

**CAUSAS Y PREVENCIÓN DEL DETERIORO DE  
LA MADERA DE TORRES DE ENFRÍAMIENTO DE AGUA**

**Dr. Luis A. Borlando**

**Serie II, nº 164**

---

## INTRODUCCION

---

En las operaciones industriales de transferencia de calor que se realiza mediante agua de enfriamiento, ésta cumple un ciclo cerrado y fluye a través de los equipos de intercambio absorbiendo calor con el consiguiente aumento de su temperatura.

El enfriamiento de esta agua circulante se lleva a cabo en la mayoría de las plantas mediante el uso de torres de refrigeración, ya sean de tiro natural o provistas de ventiladores para forzar mecánicamente la circulación del aire a través de su estructura.

La madera es el material que se usa comunmente para construir estas torres en razón de su durabilidad, fácil trabajabilidad, elasticidad, liviandad, disponibilidad y costo. Químicamente considerada, está compuesta por aproximadamente 50 % de su peso de hidratos de carbono, principalmente celulosa, 30 % de lignina y extractivos variados, entre los que se encuentran justamente los compuestos químicos responsables de su mayor o menor resistencia natural al ataque de los agentes biológicos capaces de destruirla: hongos y bacterias en el uso que estamos considerando. Esta propiedad se denomina corrientemente durabilidad natural y es característica de algunas especies solamente.

Sin agresión de origen biológico y sin estar directamente expuesta a la intemperie, se comporta como un material provisto de notable estabilidad química.

En tales torres de enfriamiento la madera está sometida a condiciones de humedad muy variadas en una atmósfera de aire caliente y húmedo. En algunas secciones de las mismas se encuentra constantemente bañada por la corriente de agua circulante; en otras está permanentemente bañada por niebla o sometida a salpicaduras o alternativamente sumergida en agua.

Todas éstas son condiciones de servicio muy severas y que, a pesar de la estabilidad y de la durabilidad características de varias especies, son muy propicias para provocar su deterioro prematuro si no se le aplican tratamientos de preservación adecuados y no se practica el acondicionamiento del agua que circula.

Cuando las torres contienen madera deteriorada disminuye su eficiencia y entonces se pierden productos valiosos y aumenta el consumo de energía de la instalación. Para mantenerlas en óptimo estado de funcionamiento se hacen necesarias frecuentes y costosas reparaciones cuya inconveniencia es mayor por el hecho que las plantas de procesamiento funcionan normalmente en operación continua (fig. 1).

La madera en las torres de enfriamiento está fundamentalmente sujeta a la acción destructiva de dos tipos de agentes: químicos y biológicos, existiendo en la gran mayoría de los casos la concurrencia de ambos procesos.

---

#### ATAQUE QUIMICO Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA

---

El ataque químico consiste en el lavado preferencial de algunos de sus componentes: celulosa, lignina o extractivos, motivado por su reacción con determinadas sustancias químicas presentes en el agua circulante; la corriente de agua provoca también la simple solubilización de las mismas.

Tal ataque se traduce principalmente en el proceso de delignificación de la madera. La lignina constituye en la madera un verdadero cemento que liga las fibras de celulosa y que si desaparece deja a éstas expuestas al arrastre por la corriente de agua.

Además, tal remoción de la lignina está generalmente acompañada por la extracción de taninos u otros extractivos que confieren a la madera determinadas características tecnológicas y de durabilidad.

Este tipo de ataque se caracteriza por un blanqueamiento de la superficie de la madera, que contiene también abundantes matas de fibras sueltas y trae como consecuencia la disminución del espesor y el debilitamiento de la pieza considerada (fig. 2).

Dado que el recurso común que usa la industria para evitar en el agua que circula en las torres el desarrollo de algas o la excesiva producción de limo consiste en la cloración de la misma, el cloro existente en ella es capaz de atacar a la lignina de la madera, con formación de cloro-lignina, notablemente más soluble que la lignina misma. Asimismo, reacciona también con algunos extractivos tóxicos de la madera y de esta manera promueve el comienzo y acelera luego el posterior ataque biológico de la misma. El ataque de la lignina es debido en otros casos a la presencia en el agua de cantidades excesivas de carbonatos y bicarbonatos alcalinos, provenientes generalmente de los procesos de ablandamiento a que aquélla es sometida.

