o igual a 5mm en todas las superficies		

Figura 6.5 – Ejemplo informe de ensayo

6.2.3.2 Certificado

El certificado de tratamiento preservante, regulado por el punto 8.2 de la NCh819, corresponde a una verificación externa y solo puede ser emitido por un organismo de certificación que asuma la responsabilidad de la declaración de conformidad que emite.

A diferencia del informe de ensayo, que presenta simplemente los resultados técnicos obtenidos en laboratorio, el certificado representa una declaración formal de cumplimiento de los requisitos establecidos por norma. Esta condición le otorga un carácter contractual entre las partes y permite su utilización como respaldo para inspecciones, procesos de licitación o exigencias de garantías. En el contexto de Chile, no existen organismos ni empresas que certifiquen madera preservada, por lo que, en la práctica, solo se emiten informes de ensayo como métodos de verificación técnica.

La certificación debe contar con un listado de información mínima para ser válido, este listado debe contener los siguientes datos como requisito:

- a) Numeración; número único y correlativo del certificado que se emite.
- b) Fecha.
- c) Identificación del cliente.
- d) Identificación del inspector.
- e) Fecha de inspección.
- f) Lugar de inspección.
- g) Tipo de producto inspeccionado.
- h) Caracterización del producto inspeccionado.
- i) Tipo de preservante.
- j) Tipo de tratamiento de preservación.
- k) Grupo de riesgo.
 - 1. Parámetros a evaluar.
 - 2. Requisitos a cumplir.
 - 3. Norma de referencia.
- l) Presentación del producto inspeccionado; forma de presentar el producto a muestrear (por carga, por lote o censo).
- m) Tipo de muestreo aplicado en la inspección, indicando:
 - 1. normas de referencia.
 - 2. nivel de inspección.
 - 3. AQL empleado o indicación del informe de inspección.
- n) Resultados de los análisis aplicados en la inspección; según corresponda:
 - 1. Indicación de los estimadores obtenidos de la inspección.
 - 2. Indicación cualitativa de los atributos inspeccionados.
- o) Conclusión de la certificación.
- p) Expresión de responsabilidad del organismo de certificación; indicación de las condiciones para las que el certificado es válido.
- q) Nombre o razón social, firma y timbre del organismo de certificación.

6.3 Garantías de protección al usuario

En el contexto chileno, no existe un sistema formal de garantías asociado al tratamiento preservante de la madera. Actualmente, la legislación no exige a las empresas impregnadoras, fabricantes ni distribuidoras de productos preservantes entregar garantías en relación con la durabilidad de la madera, ni existe algún organismo que realice la certificación de la madera preservada.

Por lo tanto, la protección del usuario frente a eventuales fallas del tratamiento depende exclusivamente de que la madera preservada cumpla con los requisitos técnicos establecidos por la NCh819, en particular en lo que respecta a los niveles mínimos de penetración y retención del preservante según el nivel de riesgo correspondiente. Esta verificación suele realizarse mediante informes de ensayo (6.2.3.1).

A nivel internacional, en cambio, es común que las empresas que fabrican y comercializan productos preservantes ofrezcan garantías de desempeño. Estas garantías, basadas en evidencia técnica y estudios, establecen periodos determinados de protección del producto tratado, dependiendo del tipo de preservante, las condiciones de uso y mantenimientos correspondientes. En caso de falla atribuible al tratamiento, estas empresas se comprometen a reparar o reemplazar el material afectado, siempre y cuando el usuario cumpla con las condiciones establecidas por el proveedor. Entre estas, algunas que se pueden encontrar son:

Condiciones para la garantía:

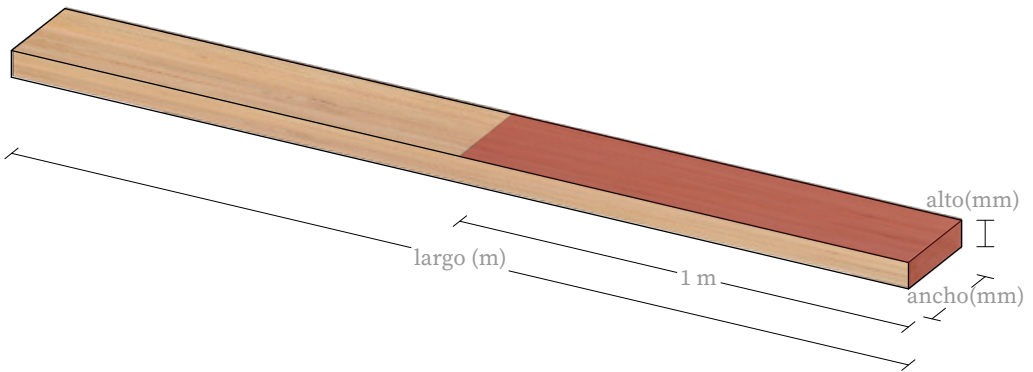
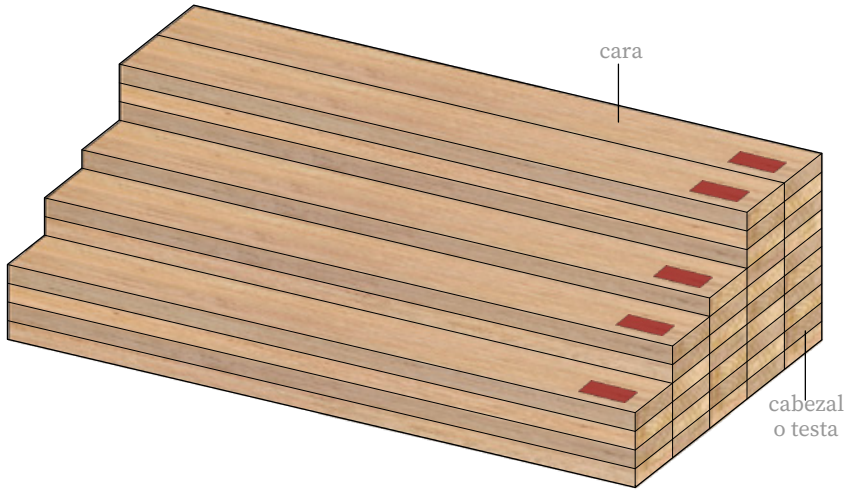
- Uso de un producto genuino, fabricado por una entidad autorizada y distribuido únicamente por canales autorizados.
- Cumplimiento de los requisitos normativos de penetración y retención, de acuerdo con el nivel de riesgo.

- Utilización del producto dentro de las categorías de aplicación y condiciones específicas indicadas.
- Instalación y mantenimiento conforme a las instrucciones del fabricante.
- Aplicación de protección adicional, como pintura y sellado de cortes realizados en obra.
- Mantenimiento de las capas superficiales en buen estado durante todo el periodo de garantía.

Exclusiones de la garantía:

- Deterioro o daño en los productos tratados debido a cualquier causa que no sea ataque de insectos o deterioro por hongos.
- Deterioros menores o estéticos que no afectan significativamente la funcionalidad del producto, como desprendimiento de pintura, moho superficial o decoloración.
- Deterioros o defectos causados por propiedades físicas inherentes de la madera, tales como contracción, hinchamiento, deformación, torsión o exudación de resina.
- Productos usados en contacto directo con el suelo o agua, o para usos distintos a los residenciales.
- Daños ocasionados por factores externos, como fuego, peso excesivo, acumulación de agua, apilamiento incorrecto o fenómenos naturales.
- El usuario debe presentar el reclamo con la documentación requerida, incluyendo factura original y muestras o fotografías del daño.

Estas condiciones y exclusiones son algunos ejemplos comunes de garantías internacionales, pero no aplican de la misma manera para todos los productos preservantes. Cada fabricante establece sus propios términos, por lo que se debe exigir y revisar la garantía específica de cada producto.



Estructura rotulado

MADERA CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL	ESPECIE: PINO RADIATA
PROVEEDOR: ASERRADERO X	DIMENSIÓN: 2X2 45X45MM 3,2M
PAÍS DE ORIGEN: CL	HUMEDAD: CH <20%
	GRADO ESTRUCTURAL: G2
	PRESERVACIÓN: CA-B R2

Figura 6.6 – Posición del rotulado



Figura 6.7 – Rotulado Comercialización

6.4 Rotulado para la comercialización.

La rotulación de la madera se impulsa con el objetivo de entregar información a intermediarios o al cliente final sobre las propiedades y características del producto, permitiendo así su correcta selección y aplicación. Esta medida busca mejorar la trazabilidad, fomentar la transparencia en la cadena de valor y asegurar que el producto adquirido cumpla con los estándares técnicos y normativos establecidos.

En Chile, el rotulado obligatorio está regulado por el Decreto Supremo N°11 (Ministerio de Economía, 2023), el cual establece los requisitos mínimos de rotulación de los productos de madera aserrada estructural para construcción, que se comercialicen a consumidores en el territorio nacional. Esta rotulación puede ser delegada por el proveedor a un tercero, pero no lo exime de su responsabilidad como proveedor en caso de que dicha madera no sea rotulada conforme al decreto mencionado.

Según esta regulación, la etiqueta debe contener la información en castellano, con las excepciones especificadas en el decreto, y deben presentarse de manera visible, clara y legible mediante la impresión, etiqueta adherida o timbre. Debe contener la siguiente información:

- **Especie** (ej. Pino Radiata, Pino Oregón, Eucaliptus Nitens).
- **País de origen** (Abreviado).
- **Identificación del aserradero de origen.**
- **Terminación** (“Dimensionado” o “Cepillado”, según corresponda).
- **Dimensión Nominal.**
- **Grado estructural.**
- **Preservación.**
- **Contenido de humedad.**

Esta información consignada en el rotulado es responsabilidad del proveedor, quien debe garantizar la veracidad de la información, la que debe ser comprobable y verificable mediante ensayos realizados por laboratorios inscritos en el registro de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de construcción del MINVU (6.2.2).

Respecto a la preservación, se debe señalar el tipo de preservante y el nivel de riesgo, según la NCh819 o la norma que la reemplace, según el artículo 5.6.8, y, como se mencionó en el párrafo anterior, debe ser verificada mediante ensayo en laboratorio.



07

Mantenimiento de la madera preservada

Una vez que la madera ha sido preservada, aumentando así las propiedades de durabilidad inherentes de su especie y adquiriendo nuevas cualidades, su desempeño a lo largo del tiempo no depende únicamente de la calidad del tratamiento aplicado, sino también de un adecuado mantenimiento sistemático durante toda su vida útil. Este mantenimiento asegura que las propiedades conferidas por el proceso de preservación se mantengan, evitando un deterioro prematuro.

Este capítulo aborda medidas preventivas, considerando la importancia de realizar inspecciones periódicas que permitan diagnosticar oportunamente posibles patologías. También se incluyen recomendaciones para la correcta manipulación y protección de los productos o elementos desde que son preservados en la planta hasta su instalación final en la obra. Finalmente, se presentan distintas estrategias de mantenimiento según el tipo y la magnitud del deterioro detectado.

7.1 Medidas preventivas

Se consideran medidas preventivas aquellas estrategias que se predisponen a los distintos factores que podrían significar un daño estético o eventualmente estructural en las piezas de madera si no son detectados y/o enfrentados a tiempo. Existen diferentes tipos de medidas preventivas, entre ellas: la aplicación de productos complementarios (4.3), relacionados con el proceso de impregnación. Las relacionadas con el mantenimiento, respecto a la inspección periódica y diagnóstico (7.1.1); el protocolo de manejo de productos en la obra (7.1.2); y, por último, las estrategias de diseño, abordadas en el Tomo III.

Los elementos de madera en servicio enfrentan una serie de factores de deterioro que deben considerarse desde el diseño. Entre ellos se encuentran: la **humedad**, en forma de condensación, filtraciones o infiltraciones y en forma de agua lluvia; los distintos tipos de **radiación**, especialmente cuando se trata de estructuras o elementos expuestos al exterior; **insectos u hongos**; **desgaste por uso o tráfico**, o **daños por golpes**; el vandalismo; y la **acumulación de suciedad o polvo**. El proyectista debe asumir que todos estos factores ocurrirán o es muy probable que ocurran durante la vida útil de la madera. Por lo tanto, implementar medidas para prevenir o, en su defecto, corregir los daños que estos agentes puedan

provocar asegura una mayor durabilidad de las piezas de madera.

Con el objetivo de prevenir algunos de los factores mencionados se emplean productos complementarios (4.3), los cuales garantizan el desempeño y la calidad del tratamiento de impregnación, pero requieren mantenimiento periódico, cuya periodicidad depende del tipo de producto y de los agentes de deterioro a los que se enfrentan.

La detección temprana y el diagnóstico de daños permiten extender el tiempo en servicio del elemento de madera. Inspeccionar regularmente la madera ayuda a evitar que los elementos de madera pierdan su calidad estética o, en casos más extremos, que pierdan propiedades mecánicas o estructurales, lo que puede poner en riesgo la vida de los usuarios de esa edificación.

Además, evita costos asociados a tratamiento o reparaciones mayores, y previene el reemplazo innecesario de piezas aún funcionales, lo que implicaría deshacerse de un material antes de que termine su vida útil, contradiciendo las cualidades sustentables de la madera.

Otra medida preventiva es proteger la madera durante el periodo previo a su puesta en servicio. Esta medida debe considerar todo el tiempo que transcurre desde que la pieza de madera es impregnada hasta la finalización de la obra. Durante este tiempo, las piezas se pueden enfrentar a distintos agentes o factores de deterioro tanto en el almacenaje, transporte, manipulación, izaje, montaje, como en la exposición en la obra.

7.1.1 Inspección periódica y diagnóstico

La inspección de estructuras o elementos de madera suele ser suficiente con una frecuencia anual para la mayoría de los factores de deterioro. Sin embargo, los tratamientos de protección superficial o de terminación, dependiendo del tipo de producto, pueden requerir inspecciones y/o mantenimiento en períodos más cortos o prolongados.

