

Estabilidad dimensional frente al agua de las principales maderas empleadas en España sometidas a tratamiento químico protector

Por: José Antonio Rodríguez Barreal
Dr. Ingeniero de Montes
Profesor Titular de Universidad

INDICE:

- I. Introducción
- II. Generalidades
- III. Tratamiento químico protector empleado
 - III.1. Protector empleado
 - III.2. Sistema de tratamiento empleado
 - III.3. Cédulas de tratamiento utilizadas
 - III.4. Aparato empleado para el tratamiento
- IV. Normativa aplicada
- V. Factores incidentes en la evaluación de la estabilidad dimensional de la madera frente al agua
- VI. Resultados
- VII. Conclusiones
- VIII. Fotos

I. INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objeto el estudio de la estabilidad dimensional frente al agua de las principales especies de maderas nacionales empleadas en nuestro país, tras ser sometidos a un tratamiento de impregnación con soluciones de productos químicos que presentan características insecticidas, fungicidas y de repelencia al agua. Estos se presentan disueltos

en productos derivados del petróleo, formando el conjunto de materias activas y disolvente lo que se denomina un protector de tipo orgánico de la madera.

Las materias activas, al no ser solubles en agua, una vez han penetrado en la madera, no se deslavan por la acción de la lluvia a la humedad, quedando fijas a ella.

II. GENERALIDADES Y CONCEPTOS

Al versar el estudio sobre la estabilidad dimensional frente al agua de ciertas especies de madera, creo que en primer lugar se deben de dejar bien claros dos conceptos normalmente confundidos o mal interpretados, el de REPELENCIA AL AGUA y el de ESTABILIDAD DIMENSIONAL.

El **primer** concepto de repelencia al agua implica un porcentaje mientras que el **segundo** es un **equilibrio**. La confusión entre estos conceptos ha conducido en muchos casos, a falsas conclusiones al estudiarse los fenómenos de interacción agua-madera.

Para comprender estos procesos de cambios dimensionales de la madera con el agua o la humedad, tendremos que considerar la microestructura de esta materia y en concreto su pared celular.

De forma general, la pared celular se compone de celulosa, hemicelulosas y lignina, polímeros todos ellos que presentan grupos OH^- así como otros conteniendo oxígeno, que atraen al agua mediante la formación de puentes de hidrógeno. De los tres elementos citados, celulosa, hemicelulosas y lignina, los dos primeros presentan un grado de higroscopicidad mayor que el tercero, siendo por tanto, los principales responsables del incremento del contenido de humedad de la madera.

Según Browning, el porcentaje de sorción de agua que corresponde a los tres elementos citados, componentes de la pared celular de la madera, es:

- Celulosa: 47 % considerando tan sólo la parte no cristalina, evaluable en un 35 % del total (Stamm).
- Hemicelulosas: 37 %.
- Lignina: 16 %.

Paralelamente al proceso de incorporación del agua a la pared celular, se produce un incremento de volumen de la madera, continuando la hinchazón hasta el momento en que la pared celular se encuentra totalmente saturada de agua, punto este denominado punto de saturación de la pared celular.

La hinchazón de la madera producida como consecuencia del incremento higroscópico, se puede establecer mediante la siguiente fórmula:

$$V = C \cdot D$$

donde: V es el % de hinchazón volumétrica
D es la densidad de la madera
C es una constante

la cual en ciertos casos no se ajusta a la realidad, debido principalmente a su contenido en extractos naturales (resinas, fenoles, taninos, etcétera).

De gran importancia es la consideración de la anisotropía de la madera, ya que los fenómenos tanto de hinchazón como de merma, presentarán distinta cuantía según la dirección considerada. Así, mientras en sentido tangencial los máximos valores pueden estar comprendidos entre el 2 y 15 % (en relación con la densidad y productos extractivos, principalmente) en sentido radial tan sólo se alcanzan valores del 40 al 70 % de los anteriores.

Como principal efecto inmediato de la hinchazón están las presiones que la madera puede ejercer sobre su entorno inmediato, las cuales pueden alcanzar altos valores entre 1630

atmósferas (Stamm) y 820 atmósferas (Tarkow y Turner).

En el camino evolutivo hacia el concepto teórico de estabilidad dimensional de la madera frente al agua y tras tratar brevemente de la hinchazón de la madera por el agua veremos la repelencia al agua.

De forma general, entre un sólido y un líquido en contacto con él existe una fuerza de atracción, función a su vez tanto de las fuerzas de cohesión en el interior del líquido, como de las de adhesión existentes entre el líquido y el sólido.

Suponiendo una gota de líquido colocada sobre la superficie de una madera, caben dos posibilidades:

A) Las fuerzas de adhesión líquido-sólido son superiores o iguales a las de cohesión del líquido, y en este caso la gota tenderá a extenderse sobre la superficie de la madera con lo que el ángulo sólido-líquido en la superficie de contacto de ambos, denominado **ANGULO DE CONTACTO**, será 0.