Además, la degradación química de la madera de la torre puede suceder también en condiciones de acidez y en tal caso resulta principalmente atacada la celulosa. A pH inferior a 5,0 ya resulta apreciable este tipo de ataque.

La prevención del ataque químico debe realizarse mediante el cuidadoso control del pH, alcalinidad total y contenido de cloro en el agua que circula a través de la torre. En cuanto al pH, se recomienda mantenerlo permanentemente entre los valores 6,0 y 7,0 y el contenido de cloro residual deberá ser siempre inferior a 1 ppm, cantidad que es suficiente para el control del limo y de las algas sin que se provoque apreciable ataque de la madera. Otro recurso es el uso de algicidas no oxidantes como es el pentaclorofenato de sodio o los derivados de amonio cuaternario. El contenido de carbonato y bicarbonato deberá ser inferior a 200 ppm (calculado como  $\text{CaCO}_3$ ).

---

## ATAQUE DE ORIGEN BIOLÓGICO

---

Otro problema diferente del mencionado ataque químico y también más grave porque no se previene con sólo mantener determinadas características químicas en el agua circulante es el ataque biológico de la madera, provocado por microorganismos, predominantemente hongos, que utilizan los constituyentes de la misma para su alimentación. Los hongos son vegetales de naturaleza filamentosos que no contienen clorofila, no pudiendo por tanto sintetizar su alimento, debiendo obtenerlo a partir de la materia orgánica de la madera. Se reproducen por esporos, microscópicos y muy numerosos, que son llevados por el aire haciendo posible la contaminación en cualquier sitio. Germinan cuando se encuentran en condiciones adecuadas de humedad, temperatura y aereación.

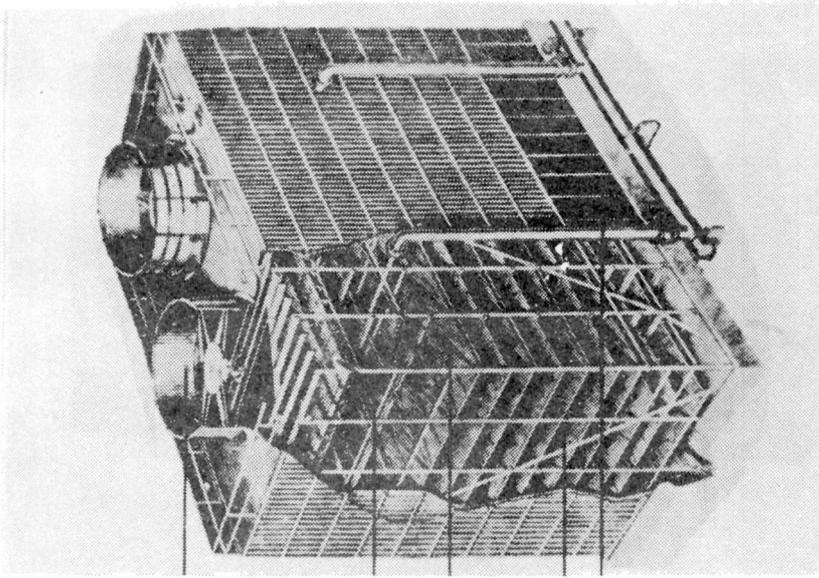
En el caso de las maderas de las torres de enfriamiento de agua, es común considerar el ataque biológico superficial y el ataque biológico interno de la misma.

El primero de ellos predomina en las secciones permanentemente bajo agua, tales como las tablillas del relleno, e iniciándose en la superficie de las mismas progresa hacia su interior a razón de aproximadamente 0,1 mm por año.

Se lo llama putrefacción blanda (soft - rot) y los organismos responsables de la misma son hongos inferiores de los tipos "ascomycetes" y "hongos imperfectos" que degradan preferentemente la celulosa dejando casi intacta a la lignina, (*Chaetomiium globosum*, *Graphium*, *Phoma* sp., etc.).