El área de inspección puede clasificarse en dos categorías: elementos ubicados al interior o al exterior de la edificación. No obstante, los factores a revisar son generalmente los mismos en ambos casos e incluyen:

presencia de suciedad, estado de los tratamientos de protección superficial o de terminación, niveles de humedad, signos de ataques por hongos o insectos, y posibles daños mecánicos o vandalismo.

Para la inspección periódica y diagnóstico del estado de las piezas de madera de la edificación, se propone el siguiente formulario tipo (*Tabla 23*), el cual considera dos instancias: en primer lugar la inspección visual,

que puede ser realizada por el usuario de la edificación, dejando un registro fotográfico y comentarios relevantes; y una segunda instancia, en que el o la experta en el área deja una propuesta de solución si es que necesita mantenimiento o es necesario realizar un protocolo de rehabilitación, o en el caso contrario, la notificación del buen estado de las piezas de madera, para finalizar con la asignación de una nueva fecha de inspección.

TABLE 23 - FORMULARIO DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

FORMULARIO INSPECCIÓN	INSPECCIÓN VISUAL		EXPERTO EN EL ÁREA
	COMENTARIO	FOTOGRAFÍA	SOLUCIÓN
0. ANTECEDENTES			
¿Cuándo fue la última inspección?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Se realizaron las reparaciones indicadas?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Ha habido cambios en el uso del espacio (aumento de carga, cambios de actividad, remodelaciones)?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
1. INSPECCIÓN VISUAL GENERAL			
¿Hay acumulación de suciedad en la estructura o parte de ella?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Hay presencia de grietas, fisuras, delaminaciones o deformaciones?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Existen signos de hongos, moho o algas (decoloraciones, olor)?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Se observan manchas negras o zonas blandas (posible pudrición)?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Hay presencia de insectos xilófagos?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Hay deformaciones estructurales visibles (alabeos, desplazamientos)?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Se han realizado modificaciones que puedan afectar la carga estructural (perforaciones, cortes, adiciones)?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Se observan daños por golpes, rayados o grafiti?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
2. REVISIÓN DEL TRATAMIENTO DE ACABADO SUPERFICIAL			
¿Se ha mantenido la frecuencia de mantenimiento recomendada por el fabricante del tratamiento?	INTERIOR		
	EXTERIOR		

| TABLA 23 – FORMULARIO DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO - CONTINUACIÓN

FORMULARIO INSPECCIÓN PREGUNTAS	INSPECCIÓN VISUAL		EXPERTO EN EL ÁREA
	COMENTARIO	FOTOGRAFÍA	SOLUCIÓN
¿El protector, pintura o barniz está en buen estado?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Hay zonas donde el tratamiento presenta degradación o desgaste?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Se han realizado retoques con productos incompatibles?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿El color de la madera es homogéneo o hay zonas alteradas?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Es necesario reaplicar el tratamiento?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
3. HUMEDAD			
¿Hay modificaciones no autorizadas o intervenciones que alteren el diseño original?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Hay presencia de manchas de humedad o señales de filtraciones?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Los revestimientos y sellos en zonas húmedas están en buen estado (baños, cocina, cafeterías)?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Existe ventilación adecuada?	INTERIOR		
	EXTERIOR	-	-
¿Hay señales de condensación en la madera (en encuentros con ventanas, ductos o muros fríos)?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Hay jardineras o maceteros que puedan filtrar agua a la estructura?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Las pendientes permiten el escurrimiento correcto del agua?	INTERIOR	-	-
	EXTERIOR		
¿Hay zonas donde se acumula agua o suciedad (hojas, tierra, etc.)?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Los elementos de protección (corta goteras, cubrejuntas, sellos) están en su lugar y en buen estado?	INTERIOR	-	-
	EXTERIOR		
¿Los sistemas de evacuación de agua lluvia (canaletas, bajadas) están funcionando correctamente?	INTERIOR	-	-
	EXTERIOR		
¿Se han revisado estos sistemas durante o después de lluvias para verificar su efectividad en condiciones reales?	INTERIOR	-	-
	EXTERIOR		
¿Hay filtraciones o escurrimientos que afecten directamente a la madera?	INTERIOR		
	EXTERIOR		

| TABLA 23 – FORMULARIO DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO - CONTINUACIÓN

FORMULARIO INSPECCIÓN PREGUNTAS	INSPECCIÓN VISUAL		EXPERTO EN EL ÁREA
	COMENTARIO	FOTOGRAFÍA	SOLUCIÓN
4. FIJACIONES Y HERRAJES			
¿Faltan elementos, como tuercas, golillas o pernos?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Se observan medios de unión sueltos?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Existen zonas con oxidación que puedan afectar la madera?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Se han realizado reparaciones improvisadas que deban ser corregidas profesionalmente?	INTERIOR		
	EXTERIOR		
¿Las uniones y herrajes permiten el escurrimiento de agua o presentan estancamientos?	INTERIOR	-	-
	EXTERIOR		
5. ENTORNO			
¿Hay evidencia de que el riego esté afectando a la madera?	INTERIOR	-	-
	EXTERIOR		
¿Existen plantas trepadoras que puedan dañar la estructura?	INTERIOR		
	EXTERIOR		

7.1.2 Protocolo de manejo de productos en obra (exposición)

Los elementos de madera, ya sean tratados mediante un proceso industrial o no, deben ser protegidos frente a los distintos factores de deterioro que pueden afectarlos. Esta necesidad de protección comienza en etapas tempranas, desde el momento en que el árbol es cortado hasta que llega a su posición final de servicio en la edificación.

Dentro de este proceso, se pueden distinguir dos etapas. La primera corresponde a la etapa de preparación, en la cual la madera es dimensionada, secada y, según indiquen los requerimientos del proyecto, impregnada con productos preservantes. La segunda etapa comienza una vez que la madera ha adoptado su condición final, es decir, ha adquirido las características necesarias para su uso previsto.

Desde esta etapa, la protección posterior es determinante para asegurar la durabilidad de las piezas y elementos de madera. Es recomendable contar con una documentación que permita un adecuado traspaso de

información entre las partes. Este proceso comienza cuando las piezas de madera son almacenadas a la espera de su traslado a obra.

La protección de los productos o piezas de madera durante el traslado y almacenamiento es necesaria para mantener su integridad frente a la humedad, radiación solar y otros factores ambientales (*Tabla 24*). En la construcción tradicional, la mayoría de los elementos se fabrican e instalan directamente en la obra, mientras que, en la construcción industrializada, se trasladan productos o elementos semiterminados que podrían dañarse durante el transporte. Por ello, es necesario evaluar si se requiere el uso de envolturas o protecciones adicionales, que puedan aplicarse, individualmente, en paquetes o sobre la carga completa (*Figura 7.2*), evitando la exposición prolongada a los agentes abióticos que comprometan la madera.

El tipo de estrategia logística elegida define los requerimientos de protección de las piezas o productos de madera. Hay principalmente dos enfoques logísticos: la estrategia justo a tiempo (*just in time*), que consiste en entregar las piezas en el momento exacto en que está programado su montaje, reduciendo la necesidad

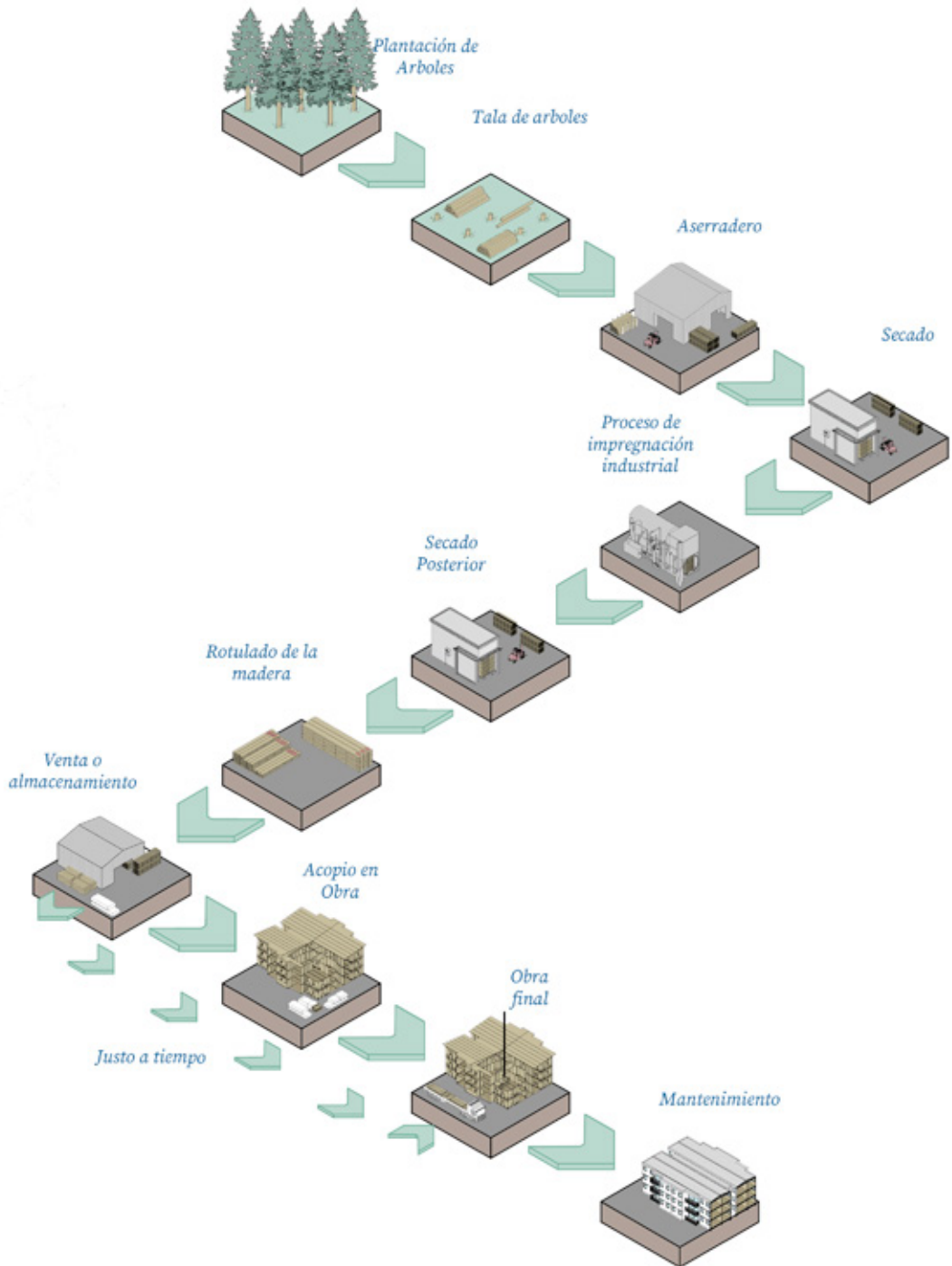


Figura 7.1 – Proceso de la madera desde el bosque hasta la edificación

de almacenamientos programados, y la estrategia de almacenamiento temporal en obra, la cual implica que la madera permanezca almacenada antes de su instalación, requiriendo un espacio acondicionado y protocolos propios de acopio (Juárez et al., 2025).

Cuando se opta por almacenamiento temporal, es necesario contar con protocolos de acopio adaptados a las características de cada producto y a las condiciones del sitio de construcción. Algunas consideraciones generales que se deben tener están expuestas en la [Tabla 25](#), con el objetivo de minimizar los daños durante el tiempo que la madera permanezca en la obra.

La protección de la superficie (zona con mayor concentración de preservante) de la madera tratada durante el montaje permite mantener la continuidad del tratamiento preservante. Se recomienda evitar herramientas o procedimientos que puedan dañar las piezas. En caso de realizar cortes, rebajes o perforaciones, se debe aplicar inmediatamente productos protectores complementarios para reducir el riesgo en las zonas intervenidas ([Figura 4.1](#)). A continuación, se presentan ciertas recomendaciones prácticas para el caso del montaje.

Para proteger los elementos que ya están en su posición final, pero que pueden estar expuestos al clima, se pue-

den aplicar barreras directas sobre la madera o recurrir a estructuras de cubierta. Las protecciones directas, como membranas o productos líquidos, se aplican sobre las piezas para evitar la absorción de humedad, y son recomendables principalmente para productos de madera de ingeniería; es recomendable que sean instaladas en fábrica. Por otro lado, las estructuras de cubierta protegen toda la zona de montaje o de la construcción in situ y pueden ser temporales, como carpas industriales, andamios cubiertos o toldos móviles. En el caso de las estructuras permanentes, se aprovecha la estructura del piso superior o techumbre definitiva de la propia edificación para resguardar los niveles en desarrollo (Juárez et al., 2025).

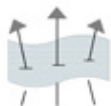
Esta protección adicional cobra especial importancia cuando los elementos de madera quedan expuestos al exterior y están destinados a servir en un nivel de riesgo R1, R2 o, en algunos casos, R3. En estos casos, es necesario considerar si los elementos van a estar expuestos a fuentes de agua, ya que los tratamientos preservantes como los óxidos de boro ([4.1.1](#)) (R1 y R2) o LOSP con azoles ([4.2.1](#)) (R1, R2 y R3) pueden lixiviar frente a condiciones de rocío, lluvia o humedad, reduciendo la efectividad del tratamiento. Por ello, planificar protecciones temporales y aplicar medidas durante la fase de construcción o montaje contribuye a mantener la durabilidad de la madera.

| TABLA 24 - TIPOS DE PROTECCIÓN DE CARGA DE ELEMENTOS DE MADERA

Recomendaciones prácticas - Protección climática durante el traslado de productos de madera



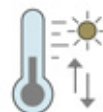
1- Proteger los productos con envolturas impermeables para evitar su exposición a la humedad, lluvia, nieve, etc.



2- Las envolturas deben ser transpirables para permitir la circulación del aire y evitar la acumulación de humedad y la proliferación de hongos.



