

**CUADERNOS DE DASONOMIA**  
**Serie Didáctica N° 16**

**PRESERVACIÓN DE**  
**MADERAS**

**Prof. Ing. Agr. Alberto D. Calderón**  
**Cátedra de Dasonomía**  
**Departamento de Producción Agropecuaria**  
**Facultad de Ciencias Agrarias**  
**Universidad Nacional de Cuyo**

## **I - DEFINICIÓN**

Se entiende como Preservación de maderas al conjunto de técnicas que aplican sustancias protectoras a las mismas para evitar que sean afectadas por agentes destructores.

### Ventajas

- Permite el aprovechamiento de maderas de menor valor por su baja durabilidad natural y ahorra maderas más valiosas.
- Al utilizarse especies de bosques cultivados de rápido crecimiento se disminuye la presión sobre los bosques nativos.
- Aumenta la vida de maderas importadas más valiosas ahorrando divisas.
- Aumentar la vida útil de la madera existente equivale incrementar los recursos forestales y en consecuencia alcanzar mayores beneficios ambientales.

## **II – DURABILIDAD**

Es la propiedad de la madera de permanecer física y químicamente sana, o con sus características originales, frente a la acción de distintos agentes perjudiciales.

El término DURABILIDAD está siempre referido a un agente determinado, pues es muy variable según las maderas.

La durabilidad depende de distintos factores tales como:

1. Las características de la albura y duramen; la albura es más rica en azúcares y almidones que la hacen más apetecible para hongos e insectos y el duramen posee sustancias antisépticas y/o extractivos inhibidores para el desarrollo de estos organismos, y/o presencia de fílides (latifoliadas) y obstrucción de punteaduras por desplazamiento de torus (coníferas).
2. Las características anatómicas de la madera: presencia de vasos grandes (ataque de Lictidos), o la proporción de tejido parenquimático (de reserva).
3. La biología de los organismos xilófagos.
4. El manejo de las maderas en su procesamiento.
5. Las condiciones climáticas del lugar.

Una forma de clasificar las maderas según esta propiedad es la siguiente:

- **Clase 1 – Muy durables (más de 30 años)**
  - Curupay, Guayacán, Quebracho colorado, Quina colorada, Urunday, etc.
- **Clase 2 – Durables (10 a 30 años)**
  - Algarrobo, Caldén, Anchico, Coihue, Cancharana
- **Clase 3 – Poco durables (5 a 10 años)**
  - Cedro, Incienso, Laurel, Nogal criollo, Paraíso, Pehuén, Pinus elliotti y taeda, Tipa, Raulí, Viraró, Eucalyptus saligna
- **Clase 4 – Muy poco durables (menos de 5 años)**
  - Álamo, kiri, Araucaria, Sauce, etc.

### **III – AGENTES DESTRUCTORES DE LAS MADERAS**

#### **A – Biológicos**

##### **1) Hongos**

Para desarrollarse necesitan:

Humedad: 30 – 50%(encima del punto de saturación de las fibras);

Temperatura: entre 20 y 30°C; cesan su actividad por debajo de 3°C y por encima de 40°C;

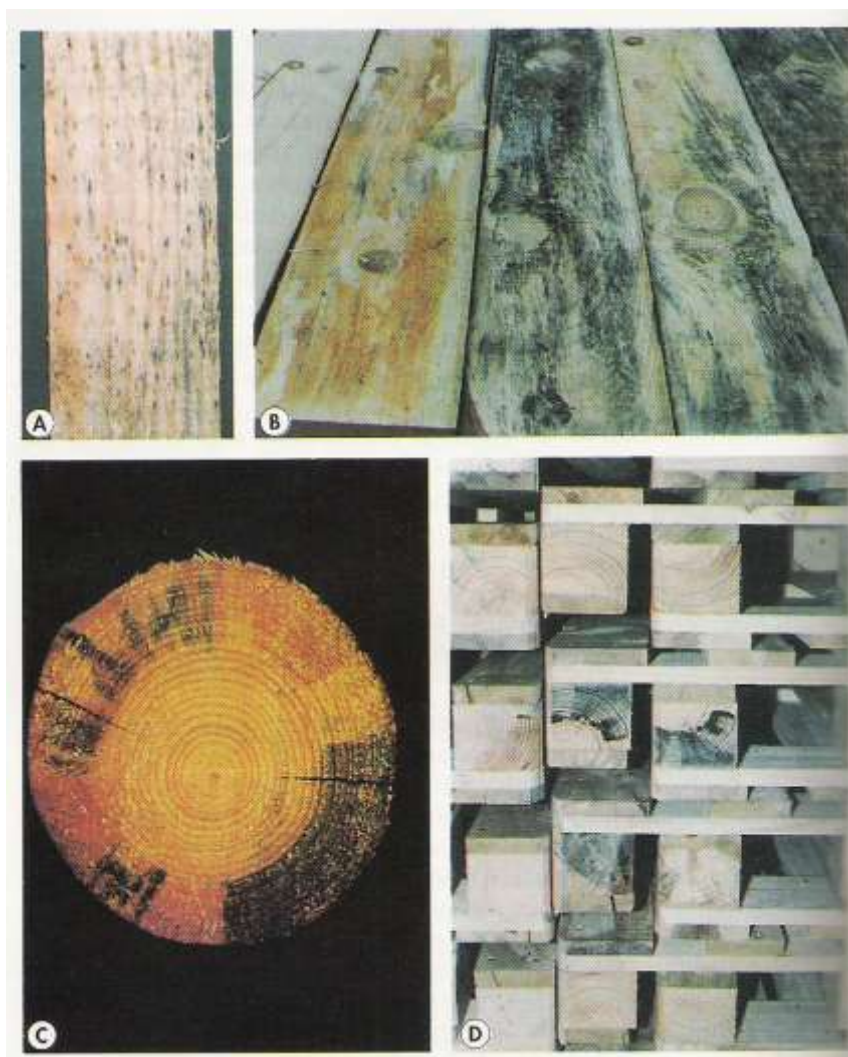
Aire: aunque sea pequeñas cantidades de Oxígeno;

Alimento: los hongos segregan enzimas que destruyen la madera convirtiéndola en sustancias más simples y fácilmente asimilables.

Mohos: son hongos que se desarrollan en la superficie, formando una pelusa blanca y algodonosa; no lesionan las paredes celulares no alteran las características físico – mecánicas.

Hongos Cromógenos: producen manchas que desvalorizan la pieza, pues no se pueden limpiar. No afectan la pared celular por lo que casi no alteran las propiedades físico – mecánicas (salvo en ataques muy severos). Producen la “mancha azul” (Ceratostomella, Diplodia, etc.)

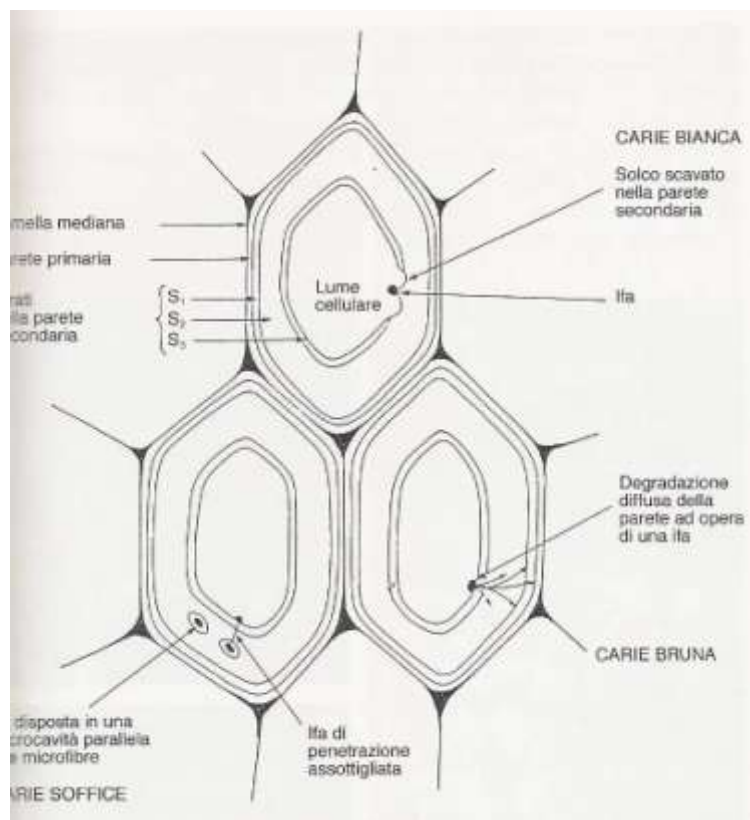
Pudrición Blanda: la madera atacada conserva su aspecto original y cuando está seca puede aparecer como normal. Al estado húmedo, en cambio, es muy blanda y fuertemente manchada. El ataque se localiza en superficie y las hifas no atraviesan las paredes celulares, sino que siguen la orientación de las microfibrillas. Son de lento desarrollo (Ascomicetes).



