

Madera petrificada para la construcción: ignífuga, resistente a la pudrición y al ataque de termitas

Fecha de entrega: 12 de Enero 2009
Fecha de aceptación: 25 de Mayo 2009

Burkhard Seeger

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Chile, bseeger@udec.cl

A pesar de que Chile es un país forestal, la madera ha sido prácticamente sustituida en la construcción por el hormigón, el acero o el pvc. Este artículo presenta un nuevo tipo de impregnación de la madera, el cual entrega a las maderas blandas, como el Pino Radiata, propiedades similares a las que ésta presenta cuando ha alcanzado el estado de petrificación. El autor ha inventado un proceso de impregnación, cuyos componentes son el boro y la sílice, además de una serie de compuestos químicos que incluyen carbonatos, hidróxidos y óxidos disueltos en agua. La técnica consiste en introducir estos compuestos a la madera a través de un proceso controlado de vacío y presión, que permite que el producto penetre en todos los intersticios de la madera. Se trata de una tecnología limpia, no tóxica y por ello amigable con el ambiente. La madera así impregnada ofrece una mayor resistencia al fuego y también posee una alta resistencia a la pudrición y al ataque de hongos e insectos, especialmente de termitas. Asimismo, la madera impregnada no pierde sus propiedades físico-mecánicas de flexión, tracción y compresión e incluso las puede superar. Se suma la cualidad de mantener su color después del tratamiento y de no volverse gris con la humedad ni la luz. Se muestran ejemplos de aplicación pioneros.

Palabras clave: madera impregnada, sílice, boro, resistencia al fuego, termitas y hongos

Despite Chile is a forest country, wood has been practically replaced in construction by concrete, steel or pvc. This article presents a new type of wood impregnation, which gives to soft woods such as Pinus Radiata, similar properties as those acquired during a petrification state. The author has invented an impregnation process, whose components are boron and silica plus a series of chemical compounds including carbonates, hydroxides and oxides dissolved in water. The technique consists in introducing these compounds into the wood by means of a controlled process of vacuum and pressure allowing for the product to penetrate in the wood interstices. This technology is clean, not toxic and hence environmentally friendly. The impregnated wood by this technology offers a major resistance to fire and also has a higher resistance to decomposition and to the attack of fungi and insects, particularly termites. Moreover, the impregnated wood does not lose its physico-mechanical properties of bending, tension and compression, which may even increase. Furthermore, the treated wood keeps the original colour after impregnation and does not become grey with humidity nor with light. Pioneer application examples are shown.

Keywords: impregnated wood, silica, boron, resistance against fire, termites and fungi

HISTORIA, USO Y VENTAJAS DE LA MADERA

El ser humano ha usado la madera desde tiempos inmemoriales, para innumerables fines. Uno de los usos más importantes es en la construcción. Otro de los materiales de mucho uso desde la antigüedad en la construcción es la piedra, en sus diferentes formas: piedra como tal, adobe, ladrillo, cemento, hormigón, o sea materiales a base de sílice.

La madera tiene un aspecto agradable y se puede trabajar fácilmente. La madera se puede tallar, pegar, clavar, cortar, partir y no pierde su valor totalmente después de su uso (como sucede con los derivados de

la piedra). La madera es un buen aislante del calor y de la electricidad, regula la humedad absorbiendo humedad en un ambiente húmedo y la entrega en un ambiente seco.

La madera es un material liviano y fácil de transportar, a diferencia de los derivados de la piedra. La madera es un material elástico y no es peligroso en terremotos como los materiales a base de piedra, además la madera es un material menos duro que el material a base de piedra.

Sin embargo el uso de la madera está limitado por algunas desventajas.