3- Evitar la exposición prolongada al sol para reducir el riesgo de decoloración de la madera.



4- Evitar la exposición de los productos de madera a cambios bruscos de temperatura para reducir riesgos de deformaciones y grietas, por hinchazón y merma debido a cambios de humedad.

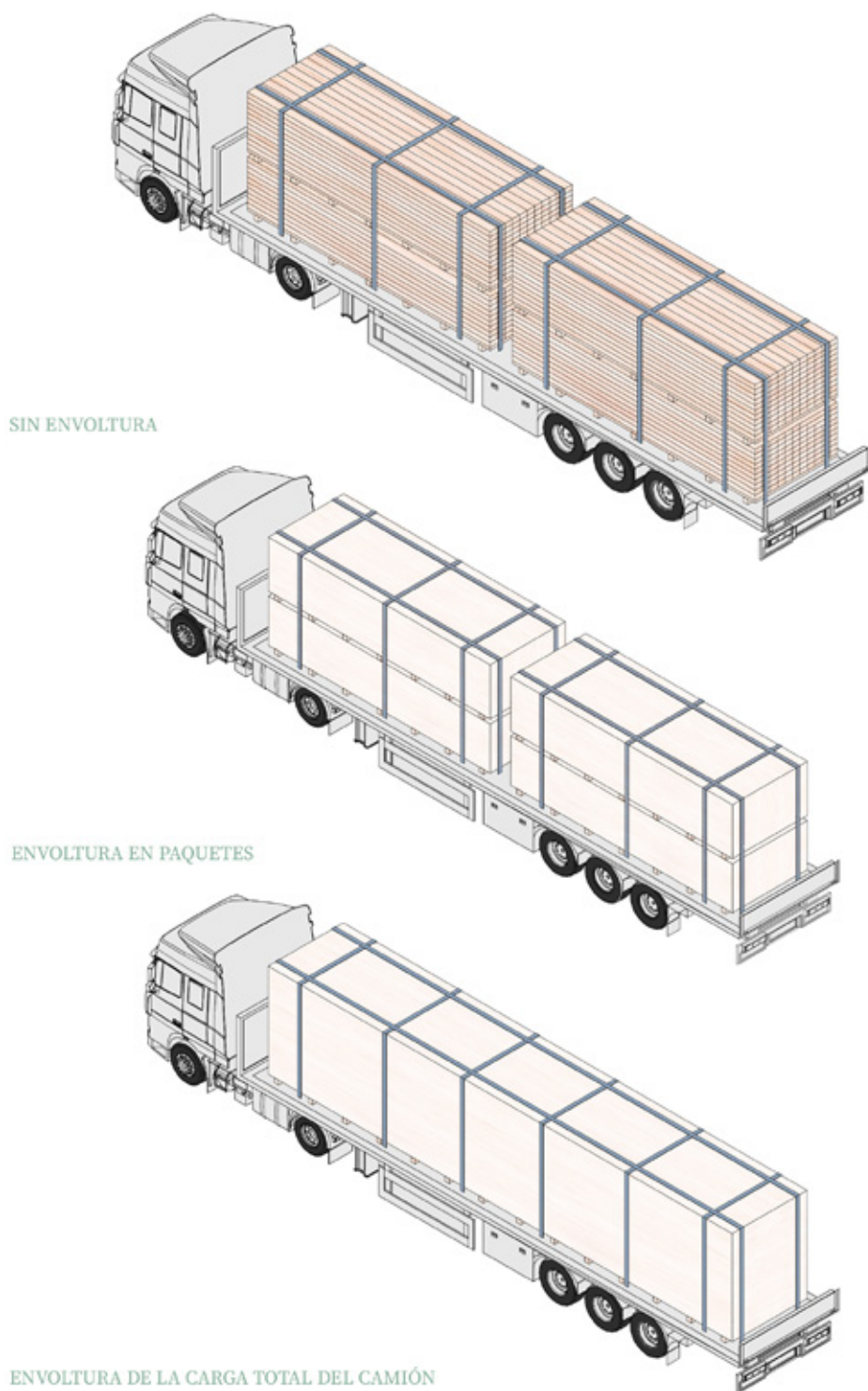
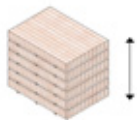


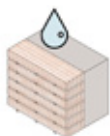
Figura 7.2 – Tipos de protección de carga de elementos de madera

| TABLA 25 – RECOMENDACIONES ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE LA MADERA

Recomendaciones prácticas – Almacenamiento temporal de paneles en obra



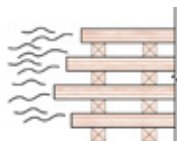
Tener en cuenta la cantidad máxima de apilamiento según el peso propio de las piezas de madera para evitar deformaciones y resguardar la estabilidad dimensional.



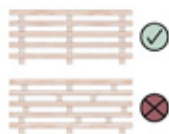
Verificar que la cobertura de las piezas de madera se encuentre en buen estado y, en caso de daños, proceder a reparar las envolturas. Inspeccionar que no exista humedad en el interior. En caso de detectarse, se recomienda ventilar adecuadamente para facilitar el secado antes de volver a cubrir.



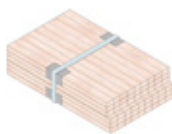
Mantener las piezas de madera separados del terreno para protegerlos de la humedad. Para esto, se pueden utilizar soportes cuya distancia de elevación sea suficiente para evitar el contacto directo o indirecto de fuentes de humedad.



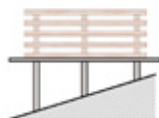
Mantener las piezas o lotes de madera separados entre sí para asegurar una adecuada circulación de aire, favoreciendo la ventilación y el secado, y evitando la condensación de humedad.



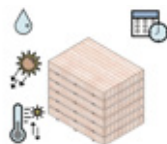
Mantener los separadores espaciados de forma regular para una buena distribución de la carga por peso propio y evitar aplastamientos.



Proteger los bordes de las piezas o lotes de madera del aplastamiento por el uso de amarras.



Tener en cuenta las irregularidades del terreno y la pendiente máxima.



Evitar el almacenamiento prolongado de las piezas de madera en obra, ya que aumenta la probabilidad de daño por riesgos climáticos.

| TABLA 26 – MANIPULACIÓN DE LA MADERA

Recomendaciones prácticas - Manipulación de productos de madera



Garantizar que el personal a cargo de manipular los productos de madera esté capacitado para ello.



Evitar la manipulación de los productos de madera en condiciones climáticas adversas (como lluvia, viento fuerte, nieve o temperaturas extremas) que puedan afectar la seguridad de los trabajadores y la integridad de las piezas.



Usar guías y sujeción controlada para la descarga de los productos o lotes de madera y así evitar posibles accidentes.



Considerar el peso de los productos de madera. Según el tipo de producto, se debe evaluar el método más adecuado para su traslado. En el caso de piezas de mayor tamaño, es necesario utilizar la maquinaria correspondiente.



Verificar la entrega e identificar cualquier daño visible, suciedad o contenido de humedad.



Procurar no arrastrar los productos de madera, pisarlos o ensuciarlos con barro para mantener su aspecto visual.



Figura 7.3 – Diagnóstico y mantenimiento de la madera preservada

7.2 Diagnóstico y mantenimiento de la madera preservada

La madera preservada requiere mantenimiento a lo largo del tiempo para asegurar su durabilidad, funcionalidad y apariencia, especialmente cuando está expuesta a condiciones ambientales exigentes o a un uso intensivo. El tipo de mantenimiento necesario dependerá tanto del factor de deterioro que está afectando, como la humedad; hongos e insectos; suciedad; desgaste mecánico o vandalismo, como del nivel de severidad con que estos factores afectan al elemento. Esta sección presenta distintas estrategias de mantenimiento, agrupadas según el tipo de deterioro que pueden presentar los elementos de madera.

En el caso de deterioro biológico por hongos de pudrición e insectos xilófagos, cuando las piezas de madera han sido correctamente impregnadas con productos preservantes, la probabilidad de que presenten ataques de hongos de pudrición o insectos xilófagos es muy reducida. No obstante, ante la detección de deterioro, en lo posible, se recomienda identificar el agente causante o caracterizar los daños para comunicar a un especialis-

ta lo que se observa y aplicar el tratamiento adecuado. Cuando el daño por hongos supera la superficialidad, se considera que la pieza de madera tuvo un tratamiento de preservación deficiente o inadecuado para el nivel de riesgo de la pieza en servicio.

7.2.1 Deterioro por Humedad

La humedad es un factor crítico en la durabilidad de la madera preservada, pues, si bien los tratamientos preservantes protegen la pieza de madera frente a insectos y hongos que proliferan en condiciones de humedad, no impiden por sí solo los efectos físicos de la humedad. Esto se debe a la higroscopicidad de la madera, condición intrínseca de este material, que le permite absorber y liberar humedad del ambiente. Por ello, especialmente cuando las piezas de madera se encuentran expuestas a la intemperie, se debe evitar la acumulación de agua líquida o asegurar que esta pueda evacuar con facilidad, manteniendo la madera seca. Este tipo de protección debe considerar tanto productos hidrófugos como estrategias de diseño constructivo que favorezcan el secado y eviten puntos de retención de agua.

Dependiendo del tipo de humedad y su origen, existe una escala de severidad en cuanto a los efectos de esta, así como acciones recomendadas para mitigarla. Cuando se detectan zonas sensibles o con daños asociados a la humedad, el primer paso es eliminar o controlar la

fuente de humedad antes de proceder con la reparación. A continuación, en la *Tabla 27* y *Figura 7.4* se muestran algunos ejemplos típicos que podemos encontrar de este tipo de deterioro.

Tabla 27 - TIPOS DE DETERIORO POR HUMEDAD

Deterioro por humedad		
Tipo de humedad	Descripción	Mantenimiento
Condensación intersticial	Riesgo: Alto. Exposición: Puntual, mas puede expandirse. Puede originarse por capilaridad, acumulación subterránea o condensación intersticial.	Consultar con un especialista, para mitigar la humedad, que puede incluir sistemas de drenaje, barreras capilares, u otras estrategias, las cuales se recomiendan que sean diseñadas e implementadas por un profesional especializado. Debido a que este tipo de humedad suele mantenerse durante periodos prolongados de tiempo y afectar de forma sostenida los elementos estructurales, incluso sin daños visibles.
Infiltración	Riesgo: Medio-Alto. Exposición: Puntual, mas puede expandirse. Ocurren por errores de diseño, fallas en sellos o barreras, o filtraciones en la cubierta.	Eliminar la fuente de humedad. Reparar la falla a la brevedad con un profesional, ya que el agua puede penetrar y acumularse. Si provocó algún daño, reparar.
Filtraciones	Riesgo: Medio-Alto. Exposición: Puntual, mas puede expandirse. Ocurren debido a fallas en redes de agua y/o alcantarillado, o debido a sellos defectuosos.	Eliminar la fuente de humedad. Reparar la falla a la brevedad con un profesional, ya que el agua puede penetrar y acumularse. Si provocó algún daño, reparar.
Condensación superficial	Riesgo: Menor. Exposición: Puntual. Suele ocurrir en zonas húmedas, en ventanas o debido a equipos de aire acondicionado.	Eliminar la fuente que causa la humedad. Mejorar la ventilación del recinto y asegurarse de mantener secas las superficies.
Riego o Agua directa	Riesgo: Menor. Exposición: Puntual. Cuando las piezas afectadas estan expuestas permanentemente a humedad, como en jardines.	Eliminar la fuente que causa la humedad. Dentro de lo posible, secar pieza y volver a instalarla si no presentó daños.

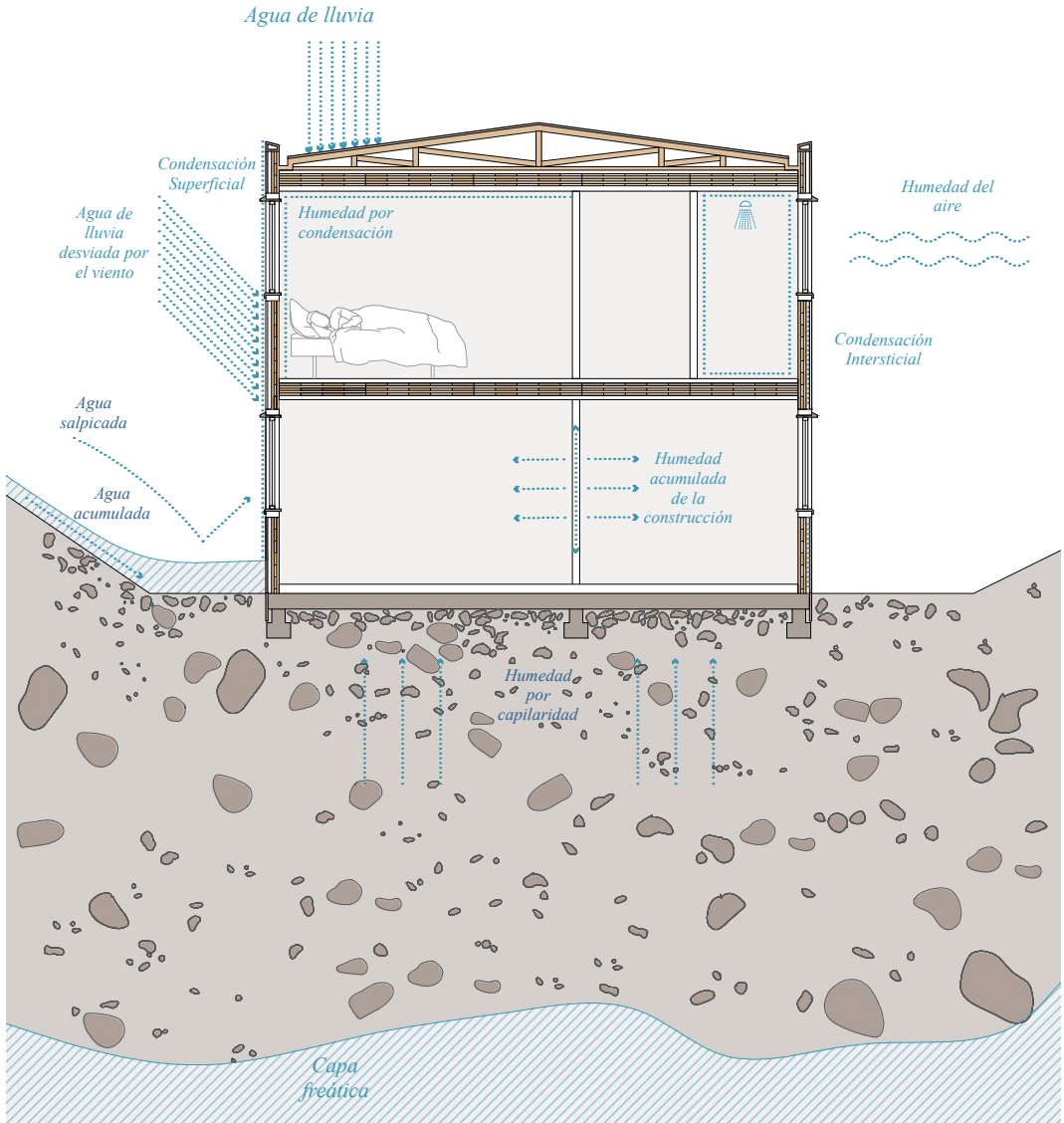


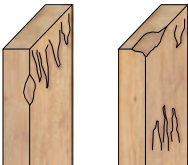
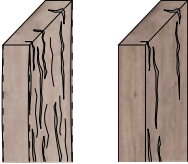
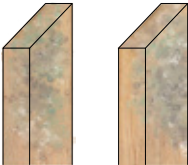
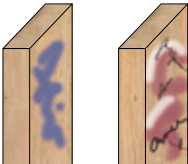
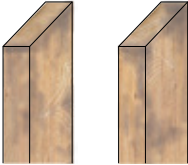
Figura 7.4 - Tipos de humedad