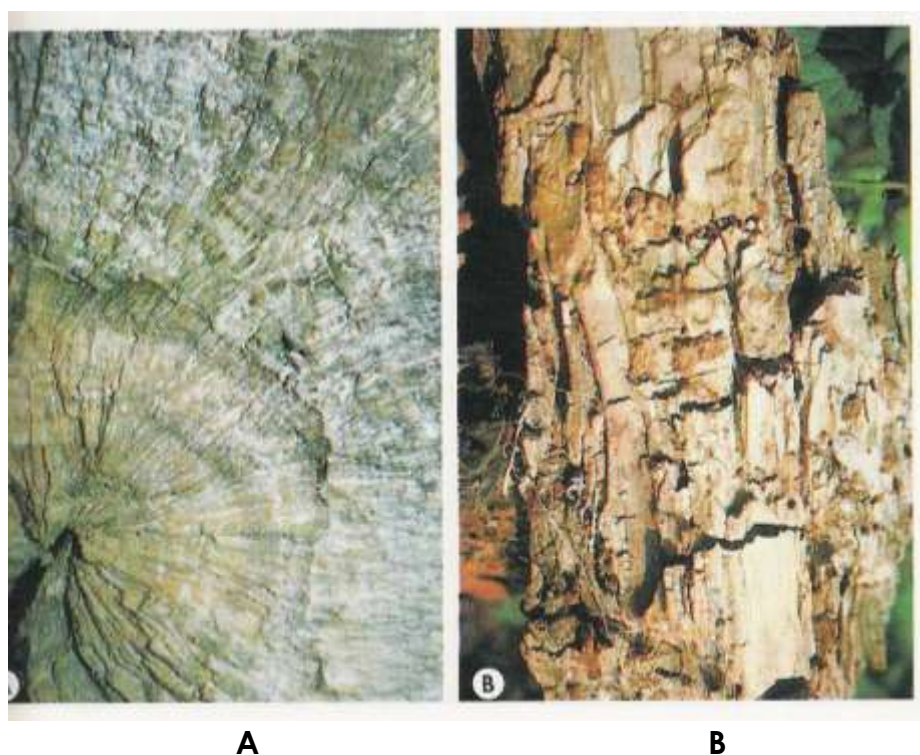
**Figura 1: Alteraciones cromáticas**

Putridión marrón o castaña: este grupo ataca la celulosa, dejando intacta la lignina. La madera presenta color oscuro, con fracturas cúbicas, perpendiculares al grano y fácilmente desmenuzable. (Lentinus y Lenzites). Es uno de los grupos más dañinos.

Putridión Blanca: este grupo descompone todos los componentes de la pared celular, pero preferentemente a la lignina, dejando una masa celulósica de color blanquecino y aspecto fibroso. Al principio cuando la celulosa no está atacada se puede utilizar la madera para pastas celulósicas. (Trametes, Armillaria, etc.).



**Figura 2:** Sección transversal de células leñosas en las cuales se evidencia la degradación enzimática de la pared operada por los hongos agentes causales de la pudrición, blanca, marrón y blanda (Montgomery, 1979)



**Figura 3: A)** Pudrición blanca **B)** Pudrición marrón (Foto Anselmi)

## 2) Bacterias

Su poder destructivo es inferior al de los hongos. Segregan pectinasas que disuelvan las membranas de las punteaduras del parénquima, que son de naturaleza péctica. En ataques intensos destruyen también las punteaduras areoladas, aumentando considerablemente la permeabilidad de la madera y facilitando el ataque posterior de otros organismos (hongos principalmente).

Como consecuencia de esto se está probando el uso de pectinasas para mejorar la penetrabilidad de algunas maderas y posibilitar su impregnación.

## 3) Insectos

### Orden: COLEOPTEROS

Son los que provocan mayores daños. Las principales familias son:  
ANOBIOS: (verdaderas carcomas)

Son insectos pequeños (2 a 5 mm). Atacan principalmente la albura de las coníferas. La madera debe estar seca, a menudo muy seca o vieja. Las perforaciones de salida son circulares y miden alrededor de 1,5mm de diámetro. Cavan túneles paralelos al grano y transversales a él dando aspecto de panal. Un alfiler entra muy poco por ellos. El aserrín de los túneles es flojo, fino, arenoso, eyectado en pequeñas cantidades por las salidas. Algunas especies pueden atacar latifoliadas.

LICTIDOS: (carcomas o polillas)

Son insectos pequeños (3 a 5mm). Atacan solo albura de latifoliadas y maderas con vasos cuyo diámetro sea de por lo menos 0,1mm y que tengan un contenido mínimo de 1,5% de almidón. La madera debe estar parcial o totalmente estacionada, no lesionando maderas envejecidas.

Los orificios son redondos de 1,0 a 1,5mm de diámetro. Cavan galerías paralelas al grano. Un alfiler penetra a muy corta distancia. El aserrín es compactado, harinoso, muy fino, saliendo abundante por los orificios.

BOSTRIQUIDOS: (polillas)

Su ataque es similar al de los Lictidos, pero son en general más grandes (3 – 24mm de largo) y los orificios de salida son de 1,5 a 6mm de diámetro. Atacan las mismas maderas y en las mismas condiciones.

ESCOLITIDOS:

Son de tamaños muy variables según la especie. Atacan cualquier madera al estado verde, con más del 20% de humedad. Los orificios son redondos, de diámetros variables (0,5 a 1mm) circundados muchas veces por manchas oscuras. Sus galerías son transversales al grano, aisladas, de diámetro uniforme, generalmente dispuesta en un mismo plano. Un alfiler penetra profundamente. No forman casi aserrín en los túneles. Hay grupos

que se alimentan de la madera y otros (la mayoría) que se alimentan de hongos que cultivan en las galerías; por eso tienen color negro o manchado los túneles.

#### PLATIPODIDOS:

Similares a los anteriores. Orificios de salida pueden tener entre 0,5 y 0,3mm de diámetro.

#### CERAMBICIDOS: (taladros)

Son insectos grandes en general, entre 6 y 75mm de largo con largas antenas mayores que el cuerpo. Atacan albura o duramen de conífera y latifoliadas y madera seca (*Hylotrupes*) o verde (*Phoracantha*), aunque prefieren maderas verdes o recién abatidas. Los orificios de salida son elípticos y grandes. Cavan galerías paralelas al grano y son de forma irregular, variando de ancho en su trayecto. El aserrín es fino hasta harinoso, con partículas de excremento y de madera. Ponen los huevos bajo la corteza y la luz los destruye.

#### Orden: ISOPTEROS

#### TERMITES: (hormigas blancas)

Son insectos que viven en grandes colonias y de gran peligrosidad. Hay grupos que atacan maderas secas y otros madera húmeda y otros subterráneos que viven en el suelo. En general son pequeños y atacan coníferas o latifoliadas, preferentemente secas. Hacen muy pocos orificios de salida y solo cuando el ataque ya está tan avanzado que es imposible detenerlo. Sus túneles son paralelos al grano, y están ligeramente llenos de excrementos de maderas. El aserrín es pulverulento y no muy aglomerado. Su cantidad es variable con la especie.

Pueden atacar maderas duras como los quebrachos colorados, quina, curupay, algarrobos, etc. Muy pocas maderas en el mundo son resistentes a las termitas; se consideran como tales a las que tiene aceites esenciales y sílice en abundancia (iroko: *Chlorophora excelsa*; teca: *Tectona grandis*; jarrah: *Eucalyptus marginata*, *pinus palustris*, etc.)

#### **4) Moluscos y Crustáceos**

Los moluscos tienen aspecto de gusanos, aunque algunos tienen el cuerpo encerrado dentro de las valvas. Los más importantes son los géneros *Teredo*, *Bankia* y *Martesia*. Cavan galerías de más de 1m de longitud. Tienen un crecimiento rápido y dejan en las galerías una capa fina de una sustancia calcárea.

Los crustáceos son más pequeños que los anteriores. Uno de los géneros más importante es *Limnoria*, que ha sido encontrado en todos los mares del mundo.

Los perforadores marinos necesitan que el agua en que se desarrollan tenga como mínimo 5 y 16% de salinidad, según la especie.

La salinidad media del agua de mar es del 35%, lo que asegura su presencia en todas partes.

Pocas son las especies resistentes a sus ataques; se consideran como tales a algunas con elevado contenido en sílice.

## **5) Pájaros**

Es importante el ataque de pájaros carpinteros en el norte de nuestro país. Producen orificios de 10cm de diámetro y de profundidad, según la especie, afectando seriamente la resistencia físico – mecánica de la madera. Se los encuentra en postes de líneas aéreas, preferentemente de palmeras.

## **B – No Biológicos**

### **1) Calor**

El aumento de temperatura favorece la aparición de grietas y rajaduras, por la rápida evaporación del agua. Encima de los 100°C comienzan procesos de destilación incipientes y entre los 250 – 300°C se produce la descomposición química, destilación con desprendimiento de gases inflamables. Esta liberación de gases causa la combustión con presencia de llamas. En esta etapa se libera la mayor cantidad de calor que es lo que acelera el proceso hasta la destrucción total a cenizas.

Los preservantes ignífugos tienen como objetivo favorecer la pirólisis lenta, es decir que sea un material carbonizable, pero no transmisor de calor ni del fuego.

### **2) Temperización**

Las fluctuaciones de temperatura y de humedad, causan la contracción y el hinchamiento de las capas superficiales, formando pequeñas grietas y desfibramientos de la madera.

### **3) Desgaste mecánico**

Provocado por el polvo y la arena arrastrados por el viento. Efecto de fricción que rompe las fibras. Efecto del granizo, etc.

## **IV – SUSTANCIAS PRESERVANTES**

Un preservante debería reunir todos o algunos de los siguientes requisitos:

- a) Ser tóxico para los agentes destructores (fungicida y/o insecticida, etc.).
- b) No ser tóxico para el hombre y los animales.
- c) No ser corrosivo para los metales.
- d) No ser combustible.
- e) Tener buena penetración.
- f) Ser químicamente estable y no descomponerse con el tiempo.
- g) No ser soluble en agua. Tener buena permanencia.



- h) Ser abundante.
- i) Ser económico.

Ningún producto preservador reúne todos los requisitos deseables; por ello, la elección del mismo dependerá de los objetivos que se persigan y del tipo de servicio que prestará la madera.