DESVENTAJAS DE LA MADERA

La madera arde con llamas y promueve incendios. La madera es destruida por pudrición, insectos, especialmente termitas, por roedores, los hongos producen manchas en la madera húmeda (mancha azul, mancha blanca, mancha parda). La madera puede deformarse (con calor y humedad), puede decolorarse y volverse gris (con la luz, calor y humedad). Las propiedades físico-mecánicas de la madera deben ser mejoradas para algunos usos, como la dureza para la madera de pino usada en pisos. La madera tiene poca estabilidad dimensional frente a la humedad (importante en ventanas).

Estas desventajas cambian en su magnitud según la especie. La madera de *Pinus Radiata* que por su rápido crecimiento es la especie que más se cultiva en nuestro país arde fácilmente, se destruye en forma rápida por pudrición y es muy atacada por termitas y roedores. Tiene además propiedades mecánicas inferiores a otras maderas, lo que hace que sea considerada una madera de segunda categoría.

TRATAMIENTO DE LA MADERA PARA EVITAR LAS DESVENTAJAS

Para retardar la pudrición y evitar la acción de termitas y otros insectos se han usado, desde hace más de 60 años, especialmente tres compuestos:

- a) creosota
- b) CCA (sales de Cobre, Cromo y Arsénico)
- c) Compuestos orgánicos halogenados

Los tres compuestos actúan sobre los hongos e insectos como pesticidas, pero también son tóxicos para los seres humanos y contaminan el medio ambiente. La creosota contiene componentes cancerígenos. El CCA tiene dos componentes muy tóxicos para el ser humano, el arsénico y el cromo. Por tal razón se ha prohibido en Europa y en Estados Unidos. Dos productores de CCA lo han reemplazado voluntariamente por complejos de cobre como el ACQ. Tanto la creosota como el CCA cambian el color natural de la madera, a negro la creosota y a verde por el cobre y cromo III, en el caso de CCA.

La creosota y el CCA pierden actividad con el tiempo. La creosota pierde actividad por oxidación y por exudación desde la madera, y el CCA por volatilización del arsénico como gas arsenamina, AsH_3 , y por

lixiviación, especialmente del cobre. Los compuestos fenólicos halogenados (pentaclorofenol, tribromofenol) se usaron para evitar las manchas superficiales de los hongos como la mancha azul. Sin embargo, por su elevada toxicidad para el ser humano fueron prohibidos, primero el pentaclorofenol fue reemplazado por el tribromofenol. Actualmente se usan complejos del cobre menos tóxicos para ese fin, como el ACQ.

Productos sustitutos de los impregnantes creosota y CCA

a) Boro: los compuestos de boro fueron inicialmente utilizados como retardantes del fuego, pero posteriormente se comprobó que tenían acción efectiva contra algunos insectos de la madera como los Lícidos. A partir de este momento se intensificaron las investigaciones hasta reconocer que el boro es preservante de la madera, con la limitación que la madera tratada con este elemento debe ser utilizada sólo en lugares secos o interiores para evitar la lixiviación por acción de la humedad. Los compuestos del boro no tiñen la madera y son tóxicos para hongos e insectos, pero inocuos para el hombre y los animales domésticos.

b) Amoniaco-Cobre-Arsénico: está hecho de una mezcla 1:1 de óxido de cobre II y pentóxido de arsénico, en una cantidad prescrita de amoniaco líquido. El peso del amoniaco en solución final debe ser de por lo menos 1,5 veces el peso del cobre expresado como óxido. A las 2 ó 3 semanas de tratada la madera, se ha evaporado el amoniaco que solubiliza la parte activa y los precipitados de cobre y arsénico se fijan en la madera. Estas sales son muy eficaces contra hongos, insectos y perforadores marinos, pero tienen la desventaja de ser también tóxicas para el ser humano.

