

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

CAMINOS DE HIERRO

La conservación de las traviesas de los caminos de hierro.
Penetración del calor en la madera.

Recientemente se han hecho estudios de conjunto sobre los diversos procedimientos de impregnación, unos antiguos, otros modernos, con objeto de preservar las maderas que están expuestas a una destrucción rápida. Aun cuando hace bastante tiempo se practicó la impregnación de sustancias antisépticas para ciertas maderas expuestas a la intemperie, todavía se ignora cómo se produce su destrucción. Parece, por tanto, sea necesario este conocimiento para determinar las condiciones mediante las que se asegura su buena conservación, cuando se las somete a tal ó cual tratamiento. En realidad, cada procedimiento de conservación por impregnación está aplicado empíricamente y constituye una serie de operaciones, cuyo objeto y eficacia son muy problemáticos. El número de variaciones que existen para un mismo procedimiento, la inyección con la creosota, por ejemplo, pone bien de manifiesto la incertidumbre con que se opera.

Dada la rareza creciente de maderas, cuyas aplicaciones son cada vez más numerosas (traviesas de caminos de hierro, vigas de canalizaciones eléctricas, pavimentos de madera, marcos y maderamen de mina), se ha creído útil hacer estudiar metódicamente la cuestión, y M. H. Devaux, Profesor de la Facultad de Ciencias de Burdeos, y M. H. Bouygues, Doctor en Ciencias, han sido encargados de hacer los estudios relativos a la conservación de las traviesas.

Aunque estos estudios no están terminados, han proporcionado resultados muy interesantes y del todo nuevos. Estos primeros trabajos son los relativos a la penetración del calor en la madera que vamos a resumir de una publicación de MM. Devaux y Bouygues sobre este asunto, y de los que, ampliados, reproduciremos algunos párrafos.

Objeto de las investigaciones.—En el estado actual de la ciencia, se ignora todavía si los parásitos que viven en el árbol pueden ser destruidos, si continúan viviendo una vez que el árbol es abatido y si tienen todavía vida, puesta de madera en obra. Se ignora casi siempre el momento y la naturaleza real de la infección, y no puede afirmarse que después del abatimiento reconozca siempre una causa exterior. La experiencia enseña al menos que la madera formada esencialmente de celulosa, casi indestructible en las condiciones en que se la utiliza, no se destruye sino en presencia de la savia del tejido leñoso, ó mejor, de los residuos que deja por desecación. Es también en la savia

ó en estos residuos donde se encuentran la diastasis y fermentos de la putrefacción, y en la savia donde los parásitos, venidos ó no del exterior, encuentran ciertos alimentos necesarios a su desarrollo.

La destrucción de todo lo que es fermentable ó vive en la madera, en una palabra, su esterilización, parece oponerse á toda introducción de sustancias antisépticas, tanto más, cuanto que éstas no penetran por lo regular más que muy superficialmente.

Si además, por causa de sequía y después de tratamiento se forman en la madera nuevas grietas que penetren hasta partes no impregnadas ni esterilizada, la puerta queda abierta á la infección y la destrucción comienza á pesar de la impregnación.

Para realizar la esterilización sobre todo, es por lo que en los diversos procedimientos se bañan las maderas con vapor, se pasan por aire caliente ó algunas veces se sumergen en el momento antes de inyectarlas en baños de líquidos muy calientes. Estos baños los constituyen generalmente la misma solución antiséptica que ha de inyectarse después. Si por el baño y elevación de temperatura tiene lugar un ablandamiento y una distensión de fibras que preparan la madera para recibir mejor el líquido antiséptico, no podrá menos de tenerse en cuenta la esterilización por el calor, llevada necesariamente en estas condiciones.

La penetración del calor en la madera debe, por tanto, constituir lógicamente el primer objetivo de estudio, puesto que casi siempre tiene lugar en alguna de las fases, y á menudo en muchas de casi todos los procedimientos de impregnación.

Manera de operar.—Los autores han operado desde luego sobre cilindros de pino marítimo, tomado, sea en el corazón, sea en la albura, cortándolas en traviesas y operando después sobre éstas.

En el primer caso, las piezas no pueden calentarse más que por su superficie lateral; las extremidades permanecen accesibles y no calentadas. Por una de las extremidades se introduce un termómetro en un orificio estrecho practicado en sentido del eje y un poco separado del centro de la pieza en ensayo.

Para el calentado se ha empleado sucesivamente el vapor saturado á 100 grados, el vapor recalentado y el aire seco; los fluidos se mantienen á una temperatura constante en un recinto caliente.

En otros ensayos sobre traviesas se llevan las operaciones ordinarias de impregnación por el método industrial.

Cilindros de madera.—Estos cilindros tienen sus generatrices en sentido de las fibras y están torneados cuidadosamente en diámetros de 48, 69, 85, 105 y 125 milímetros; tienen 40 centímetros de largos.