Los podemos clasificar en tres grupos:

## **A – Oleosos**

### **1) Creosota**

Es un producto derivado de la destilación del alquitrán de hulla; es de consistencia viscosa, de color negro y olor fuerte a fenol.

Es de composición química compleja constituida por la mezcla de hidrocarburos aromáticos (80 – 90%) tales como benceno, xileno, antraceno, etc.; una fracción ácida (5%) compuesta por fenoles, cresoles, naftoles, etc. Y una fracción básica (5%) compuesta por piridinas, quinolinas y acridinas. Es la fracción que destila entre 250 – 300°C.

Características:

- insoluble en agua
- insecticida – fungicida – perforadores marinos
- alta permanencia
- no es corrosiva para los metales
- es irritante para la piel
- tiene olor fuerte y desagradable
- la madera no se puede pintar ni barnizar
- con temperaturas altas, puede sufrir fuertes exudaciones pérdidas de la madera (en 10 años perdió 50%).

Dosis: se usa pura o en concentraciones no menores 50% disuelta en solventes orgánicos: kerosene, gas – oil, fuel – oil, aguarrás, etc.

## **B – Oleosolubles**

### **1) Pentaclorofenol**

Es un producto químico puro, de composición definida. Se presenta como un polvo blanco amarillento, de olor penetrante. Se obtiene de la unión de una molécula de fenol con 5 de cloro. Es soluble en solventes orgánicos como gas – oil, aguarrás, aceites de petróleo, etc.

Es muy importante el tipo de solvente usado, que para ser y tener permanencia debe contener una fracción aromática pesada, que sea buen solvente del PCF y una fracción volátil de pobre poder de disolución.

Características:

- alta toxicidad; fungicida, insecticida y perforadores marinos
- insoluble en agua
- buena penetración
- buena permanencia (depende del solvente)

- no corrosivo para los metales
- es inflamable
- la madera queda limpia y sin olor (depende del solvente), se puede pintar
- muy tóxico para el hombre y animales domésticos.

Cuando se evapora el solvente, lo lleva a la superficie de la madera sobre la cual se recristaliza y se pierde, tornando además muy tóxica a la madera. Por eso, muchas de sus propiedades pueden mejorarse con e solvente.

Dosis: al 5% en gas – oil, etc.

## **2) Nafenato de Cu**

Es una sustancia de apariencia cerosa, de color verde oscuro, de composición química definida.

Características:

- insoluble en agua
- buena estabilidad química
- fungicida – insecticida – perforadores marinos
- no irrita la piel
- no es fitotóxico
- tiñe la madera, aunque en algunos casos puede pintarse.

Dosis: soluciones al 5 -7% en gasoil, aguarrás, etc. (0,5% - 0,7% de Cu metálico)

## **3) Oxido de Tri – n – butil estaño**

Es un nuevo producto muy interesante, más tóxico que PCF. No se fija en la lignina por lo que no es efectivo contra la pudrición blanca. En este caso debe usarse en mezcla con PCF.

Características:

- fungicida – insecticida – perforadores marinos
- irritante para la piel, pero mucho menos que el PCF y no se acumula en el organismo como aquel
- buena permanencia
- buena estabilidad química
- buena penetración

En maderas en contacto con el suelo, se producen perdidas si el ph es ácido.

Dosis: 0,5% en gas – oil, etc. (0.5% de óxido de tri – n – butil estaño equivalen a 5% PCF).

## **C – Hidrosolubles**

En este grupo se encuentran los productos preservantes solubles en agua y se consideran también otros, insecticidas, presentados en forma de suspensiones y emulsiones que se aplican en inmersión y pulverización.

Características generales del grupo:

- son menos viscosos que los otros
- no son combustibles
- generalmente carecen de olor
- son productos químicos de composición definida y estable.

### **1) SO<sub>4</sub>Cu**

Es uno de los más utilizados en nuestra zona (Mendoza)

Características:

- es fungicida
- es corrosivo para los metales
- no tóxico para el hombre
- de fácil aplicación
- es muy lixiviado por el agua
- en suelos con CO<sub>3</sub>Ca ó CO<sub>3</sub>Mg precipita y pierde efectividad
- no es fitotóxico

Dosis: soluciones de 3 – 5% en agua.

### **2) Cloruro de Zn( ClZn)**

- deja la madera limpia, pintable
- es muy lavado por el agua
- es menos efectivo que SO<sub>4</sub>Cu
- es fungicida
- la extrema sequedad del ambiente, lo concentra en la superficie y la madera se vuelve quebradiza.

Dosis: 2% - 5% en agua

### **3) Fluoruro de Na\_(FNa)**

- muy tóxico para el hombre
- fungicida, muy efectivo
- es caro

Dosis: 1,5% al 3 – 4% en agua

### **4) Pentaclorofenato de Na**

- fungicida – irritante para la piel
- lavable
- se usa para controlar la “mancha azul” en inmersiones breves

Dosis: 1% - 2% en agua

En líneas generales, las sales simples no son muy aconsejables para tratamientos de mucha exigencia en servicio.

Ahora se ha entendido el uso de sales complejas que generalmente poseen:

- a) un producto fijador (ácido crómico; cromatos, bicromatos) que la haga menos lavable.
- b) un producto anticorrosivo (sales de cromo).
- c) un producto fungicida (SO<sub>4</sub>Cu, FNa, ClZn, etc.)
- d) un producto insecticida (ácido bórico, arseniato de Na, etc.)

Dosis: soluciones acuosas al 2% - 4%.

## **5) Sales de Cobre, Cromo, Boro (CCB)**

Son del grupo de las Wollman. Se conocen en Argentina como Tanalith CB- Se usan al 5%.

## **6) Sales de Cobre – Cromo – Arsénico (CCA)<sup>1</sup>**

### <sup>1</sup> Productos alternativos al CCA

En EE.UU. existen tres preservantes alternativos al CCA que se están comercializando como productos libres de arsénico. Ellos son el ACQ (Alcalino Cobre Cuaternario), CBA (Cobre, Boro, Azol) y el Cobre bis-(N-cyclohexyldiazoniumdioxo) (Cu-HDO o copper xylogen). Todos estos productos permiten el uso de la madera sobre y bajo el nivel del suelo.

En este mismo país también se están utilizando preservantes específicos para productos que no están en contacto con el suelo (productos de remanufactura: puertas y ventanas). Entre ellos se cuentan el IPBC, TBTO y CPF.

El IPBC (3-yodo-2-propynyl butyl carbamate) es un preservante efectivo contra hongos, no contra insectos, formulado con agua o con solventes orgánicos. El TBTO (Bis tri-n-butyltin) es un compuesto órgano estañoso, no coloreado o suavemente amarillo, soluble en muchos solventes orgánicos pero insoluble en agua. El CPF (chlorpyrifos) es un preservante muy utilizado en la agricultura que posee una efectiva acción contra ataque de insectos, soluble en agua y solvente orgánico. En el caso que exista un eventual riesgo de ataque de hongos junto al de insectos, se podrá utilizar una combinación adecuada, como por ejemplo Clorotalonil-CPF o IPBC-CPF (Fuente: Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1999).

En América Latina se están registrando los preservantes alternativos al CCA pero no hay normas que limiten su uso. Los países que están utilizando productos alternativos al CCA se basan en las especificaciones de tratamiento y calidad entregadas por la AWWA de los EEUU, organismo que agrupa a la industria de preservación de ese país. En esta región el uso de productos de preservación para puertas y ventanas es desconocido.

En Europa, los productos alternativos al CCA son el Cobre Benzalkonium Chloride, Cobre Boro Tebuconazole, Cobre Cobre-HDO, Cobre Cobre-HDO Boro, Cobre polymeric betain, CCB y CCP. Para productos sobre el nivel del suelo está la alternativa de los denominados Light Organic Solvent Preservatives (LOSP): TBTO (óxido de tributil estaño) y TBTN (naftenato de tributil estaño) (Fuente: Past, present and future of the wood preservation industry. Michael H. Freeman, et al. 2003. Forest Product Journal, October 2003. Vol. 53 N°10; Preservation of wood. Citepa. [www.vyh.fi/tila/ilma/paastot/preservation\\_of\\_wood.doc](http://www.vyh.fi/tila/ilma/paastot/preservation_of_wood.doc)).

En Nueva Zelanda y Australia se sigue usando el CCA en todo tipo de aplicaciones, no obstante que existen alternativos comerciales como el ACQ y CBA. Para productos sobre el nivel del suelo está la opción de los denominados Light Organic Solvent Preservatives (LOSP): TBTO y TBTN (Fuente: [www.osmose.com.au](http://www.osmose.com.au); [www.osmose.co.nz](http://www.osmose.co.nz); [www.koppersarch.co.nz](http://www.koppersarch.co.nz)).

### Características de la madera impregnada con CCA / ACQ / CBA / LOSP

Los productos como el CCA y sus alternativos, en general, son aplicados a través del proceso vacío presión, el cual incorpora una gran cantidad de líquido preservante en la madera, modificando drásticamente su contenido de humedad inicial (cercano al 28%). El uso final de la madera demanda un nuevo tratamiento de secado, de manera de llevarla a la humedad que requiere su condición de servicio final.

En este momento se trata de uno de los preservantes de mayor difusión en nuestro país. Características generales de las sales complejas:

- alta resistencia a la lixiviación
- la madera tratada no es tóxica para el hombre
- queda limpia y pintable
- no corroe los metales
- no tiene olor
- no es combustible ( no toma fuego rápido, pero una vez prendido no se extingue hasta su destrucción total)
- la madera a tratar debe tener una humedad cercana al punto de saturación de las fibras (más o menos 30%)
- una vez al tratar, debe secarse durante 2 a 4 meses.