c) PEC (*Pigmented Emulsified Creosote*): estos preservantes son emulsiones altamente estables, originalmente basadas en creosota. PEC se conoce como creosota emulsificada y pigmentada, pero algunos miembros de esta familia de preservantes han sido desarrollados sin incluir creosota. Este preservante consiste en aceite y agua en varias cantidades con diferentes compuestos químicos y agentes emulsificadores y usualmente se le agrega pequeños porcentajes de pigmentos micronizados altamente refinados. PEC fue desarrollado para reemplazar la creosota convencional evitando la propensión de la creosota a la exudación de la madera así tratada. La madera con PEC queda con la superficie más seca que aquella tratada con creosota. Además las emanaciones

son mucho menores y por ello se reduce marcadamente el olor punzante de la creosota normal. Se puede formular con agentes biotóxicos añadidos. El costo de PEC es mayor que el de la creosota, pero sus ventajas compensan esta diferencia.

d) CEN (*Copper Ethanolamine Nonanoate*): es un nuevo preservante que se basa en el fungicida tradicional, cobre, unido con un menos conocido ácido graso para formar un jabón metálico. Se usa un vehículo poco común, etanolamina, que tiene la propiedad de hinchar la pared celular de la madera, particularmente en maderas duras y provee una penetración mejor que la del CCA. Los componentes del CEN están expuestos a menos objeciones ambientales que los del CCA. Sin embargo, este producto no posee el poder termicida (contra las termitas) del CCA y debería ser fortalecido con insecticidas para su uso en maderas que deben estar en contacto con el suelo, donde existe un mayor riesgo de daño por termitas. Ensayos comparativos en condiciones simuladas y aceleradas en un período de 5 años indicaron que el CCA permanece mejor fijado que el CEN, particularmente en maderas duras; en maderas blandas el CEN se comporta razonablemente bien. Por el momento existe una desventaja de precios del CEN, comparado con el CCA.

e) LOSP (*Light Organic Solvent Preservatives*): originalmente fueron utilizados para sumergir materiales de la construcción y proveer protección de corto plazo a la madera. Estos preservantes ofrecen la ventaja de proveer madera lista para su uso inmediatamente después de tratada y, a causa de que incorpora repelentes para el agua, la madera es relativamente estable en servicio.

f) Naftenato de Cobre: es un preservante formulado para ser soluble en agua y aceite. No se usa industrialmente a causa de su alto costo.

g) Cobre-Cromo-Boro (CCB): los componentes activos de las sales CCB combinan la acción fungicida del cobre con la insecticida del boro y el poder de fijación del cromo para evitar la lixiviación. Es una formulación bastante efectiva y elimina los problemas generados por el contenido de arsénico del CCA, pero tiene la desventaja de la lixiviación del boro.

Productos que aumentan la dureza y la estabilidad dimensional de la madera

Son muchos los esfuerzos que se han hecho, a nivel mundial, para desarrollar un tratamiento o un producto que permita aumentar la dureza de las maderas blandas.

El *New Zealand Forest Research Institute (FRI)*, ha desarrollado un proceso llamado *Indurite^{MR}* que usa un producto en base a celulosa para aumentar la densidad y la dureza del pino neocelandés. Si bien se obtienen buenos resultados, este proceso tiene un costo prohibitivo para ser aplicado.

Por otro lado, se han estudiado diversas formas o tratamientos químicos que aumentan la dureza y dan una mejor estabilidad dimensional a las maderas blandas. Dentro de los más estudiados se encuentran:

- a)** Acetilación de la madera con anhídrido acético
- b)** Tratamiento con ácidos dicarboxílicos de 6 o más átomos de carbono
- c)** Tratamiento con poliglicoles, como el polietilenglicol
- d)** Tratamiento con monómeros insaturados (monómeros vinílicos) como estireno, metilmetaacrilato, etilmetaacrilato, vinilacetato, etc.

Se ha encontrado en los tres primeros tratamientos, que la madera tratada mejora su estabilidad dimensional y algunas propiedades físico-mecánicas como la flexión, pero no se obtienen buenos resultados en dureza. El tratamiento con monómeros insaturados es el que ha logrado mejores resultados. El proceso consiste en evacuar el aire que se encuentra en la estructura de la madera, reemplazándolo por un sistema monómero vinílico y una posterior polimerización del monómero líquido, que se convierte en un sólido dentro de la microestructura de la madera. La polimerización puede realizarse a través de calor o por irradiación. El producto obtenido tiene la apariencia estética de la madera natural, pero con una mayor dureza, una gran estabilidad dimensional y una resistencia mecánica mayor que las maderas no tratadas. El problema está en que el costo de operación del proceso es muy alto y no permitiría competir por ejemplo en Chile con el eucalipto o coigüe.