7.2.2 Deterioro superficial

El deterioro superficial puede producirse por múltiples motivos, la *Tabla 28* los clasifica en distintos tipos, acompañándolos de un ejemplo. Es relevante reconocer qué daños corresponden a deterioro superficial, ya que no

implican una pérdida de funcionalidad en la pieza de madera. Por lo tanto, el mantenimiento o cuidado de las piezas que pueden presentar este tipo de daños corresponde, en parte, a evitar que una madera funcional termine su ciclo de vida antes de tiempo por razones estéticas y a mantener el aspecto inicial de terminación del elemento de madera.

TABLA 28 - TIPOS DE DETERIORO SUPERFICIAL

Deterioro superficial		
Tipo	Daño y mantenimiento	Ejemplo
Daños mecánicos (tránsito, uso o impacto)	<p>Daño: Erosiones, astillamientos o pérdidas de material.</p> <p>Mantenimiento: Los daños mecánicos deben tratarse considerando su tamaño, profundidad, localización y nivel de exposición del elemento. Generalmente, si son daños superficiales, utilizar retapes y reaplicar productos de protección superficial. En casos de pérdidas de material o astillamientos, consultar con un experto.</p>	
Desgaste por exposición (radiación UV y clima)	<p>Daño: Estético, pérdida de color natural y/o grietas.</p> <p>Mantenimiento: Reaplicar productos de protección superficial según la fecha indicada por los proveedores y seguir las instrucciones de reaplicación del producto. Generalmente, en casos de exposición completa al exterior, reaplicar considerando un rango de 6 meses a 1 año máximo y en elementos expuestos a la intemperie o humedad persistente, en un plazo de 1 a 2 años máximo.</p>	
Hongos superficiales o moho	<p>Daño: Estético.</p> <p>Mantenimiento: Evitar humedad constante o acumulaciones de agua, ya que generan las condiciones para la proliferación de este tipo de hongos o mohos. Para identificarlos, entre los signos más comunes se encuentran las manchas oscuras o decoloración, así como la presencia de fructificaciones visibles adheridas a la madera. Si estos aparecen, eliminar lijando o cepillando la madera y sellar utilizando productos de protección superficial.</p>	
Vandalismo (grafitis y rayados)	<p>Daño: Estético.</p> <p>Mantenimiento: Precaución al remover rayados y grafitis de no utilizar elementos ni productos abrasivos, para no dañar el tratamiento superficial de protección y/o acabado terminación. Si provoca abrasión, o requiere de un lijado para la remoción de estos, reaplicar productos de protección superficial.</p>	
Suciedad acumulada	<p>Daño: Estético.</p> <p>Mantenimiento: Precaución al remover suciedad y manchas localizadas de no utilizar elementos ni productos abrasivos, para no dañar el tratamiento superficial de protección y/o acabado terminación.</p>	





08

Casos de aplicación en contexto nacional

Los casos de aplicación presentados a continuación abarcan distintas tipologías de edificaciones que incorporan elementos en madera bajo diversas condiciones de servicio. El objetivo de este capítulo es ofrecer ejemplos prácticos que sirvan de referencia para que el usuario identifique los criterios a considerar al diseñar o evaluar la durabilidad y las posibles alternativas de preservación en proyectos de edificación en madera.

Cabe destacar que los ejemplos no consideran condiciones particulares de la ubicación geográfica de una edificación, tales como variaciones climáticas, exposición a lluvia o humedad relativa, ni la presencia específica de agentes bióticos. Han sido elaborados considerando condiciones de uso generales y una correcta ejecución constructiva que garantice que los elementos se manten-

gan en la condición de servicio prevista. Por esta razón, deben entenderse únicamente como referenciales y no como prescripciones estrictas, sirviendo como guía para apoyar la toma de decisiones técnicas.

De igual modo, los elementos presentados y sus requerimientos de preservación se muestran con fines orientativos y no deben interpretarse como exigencias normativas, salvo que se indique expresamente su respaldo en una normativa específica. La definición de la estrategia de preservación, la selección del tipo de preservante y las especificaciones asociadas a los productos o piezas de madera son responsabilidad del proyectista o del profesional a cargo, quien deberá ejercer su criterio técnico fundamentado y considerar las condiciones reales de la edificación.

Caso de aplicación A

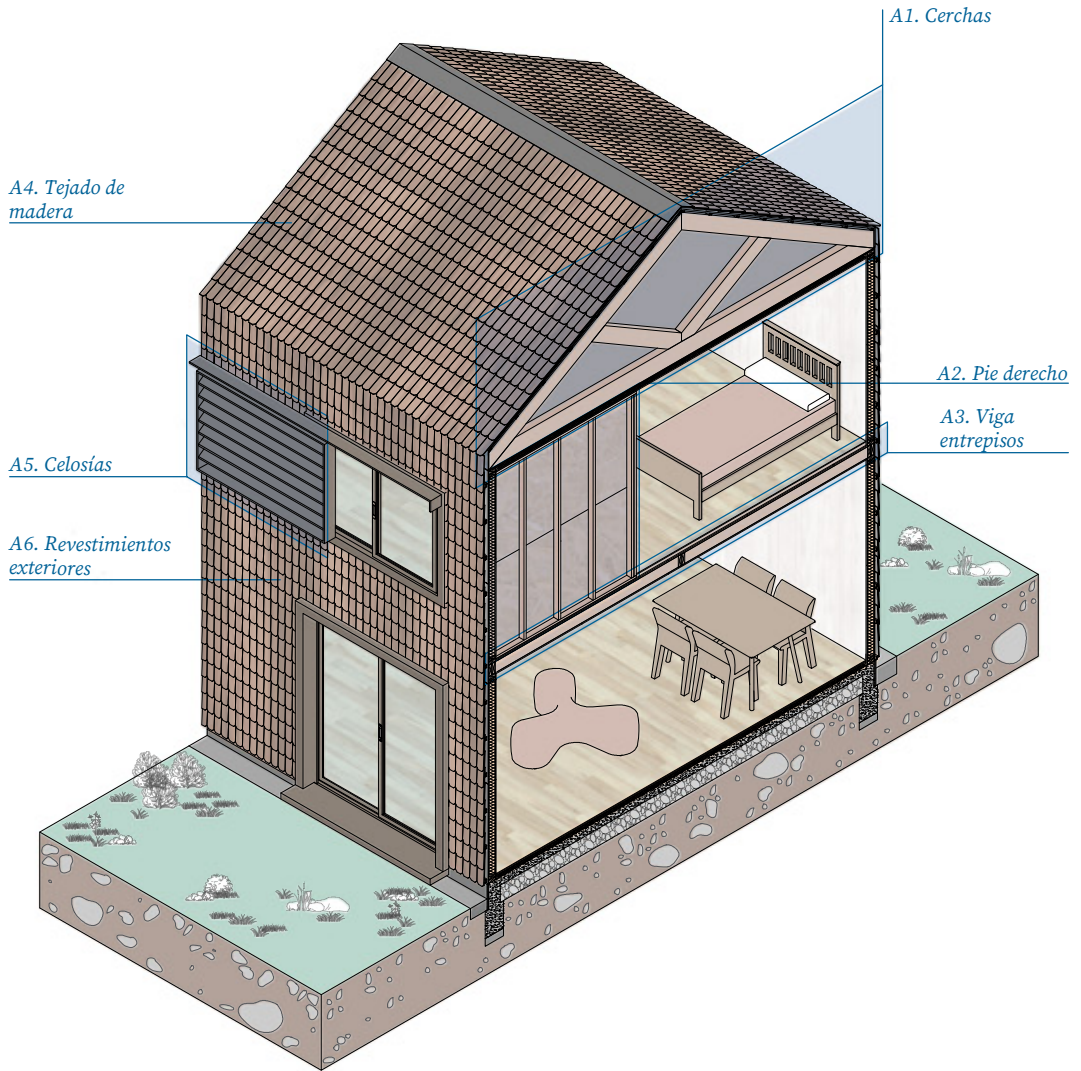


Figura 8.1 - Caso de aplicación A - Edificación en entramado ligero

		ELEMENTO A1. CERCHAS						ELEMENTO A2. PIE DERECHO						ELEMENTO A3. VIGA ENTREPIOS					
Tipo de elemento		Estructural			Terminación			Estructural			Terminación			Estructural			Terminación		
Especie de Madera		Pino radiata																	
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Presente en NCh819		Sí			No			Sí			No			Sí			No		
Condición de uso	Ubicación en la edificación	Interior			Exterior			Interior			Exterior			Interior			Exterior		
	Posición respecto al suelo	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada		
	Exposición a la interperie ¹	No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)	Expuesto directamente		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)	Expuesto directamente		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)	Expuesto directamente				
	Frecuencia de humidificación	No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente		No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente		No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente				
Capacidad de Secado ²		No requiere debido a que no hay riesgo de humidificación																	
Agente biológico de deterioro	Hongos de pudrición	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
	Termita subterránea	Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³																	
Agentes abióticos de deterioro	Xilófagos marinos	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
	Radiación UV/ Infrarroja	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
Deterioro superficial por uso		Bajo		Medio		Alto		Bajo		Medio		Alto		Bajo		Medio		Alto	
TRATAMIENTO PRESERVANTE																			
Tipo de preservante	Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			
	BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			
	µCA-C	CCA ⁴				µCA-C	CCA ⁴				µCA-C	CCA ⁴							
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes			

		ELEMENTO A4. TEJADO DE MADERA						ELEMENTO A5. CELOSÍAS						ELEMENTO A6. REVESTIMIENTOS EXTERIORES					
Tipo de elemento		Estructural			Terminación			Estructural			Terminación			Estructural			Terminación		
Especie de Madera		Pino radiata																	
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Presente en NCh819		Sí			No			Sí			No			Sí			No		
Condición de uso	Ubicación en la edificación	Interior			Exterior			Interior			Exterior			Interior			Exterior		
	Posición respecto al suelo	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada		
	Exposición a la interperie ¹	No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)	Expuesto directamente		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)	Expuesto directamente		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)	Expuesto directamente				
	Frecuencia de humidificación	No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente		No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente		No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente				
Capacidad de Secado ²		Buena		Regular	Mala		Buena		Regular	Mala		Buena		Regular	Mala				
Agente biológico de deterioro	Hongos de pudrición	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
	Termita subterránea	Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³																	
Agentes abióticos de deterioro	Xilófagos marinos	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
	Radiación UV/ Infrarroja	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
Deterioro superficial por uso		Bajo		Medio		Alto		Bajo		Medio		Alto		Bajo		Medio		Alto	
TRATAMIENTO PRESERVANTE																			
Tipo de preservante	Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			
	BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			
	µCA-C	CCA ⁴				µCA-C	CCA ⁴				µCA-C	CCA ⁴							
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes			