### **7) Compuestos de Boro**

Al principio se usó el ácido bórico y los boratos como ignífugos, actualmente se ha normalizado su uso en muebles y viviendas.

Características:

- fungicida – insecticida
- lavable por el agua
- inocuo para el hombre y animales
- deja la madera limpia, sin olor, pintable.

Dosis: 2% al 3%

### **8) Aldrin**

- insecticida
- preservante (en agua)
- erradicante ( en solvente oleoso)
- químicamente estable
- no se descompone en medio alcalino

Dosis: para maderas por inmersión al 1% de producto activo; en suelos 0,35% de producto activo por metro lineal (12 ls).

---

### CCA, ACQ y CBA

La madera tratada con estos preservantes queda con un color verde y con un alto peso, debido a las características hidrosolubles de los preservantes.

### LOSP

Los principales Light Organic Solvent Preservatives (LOSP) que se comercializan en la actualidad son el TBTO (óxido de tributil estaño) y el TBTN (naftenato de tributil estaño). El primero de los mencionados se utiliza para condiciones de riesgo bajo (H1-H2), en tanto que el TBTN se emplea en condiciones de riesgo moderado (H3). Estos productos tienen la particularidad de no modificar el color natural de la madera y de aplicarse con solvente agua o solvente orgánico, en cuyo caso no se altera el contenido de humedad inicial de la madera (Fuente: [www.osmosse.co.nz](http://www.osmosse.co.nz); [kopperarch.co.nz](http://kopperarch.co.nz)).

### 9) Dieldrin

- insecticida
- preservante (en agua)
- erradicante (en solvente oleoso)
- químicamente estable

Dosis: para preservación de termitas como concentrado emulsionable en suelo y cimientos 20%.

## V – IMPREGNACIÓN

La eficaz impregnación de las maderas, depende de muchos factores que influyen sobre todo en el “tipo” y “grado de penetrabilidad” de los líquidos preservadores.

**PENETRABILIDAD:** es la capacidad de una madera para ser atravesada longitudinal o transversalmente por distintas sustancias líquidas.

El grado de penetrabilidad depende de las características anatómicas y del contenido de humedad.

### Características anatómicas

La penetración se verifica a través de las punteaduras y de los vasos. Los preservantes oleosos y óleosolubles entran por poros y punteaduras; los hidrosolubles, además pueden penetrar en la estructura de la pared celular. Por eso la difusión total de las sales hidrosolubles puede producirse a través de las paredes celulares.

En Coníferas la entrada se produce a través de la membrana de las punteaduras areoladas. Estas son más grandes y numerosas que las de los vasos en latifoliadas. También la presencia de canales resiníferos ayuda a la penetración, dependiendo en este caso de la mayor o menor permeabilidad de las células epiteliales y del contenido de resinas endurecidas.

Los radios no son buenos conductores, pero las traqueidas radiales asociadas a ellos, si lo son.

En latifoliadas los vasos permiten la circulación y penetración longitudinal. La transversal en cambio, depende de la presencia de pares de punteaduras areoladas, que son más pequeñas y menos numerosas que en las coníferas.

La presencia de tálides impide la penetración.

Las maderas con porosidad difusa tiene penetración más uniforme que las de porosidad circular; en estas hay más líquido en la zona más temprana (+ porosa).

Los radios no permiten la impregnación, las punteaduras que poseen no tienen acción valvular ni aberturas submicroscópicas (como las areoladas) y suelen estar obstruidos por protoplasma seco, extractivos, etc.

Las células de parénquima actúan como las de los radios, aunque en ciertas frondosas, su permeabilidad puede influir en la difusión.

**La proporción de albura y duramen es uno de los más importantes.** En general la albura es más fácil de penetrar que el duramen aunque existen excepciones notables.

La albura es fisiológicamente activa y tiene libres sus sistemas de conducción; además los tejidos vivos contienen su capacidad de presión y succión que favorece la circulación. El duramen está inactivo y presenta sus conductos obstruidos.

En general se considera que tanto en coníferas como latifoliadas la penetración longitudinal, con respecto a la penetración lateral están en la proporción de 15 a 1 para preservantes oleosos y de 20 a 1 para hidrosolubles.

Se pueden obtener buenas penetraciones radiales en Coníferas con traqueadas transversales. La penetración tangencial es superior en las latifoliadas.

La presencia de madera de tensión y de compresión disminuye la penetración.

### Contenido de humedad

El contenido de humedad depende del tipo de preservante usado. Las sustancias oleosas y oleosolubles requieren contenidos inferiores al punto de saturación de las fibras (entre 25% y 35%). Parece que al secarse se abren pequeñas grietas en las membranas de las punteaduras y estas quedan abiertas en mayor cantidad.

Las hidrosolubles permiten un mayor contenido, ya que las sales deben difundirse en la savia. La madera debe estar húmeda, verde recién cortada (no más de 24 – 48horas).

En general se tiene en cuenta las siguientes normas:

<b>Preservante – Método de preservación</b>	<b>Contenido de humedad (%)</b>
Productos oleosos (autoclave – baño caliente frío)	16
Productos hidrosolubles (autoclave – baño caliente frío)	30
Productos hidrosolubles (ascensión – difusión, ósmosis y Boucherie)	Verde o más del 30

### Factores externos

- a) Viscosidad del impregnante: a menor viscosidad, mejor penetración
- b) Temperatura del líquido: a mayor temperatura, mejor penetración
- c) Vacío: a mayor rango de vacío, mejor penetración
- d) Presión: a mayor presión, mejor penetración
- e) Tiempo de aplicación: a mayor tiempo, mejor penetración en general
- f) Sistema de impregnación: con célula llena, mejor penetración en general (depende además del preservante de la especie).

### Preparación de la madera

- a) Estacionamiento: hasta alcanzar el equilibrio higroscópico (variable según producto y sistema)
- b) Incisiones: aumentan la penetración lateral (sobre todo en frondosas en que es más pequeña)
- c) Vaporización: consiste en aumentar la temperatura para eliminar el aire del interior de la madera y dejar más espacio libre adentro
- d) Corteza: la eliminación de la corteza y del líber, que dificultan la penetración, especialmente en postes.

## **VI – GRADO DE PROTECCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE IMPREGNACIÓN**

### **Absorción**

Es la cantidad total de protector líquido o sólido absorbido por la madera durante el tratamiento. Está referido al volumen total de la madera tratado. Es un dato de tipo económico.

En los tratamientos a presión en autoclave se usan los siguientes conceptos:

- Absorción inicial: es la cantidad de preservador tomado por la madera antes del período de presión.
- Absorción bruta: es la cantidad total de solución que ha entrado en la madera al finalizar el período de presión, mientras esta todavía se mantiene.
- Absorción neta: es la cantidad de solución preservante contenida en la madera después de terminado todo el tratamiento. Es la diferencia entre la absorción bruta y la suma de preservante expulsado más el recuperado en el vacío final.

Las absorciones que más interesan son las laterales (radiales y tangenciales) que son muy inferiores a las longitudinales. De aquella dependerá entonces la efectividad del tratamiento y no de estas últimas.

La absorción líquida es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de tratamiento y es independiente de la concentración de la solución. Se expresa en Kg/m<sup>2</sup> o Kg/m<sup>3</sup>. Viene definida por la expresión:

$$A1 = \frac{K2 - K1}{Vt} \quad \text{Para creosota y aceites de petróleo (sin diluir)}$$

$$As = \frac{C (K2 - K1)}{100 \times s} \quad \text{Para orgánicos e hidrosolubles (diluidos)}$$



Al = Absorción líquida

As = Absorción sólida

C = Concentración

K1 = Peso antes del tratamiento

K2 = Peso después del tratamiento

Vt = Volumen total de la madera

S = Superficie lateral de las piezas tratadas

$$As = \frac{C (K2 - K1)}{100 \times S} = \text{Kg/m}^2$$

Las absorciones sólidas son proporcionales a las concentraciones de las soluciones y a las raíces cuadradas de los tiempos de tratamiento.

En general, en las mismas condiciones de tratamiento, se obtienen mayores absorciones con los hidrosolubles, le siguen las creosotas y luego los orgánicos.

### **Penetración**

Es la profundidad a la que entra la capa tóxica de preservante. Se mide sobre el diámetro. La zona realmente tratada se pone en evidencia usando colorantes indicadores.

Lo ideal es que penetre en todo el espesor de la albura y del duramen, pero esto varía mucho con la especie. En general se considera que, para condiciones de trabajo exigentes, debe llegarse a penetraciones mínimas de duramen o del 85% de la albura, superiores a 2cm de profundidad. <sup>(2)</sup>

La naturaleza del preservante influye en la penetración, siendo los orgánicos de mayor penetración, luego le siguen las creosotas y luego los hidrosolubles.

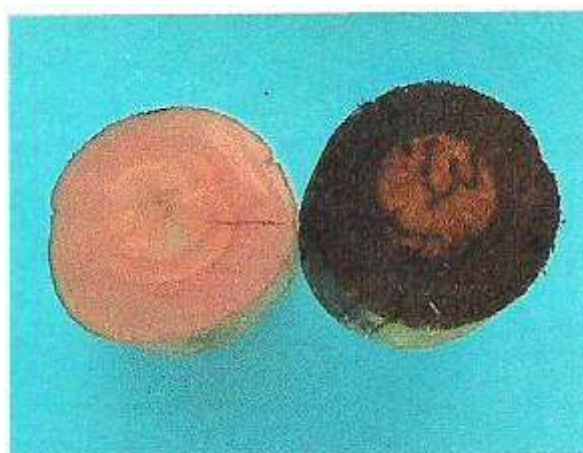
Los hidrosolubles por ser menos viscosos, deberían ser, teóricamente, los de penetración más profunda, pero esto no sucede en función de otros factores como son el poder mojante de la pared celular y la tensión superficial de la solución.