PROCESOS DE PETRIFICACIÓN ACELERADA BS (BORO SILICATO) Y OSBE (OXALATO, SILICATO, BENZOATO)

El proceso BS fue inventado por el autor en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción (Berg *et al.*, 2005) y desarrollado a escala piloto en su Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT). La idea se basa en una simulación acelerada del proceso que se observa en la naturaleza, en la madera que se encuentra sumergida en ríos o riachuelos, y que después de cientos o miles de años ocasiona una petrificación de la madera. Ésta proviene de las pequeñas cantidades de ácido silícico disuelto que se fija en la estructura

de la madera formando sílice insoluble polimérica y desapareciendo totalmente la parte orgánica.

El proceso BS consiste en impregnar la madera en forma rápida en un tiempo menor a una hora y en una concentración en general inferior a un 10% de sílice. Se realiza en autoclave a presión con sales alcalinas de silicatos y metaboratos solubles (ver Foto 1 y portada). Dentro de la madera el silicato se transforma en sílice insoluble que contiene borato monohidrógeno cristalizado. La estructura polimérica de la sílice impide su solubilización y disminuye grandemente la del boro. Se produce una petrificación parcial de la madera, la cual se vuelve ignífuga, de difícil pudrición, no atacada por termitas y otros insectos, de mayor dureza, útil en pisos y en durmientes, de mayor estabilidad dimensional frente a la humedad, útil en la fabricación de ventanas y puertas. El impregnante no es tóxico como los actualmente usados en base a sales metálicas. No cambia el color de la madera por la impregnación y ésta mantiene su color natural frente a la luz solar y la humedad (ver Foto 2).

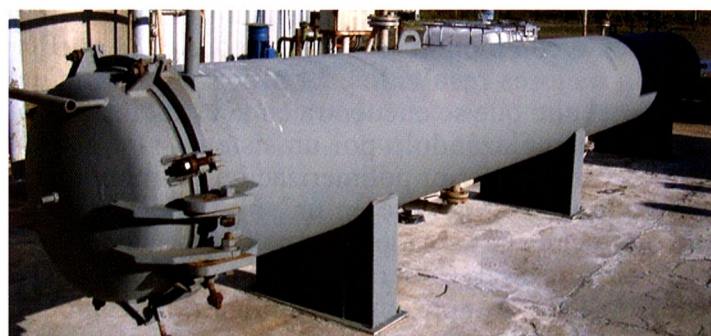


Foto 1: Vista de autoclave donde se impregna madera a altas presiones (gentileza UDT)

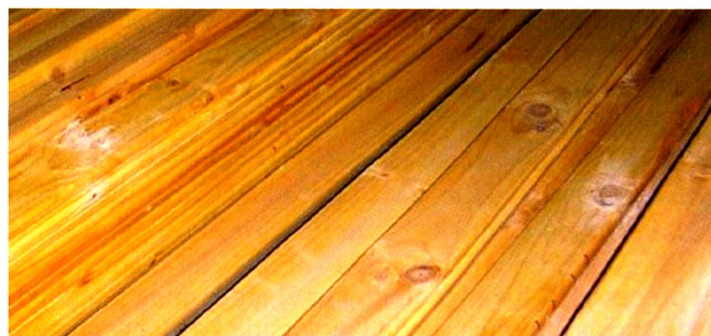


Foto 2: Maderas impregnadas con BS

Lo que se ha buscado con este proceso es mejorar la durabilidad de la madera y entregarle características de resistencia al fuego. La Foto 3 muestra dos pilas de maderas, una petrificada a la izquierda y la otra sin impregnante a la derecha. Resulta claro ver como el fuego consume la madera sin petrificar en cambio la madera petrificada no permite que la acción del fuego

dañe la madera hasta pasados más de 30 minutos.