* Notas en página 147

Caso de aplicación B

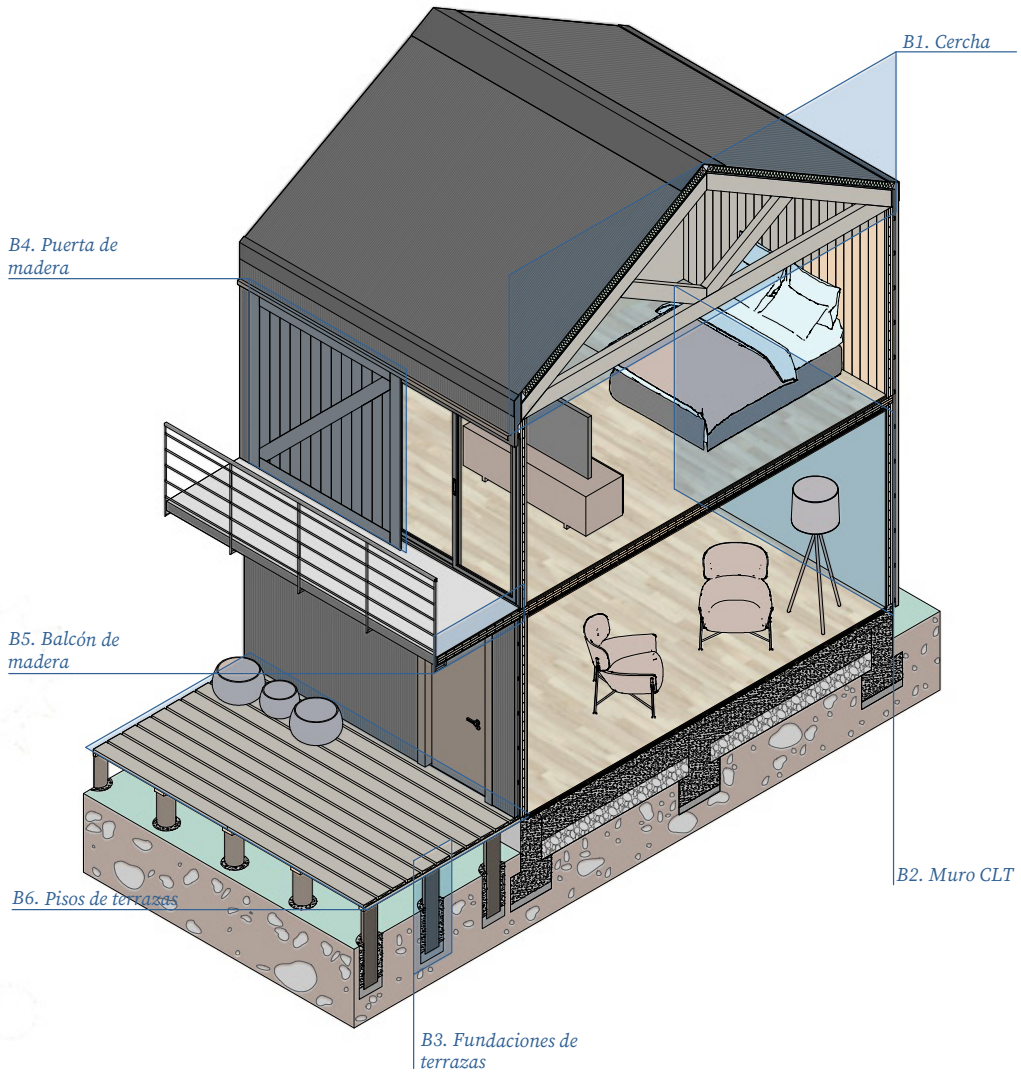


Figura 8.2 - Caso de aplicación B - Edificación en madera contralaminada (CLT)

		ELEMENTO B1. CERCHA						ELEMENTO B2. MURO CLT						ELEMENTO B3. FUNDACIONES DE TERRAZAS														
Tipo de elemento		Estructural			Terminación			Estructural			Terminación			Estructural			Terminación											
Especie de Madera		Pino radiata						Pino radiata						Pino radiata														
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6									
Presente en NCh819		Sí			No			Sí			No			Sí			No											
Condición de uso		Ubicación en la edificación			Interior			Exterior			Interior			Exterior			Interior			Exterior								
		Posición respecto al suelo		Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada									
		Exposición a la interperie ¹		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)			Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente			No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)			Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente									
		Frecuencia de humidificación		No (ambiente seco o protegido)			Ocasional			Permanente			No (ambiente seco o protegido)			Ocasional			Permanente									
Capacidad de Secado ²		Buena			Regular			Mala			No requiere debido a que no hay riesgo de humidificación						Buena			Regular			Mala					
Agente biológico de deterioro		Hongos de pudrición		Sí			No			Sí		No				Sí		No										
		Termita subterránea		Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³						Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³						Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³												
Agentes abióticos de deterioro		Xilófagos marinos		Sí			No			Sí		No				Sí		No										
		Radiación UV/ Infrarroja		Sí			No			Sí		No				Sí		No										
Deterioro superficial por uso		Bajo			Medio			Alto			Bajo			Medio			Alto			Bajo			Medio			Alto		
TRATAMIENTO PRESERVANTE																												
Tipo de preservante		Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble											
		BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			BZ05	CA-B	MCAz	LDSP											
		µCA-C			CCA ⁴			µCA-C			CCA ⁴			µCA-C			CCA ⁴											
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes												

		ELEMENTO B4. PISOS DE TERRAZAS						ELEMENTO B5. Balcón de MADERA						ELEMENTO B6. PUERTA de MADERA														
Tipo de elemento		Estructural			Terminación			Estructural			Terminación			Estructural			Terminación											
Especie de Madera		Pino radiata						Pino radiata						Pino radiata														
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6									
Presente en NCh819		Sí			No			Sí			No			Sí			No											
Condición de uso		Ubicación en la edificación			Interior			Exterior			Interior			Exterior			Interior			Exterior								
		Posición respecto al suelo		Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada									
		Exposición a la interperie ¹		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)			Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente			No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)			Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente									
		Frecuencia de humidificación		No (ambiente seco o protegido)			Ocasional			Permanente			No (ambiente seco o protegido)			Ocasional			Permanente									
Capacidad de Secado ²		Buena			Regular			Mala			Buena			Regular			Mala											
Agente biológico de deterioro		Hongos de pudrición		Sí			No			Sí		No				Sí		No										
		Termita subterránea		Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³						Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³						Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³												
Agentes abióticos de deterioro		Xilófagos marinos		Sí			No			Sí		No				Sí		No										
		Radiación UV/ Infrarroja		Sí			No			Sí		No				Sí		No										
Deterioro superficial por uso		Bajo			Medio			Alto			Bajo			Medio			Alto			Bajo			Medio			Alto		
TRATAMIENTO PRESERVANTE																												
Tipo de preservante		Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble											
		BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			BZ05	CA-B	MCAz	LDSP			BZ05	CA-B	MCAz	LDSP											
		µCA-C			CCA ⁴			µCA-C			CCA ⁴			µCA-C			CCA ⁴											
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes												

* Notas en página 147

Caso de aplicación C

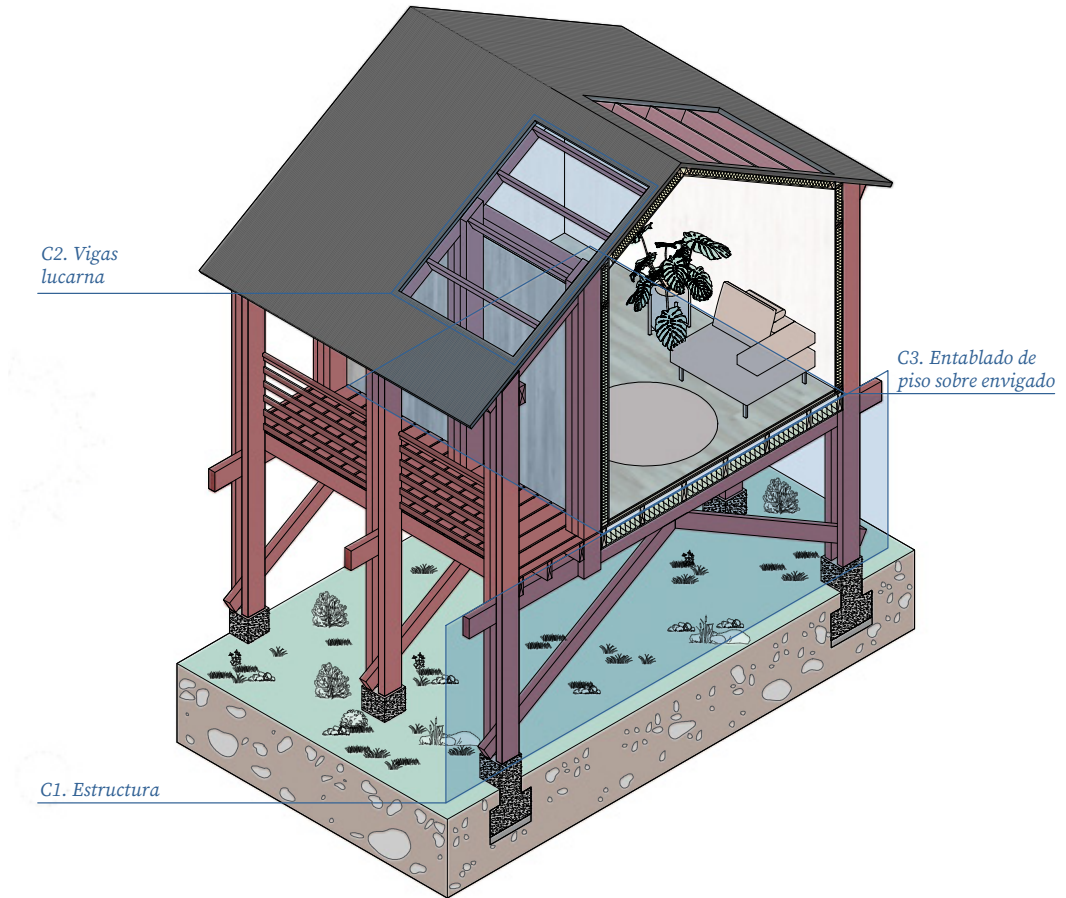


Figura 8.3 - Caso de aplicación C - Edificación poste y viga

Tipo de elemento		ELEMENTO C1. ESTRUCTURA						ELEMENTO C2. VIGAS LUCARNA						ELEMENTO C3. ENTABLADO DE PISO SOBRE ENVIGADO					
		Estructural			Terminación			Estructural			Terminación			Estructural			Terminación		
Especie de Madera		Pino radiata																	
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Presente en NCh819		Sí			No			Sí			No			Sí			No		
Condición de uso	Ubicación en la edificación	Interior			Exterior			Interior			Exterior			Interior			Exterior		
	Posición respecto al suelo	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada		
	Exposición a la interperie ²	No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)		Expuesto directamente		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)		Expuesto directamente		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)		Expuesto directamente	
	Frecuencia de humidificación	No (ambiente seco o protegido)		Ocasional		Permanente		No (ambiente seco o protegido)		Ocasional		Permanente		No (ambiente seco o protegido)		Ocasional		Permanente	
	Capacidad de Secado ²	Buena		Regular		Mala		Buena		Regular		Mala		Buena		Regular		Mala	
Agente biológico de deterioro	Hongos de pudrición	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
	Termita subterránea	Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³																	
	Xilófagos marinos	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
Agentes abióticos de deterioro	Radiación UV/ Infrarroja	Sí			No			Sí			No			Sí			No		
Deterioro superficial por uso		Bajo		Medio		Alto		Bajo		Medio		Alto		Bajo		Medio		Alto	
TRATAMIENTO PRESERVANTE																			
Tipo de preservante	Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			
	B205	CA-B	MCaz	LOSP			B205	CA-B	MCaz	LOSP			B205	CA-B	MCaz	LOSP			
	μCA-C	CCA ⁴					μCA-C	CCA ⁴					μCA-C	CCA ⁴					
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes			