Si la penetración lateral del protector es inferior a la mitad del grosor de las piezas de madera, se dice que la impregnación es incompleta.

Si la penetración lateral es igual o mayor que la mitad del grosor o del diámetro de la pieza, se dice que la impregnación es completa. En este último caso los valores de la absorción son iguales a los de la retención (pues ambos se calculan sobre el volumen total de la pieza tratada).

---

<sup>2</sup> Norma IRAM 9538 y 9539



**Figura 4: Determinación de la penetración a través de indicador**

### **Retención**

Es la cantidad de protector líquido o sólido introducido en la zona periférica realmente impregnada y es la que da con la penetración el verdadero grado de protección de la madera.

El volumen lateral realmente impregnado se obtiene midiendo la penetración obtenida en el tratamiento.

Se expresa en Kg/m<sup>3</sup>.

$$RI = \frac{K2 - K1}{VI} = \text{Kg/m}^3$$

Para creosotas y aceites

$$Rs = \frac{C (K2 - K1)}{100 \times VI} = \text{Kg/m}^3$$

Para Hidrosolubles y orgánicos

RI = Retención líquida

Rs = Retención sólida (de p.a.)

VI = Volumen lateral realmente impregnable – m<sup>3</sup>

Las retenciones líquidas son independientes de las concentraciones de las soluciones, directamente proporcionales a las raíces cuadradas de los tiempos de tratamientos e inversamente proporcionales a los volúmenes de madera realmente impregnados.

Las retenciones sólidas son directamente proporcionales a las concentraciones de las soluciones y a las raíces cuadradas de los tiempos de tratamiento, e inversamente proporcionales a los volúmenes de madera realmente impregnados.

En general, en las, mismas condiciones de tratamientos, se obtienen mayores retenciones con los hidrosolubles, luego con las creosotas y luego con los orgánicos.

Las retenciones no deben confundirse con las absorciones, ya que las primeras definen el grado de protección realmente obtenido, y las segundas expresan el gasto de producto que hay que realizar para el tratamiento. Estas deben ser, según la Norma IRAM 9505, para:

	Retención
Creosotas y derivados- - - - -	70 – 125kg/m <sup>3</sup>
PCF y orgánicos- - - - -	5 – 8Kg/m <sup>3</sup>
Hidrosolubles (arsenicales, cúpricos, etc.)- - - - -	6 – 12Kg/m <sup>3</sup>



**Figura 5: Determinación de retención por espectrometría de fluorescencia de rayos X**

A continuación se muestra la tabla de exigencias de retención de preservantes en maderas según normas IRAM.

Tabla 1 – Clasificación de las condiciones de riesgo para la madera

Clase de riesgo	Clase de exposición	Condición de uso	Preservador	Retención Kg/m <sup>3</sup> (2)		Ejemplo de uso	
				Coníferas	Latifoliadas		
R6	Agua salada (1)	Madera que está constantemente o periódicamente en contacto con agua de mar, expuesta al ataque de organismos marinos	CCA + Creosota	24 + 200	28 + 200	Madera redonda y Madera aserrada	Otras marítimas, muelles, amarras, diques, pilotes, tablastacas, defensas, etc.
			CCA Creosota	40 400	45 440		
R5	Agua dulce (1)	Madera que está constante o periódicamente en contacto con agua dulce o con suelos inundados	CCA	9,6	10,8	Madera redonda	Postes de uso agrícola bajo riego por anegamiento permanente, puentes, pilotes, tablastacas, muelles, amarras, diques, muros de contención, estructuras para jardines o construcciones y columnas.
			Creosota	140/156(5)	153/170		
			CCA Creosota	9,6 140/156(5)	10,8 153/170	Madera aserrada	Puentes, pilotes, diques, compuertas, muelles, amarras, desagües, etc. Torres de enfriamiento de uso industrial (3).
			CCA	24	-	Madera aserrada	Postes para líneas de energía y telecomunicaciones, estructuras para jardines y para construcciones, pilotes.
R4	En contacto con el suelo (1)	Madera interior o exterior, en contacto con el suelo	CCA	9,6	10,8	Madera redonda	Postes para uso agrícola, juegos, cercas, pérgolas, estructuras para viñas y huertos (rodriñones).
			Creosota	140/156(5)	153/170(4)		
			CCA Creosota	6,4 140/156(5)	7,2 153/170(4)	Madera aserrada	Madera para, juegos, revestimientos, cercas, pérgolas, viñas y huertos.
R3	Exterior sin contacto con el suelo	Madera que no está en contacto directo con el suelo pero que está expuesta a la intemperie o lixiviación	CCA	6,4	7,2	Madera redonda y aserrada	Estructuras para juegos, cercas, estructuras para construcciones, vigas, columnas, pérgolas.
			Creosota	140/156(5)	153/170		
			CCA Creosota	6,4 140	7,2 153/170	Madera aserrada	Muebles para jardín, estructuras, vigas áreas, revestimientos, juegos para niños, balaustradas.
R2	Interna sin contacto con el suelo	Madera usada bajo techo sin contacto con el suelo, sin contacto con el agua	CCA	6,4	7,2	Postes o madera redonda	Madera estructural para construcciones vigas, columnas, estructuras (rietas, pavimentos de madera).
			CCA CCB	8,5	9,5		
			CCA CCB	4,0 5,0	4,5 5,5	Madera aserrada	Madera no estructural, pisos, puertas escaleras, revestimientos, placares.

Nota: CCA: Cromo cupro arsenicales

Esquema de la Norma IRAM 9600

## **VII - METODOS DE PRESERVACION**

### **A – Sin vacío, ni presión**

#### **1 – PINCELADO Y PULVERIZACION**

Son sistemas muy simples y poco eficaces. Indicados para poca exigencia de servicio o para uso en interiores. La protección es superficial. La madera debe estar seca.

#### **2 – INMERSION**

Este tratamiento consiste en sumergir la madera seca en un preservador líquido durante un tiempo variable, que depende del grado de protección requerido.

Con las sustancias oleosolubles el período de tiempo varía desde unas horas a días. La madera no debe contener más del 20% de humedad. Aunque puede usarse con los tres tipos de sustancias es más indicado para los orgánicos, pues se consiguen mejores penetraciones que con los hidrosolubles.

Cuando se utiliza para aplicar insecticidas en emulsión acuosa, la madera, aserrada o redonda, debe estar verde y los tiempos de inmersión son muy breves.

Como las penetraciones son proporcionales a los tiempos de inmersión, conviene dejar más tiempo la madera en la solución. En maderas redondas son suficientes 24hs por cada 10cm de circunferencia.

La madera de frondosas en general, no se trata bien con este sistema, por su escasa o nula penetración lateral, en cambio en pinos anda muy bien.

#### **3 – ASENCIÓN POR CAPILARIDAD**

Consiste en sumergir el extremo de la madera (pestes) en una solución de sales hidrosolubles.

El preservante asciende longitudinalmente por capilaridad. Esto se ve ayudado por la evaporación del agua de la madera a través del extremo superior y la superficie lateral, que hacen el efecto de succión. Por eso los meses cálidos aceleran el proceso.

La madera debe descortezarse para favorecer la evaporación y evitar gastos excesivos por impregnación de la corteza y debe tratarse no más allá de las 24horas de cortada.

Luego de tratada la madera debe secarse durante 2 a 4meses antes de usarla.

Tiene el inconveniente que las condiciones no son fácilmente controlables y hay poca uniformidad en el resultado.

La penetración depende de la humedad de la madera.



**Figura 6: Método de ascensión capilar - Postes de álamo en Sulfato de Cobre**

Ascensión doble: (o Doble difusión)

Es similar al anterior, nada más que el proceso se repite dos veces cambiando de preservante.

Primero se sumergen en una solución de una sal simple. Se dejan 2 ó 3 días. Luego se sacan, se lava el exceso de preservante sobre la superficie y se vuelven a sumergir en otra solución durante otros 2 a 3 días. Al final, se lavan y se dejan secar.

La madera debe estar verde, descortezada.

Se usan distintas combinaciones de sales. Generalmente el primer tratamiento puede ser con  $SO_4Cu$ ,  $ClZn$ ,  $FNa$ , etc. y el segundo con una sal cuyo objetivo es precipitar y fijar a la primera, haciéndola resistente al lavado, que puede ser: arseniato de Na, cromato de Na, etc. Las concentraciones en general varían entre al 4% y el 10% para ambos tipos.

#### 4 – DIFUSION

Este tratamiento consiste en sumergir la madera verde o húmeda en una solución hidrosoluble concentrada o en cubrirla con una pasta vendaja impregnado con un hidrosoluble concentrado y dejar que la sustancia activa se difunda luego en el interior de la madera.

Esta práctica consta de 2 pasos: en el primero se absorbe la solución concentrada (por inmersión instantánea o por la pasta) y en el segundo la madera es estibada en forma cerrada y cubierta, en una atmósfera saturada de humedad, para completar el proceso de difusión del preservante hacia el interior de las piezas tratadas. Este proceso es lento y puede demorarse entre 30 y 90 días.

En este caso no se agregan cromatos para que se mantenga la solubilidad del preservante y se pueda difundir.

La inmersión instantánea se usa mucho con mezclas de bórax y ácido bórico al 20% o 30%.

## 5 – BAÑO CALIENTE – FRÍO

Este proceso consiste en sumergir total o parcialmente la madera seca y descortezada en una solución de preservante que se calienta a 80°C – 100°C. Se la deja a esa temperatura durante 6 a 8 horas. Después se la sumerge en el mismo preservante frío (40°C).