Si bien los hongos xilófagos son organismos aerobios y en estas localizaciones dentro de la torre, la madera se encuentra saturada de agua y por tanto sin oxígeno libre en sus cavidades, el agua circulante está bien aereada y el oxígeno que ella contiene es suficiente para el desarrollo de estos organismos celulolíticos que progresan entonces sólo en las porciones superficiales de la misma.

La madera así atacada se ablanda notablemente y se oscurece adquiriendo además un aspecto muy característico que



1  
2  
3  
4

Fig. 1.- Torre de enfriamiento de  
agua: 1 ventilador; 2 eliminador;  
3 relleno; 4 lumbreras.

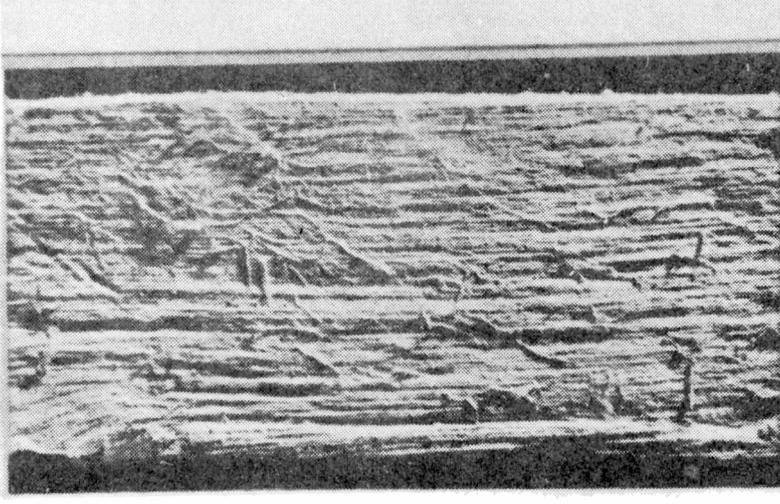


Fig. 2.- Delignificación de la  
madera

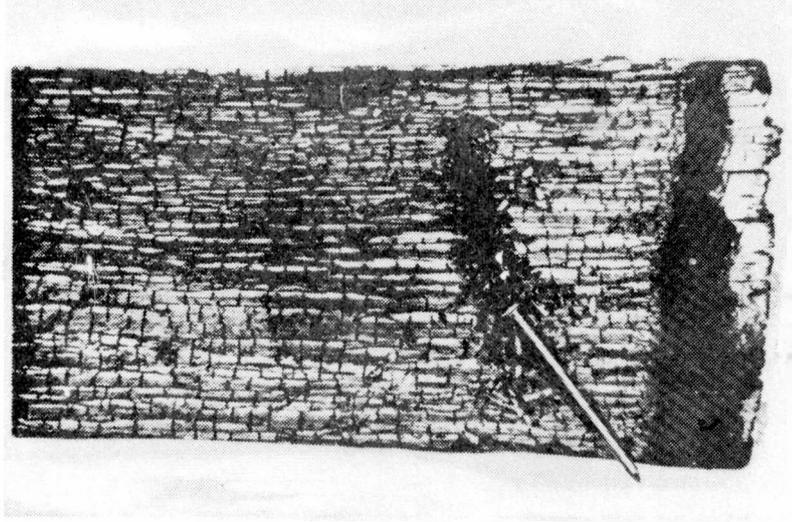


Fig. 3 - Ataque biológico superficial  
(Soft-rot)