Los experimentadores han construido curvas que represen-

tan el fenómeno y que dan la temperatura en función del tiempo transcurrido desde el comienzo de la calefacción.

Calentamiento por vapor a 106 grados.—El aspecto general de las curvas es para todos el mismo y tienen la forma de una S más ó menos inclinada. Se puede dividir cada curva en tres partes. Al principio, y hasta una temperatura sensiblemente uniforme de 20 á 25 grados, el calentamiento es lento, pero va creciendo; es rápido en seguida hasta la proximidad de 80 á 90 grados, y vuelve de nuevo á ser muy lento á partir de este nivel, necesitando un tiempo relativamente considerable para alcanzar la temperatura de 100 grados. Para los más gruesos cilindros estudiados aquí no se ha podido pasar de 98 grados después de seis horas de estancia en el vapor de agua á 100 grados.

Entre las temperaturas de 35 y 55 grados próximamente, las curvas se confunden sensiblemente con una línea recta, cualquiera que sea el grueso del cilindro. Esta región de las curvas es la que puede servir para comparar la propagación de calor en los cilindros de diámetros diferentes, puesto que esta propagación es entonces casi proporcional al tiempo.

Si se llama T al tiempo, contado en minutos, que el cilindro tarda en pasar de la temperatura de 35 grados á la de 55, se encuentran para los diferentes diámetros D los resultados que expresados en centímetros da el cuadro siguiente:

Cuadro que muestra la propagación del calor en las maderas.

CILINDROS DE ALBURA				CILINDROS DE CORAZÓN			
Diámetro D .	Duración del calen- tamiento.	Valor de $\frac{T}{D}$	Valor de $\frac{T}{D^2}$	Diámetro D .	Duración del calen- tamiento.	Valor de $\frac{T}{D}$	Valor de $\frac{T}{D^2}$
Centímetros.	Minutos.			Centímetros.	Minutos.		
4,8	4,3	0,9	0,18	4,8	5,1	1,06	0,22
6,9	6,7	0,9	0,14	6,9	9,0	1,30	0,19
8,5	11,0	1,2	0,15	8,5	14,9	1,75	0,20
10,5	18,4	1,7	0,17	10,5	26,9	2,56	0,24
12,5	26,4	2,1	0,16	12,5	30,4	2,43	0,25

Se ve, por ejemplo, que para la altura, el cilindro más delgado tiene puesto 4,3 minutos para calentarse de 25 á 55 grados, mientras que el más grueso tiene puesto 26,4 minutos. Sin embargo, el tiempo necesario más considerable para calentar un cilindro grueso no es proporcional al diámetro. El cociente $\frac{T}{D}$ varía, en efecto, de una manera continua de 0,9 á 2,1. Al contrario del cociente $\frac{T}{D^2}$, que varía muy poco y de una manera no sistemática. Precisa, pues, concluir que la velocidad de penetración del calor al centro de un pedazo de madera que tenga de 5 á 12 centímetros está casi en razón inversa del cuadrado del diámetro. Este resultado merece nos detengamos. En efecto, Fourier demuestra en su *Theorie analytique* que la velocidad de propagación del calor á través de un cilindro formado de una sustancia sólida cualquiera, pero homogénea, es proporcional á los valores comprendidos entre $\frac{1}{D}$ (pequeños diámetros) y $\frac{1}{D^2}$ (grandes diámetros).

Los cilindros que estudiamos aquí se tratarán como la teoría indica y pueden considerarse como incluidos en la categoría de los que tienen diámetro grande. Esta concordancia, aunque sólo sea aproximada, es notable, porque Fourier ha establecido su teoría de la propagación del calor, suponiendo un sólido perfectamente homogéneo, mientras que la madera es una sustancia

de las más heterogéneas ó más bien es un complejo de sustancias estructuradas, impregnadas de agua y llena de cavidades aéreas. Este complejo heterogéneo se conduce, por tanto, como si fuera homogéneo; cabrá pues, duda, que en maderas con estructura bien uniforme, la ley se verificará más exactamente?

Pero el interés de este resultado no es solamente teórico; mirándolo desde el punto de vista práctico, se puede calcular la velocidad de propagación del calor en una pieza de madera de espesor conocido, y por adelantado puede decirse que esta velocidad disminuirá rápidamente con el diámetro, puesto que varía como $\frac{1}{D^2}$.

De manera que podemos afirmar *a priori* que el calor debe penetrar difícilmente en el interior de las piezas gruesas de madera. Las observaciones hechas sobre traviesas han confirmado, efectivamente, este aserto.