El calor elimina agua y parte del aire que se encuentran dentro de la madera. Cuando todo se enfría, el aire se contrae y produce un vacío parcial que sumado a la presión atmosférica hace penetrar al preservante dentro de las células.

La mayor parte de la absorción y penetración se produce en el baño frío, por eso, para aumentarlas o mejorarlas, hasta elevar la temperatura del baño caliente o aumentar el período de la inmersión en frío. En realidad, lo más importante es la diferencia de temperatura entre ambos baños y no sus valores absolutos. (De 100°C a 60°C de 80°C a 40°C).

Este tratamiento es más indicado para oleosos y oleosolubles. En los hidrosolubles no se puede pasar de 40° - 50°C porque la mayoría de las sales precipitan o se descomponen.

Ej.: Con creosotas: en postes de 20cm de diámetro y 1,20m de largo se consumen 3 ls. de solución; en postes de 12 – 14cm de diámetro en la punta y 20cm de diámetro en la base y 7,5m de altura, se consumen 15 a 16kg de ceosota c/u.

El pasaje del baño caliente al frío puede hacerse: cambiando los postes; cambiando el preservante o dejando enfriar los postes en el mismo recipiente.

Existen muchas variantes, sobre todo en la etapa del baño caliente, que consiste en sustituir el preservante por otras sustancias: aceites usados, fuel – oil, agua o vapor, etc.

## **B – Con presión y/o con vacío**

### 1 – METODO BOUCHERIE

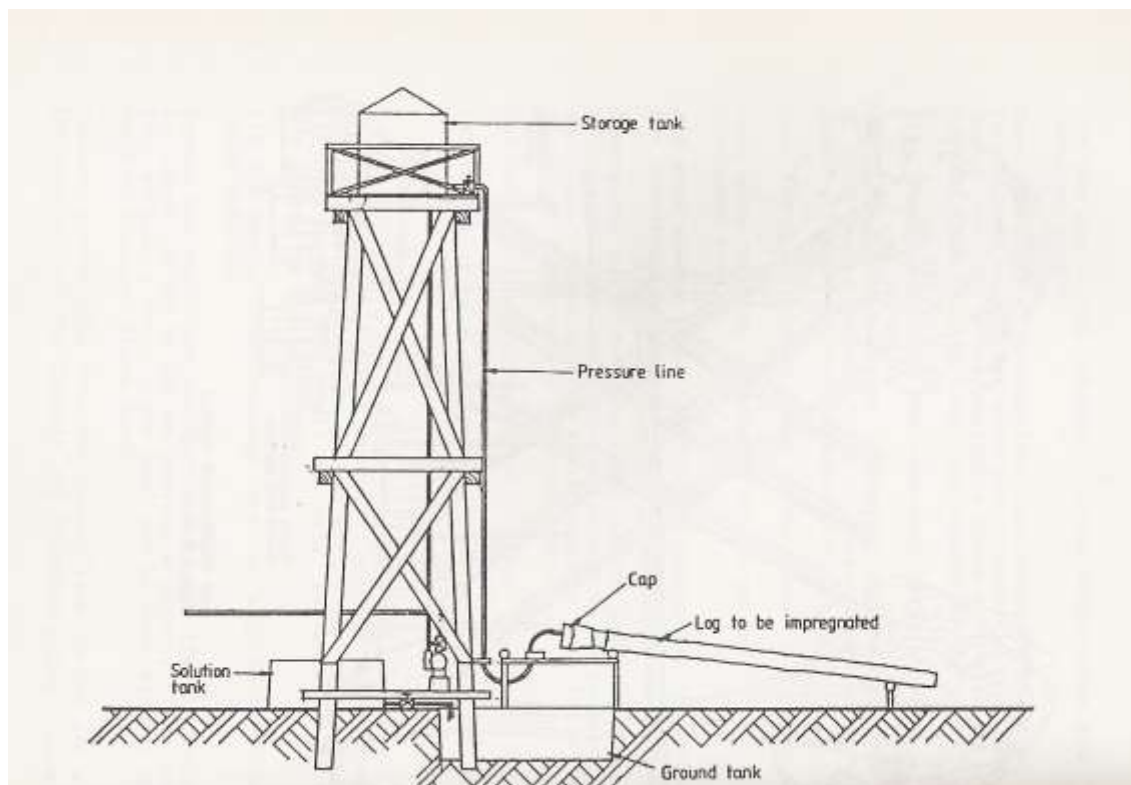
Consiste en la aplicación de una presión hidrostática producida por una columna de líquido conteniendo el producto preservador.

La solución se coloca en un tanque elevado a 8 ó 10m de altura y por medio de un sistema de cañerías se lo hace llegar a la base del poste. La pieza se coloca inclinada con la base hacia arriba y sobre ella se ajusta un cabezal de goma por donde entra el líquido ayudado por la gravedad y el peso de la columna líquida.

Los postes deben estar verdes, recién cortados y descortezados sólo en los 20cm de la base.

Es indicado para preservantes hidrosolubles.

No se modifica la concentración de la solución como en la ascensión: el excedente se recupera por la punta del poste y puede reconcentrarse por evaporización. La presión es de 1Kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 7: Método Boucherie**

#### Modificaciones al método

Desplazamiento de savia por succión:

Se colocan los postes verdes y con corteza con la base sumergida en la solución y en la punta se aplica un casquete de goma que comunica con un recipiente donde se ha hecho el vacío. De esta manera se provoca una que primero desaloja la savia y después chupa al preservante.

Después del tratamiento, la corteza se deja por un tiempo para que el secado sea más lento y no se formen grietas y rajaduras.

Desplazamiento de savia por presión:

Es igual que el Boucherie, pero donde la presión de la columna se reemplaza por la proporcionada por una bomba mecánica. Se consiguen presiones de 5Kg/cm<sup>2</sup>.

## 2 – METODO DE CELULA LLENA (BETHELL)

Es un método industrial a gran escala, que se realiza dentro de un autoclave donde la madera se coloca se cierra herméticamente. Las etapas son las siguientes:

- primero se hace el vacío en el autoclave con el objeto de desalojar aire y agua del interior de la madera



- se llena el cilindro con preservante
- se aplica presión y se mantiene
- luego se hace un vacío final para desalojar el cilindro (vaciarlo)

Al extraer el aire, las células de la madera quedan con lugar libre que al aplicar la presión se llenan de preservante, evitando el efecto de “almohadilla” del aire, que puede impedir la entrada del líquido.

Se trata de retener en la madera la mayor cantidad de solución. Por eso es indicado para hidrosolubles (de baja concentración y mucho volumen de solución) y para maderas poco permeables. La retención deseada se obtiene regulando la concentración de la solución más que limitando la cantidad de líquido inyectado en la madera. Se usan presiones de 14Kg/cm<sup>2</sup>.