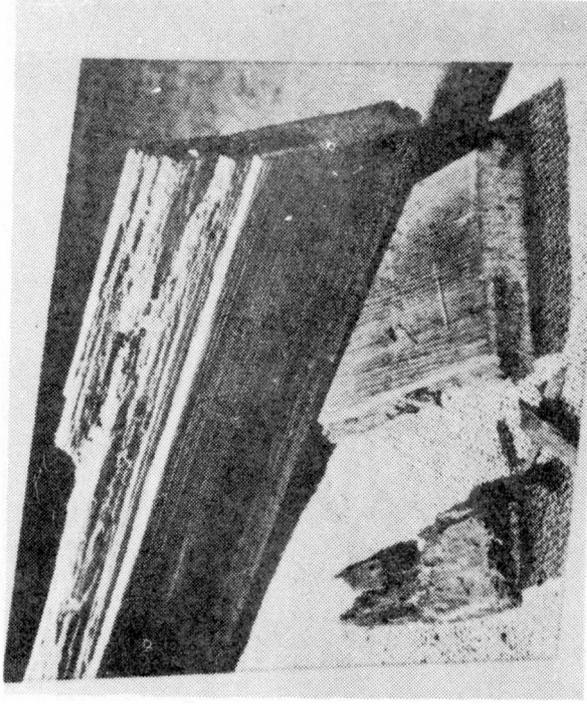


Fig. 4 - Ataque biológico interno

la asemeja a la madera carbonizada, ya que numerosas grietas pequeñas en ambos sentidos normales provocan una especie de cuadrículado de su superficie (fig. 3). Las células degradadas resultan fácilmente arrastradas por la corriente de agua y el ataque biológico superficial se hace evidente, además del aspecto mencionado, por la pérdida de espesor y ablandamiento de la madera con la consiguiente pérdida de resistencia mecánica.

El segundo tipo de ataque biológico o sea el interno, consiste también en la degradación selectiva de la celulosa o de la lignina de la madera, causada en este caso por los hongos de la clase Basidiomycetes, que son los principales responsables de la pudrición de la madera en todos los otros tipos de servicios de la misma en el exterior: postes para líneas aéreas de energía y para alambrados, durmientes ferroviarios, etc.

Este otro ataque biológico aparece restringido a la madera de aquellas secciones de la torre que no están constantemente bajo agua pero sí ocasionalmente, o que su contenido de humedad adquiera valores comprendidos entre 20 % y 30 %. Tal es el caso de las partes estructurales de la torre y del manto externo.

Es característico su progreso, generalmente desde el interior hacia afuera de la pieza afectada y por lo tanto no resulta fácil evidenciarlo en sus estados iniciales, no provocando tampoco pérdida de espesor en la misma. Sin embargo, al final se hace evidente por la completa degradación de la madera (*Poria nigrescens*, *Poria oleraceae*, etc.).

Un modo práctico de comprobar este ataque, sobre todo en sus estados iniciales, consiste en probar la dureza de la madera con un instrumento punzante (fig. 4).

---

#### CONTROL DEL ATAQUE BIOLÓGICO

---

Cualquiera de los dos tipos de ataque biológico descrip-

tos es causado, como dijimos, por organismos vivientes que utilizan los constituyentes de la madera como alimento y puede suponerse entonces que podrán controlarse manteniendo en el interior de la madera compuestos químicos que resulten tóxicos para los mismos, sean éstos sus propios extractivos naturales o determinados preservadores químicos.

Estos preservadores se incorporan a la madera previamente a su colocación en las torres mediante procesos de impregnación a presión, o tratando la madera ya colocada en su lugar en la torre, circulando soluciones preservadoras en secciones de la misma retiradas de servicio (procesos por difusión).

También en ciertos casos se procede incorporando fungicidas a intervalos en el agua circulante, de manera similar a la aplicación de agentes para el control de las algas o del limo.

En consecuencia, aquellas condiciones del agua que no favorezcan la extracción de los preservadores naturales o artificiales de la madera, serán las más convenientes para reducir al mínimo los riesgos del ataque biológico. Nuevamente aparece aquí la necesidad del control químico del agua que circula en la torre dada la gran influencia de su composición sobre las diferentes formas de ataque de la madera.

En relación con la temperatura, los hongos causantes del ataque biológico superficial y algunos de los que degradan internamente a la madera requieren temperaturas de aproximadamente 34°C; los restantes tienen su óptimo desarrollo alrededor de 28°C.

Con relación al pH se encuentran en condiciones óptimas para su desarrollo a pH 6,0, aunque los hongos causantes de la pudrición blanda superficial no sufren inhibición en su desarrollo aún con valores de pH vecinos a 9,0.

Referente a tolerancias para los preservadores químicos, el grupo de hongos que provocan el deterioro superficial resulta más resistente que los basidiomycetes a los fluoruros, arseniatos, cromatos, sales de cobre y de cinc,

aceite de creosota y clorofenoles, hecho importante que debe ser tenido en cuenta en el tratamiento de madera para torres de refrigeración de agua.