La propagación del calor en las maderas de corazón, no es la misma que en las de albura. El estudio del calentamiento regular entre 35 y 55 grados demuestra que en general la madera de corazón se calienta menos rápidamente que la de albura. La diferencia se acentúa por encima de los 55 grados, de modo que el calentamiento total de la madera de corazón es más y más difícil de medir á medida que se considera una temperatura más elevada.

Durante el baño de vapor, la madera aumenta siempre de peso porque absorbe el agua. Lo contrario de lo que generalmente se cree.

Así, durante cuarenta minutos de baño para el cilindro de albura de 4, centímetros y 413 gramos de peso, el aumento de este último es de 54 gramos; es de 11 gramos para el mismo cilindro de corazón con 390 gramos de peso y baño durante cincuenta y dos minutos; para los cilindros de albura y de corazón, de 12,5 centímetros, bañados respectivamente durante doscientos tres y trescientos tres minutos, y pesando 2.395 y 2.746 gramos, es de 235 y de 110 gramos.

Resulta, pues, que:

1.º En todos los casos hay absorción de agua, y esta absorción es relativamente más grande para los cilindros pequeños que para los gruesos.

2.º Es siempre mayor para la albura que para el corazón.

El hecho de que haya absorción de agua durante el calentamiento de la madera por el vapor, permite afirmar *a priori* que el calentamiento en estas condiciones es debido á dos causas simétricas:

1.ª Propagación por conductibilidad puramente térmica.

2.ª Condensación del vapor de agua en agua líquida y propagación de este agua por difusión ó bien en las profundidades de la madera.

Más adelante veremos cuáles son las consecuencias de estos hechos.

La duración del enfriamiento de un cilindro de madera calentado es siempre muy superior á la del calentamiento. Así, para el cilindro grueso de albura necesita treinta y tres minutos para un calentamiento de 35 á 70 grados, mientras que necesita ciento veinte para un enfriamiento de 70 á 35 grados.

Calentamiento por el vapor recalentado.—Los experimentadores han operado de la misma manera que precedentemente, pero con el vapor saturado á 100 grados y recalentado á 130-170 grados. Á pesar del recalentado, hay todavía aumento de peso por condensación del agua en la madera. Sin embargo, este es menos considerable que precedentemente. La forma de la curva que representa el fenómeno es la misma; sin embargo, es difícil rebasar y aun alcanzar 100 grados en el interior de la madera.

Calentamiento con el aire caliente.—Se han hecho las mismas experiencias empleando el aire calentado á 140 grados. El calentamiento es mucho menos rápido que con el vapor, lo que prueba bien el papel de convoy que hace el agua en la madera. Un poco antes que el centro del cilindro alcance 100 grados, el calentamiento disminuye considerablemente, pues la curva pre-

senta una meseta. Verdaderamente el calor proporcionado debe servir para evaporar el agua que hay en la madera, lo que da lugar á esta constancia de temperatura. Se ha probado que ésta no se produce en tanto que la madera no está casi seca. Tan pronto lo está, la temperatura se eleva rápidamente.

Traviesas de los caminos de hierro.—Para este ensayo, la temperatura tiene que ser tomada por medio de termómetros de máxima ó de termómetros ordinarios colocados en cavidades ó huecos que sean paralelos á las fibras, cuyas distancias de la superficie lateral varíen de 3 á 12 centímetros (este último próximo al eje). Los resultados han estado conformes.

Calentamiento por el vapor saturado.—Después que las traviesas fueron calentadas en el vapor saturado á 110 grados durante sesenta minutos, se ha encontrado en el centro igual temperatura para sus ensayos á 33, 38°5, 45, 27, 34 y 39 grados.

La variación es, como se ve, bastante grande de una traviesa á otra; pero aun prolongando el calentamiento durante hora y media no ha pasado de 44 grados en el centro; y, por otra parte, á 4 ó 5 centímetros de la superficie calculada, la temperatura no llegó nunca á 50 grados para ninguna traviesa después de una hora.

En todos los casos, sean las traviesas verdes ó secas, tomadas en proporción de corazón y de albura, se ha observado un aumento de peso por el baño con vapor. Esta absorción, relativamente menor que para los cilindros, varía de 1 á 2 kilogramos para traviesas de 50 á 70 kilogramos de peso.

El cuadro siguiente resume los resultados obtenidos por estas experiencias.

Aumento de pesos de las traviesas por el lavado con vapor.

	Número de traviesas	Pesos antes del lavado. Kilogramos	Duración del lavado. Minutos.	Pesos después del lavado. Kilogramos.	Ganancia en agua. Kilogramos
Traviesas verdes (1).....	36	4.300,5	60	4.345,7	45,2
Traviesas secas (2).....	36	3.335,8	60	3.433,6	47,8
Traviesas ricas en corazón....	35	3.715,7	60	3.759,5	43,8
Traviesas ricas en albura....	35	3.603,0	60	3.639,5	36,5

Después de esto, se ve que cuando á la inyección de soluciones antisépticas sigue inmediatamente el baño, el aumento de peso no es debido exclusivamente á la penetración de estas soluciones, sino también á la del agua que lleva el baño.