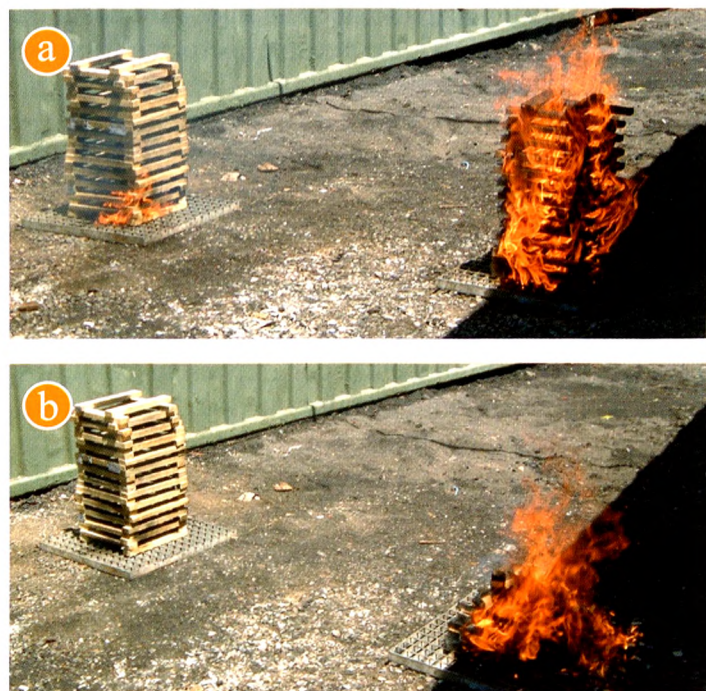


Foto 3: Trozos de madera en contacto con el fuego; a) inicio de la quema y b) después de 30 minutos de iniciada la quema

Con este proceso de impregnación se ha buscado mejorar la resistencia a la pudrición y en lo posible a las manchas azules de los hongos y mejorar las propiedades mecánicas como la dureza, aprovechando la inocuidad para el ser humano y sin cambiar de color. Otra gran cualidad del proceso es que la impregnación es definitiva, el componente principal, la sílice, se introduce a la madera como sal soluble, pero se vuelve totalmente insoluble al unirse a ella, al valor pH que ésta tiene. El proceso es ideal para tratar madera de *Pinus Radiata*, debido a que ésta por su rápido crecimiento es muy blanda y poco densa y permite una fácil entrada del líquido impregnante. El proceso eliminaría las desventajas de la madera de pino, transformándola en una madera de calidad superior (crecimiento rápido y calidad superior).

Con el proceso BS se obtiene madera que puede presentar algo de mancha azul. En estudios posteriores realizados con el especialista en hongos Dr. Norberto Garrido y un grupo de biólogos de la Universidad de Concepción se estudió diferentes combinaciones de sales y se obtuvo una a base de oxalato, silicato y benzoato, en que la madera mantiene sus demás propiedades, pero no se produce ningún tipo de manchas por hongos. El oxalato en pequeñas cantidades no es tóxico, se encuentra en numerosos alimentos, como espinacas y otras verduras. Solo en cantidades mayores

por vía digestiva puede producir problemas por unirse al calcio y formar una sal insoluble. El benzoato se usa para la conservación de alimentos, por lo que no es tóxico. El nuevo impregnante es por su composición el OSBE.

Usos en la construcción

Los procesos desarrollados a base de sílice permiten entre otros, construir casas de madera de pino seguras, durables y de bajo costo. Las Fotos 4 y 5 muestran casas construidas con madera petrificada. También se abre la posibilidad de usar postes de madera resistentes a la pudrición y los ataques de insectos, en vez de postes de hormigón.