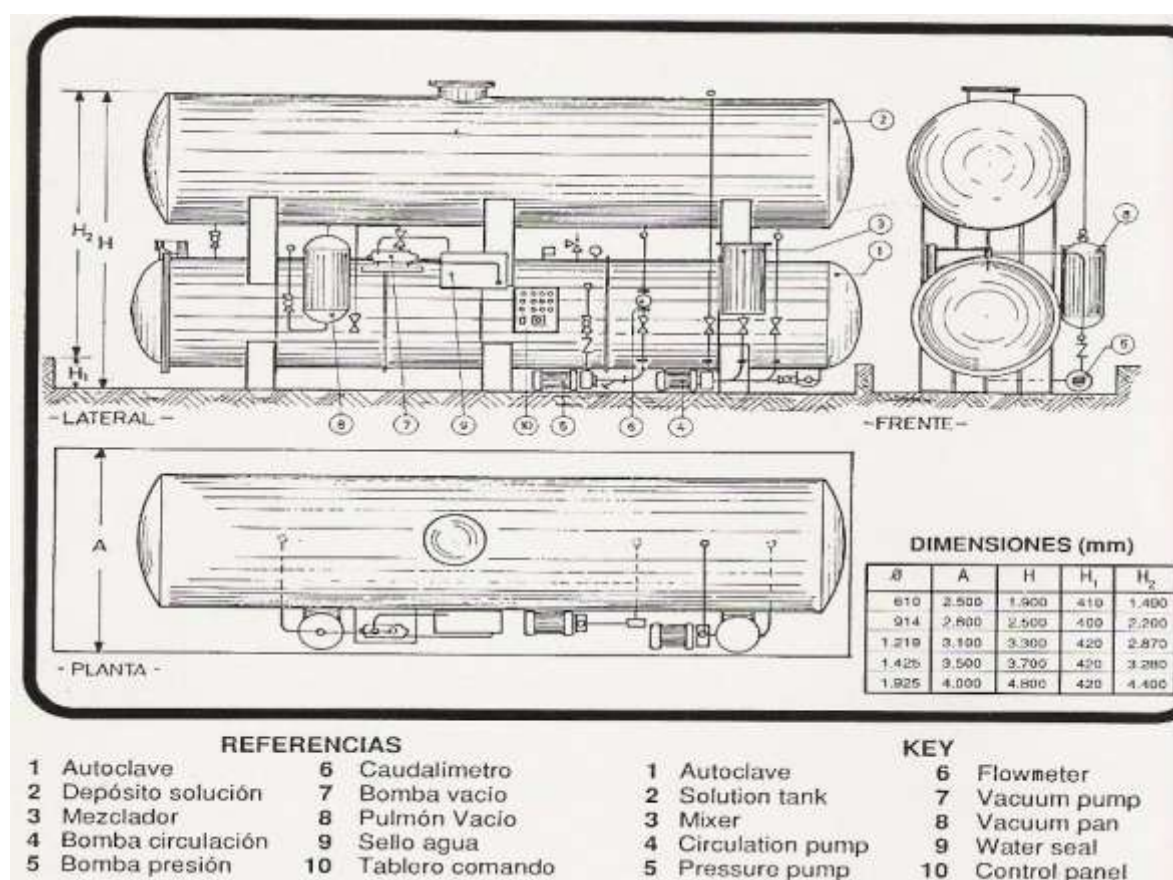
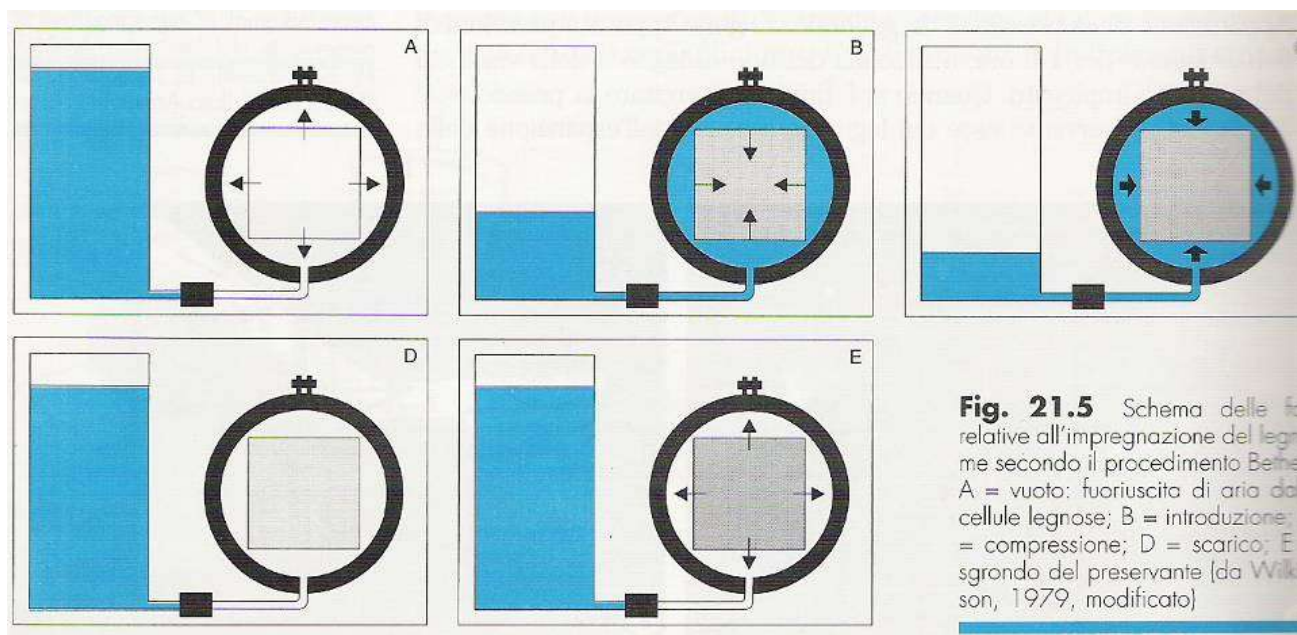


Figura 8: Esquema de una planta de preservación por sistemas vacío-presión



**Figura 9: Planta de preservación por sistemas de vacío-presión**



**Figura 10: Esquema de las fases de impregnación en el procedimiento Bethell**

### 3 – METODO DE CELULA VACIA

#### A) Método de Lowry

En este sistema no se usa el vacío inicial. El tanque se llena directamente a la presión atmosférica normal y luego se aplica la presión y se siguen los mismos pasos que en el anterior.

Es un sistema intermedio entre el Bethell y el Rüping. Se utiliza para maderas semipermeables y para obtener retenciones y penetraciones intermedias.

La madera queda con el aire que tenía en su interior, el que comprimido por el preservante al entrar a presión. Al cesar esta última, el aire se expande y desaloja el exceso de preservante.

#### B) Método de Rüeping

Su característica principal es que al principio, en vez de hacer un vacío, se aplica aire comprimido a presión, que penetra en el interior de las células de la madera. Luego se llena la autoclave con preservante y se aplica a presión. La operación termina igual que en los anteriores con un vacío final.

El aire de la célula más el inyectado a presión, quedan fuertemente comprimidos en el interior y cuando cesa esa presión se expanden con mucha fuerza hacia fuera expulsando a su vez el preservante que sólo queda mojando las paredes celulares. Con esto se consiguen buenas penetraciones y ahorro de solución. Se usa en maderas muy permeables que absorberían demasiado preservante con un costo muy elevado.

Es muy indicado para los oleosos que se aplican puros o en concentraciones muy elevadas. Con una retención neta limitada se obtiene una penetración más profunda, en las maderas permeables, con este método que con el de Bethell.

Aquí las células quedan más vacías de preservante. En el Bethell en cambio quedan células llenas de preservante.

Las presiones son variables pero oscilan entre 10 – 12Kg/cm<sup>2</sup>. Cuando se requieren bajas retenciones, se aplican mayores presiones iniciales.

#### 4 – METODO DE VACIO

En este método sólo se utiliza el vacío. Primero se llena el autoclave con preservante y luego se aplica vacío. La diferencia de presión hace entrar la solución a la madera. Al final se hace un vacío, para expulsar el sobrante del cilindro que se recupera.

Se utiliza con maderas permeables.

Se necesita menos equipo que con los anteriores.

#### 5 – METODO "CELON" O "DRILON"

La diferencia está en el solvente utilizado. La solución está compuesta por gas butano como solvente por PCF y/o óxido de tri – n – butil – estaño.

El proceso consiste en hacer un vacío inicial para eliminar aire, luego se agrega N para bajar la proporción de O y evitar el peligro de incendio o explosión. Luego se introduce el producto activo disuelto en el gas líquido. En el interior es calentado por serpentines, aumentando la presión del líquido, que penetra en la madera. La temperatura es de 75°C y la presión de 10 – 12Kg/cm<sup>2</sup>. El butano se recupera por diferencia de presiones y un vacío final.

A raíz de la baja viscosidad de la solución, se consiguen penetraciones muy profundas, dando una protección muy eficiente.

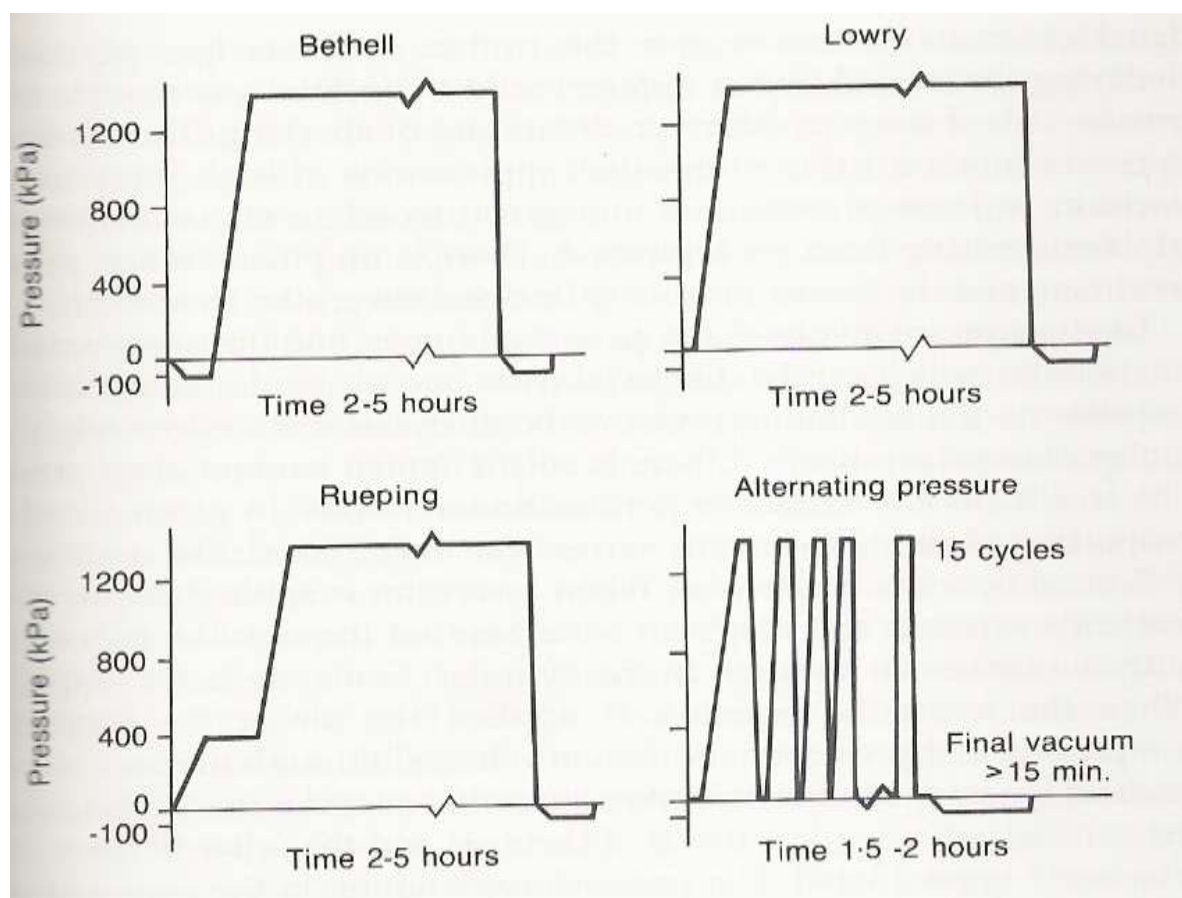
#### 6 – METODO DE LA DOW CHEMICAL

Se utiliza con PCF disuelto con cloruro de metileno, que por ser inerte no presenta peligro de explosiones. El proceso es similar al Lowry.