* Notas en página 147

Caso de aplicación D

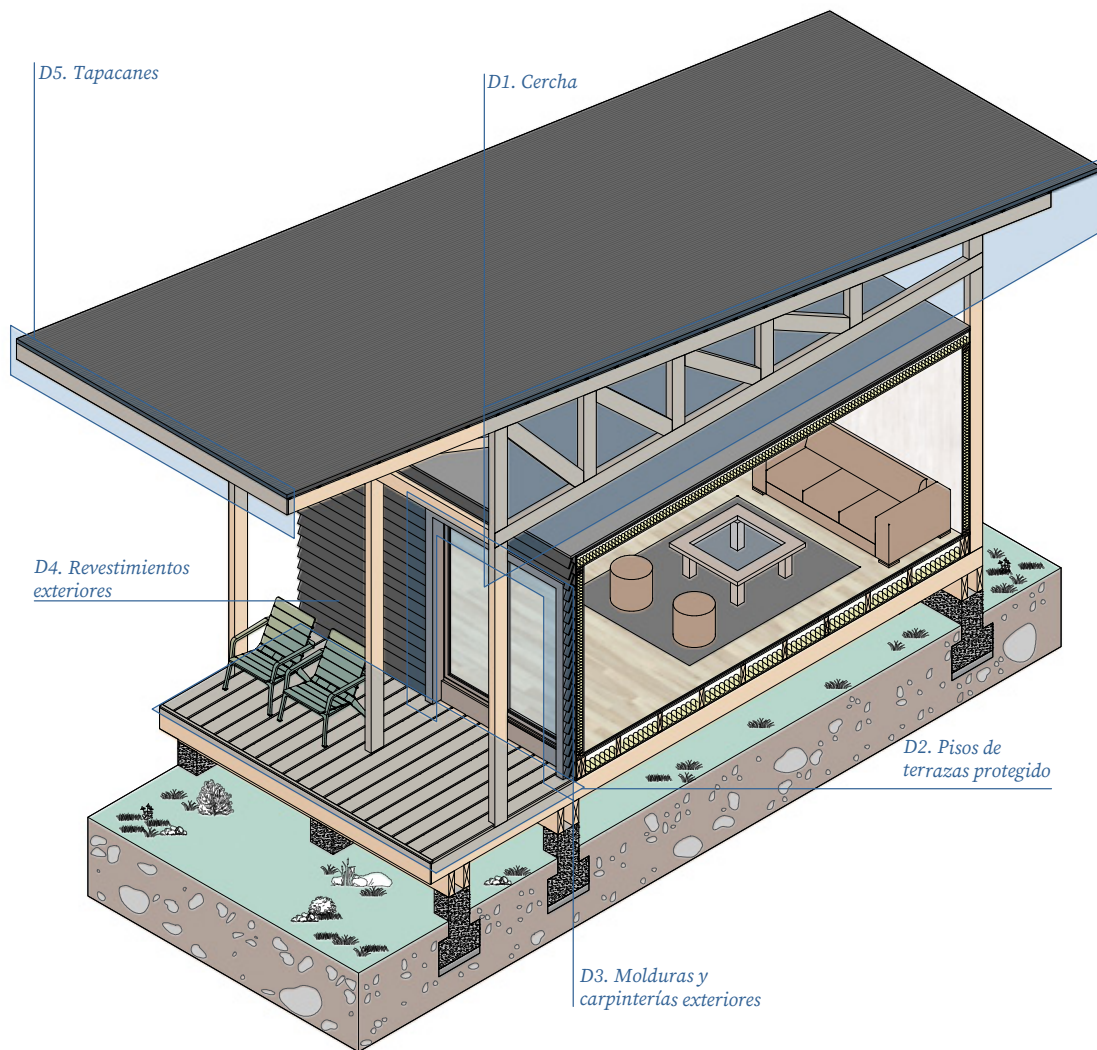


Figura 8.4 - Caso de aplicación D - Edificación tipo galpón

		ELEMENTO D1. CERCHA						ELEMENTO D2. PISOS DE TERRAZA PROTEGIDO						ELEMENTO D3. MOLDURAS Y CARPINTERÍAS EXTERIORES								
Tipo de elemento		Estructural			Terminación			Estructural			Terminación			Estructural			Terminación					
Especie de Madera		Pino radiata						Pino radiata						Pino radiata								
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
Presente en NCh819		Sí			No			Sí			No			Sí			No					
Condición de uso	Ubicación en la edificación	Interior			Exterior			Interior			Exterior			Interior			Exterior					
	Posición respecto al suelo	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada					
	Exposición a la interperie ¹	No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)	Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente			No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)	Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente			No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)	Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente		
	Frecuencia de humidificación	No (ambiente seco o protegido)	Ocasional			Permanente			No (ambiente seco o protegido)	Ocasional			Permanente			No (ambiente seco o protegido)	Ocasional			Permanente		
Capacidad de Secado ²		Buena			Regular			Buena			Regular			Buena			Regular			Buena		
Agente biológico de deterioro	Hongos de pudrición	Sí			No			Sí			No			Sí			No					
	Termita subterránea	Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³						Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³						Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³								
	Xilófagos marinos	Sí			No			Sí			No			Sí			No					
Agentes abióticos de deterioro	Radiación UV/ Infrarroja	Sí			No			Sí			No			Sí			No					
Deterioro superficial por uso		Bajo			Medio			Bajo			Medio			Bajo			Medio			Alto		
TRATAMIENTO PRESERVANTE																						
Tipo de preservante	Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble						
	BZOS	CA-B	MCz	LOSP			BZOS	CA-B	MCz	LOSP			BZOS	CA-B	MCz	LOSP						
	µCA-C	CCA ⁴					µCA-C	CCA ⁴					µCA-C	CCA ⁴								
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes						

		ELEMENTO D4. REVESTIMIENTOS EXTERIORES						ELEMENTO D5. TAPACANES								
Tipo de elemento		Estructural			Terminación			Estructural			Terminación					
Especie de Madera		Pino radiata						Pino radiata								
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
Presente en NCh819		Sí			No			Sí			No					
Condición de uso	Ubicación en la edificación	Interior			Exterior			Interior			Exterior					
	Posición respecto al suelo	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada			
	Exposición a la interperie ¹	No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)	Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente			No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)	Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)			Expuesto directamente			
	Frecuencia de humidificación	No (ambiente seco o protegido)	Ocasional			Permanente			No (ambiente seco o protegido)	Ocasional			Permanente			
Capacidad de Secado ²		Buena			Regular			Buena			Regular			Buena		
Agente biológico de deterioro	Hongos de pudrición	Sí			No			Sí			No					
	Termita subterránea	Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³						Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³								
	Xilófagos marinos	Sí			No			Sí			No					
Agentes abióticos de deterioro	Radiación UV/ Infrarroja	Sí			No			Sí			No					
Deterioro superficial por uso		Bajo			Medio			Bajo			Medio			Alto		
TRATAMIENTO PRESERVANTE																
Tipo de preservante	Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble						
	BZOS	CA-B	MCz	LOSP			BZOS	CA-B	MCz	LOSP						
	µCA-C	CCA ⁴					µCA-C	CCA ⁴								
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes					

* Notas en página 147

Caso de aplicación E

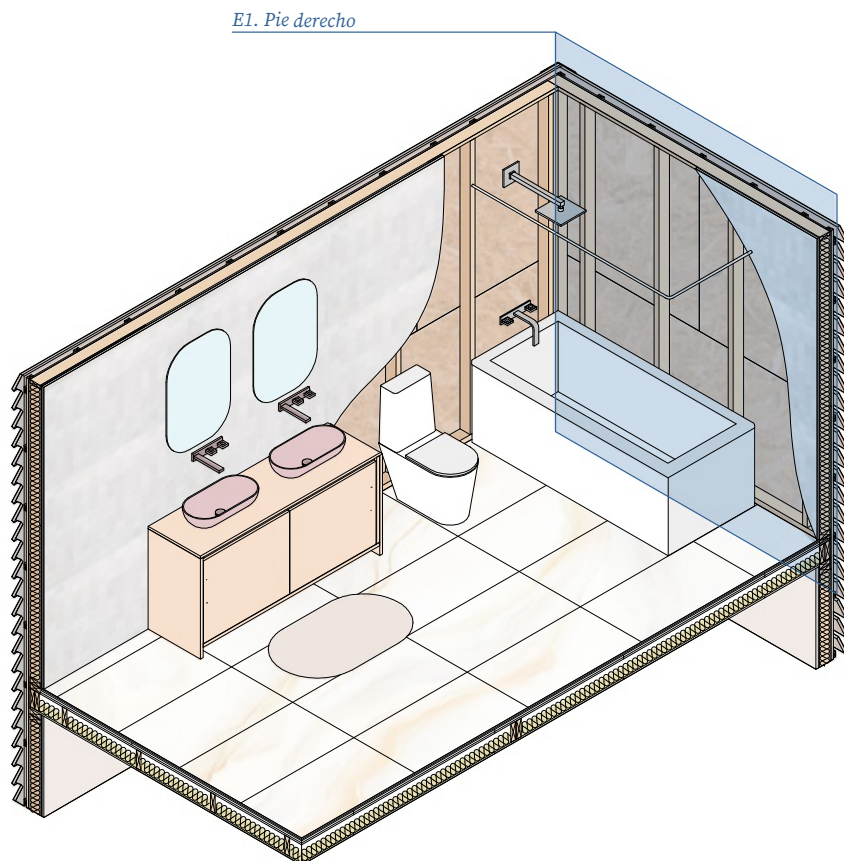


Figura 8.5 - Caso de aplicación E - Recinto húmedo baño

ELEMENTO EL PIE DERECHO EN ZONAS HÚMEDAS							
Tipo de elemento		Estructural			Terminación		
Especie de Madera		Pino radiata					
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6
Presente en NCh819		Sí			No		
Condición de uso	Ubicación en la edificación	Interior			Exterior		
	Posición respecto al suelo	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada		
	Exposición a la interperie ¹	No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)	Expuesto directamente		
	Frecuencia de humidificación	No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente		
	Capacidad de Secado ²	Buena		Regular	Mala ³		
Agente Biológico de deterioro	Hongos de pudrición	Sí			No		
	Termita subterránea	Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ⁴					
	Xilófagos marinos	Sí			No		
Agentes abióticos de deterioro	Radiación UV/ Infrarroja	Sí			No		
Deterioro superficial por uso		Bajo		Medio	Alto		
TRATAMIENTO PRESERVANTE							
Tipo de preservante	Hidrosoluble			Óleosoluble			
	BZOS	CA-B	MCAz	LOSP			
	μCA-C	CCA ⁴					
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁶	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	

* Notas en página 147

Caso de aplicación F

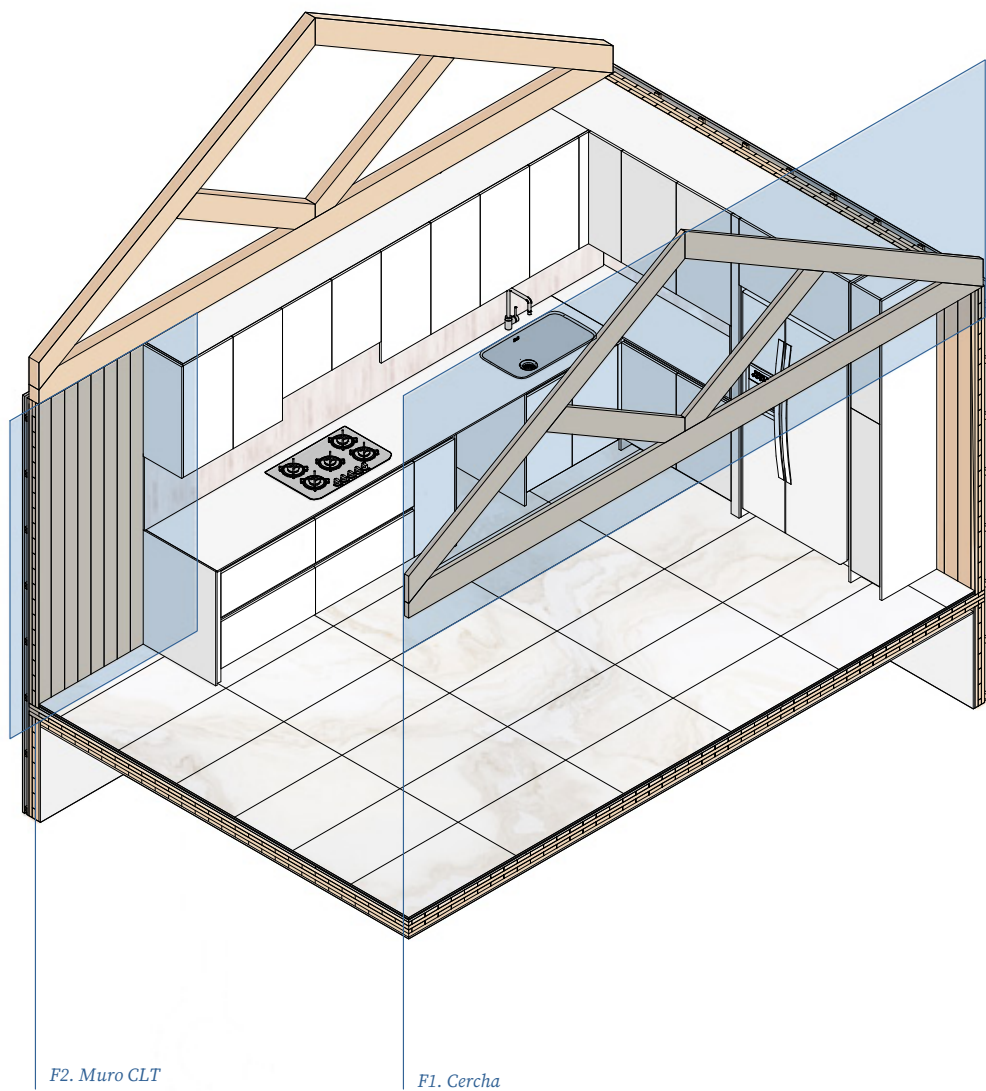


Figura 8.6 - Caso de aplicación F - Recinto húmedo cocina

		ELEMENTO F1. CERCHA						ELEMENTO F2. MURO CLT								
Tipo de elemento		Estructural			Terminación			Estructural			Terminación					
Especie de Madera		Pino radiata						Pino radiata								
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
Presente en NCh819		Sí			No			Sí			No					
Condición de uso		Ubicación en la edificación			Interior			Exterior			Interior			Exterior		
		Posición respecto al suelo		Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce	En contacto con agua salada					
		Exposición a la interperie ²		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)		Expuesto directamente		No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)		Expuesto directamente		
		Frecuencia de humidificación		No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente	No (ambiente seco o protegido)		Ocasional	Permanente					
		Capacidad de Secado ²		Buena		Regular	Mala	Buena		Regular	Mala					
Agente biológico de deterioro		Hongos de pudrición			Sí			No			Sí			No		
		Termita subterránea			Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³						Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ³					
		Xilófagos marinos			Sí			No			Sí			No		
Agentes abióticos de deterioro		Radiación UV/ Infrarroja			Sí			No			Sí			No		
Deterioro superficial por uso		Bajo		Medio		Alto		Bajo		Medio		Alto				
TRATAMIENTO PRESERVANTE																
Tipo de preservante		Hidrosoluble			Óleosoluble			Hidrosoluble			Óleosoluble					
		BZ05	CA-B	MCAz	LOSP			BZ05	CA-B	MCAz	LOSP					
		μCA-C	CCA ⁴					μCA-C	CCA ⁴							
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes					