Foto 4: (a) Casa construida en Cocholgüe con madera OSBE, por el Arquitecto Frane Zilic, (b) detalle de la madera petrificada utilizada en las vigas de la terraza y (c) inventor de la madera petrificada Profesor Dr. Seeger

También se puede usar madera durable a la interperie y no tratada con impregnantes tóxicos, en terrazas, en bancos y otros muebles y en juegos para niños, en jardines, parques y plazas. Nuevos usos para maderas baratas, como las de pino, por ejemplo en durmientes y en pisos (Fotos 4b y 5b). Usar polines de pino impregnados no tóxicos, en viñas llamadas “orgánicas”, a diferencia de viñas no orgánicas que usan polines impregnados con el CCA tóxico (Foto 6).



Foto 5: (a) Casa construida en San Pedro de la Paz con madera OSBE por el Ingeniero Juan Marcus, (b) piso de madera impregnada y (c) terraza de madera impregnada



foto 6: (a) Polines impregnados con OSBE y (b) polines en viñas impregnados con OSBE

VENTAJAS DE LA MADERA DE PINO PARCIALMENTE PETRIFICADA BS Y OSBE

La madera impregnada BS o OSBE se vuelve difícilmente inflamable, adquiere resistencia a la pudrición, no es atacada por termitas ni otros insectos. Las propiedades físico-mecánicas son mejoradas. Aumenta la dureza de la madera para pisos, aumenta la estabilidad dimensional por variaciones de la humedad, lo cual resolvería los problemas para su uso en ventanas y puertas.

La madera impregnada mantiene su color después de la impregnación, no cambia su color con el tiempo, no se vuelve gris por acción de la luz y de la humedad. Los componentes impregnantes no son lixiviados por el agua ni son tóxicos. El precio de la impregnación es más barato o muy parecido al de los impregnantes tradicionales citados. La impregnación se realiza en

forma rápida y con una concentración más pareja dentro de la madera.

GRADO DE PETRIFICACIÓN Y USOS DE LA MADERA

La Tabla 1 muestra las concentraciones más usadas de sílice en la madera y los usos correspondientes.

Tabla 1: Concentraciones recomendadas de sílice en la madera y los usos correspondientes

% de sílice	usos
2.5-3	piezas protegidas del agua y del fuego
5	uso en construcciones
7.5	en cocinas y lugares cercanos al fuego o al calentamiento (enchufes)
10	en polines, postes, durmientes
> 10	durmientes, postes de muelles, usos especiales

La madera mantiene su aspecto normal con un 10% de sílice. Aumenta algo de peso, la densidad de la madera de pino sube desde 0.429 g/cm³ que es la considerada normal, a aproximadamente 0.54 g/cm³ con un 5% y a 0.64 g/cm³ con un 10%, respectivamente. Se puede cortar bien con sierra. El orificio que hace el clavo es más redondo y se parte menos que con madera no tratada. El clavo de hierro se oxida mucho menos que el clavado en madera impregnada con CCA u otro impregnante que contenga cobre, por la actividad catalítica de este ión metálico sobre la velocidad de oxidación del hierro.

PALABRAS FINALES

Desde la antigüedad los elementos más usados para la construcción han sido la madera y la piedra en sus diferentes formas, cada material con ventajas y desventajas. El ideal sería usar madera sin sus desventajas, por la inclusión de piedra en su estructura, o sea, la madera parcialmente petrificada según su uso.

Esto también es válido para polines en la agricultura, postes de diferente tipo, puentes, edificios, bancos a la intemperie, juegos para niños y otros.

La madera petrificada abre un mundo de posibilidades para que la madera vuelva a ser usada como un material de construcción de alta calidad.

REFERENCIAS

Berg, A., Seeger, B. y Navarrete, P. (2005). Proceso para la obtención de tableros reconstituidos de madera, resistentes al fuego y con buenas propiedades mecánicas. Solicitud de Patente de Invención Chilena 1670-2005