---

#### CONSIDERACIONES FINALES

---

Hasta hace pocos años se consideraba que el tratamiento preservador de maderas para torres de refrigeración estaba en una etapa experimental y no se justificaba plenamente tal tratamiento, dado que se dudaba de su efectividad para el control del ataque biológico en las condiciones imperantes en las mencionadas instalaciones.

Sin embargo, actualmente la práctica aconsejada es la de preservar por impregnación a presión la madera usada en la construcción de torres nuevas o la utilizada para reemplazar a la madera deteriorada en las ya existentes. En todos los casos las retenciones aconsejadas resultan superiores a las reguladas en maderas preservadas para otros fines.

En la elección de las maderas para construir torres de enfriamiento deben considerarse especies de adecuada resistencia, disponibilidad en el área de erección y características de penetrabilidad que permitan lograr valores establecidos de penetración y retención de preservadores.

Aquellos países que han logrado ya una amplia experiencia referente al comportamiento de maderas para este uso, han seleccionado unas pocas especies por sus excelentes características: redwood, Douglas fir, yellow pine, western red cedar, yellow cedar, etc. En nuestro medio se menciona a la madera de alerce como de buen resultado.

Aparte del tratamiento preservador, las condiciones muy particulares de exposición a que se encuentra sometida la madera en una torre, hacen que el factor especie adquiera mucha importancia, en especial en relación con el ataque químico y el ataque biológico superficial.

Con relación a la eficacia de los preservadores, en

Estados Unidos consideran en primer lugar al aceite de creosota y a los preservadores compuestos solubles en agua que contienen cobre, aunque el uso de éstos data de aproximadamente 15 años atrás y sería todavía necesaria mayor experiencia para valorar definitivamente la protección que confieren a la madera de las torres.

La especificación del Cooling Tower Institute de Estados Unidos, referente al tratamiento preservador a presión para madera de torres de enfriamiento de agua (1959), indica los siguientes preservadores y sus correspondientes valores mínimos de retención ( $\text{kg/m}^3$ ):

Preservador	Madera de espesor inferior a 5 cm	Maderas de más de 5 cm de espesor
Creosota .....	224	160
ACC (acid copper chromate).....	16,0	8,0
CCA (chromated copper arsenate).....	16,0	8,0
ACA (amoniacal copper arsenite).....	10,0	8,0

Los valores de penetración que establece son los siguientes:

Albura: 100 %

Duramen: mínimo 10 mm

Las especies de madera consideradas en dicha especificación son las que se mencionan a continuación:

Redwood (Sequoia sempervirens)

Coast Type Douglas Fir (Pseudotsuga taxifolia)

Southern Yellow Pine (varias especies)

Las especificaciones de la British Standard Institution permiten impregnar maderas para torres de enfriamiento con los siguientes preservadores: aceite de creosota, compuestos solubles en agua del tipo cobre-cromo y cobre-cromo-arsénico y con pentaclorofenol (este último sólo para piezas estructurales). Las retenciones aconsejadas son casi análogas a las ya mencionadas del C.T.I.

En Canadá, seleccionan por su excelente durabilidad las maderas de redwood y Western red cedar (*Thuja plicata*) y en menor extensión Douglas fir, Yellow cedar (*Chamaecyparis nootkatensis*) y Southern pines.

Finalmente, está generalmente aceptado en la actualidad que el deterioro de la madera en las torres de enfriamiento por la acción de hongos y bacterias es de mayor importancia que el ocasionado por el ataque químico de la misma. Este último es ya un problema casi superado mediante el cuidadoso control de la composición química del agua circulante. El acondicionamiento del agua es también una barrera muy efectiva contra el ataque biológico superficial.

También es necesario conocer cuáles son las especies de madera que presentan buen comportamiento en torres que operen en condiciones normales.

En cuanto al control del ataque biológico la práctica actual es, como ya dijimos, la de preservar mediante impregnación a presión las maderas para torres nuevas y las maderas de recambio, utilizándose también con buenos resultados diversos tratamientos "in situ". Un alto contenido de cromatos en el agua circulante resulta además una buena defensa contra el ataque biológico superficial.