#### 7 – METODO DE PRESION OSCILANTE

Se utiliza preservar maderas que se agrietan o rajan en el secado. Se las puede preservar con un alto contenido de humedad.

Se aplica en forma alternada vacío y presión, para obligar al torus a desplazarse constantemente haciendo un trabajo de bombeo que hace penetrar el líquido a través de las membranas de las punteaduras.



**Figura 11: Diagrama de las presiones para distintos métodos**

## **VIII – LAS NUEVAS ALTERNATIVAS A LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE PRESERVACIÓN DE MADERA**

Entre las tecnologías más novedosas para la modificación de la madera, se pueden citar la modificación térmica y los tratamientos químicos.

- 1) La **modificación térmica** o el tratamiento por calor, es el más frecuente. Este tratamiento, sin embargo, es menos efectivo para aumentar la durabilidad que el tratamiento químico. Este tratamiento radica en el uso de temperatura para alterar las propiedades de la madera. La madera se somete a temperaturas superiores a 150° C, generalmente entre 180 y 260 ° C, lo que provoca diversas reacciones en los polímeros constitutivos de la madera, tales como separación hidrolítica de polisacáridos, oxidaciones y reducciones, además de variadas condensaciones (Mai y Militz 2008).

El calentamiento ocurre dentro de un proceso que tiene como variable la duración de los ciclos, la humedad de la madera y la atmósfera del ambiente de reacción. Se busca reducir el contenido de oxígeno para evitar oxidaciones degradativas (Hill 2006). Las diferentes especies de madera reaccionan de manera distinta al tratamiento, y generalmente la madera de frondosas presentan tras el tratamiento mayores pérdidas de masa , y por lo tanto de densidad, que las maderas de coníferas (Hill 2006).

La modificación térmica mejora la estabilidad dimensional, la resistencia al ataque de microorganismos y también reduce la higroscopicidad (Hill 2006). Como contrapartida, la modificación térmica reduce la tenacidad de impacto y la resistencia a la abrasión (Seeling et al. 2007). La madera modificada térmicamente presenta un oscurecimiento del color y un olor característico, típico del calentamiento de azúcares (Oliver et al. 2007).

Actualmente, en Finlandia, Alemania, Holanda, Francia y en Estados Unidos hay firmas que producen madera térmicamente modificada para el circuito comercial (Hill 2006).

- 2) Los **tratamientos químicos**, entre ellos: el tratamiento de la **acetilación, DMDHEU y el tratamiento de la melamina, furfuralación**). La modificación química implica la reacción de un reactivo químico con los principales polímeros constituyentes de la madera, resultando en la relación de un enlace covalente entre ambos (Hill 2006). Comprende dos etapas: la impregnación de la madera con la sustancia química reactiva y el curado a

temperaturas superiores a 100° C para permitir la reacción entre la sustancia química y la madera.

El incremento en la estabilidad dimensional se logra, fundamentalmente, porque la sustancia química incorporada ocupa los poros de la madera, produciendo un agrandamiento (bulking) permanente de las dimensiones de la pieza. Consecuentemente las piezas de madera modificadas tienen menos espacios vacíos donde absorber agua, lo que hace que mantengan sus dimensiones en ambientes de humedad variable.

La resistencia a agentes microbiológicos, ampliamente documentada, no está aún satisfactoriamente explicada desde el punto de vista científico-técnico, ya que la modificación química se hace necesariamente con productos químicos no biocidas y por lo tanto la madera modificada no es tóxica para los agentes biológicos.

Las hipótesis de investigación actuales indican que la alteración de la porosidad y del contenido de agua de la madera modificada hacen que los mecanismos enzimáticos utilizados por los hongos para degradar la madera sean inefectivos (Hill 2006). Otras hipótesis apuntan a la disminución de los grupos oxhidrilos disponibles en la madera, que son a su vez los sitios donde ocurre la actividad enzimática de los microorganismos debido a la reacción con las sustancias químicas incorporadas (Takahashi 1996).

También se obtienen mejorías sensibles en la resistencia a la degradación por agentes meteorológicos, tales como radiación solar, precipitaciones y cambios de temperatura.

La modificación de la madera también origina cambios en las propiedades mecánicas. En algunos procesos se observa un deterioro en la tenacidad de impacto.

- **Esterificación o Acetilación:** Es la modificación química con anhídridos acéticos. La madera acetilada presenta un incremento en la densidad y sensibles mejorías en la estabilidad dimensional (Rowell 1996), debido al agrandamiento de la pared celular producido por la reacción (Hill 2006). La resistencia al ataque de basidiomicetos que se obtienen en madera acetilada es similar a la que se observa en madera tratada con químicos preservantes (Mai y Militz 2008). La madera acetilada presente resistencia al ataque de termitas. Una

desventaja de este proceso es la obtención de ácido acético como subproducto de la reacción, lo que deja al producto con un característico olor a vinagre. También debe tenerse en cuenta que el anhídrido acético es corrosivo, por lo que la planta de tratamiento debe considerar esa propiedad en el diseño. Una parte crítica del proceso es la recuperación del ácido acético, que puede reciclarse en anhídrido acético para luego reutilizarse en el proceso (Hill 2006). Desde 2003 se produce en los Países Bajos madera acetilada con fines comerciales (Accoya™) (Kattenbroek 2007).

- **Resina de dimetilol:** El dimetilol-dihidroxi-etileno (DMDHEU) es una sustancia soluble en agua que al polimerizarse se transforma en una resina. Fue desarrollada originalmente para la industria textil, con el objetivo de evitar las arrugas en las prendas y facilitar la fijación de los colores (Krause et al. 2008). Esta tecnología ha sido transferida exitosamente a la industria de la madera. A temperaturas superiores a 100° C y en presencia de un catalizador metálico, los grupos N-metilol, presentes en la molécula DMDHEU, reaccionan con los polímeros de la pared celular. A su vez, también dentro de la pared celular, el monómero de DMDHEU se polimeriza, produciendo una resina que debido a su tamaño molecular permanece retenida. Es posible realizar este proceso sin provocar alteraciones perceptibles en el color o el olor de la madera. La modificación de la madera con DMDHEU permite reducir la contracción e hinchazón en hasta un 70% y aumentar notoriamente la resistencia frente a basidiomicetos y termitas (Krause et al. 2008). En Alemania se comercializa madera modificada con DMDHEU y se producen muebles y otros productos con partes y piezas de tableros contrachapado o microlaminado con chapas impregnadas utilizando este proceso (Becker 2005).
- **Alcohol furfúrico:** Este proceso implica la impregnación de madera con alcohol furfúrico. La posterior reacción con un catalizador (anhídridos cíclicos de ácidos carbónicos) a temperaturas superiores a 100° C permite la polimerización del alcohol furfúrico dentro de la pared celular, aunque también es posible encontrar pequeñas cantidades de alcohol furfúrico polimerizado en el lumen celular (Mai and Militz 2008). Dado que es posible producir

alcohol furfúrico a partir de fuentes renovables ya que es un derivado de las pentosas, esto le confiere al proceso un atractivo especial (Takahashi 1996; Hill 2006). Además la furfurilación confiere a la madera un color oscuro que permite asociarla con las maderas tropicales, lo que a su vez puede ser para algunos productos una ventaja en la comercialización. La madera furfurilada, debido al agrandamiento permanente de la pared celular y a los enlaces entre el polímero y la pared celular, es dimensionalmente más estable que la madera sin tratar (Lande et al. 2008). Se observa mayor resistencia al ataque de hongos, siendo más efectivo el tratamiento contra hongos de pudrición blanca que de pudrición parda (Takahashi 1996). Según algunos autores la protección contra termitas no es total. La madera furfurilada presenta el detrimento de algunas propiedades mecánicas tales como el módulo de ruptura, la resistencia a la abrasión y la tenacidad. Actualmente se produce en Noruega madera furfurilada de pino y latifoliadas con destino comercial (Brynildsen y Myhre 2008).



## **BIBLIOGRAFIA**

- Anselmi, N. Y Gobi, G.- 1996 – **Patología del Legno** – Edagricole – Edizioni Agricole – Italia.
- Botella, A. – 1962 – **La industria de la preservación de la madera por impregnación; estudio preliminar sobre la perspectivas de su desarrollo en la Argentina** – Banco Industrial de la República de Argentina (B. I. R. A.) – Buenos Aires.
- Dieste, A.; Mai, C.; Militz, H. Y Vicente J. – **Las nuevas alternativas a los métodos tradicionales de preservación de maderas** – Revista ASORA – Año 15 Número 89 – Mayo / junio 2010 – Buenos Aires – Argentina.
- Hunt, G. y Carrat, G. – 1962 – **Preservación de la madera** – Ed. Salvat – 486 pp.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – 1986 - **Manual de preservação de Madeiras** – Volumen I y II - São Paulo – IPT – Brasil.
- Tinto, J. C. y Chiang, R. G. – 1967 – **El poste de madera en la electrificación rural** – Ed. Metalis S. A. – 62 pp. – Buenos Aires.
- Tinto, J.C. – 1980 – **Manual para tratamientos protectores de productos forestales** – Consejo Federal de Inversiones (CFI) – Buenos Aires.
- Tinto, J.C. – 1997 – **Tecnología de las maderas Argentinas y del Mundo** – Editorial Agro Vet – Buenos Aires – Argentina.
- Torres Juan, J. – 1966 – **Conservación de maderas en su aspecto práctico** – I. F. I. E. – Madrid.
- Tuset, R. y Durán, F – 1978 – **Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización** – Ed. Hemisferio Sur – 668 pp. Uruguay.