* Notas en página 147

Caso de aplicación G

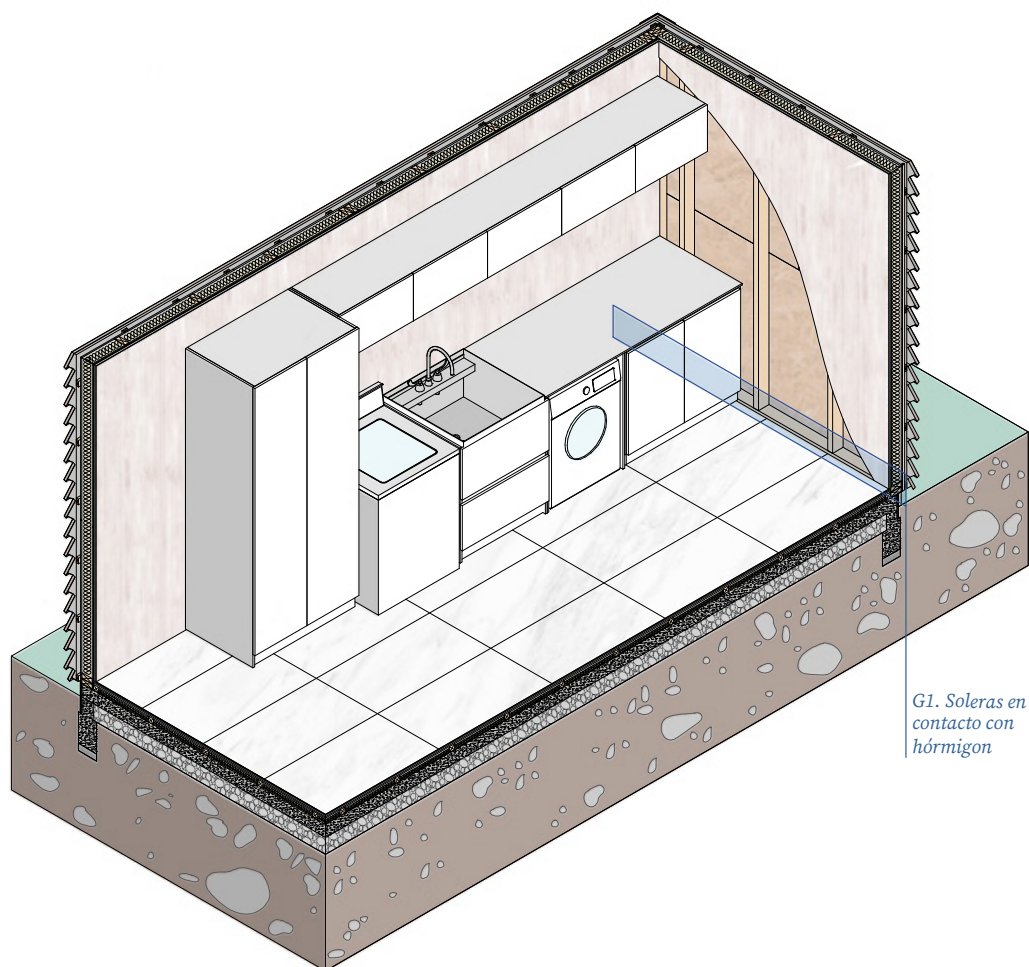


Figura 8.7 - Caso de aplicación G - Recinto húmedo de lavado

ELEMENTO G1: SOLERAS EN CONTACTO CON HORMIGÓN							
Tipo de elemento		Estructural			Terminación		
Especie de Madera		Pino radiata					
Nivel de Riesgo		R1	R2	R3	R4	R5	R6
Presente en NCh819		Sí			No		
Condición de uso	Ubicación en la edificación	Interior			Exterior		
	Posición respecto al suelo	Sobre el nivel de suelo	En contacto con el suelo	En contacto con agua dulce		En contacto con agua salada	
	Exposición a la interperie ¹	No (condición interior o completamente protegida de agentes climáticos)		Parcialmente expuesto (protegido por alero, revestimiento, cubierta)		Expuesto directamente	
	Frecuencia de humidificación	No (ambiente seco o protegido)		Ocasional		Permanente	
	Capacidad de Secado ²	Buena		Regular		Mala ³	
Agente biológico de deterioro	Hongos de pudrición	Sí			No		
	Termita subterránea	Si está presente en la zona, debe tener un tratamiento preservante ⁴					
	Xilófagos marinos	Sí			No		
Agentes abióticos de deterioro	Radiación UV/ Infrarroja	Sí			No		
Deterioro superficial por uso		Bajo		Medio		Alto	
TRATAMIENTO PRESERVANTE							
Tipo de preservante	Hidrosoluble			Óleosoluble			
	BZOS	CA-B	MCAz	LOSP			
	μCA-C	CCA ⁴					
Productos complementarios según uso (recomendación)		Insecticida ⁵	Fungicida ⁵	Retardante al fuego	Protectores de radiación	Impermeabilizantes	

Notas:

- 1) Es importante diferenciar intemperie de exterior: intemperie hace referencia explícita a exposición a la lluvia y a la luz solar. Es posible una condición al exterior no expuesta a la intemperie.
- 2) Incluye ventilación natural, ventilación mecánica o calefacción esporádica.
- 3) La Tabla A.2 de la NCh789-1, indica que para el Pino Radiata desde el R1 - R5, se considera "No durable" por lo que debe aplicar un tratamiento preservante.
- 4) El CCA está permitido por la NCh819, pero su uso está prohibido en Europa, Australia y Nueva Zelanda, y restringido en Norteamérica para usos residenciales.
- 5) Se deben utilizar productos complementarios, con propiedades insecticidas y fungicidas cuando la categoría de durabilidad es intermedia, como se indica en la Figura 3.8.
- 6) Si existe frecuencia de humidificación y no se garantiza la aislación adecuada o capacidad de secado, deben implementarse medidas de control o protección.

09

Referencias

- Ayanleye, S., Udele, K., Nasir, V., Zhang, X., & Militz, H. (2022). Durability and protection of mass timber structures: A review. *Journal of Building Engineering*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103731>
- Bagheri, S., Alinejad, M., Ohno, K., Hasburgh, L., Arango, R., & Nejad, M. (2022). Improving durability of cross laminated timber (CLT) with borate treatment. *Journal of Wood Science*, 68(1). <https://doi.org/10.1186/s10086-022-02041-6>
- Broda, M. (2020). Natural compounds for wood protection against fungi—A review. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 15). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules25153538>
- Fritz, A. (2008). *Manual La Construcción de Viviendas en Madera*.
- Garay, R. M. (2007). IMPREGNANTES TIPO LASUR PARA LA PROTECCION SUPERFICIAL DE MADERA Y TABLEROS. *Agro-Ciencia*, 23(1), 25–36. <http://www.agro-ciencia.cl>
- González-Laredo, F. R., Rosales-Castro, M., Elizabeth Rocha-Guzmán, N., Alberto Gallegos-Infante, J., Rocío Moreno-Jiménez, M., & Karchesy, J. J. (2015). *Wood preservation using natural products Preservación de la madera usando productos naturales* (Vol. 21).
- Guindos, P. (2019). *Fundamentos del Diseño y la Construcción con Madera*.
- Han, M. (1963). *LA MANCHA DE LA MADERA Y SU PREVENCIÓN*.
- HILAM ARAUCO. (2025). *Mantenimiento de estructuras de madera laminada y CLT*. <https://arauco.com/hilam/documentos-descargables/>
- HILAM ARAUCO. (2025). *Manual de mantenimiento y reparación de estructuras de madera laminada y CLT*. <https://arauco.com/hilam/documentos-descargables/>
- Juárez, C., Reyes, C., & Guindo, P. (2025). *Manual de transporte y montaje de paneles de CLT*.
- JWPA. (2014). *Japan Wood Protection Association*. www.mokuzaihozon.org.
- Khademibami, L., Barnes, H. M., Jeremic, D., Shmulsky, R., Bourne, K., & Fatemi, S. A. (2020). *Antifungal Activity and Fire Resistance Properties of Nano-Chitosan Treated Wood*.
- Kirker, G., & Lebow, S. (2020). *Wood Preservatives*.
- Lebow, S. T., Tang, J. D., Kirker, G. T., & Mankowski, M. E. (2019). *Guidelines for Selection and Use of Pressure-Treated Wood*. www.fpl.fs.fed.us.
- Mantanis, G. I. (2017). *Chemical Modification of Wood by Acetylation or Furfurylation: A Review of the Present Scaled-up Technologies*.
- Mantanis, G., Terzi, E., Kartal, S. N., & Papadopoulos, A. N. (2014). Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc- and copper-based nanocompounds. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 90, 140–144. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.02.010>

C. Barrías, Mc-Manus, E., Riquelme, M., Hernán Martínez, Besnier, R., & Ducaud, A. (n.d.). *Durabilidad Natural de Tratamientos Protectores Superficiales de la Madera Contra el Ataque de Hongos de Pudrición y Termitas*.

Mehramiz, S., Oladi, R., Efhamisizi, D., & Pourtahmasi, K. (2021). Natural durability of the Iranian domestic bamboo (*Phyllostachys vivax*) against fungal decay and its chemical protection with propiconazole. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(2), 453–464. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01601-1>

Ministerio de Economía, F. y T. (2023). *Decreto 11*. <https://bcn.cl/3ls7j>

Morais, S., Fonseca, H. M. A. C., Oliveira, S. M. R., Oliveira, H., Gupta, V. K., Sharma, B., & Pereira, M. de L. (2021). Environmental and health hazards of chromated copper arsenate-treated wood: A review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115518>

Morrell, J. J. (2019). Review Article PROTECTION OF WOOD: A GLOBAL PERSPECTIVE ON THE FUTURE. In *Sigma J Eng & Nat Sci* (Vol. 10, Issue 1).

NCh790-2012 Madera - Preservación - Clasificación, Composición y Requisitos de Los Preservantes Para Madera (2012). www.inn.cl

NCh819-2019 Madera Preservada - Clasificación Según Riesgo de Deterioro En Servicio y Muestreo (2019). www.inn.cl

NCh1198-2024 Madera - Construcciones en Madera - Cálculo, 01 (2024).

Reyes, C., López, V., & Guindos, P. (2024). *GUÍA DE DISEÑO Y ESPECIFICACIÓN DE MADERA CONTRALAMINADA (CLT)*.

Singh, T. (2013). Scoping Antifungal Activities of Various Forms of Chitosan Oligomers and Their Potential Fixation in Wood. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 7, 1175–1180.

Singh, T. (2016). *CCA treated wood, Will it last 100 years?* www.irg-wp.com

Subsecretaría de Salud Pública. (2007). *REGLAMENTO DE PESTICIDAS DE USO SANITARIO Y DOMESTICO. DECRETO N° 157 DE 2005*.

Touza, M. (2013). *Guía de la Madera. Capítulo 2: Durabilidad. Documento de Aplicación del CTE*. www.confemadera.es

US EPA. (2002). *US EPA - Pesticides - Reregistration Eligibility Decision (RED) for Chromated copper arsenate (cca)*. https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/red_G-22_1-Sep-08.pdf

USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, & General Technical Report FPL-GTR-190. (2010). *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*. www.fpl.fs.fed.us.

Waldron, L., Cooper, P. A., & Ung, T. Y. (2005). Prediction of long-term leaching potential of preservative-treated wood by diffusion modeling. *Holzforschung*, 59(5), 581–588. <https://doi.org/10.1515/HF.2005.095>

Xu, T., Xin, M., Li, M., Huang, H., & Zhou, S. (2010). Synthesis, characteristic and antibacterial activity of N,N,N-trimethyl chitosan and its carboxymethyl derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 81(4), 931–936. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.008>

10

Agradecimientos

El presente manual fue elaborado por el Centro UC de Innovación en Madera (CIM) y Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD), en el marco del encargo realizado por la empresa Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal.

Agradecemos a los investigadores del eje de Bioproductos del Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera, Cecilia Fuente-Alba, María Graciela Aguayo, Danilo Escobar y Víctor Ferrer, por su valiosa disposición a compartir información sobre el estado del arte en productos innovadores relacionados con la preservación, así como sobre los desarrollos que se están llevando a cabo a nivel nacional en esta materia.



Listado de figuras

Figura 1.1 - Partes del tronco de un árbol (elaboración propia).....	11
Figura 1.2 – Agentes de degradación de la madera (elaboración propia)	12
Figura 1.3 – Organigrama Manual de preservación de la madera (elaboración propia)	15
Figura 3.1 – Diagrama de flujo requerimientos normativos (elaboración propia).....	21
Figura 3.2 – Ejemplos de elementos que deben ser preservados según la normativa (elaboración en base a Anexo A NCh819).....	23
Figura 3.3 - Diagrama de flujo para la asignación de nivel de riesgo (elaboración propia)	24
Figura 3.4 – Muestras de preservantes en laboratorio (Protección de Madera Limitada, una empresa Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	29
Figura 3.5 – Retención mínima de un producto preservante distribuido en 1m ³ de madera (elaboración propia).....	30
Figura 3.6 – Niveles de penetración de un producto preservante (elaboración propia).....	32
Figura 3.7 – Ensayo penetración mediante colorimetría. Tratamiento de impregnación con LOSP (Vacsol® Azure (RTU) mediante Vacío – Vacío de piezas de madera lateral (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®).....	34
Figura 3.8 – Categorías de durabilidad frente a agentes de biodeterioro (elaboración propia)	35
Figura 3.9 – Cámara de envejecimiento acelerado para analizar la durabilidad en laboratorio (fotografía del autor)	36
Figura 3.10 – Probetas en máquina de envejecimiento acelerado (fotografía del autor)	36
Figura 3.11 - Ensayo en terreno (elaboración propia)	36
Figura 3.12 – Asignación durabilidad de la madera según ataque de hongos xilófagos (elaboración propia).....	37
Figura 3.13 – Pasos para medir la durabilidad (elaboración en base a (Muñoz, n.d.))	38
Figura 3.14 – Probetas ensayo exploratorio tratamiento envolvente superficial frente a hongos (<i>P. placenta</i>) con distintos tipos de preservantes (Barrías et al., n.d.)	39
Figura 3.15 – Asignación de durabilidad de la madera según ataque de insectos xilófagos (elaboración propia).....	41
Figura 3.16 – Instalación de probetas para ensayo frente a termitas (Barrías et al., n.d.)	42
Figura 3.17 – Resultado de ensayos frente a termitas con distintos productos preservantes (Barrías et al., n.d.).....	42
Figura 3.18 - Biodeterioro por xilófagos marinos (elaboración propia).....	44