B) Las fuerzas de adhesión líquido-sólido son inferiores a las de cohesión del líquido y en este caso la gota no se extiende sobre la superficie, manteniéndose un ángulo de contacto determinado que será mayor cuanto mayores sean las fuerzas de cohesión del líquido frente a las de adhesión sólido-líquido.

La fórmula de Young refleja estos procesos mediante la siguiente ecuación:

$$J_s = J_{sl} + J_l \cdot \cos \theta$$

donde:

J_s = Tensión superficial del sólido (madera)
 J_l = Tensión superficial del líquido
 J_{sl} = Tensión superficial entre sólido y líquido
 θ = Angulo de contacto

De una gran importancia es el considerar que la madera es un medio poroso capilar, con unos lúmenes o aberturas celulares y unos orificios de conexión entre ellos, los cuales constituyen las rutas de penetración de los líquidos de la madera.

Suponiendo un capilar cilíndrico de diámetro uniforme lleno de líquido, se presenta una diferencia de Presión o presión capilar en él, que se puede representar por la ecuación de Kelvin:

$$P = \frac{-2 J_l \cos \theta}{r} =$$

donde r = radio de capilaridad

Como consecuencia de la diferencia de presión aparece un gradiente de presión que actúa sobre el líquido introduciéndolo en el capilar de forma espontánea para valores del ángulo de contacto (líquido-pared) $\theta < 90$, mientras que en el caso de ser $\theta > 90$, se necesitaría para ello la aplicación de una presión externa superior a la capilar P .

Cuando $\theta > 90$, se está en presencia de superficies repelentes del agua o hidrofóbicas, mientras que en el caso contrario son superficies hidrofílicas.

De forma general las superficies que posean grupos funcionales polares capaces de formar puentes de hidrógeno, serán hidrofílicas mientras que las que tengan moléculas no polares (grupos metílicos, etc.), podrán ser repelentes del agua.

Los elementos componentes de la pared celular, celulosa, hemicelulosas e incluso la lignina (en menor grado esta última) poseen grupos hidróxilo capaces de establecer puentes de hidrógeno con el agua.

De forma natural, la humedad de la madera tiende al equilibrio con la de la atmósfera que la rodea, presentando así una humedad de equilibrio higroscópico, la cual viene relacionada con la humedad relativa ambiental por unas curvas denominadas isotermas de sorción de humedad.

Así, para un valor del 100 % de humedad relativa ambiental, se tiene otro del 28-30 % de humedad de equilibrio higroscópico de la madera, el cual se denomina punto de saturación de la pared celular caracterizado por una sorción máxima de agua,

permaneciendo los lúmenes libres.

El agua que toma la pared celular es la causante de la hinchazón de la madera y el que entra a los lúmenes con posterioridad por capilaridad, no afectará a su estabilidad dimensional.

Tras comentar someramente los procesos de hinchazón de la madera por el agua, estudiaremos los posibles tratamientos tendentes a la reducción de las interacciones agua-madera.

Los tratamientos tendentes a reducir la toma de humedad por la madera y consecuentemente evitar su cambio de dimensiones se puede clasificar en dos tipos:

- Tratamiento de repelencia al agua.
- Tratamientos de estabilidad dimensional.

La efectividad de los primeros se define por su capacidad de prevenir o controlar la cantidad de agua líquida tomada mientras que la de los segundos se hace por su capacidad para prevenir o reducir la hinchazón o merma de la madera, como consecuencia de la toma o pérdida de humedad.

En la figura siguiente se muestran en un gráfico Hinchazón-Tiempo dos curvas correspondientes una a madera impregnada con un protector repelente del agua y otra a madera no tratada.

La curva correspondiente a la madera no tratada nos indica que ésta toma agua rápidamente alcanzando su máxima hinchazón en poco tiempo mientras que la de la madera tratada muestra cómo ésta toma una pequeña cantidad de agua, lo que supone un buen grado de repelencia al agua. Asimismo, la pequeña hinchazón que esta curva muestra, indica una buena estabilidad dimensional.

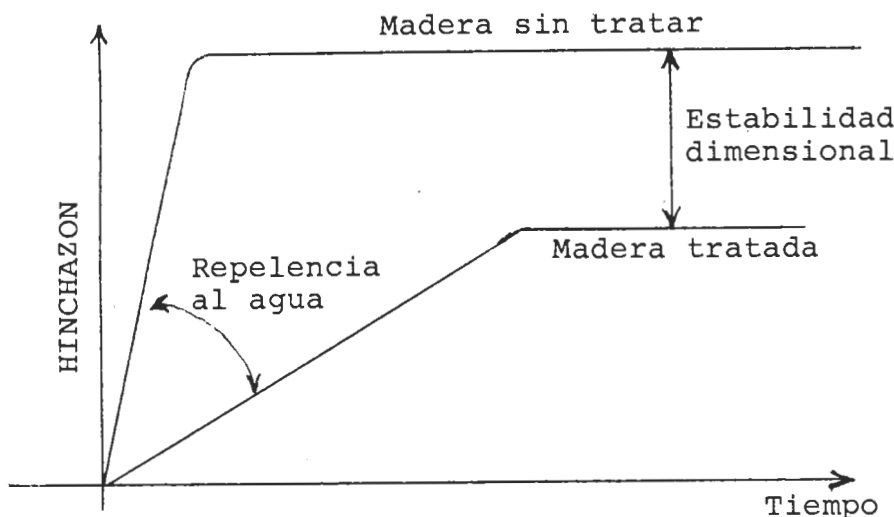


Figura 1.