Calentamiento por inyección completa.—Los experimentadores han seguido la marcha de la temperatura en traviesas de pino sometidas á una inyección completa practicada como se acostumbra en los talleres de carpintería del Estado Saint-Mariens.

Se bañan las traviesas durante 30-50 minutos, el vapor á 110 grados, se las somete á un vacío de 60 milímetros de mercurio durante cuarenta minutos y se introduce en seguida una mezcla de creosota y cloruro de zinc calentado á 80-90 grados; cuando el recipiente está lleno se eleva la presión á 6 kilogramos, manteniéndola durante veinte á veinticinco minutos.

La temperatura ha sido tomada con termómetros de máxima que han dado 46 á 50 grados para las traviesas muy ricas en corazón, y 52 á 55 grados para las que son ricas en albura.

Prolongando durante una hora el bañado, el vacío y la compresión, separadamente cada uno, la temperatura se eleva hasta 65 grados para una traviesa rica en corazón y hasta 65-70 grados para traviesas ricas en albura.

(1) No tomamos en consideración el punto de vista de corazón y de albura.

(2) Idem id.

Conclusión.—En la inyección de traviesas de pino, por el procedimiento citado más arriba, la temperatura alcanzada en el interior de la traviesa no es nunca muy elevada, aun para las partes poco profundas; no pasa de 60 grados más que en condiciones muy excepcionales que no tienen lugar en la práctica. Frecuentemente se usan; tienen alrededor de 50 grados.

Establecido esto, se desprenden consecuencias diversas que no nos proponemos estudiar, y una de las más importantes es la que concierne á la esterilización. Esto es muy probable en todas las regiones en donde penetra el líquido antiséptico; pero hay otras, el corazón en particular, donde el antiséptico no llega. No penetrando, pues, el calor más que de una manera insuficiente, puede afirmarse que la esterilización de estas regiones no está asegurada.

Si existen parásitos, ciertamente no morirán, pero los filamentos micelianos por sí mismos, aun los más delicados, resistirán muy á menudo en estas regiones infectadas, porque la temperatura no llegará á elevarse lo bastante.—O.

LA SIMPLE EXPANSIÓN Y LA REDUCCIÓN DE PRESIONES

La locomotora de simple expansión, después de todos los esfuerzos intentados para suplantarla, queda siempre como una de las mejores máquinas para la tracción en los ferrocarriles.

Han pasado muchos años desde que se emplearon por primera vez los cilindros Compound en el servicio de las locomotoras; hace también mucho tiempo que se empezó á emplear el vapor recalentado en dichas máquinas; pero ni uno ni otro sistema han conquistado un puesto verdadero en la práctica de los ferrocarriles de los Estados Unidos, donde la construcción de las locomotoras de simple expansión alcanza hoy día unas proporciones desconocidas hasta ahora.

Sin embargo, la velocidad de los trenes ha aumentado continuamente, las cargas remolcadas no han cesado de crecer y los gastos de explotación han disminuido.

Una de las razones consiste en que muchas de las disposiciones propuestas como susceptibles de mejorar el rendimiento de las locomotoras, no son eficaces más que durante el tiempo que los cilindros consumen vapor. No puede, por tanto, producir economía alguna en el carbón necesario para poner la máquina en presión, así como también para conservar la presión durante la detención de la máquina en las estaciones ó en las vías de carga y descarga. Otra razón reside en las condiciones excepcionales de la locomotora de simple expansión que, á pesar de las competencias que se le han suscitado, por su sencillez y poco aparato sigue siendo la preferida en el citado país. Su rendimiento es realmente elevado, pues puede desarrollar muy fácilmente sobre la barra de enganche una potencia de un caballo-hora, consumiendo de 1,4 á 1,8 kilogramos de carbón, siendo también de notar la facilidad con que se presta á un servicio duro y prolongado con un mínimo de cuidados. Pero por muy halagüeñas que parezcan estas reflexiones para la locomotora de simple expansión, no debe, sin embargo, olvidarse que aún no es en absoluto perfecta, por más que continúa siempre muy activamente su evolución. Cada año se suman nuevos datos á los que se poseen sobre su funcionamiento, cuya utilización permite fijar las proporciones de algún órgano importante con mayor seguridad de acierto. Gracias á esta evolución lenta se ha mejorado mucho el rendimiento de la máquina y continuará mejorándose en el porvenir.

Un punto de bastante importancia que recientemente ha fijado la atención de los constructores de locomotoras y cuya dilucidación contribuirá probablemente mucho al perfeccionamiento de la locomotora, es la determinación de la presión más económica para el servicio. Desde hace muchos años las presiones se