Figura 3.19 - Servicio Agrícola y Ganadero (Fuente: SAG)	45
Figura 3.20 – Formulación de un plaguicida (Propuesto por Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	45
Figura 3.21 – Etapas para el registro de un plaguicida (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	46
Figura 3.22 – Etiqueta de producto preservante aprobado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).....	47
Figura 4.1 – Exposición de la madera cuando se corta un elemento solo con protección superficial v/s uno mediante la aplicación de un producto preservante (elaboración propia).....	49
Figura 4.2 – Planta de impregnación industrial (Fotografía de Andrés Daly para Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	50
Figura 4.3 –Deformaciones de las piezas de madera tras secado según la posición en el tronco (elaboración en base a Guindos (2019))	50
Figura 4.4 - Penetración tratamiento Borato (Sillbor RTU) mediante Impregnación Método Vacío – Vacío. En la izquierda se presenta piezas de madera lateral con una difusión del 100 % y en la derecha piezas con madera central con una difusión de ± 70 -80%. (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®).....	52
Figura 4.5 -Penetración tratamiento CA-B (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	54
Figura 4.6 - Penetración tratamiento MCaz (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	56
Figura 4.7 - Penetración tratamiento μ CAC (Wolman E) mediante Impregnación Método Vacío – Presión. En la izquierda se presenta piezas de madera lateral y en la derecha piezas con madera central (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®).....	58
Figura 4.8 - Penetración tratamiento CCA mediante Impregnación Método Vacío – Presión (Fotografía de Andrés Daly para Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	60
Figura 4.9 –Tratamiento oleosoluble (Fotografía de Andrés Daly para Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	63
Figura 4.10 - Penetración tratamiento LOSP (Vacsol® Azure (RTU)) mediante Impregnación Método Vacío –Vacío. En la se presentan piezas de madera lateral y semilateral (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®).....	64
Figura 4.11 –Ensayo en terreno de productos complementarios de protección (fotografía del autor)	66
Figura 4.12- Tipos de acabados de productos protectores (elaboración propia)	68
Figura 4.13- Proceso de aplicación y re aplicación de productos protectores (elaboración propia)	68
Figura 4.14 – Insecticidas (elaboración propia)	69

Figura 4.15 – Fungicida (elaboración propia)	70
Figura 4.16 – Protección en la testa o cabezal de la pieza (elaboración propia)	71
Figura 4.17 – Imagen representativa de retardante de fuego (elaboración propia)	72
Figura 4.18. – Efectos de la radiación (elaboración propia)	74
Figura 4.19 – Temperatura por color por radiación directa del sol (elaboración en base a UNE EN-927- 1)	75
Figura 4.20 – Impermeabilizantes (elaboración propia)	76
Figura 4.21 - Tipos de impermeabilizantes (elaboración propia)	77
Figura 4.22 – Productos innovadores (fuente: https://cenamad.cl/udt-cenamad-avanza-en-preservante-natural-que-prolonga-la-vida-util-de-la-madera/)	78
Figura 4.23 - Análisis de nanocristales de celulosa utilizados en la patente de invención (fuente: https://cenamad.cl/innovacion-para-la-industria-de-la-construccion-con-madera-ubb-cenamad-patentan-un-preservante-para-madera-de-pino-radiata/).....	79
Figura 4.24 – Muestras de madera de pino radiata sometidas a pruebas experimentales de resistencia al fuego, A) muestra control y B) muestras tratadas con soluciones experimentales en base a boro y nanopartículas modificadas (P Fondef ID25110258)	80
Figura 4.25 – Extractos naturales (fuente: https://cenamad.cl/udt-cenamad-avanza-en-preservante-natural-que-prolonga-la-vida-util-de-la-madera/)	81
Figura 5.1 – Tipos de autoclave (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®)	84
Figura 5.2 – Partes de un autoclave (elaboración propia).....	85
Figura 5.3 – Pasos de la metodología vacío - presión (elaboración propia).....	87
Figura 5.4 - Pasos de la metodología vacío - vacío (elaboración propia).....	89
Figura 5.5 – Tratamientos de difusión (elaboración propia).....	90
Figura 5.6 – Penetración Tratamiento Borato (Sillbor RTU) mediante el método Pulverizado manual (Protección de Madera Limitada, una empresa Arxada Quimetal®).....	91
Figura 5.7 - Gradiente de concentración por difusión en la madera (elaboración propia)	91
Figura 5.8 – Difusión del preservante desde la línea de cola (elaboración propia).....	92
Figura 5.9 – Pincelado (elaboración propia).....	92
Figura 5.10 - Pulverizado mecánico (elaboración propia)	93
Figura 5.11 – Pulverizado manual (elaboración propia).....	93

Figura 5.12 - Inmersión en autoclave (elaboración propia)	93
Figura 5.13 - Inmersión en estanque (elaboración propia)	93
Figura 5.14 - Termotrado (https://lunawood.com/de/lunawood-thermoholz/)	94
Figura 5.15 - Proceso Madera termotrado (elaboración propia)	97
Figura 5.16 - Proceso Acetilado (elaboración propia)	99
Figura 5.17 - Proceso furfúricado (elaboración propia)	101
Figura 6.1 - Muestra y obtención de probetas (fotografía del autor).....	104
Figura 6.2 - Hoja de carga tipo (elaboración propia)	107
Figura 6.3 - Tipos de probeta (elaboración propia)	108
Figura 6.4 - Probeta tipo tarugo (elaboración propia).....	109
Figura 6.5 - Ejemplo informe de ensayo (elaboración propia)	112
Figura 6.6 - Posición del rotulado (elaboración propia)	115
Figura 6.7 - Rotulado Comercialización (fotografía del autor)	116
Figura 7.1 - Proceso de la madera desde el bosque hasta la edificación (elaboración propia)	122
Figura 7.2 - Tipos de protección de carga de elementos de madera (elaboración en base a (Juárez et al., 2025)).....	124
Figura 7.3 - Diagnóstico y mantenimiento de la madera preservada (Virrage Images/ shutterstock)	127
Figura 7.4 - Tipos de humedad (elaboración propia).....	129
Figura 8.1 - Caso de aplicación A - Edificación en entramado ligero (elaboración propia)	134
Figura 8.2 - Caso de aplicación B - Edificación en madera contralaminada (CLT) (elaboración propia).....	136
Figura 8.3 - Caso de aplicación C - Edificación poste y viga (elaboración propia)	138
Figura 8.4 - Caso de aplicación D - Edificación tipo galpón (elaboración propia).....	140
Figura 8.5 - Caso de aplicación E - Recinto húmedo baño (elaboración propia).....	142
Figura 8.6 - Caso de aplicación F - Recinto húmedo cocina (elaboración propia)	144
Figura 8.7 - Caso de aplicación G - Recinto húmedo de lavado (elaboración propia).....	146

Listado de fotografías

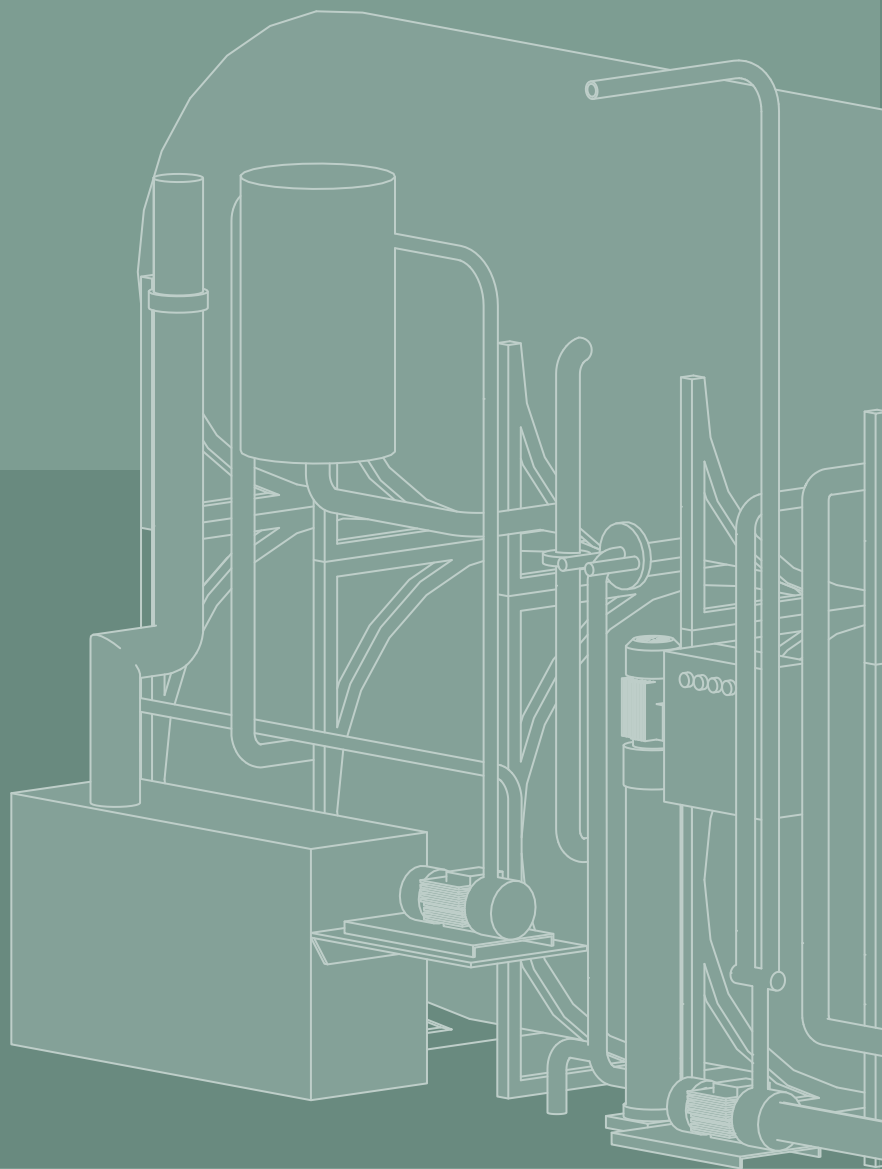
Amuhrinova55. (s.f.). <i>Pile of wood forming a wall: ecology and deforestation problems in nature</i> [Fotografía]. Freepik. https://www.freepik.com/premium-photo/pile-wood-forming-wall-ecology-deforestation-problems-nature_30375912.htm	10
Chokniti-Studio. (2024). <i>Empty brown wood texture, abstract wooden background</i> [Fotografía]. Shutterstock. https://www.shutterstock.com/image-photo/empty-brown-wood-texture-abstract-wooden-2460862713	16
Daly, Andrés (2025) <i>Autoclave y polines preservados</i> [Fotografía]	20
Besnier, Rodrigo (2025) <i>Almacenaje productos preservantes</i> [Fotografía].....	48
Besnier, Rodrigo (2025) <i>Autoclave y maderas preservadas</i> [Fotografía]	62
López, Vicente (2025) <i>Probetas de madera en ensayo frente a fuego</i> [Fotografía].....	73
Daly, Andrés (2025) <i>Interior autoclave</i> [Fotografía]	82
Daly, Andrés (2025) <i>Apertura autoclave</i> [Fotografía]	102
Daly, Andrés (2025) <i>Almacenaje polines preservados</i> [Fotografía]	117
Rawpixel.com (s.f.). <i>Small pile of wood background</i> [Fotografía]. Freepik. https://www.freepik.com/free-photo/small-pile-wood-background_3741977.htm	131
Slavun. (s.f.). <i>Modular homes exterior designs of modern architecture</i> [Fotografía]. Adobe Stock. https://stock.adobe.com/cl/images/modular-homes-exterior-designs-of-modern-architecture/439247968	132
Amuhrinova55. (s.f.). <i>Pile of wood forming a wall: ecology and deforestation problems in nature</i> [Fotografía]. Freepik. https://www.freepik.com/premium-photo/pile-wood-forming-wall-ecology-deforestation-problems-nature_30375912.htm	151

Listado de Tablas

Tabla 1 - Diferencia entre pieza, producto y elemento de madera (elaboración propia)	13
Tabla 2 – Clasificación de preservantes (elaboración propia).....	25
Tabla 3 – Clasificación de preservantes para pino radiata.....	26
Tabla 4 - Requisitos y recomendaciones de tratamiento preservante según nivel de riesgo, agente de deterioro y clasificación del producto preservante	27
Tabla 5 - Uso de productos preservantes según nivel de riesgo de deterioro de la madera NCh819	28
Tabla 6 - Ensayos de Retención	31
Tabla 7 - Zona de ensayo para determinar la retención del preservante según producto y nivel de riesgo de deterioro de la madera (excepto LOSP)	31
Tabla 8 - Zona de ensayo para determinar la retención del preservante LOSP en la madera	32
Tabla 9 - Penetración de los preservantes (excepto LOSP).....	33
Tabla 10 - Penetración de los preservantes LOSP.....	33
Tabla 11 - Ensayos de penetración.....	34
Tabla 12 - Categorías de durabilidad de la madera frente a los ataques de hongos de pudrición determinado según ensayo de laboratorio.....	37
Tabla 13 - Clasificación de escalas de ataque frente a termitas	40
Tabla 14 - Categorías de durabilidad de la madera frente a los ataques de termita	41
Tabla 15 - Clasificación de escalas de ataque frente a xilófagos marinos.....	43
Tabla 16 - Ataque por xilófagos marinos	43
Tabla 17 - Categorías de durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera frente al ataque por xilófagos marinos	43
Tabla 18 – Función de Componentes de preservantes hidrosolubles (elaboración propia)	51
Tabla 19 - Complementos para la preservación (elaboración propia)	67
Tabla 20 – Métodos de protección e impregnación (elaboración propia)	83

Tabla 21 - Niveles de aceptación para los requisitos de retención y penetración del producto preservado.....	105
Tabla 22 - Listado laboratorios (elaboración propia)	111
Tabla 23 - Formulario de inspección y diagnóstico (elaboración en base a (HILAM ARAUCO, 2025)).....	119
Tabla 24 - Tipos de protección de carga de elementos de madera (elaboración en base a (Juárez et al., 2025)).....	123
Tabla 25 – Recomendaciones almacenamiento temporal de la madera (elaboración en base a (Juárez et al., 2025)).....	125
Tabla 26 – Manipulación de la madera (elaboración en base a (Juárez et al., 2025))	126
Tabla 27 - Tipos de deterioro por humedad (elaboración en base a (HILAM ARAUCO, 2025))	128
Tabla 28 - Tipos de deterioro superficial (elaboración en base a (HILAM ARAUCO, 2025))	130





Vicente López, Josefina Marambio

Manual de preservación de la madera: Tratamientos y control para la durabilidad de edificaciones en madera.

Tomo II