Curvas tipo de Hinchazón-Tiempo de madera tratada y sin tratar con un producto químico de características repelentes al agua.

Los tratamientos de estabilidad dimensional y de repelencia al agua se pueden agrupar en los tres tipos siguientes:

Tipo A:

Se da inicialmente una cierta reducción en la cantidad de agua tomada por la madera impregnada (tratada), aunque al cabo del tiempo considerado, la hinchazón es igual en las dos maderas, la tratada y la no tratada. Así se logra un cierto grado de repelencia al agua, pero no de estabilidad dimensional para la madera tratada.

Tipo B:

En la madera tratada (M.T.), se observa un aceptable grado de estabilidad dimensional, aunque no así de repelencia al agua.

Tipo C:

Se logra para la madera tratada unos buenos grados de estabilidad dimensional, así como de repelencia al agua.

Tratamientos de repelencia al agua

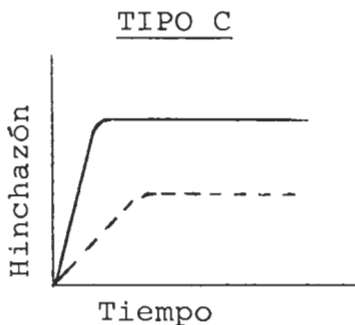
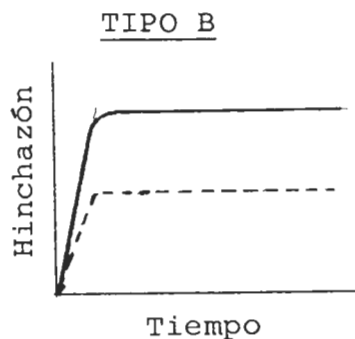
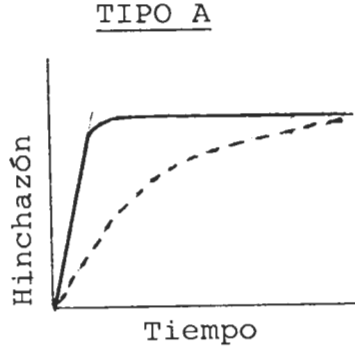
Normalmente los productos químicos empleados como repelentes del agua tienen elementos insecticidas, fungicidas, resinas y ceras parafinadas, disueltos todos ellos en disolventes orgánicos ligeros.

Las resinas tienden al reforzamiento del débil enlace de los agentes hidrófugos en los espacios interfibrilares de la superficie de la pared celular.

La combinación resina + cera parafinada, incrementa la resistencia al agua, mejorando entre otros las características de pintado posterior.

El tratamiento repelente del agua ideal, sería aquel que lograrse el recubrimiento de una serie de células con una capa hidrofóbica las cuales a su vez rodeasen a una zona central no tratada, ya que de esta forma el agua líquida no podrá penetrar a ésta, hasta que se aplique una presión exterior de mayor rango que la capilar. Es indudable por otra parte, que aunque se lograra esto, no quedaría reflejado en una reducción del

Figura 2.
Distintos tipos de curvas Hinchazón-Tiempo.



agua tomada en forma de vapor o por difusión a través de la pared celular.

Las materias activas de los productos repelentes del agua, se unen a la pared celular de la madera por fuerzas de Van der Waals no muy fuertes, pese a lo cual la eficacia del tratamiento se mantiene durante un largo período de tiempo, pudiéndose citar que los fallos que se produzcan se deben principalmente a una degradación de la superficie de la madera.

Algunos elementos tales como son los epóxidos y los isocianatos facilitan la unión de las materias orgánicas a la madera, por lo que los productos que los presenten en su composición conseguirán uniones de calidad de los materiales

repelentes al agua a la pared celular de la madera.

Los tratamientos repelentes del agua aplicados a la madera para prevenir o reducir la cantidad de agua libre tomada por la estructura celular, producen una delgada capa hidrofóbica en zonas externas así como, según el sistema utilizado, en ciertas zonas de los lúmenes celulares.

Siempre que el ángulo de contacto agua-madera sea mayor de 90° el agua libre no penetrará en los lúmenes celulares.

Como ya se citó, el movimiento del agua en el interior de la madera se realiza por fenómenos de capilaridad con cierto grado de velocidad y por difusión de forma más lenta.

En el caso de madera no tratada ni protegida, situada al exterior los cambios de temperatura y humedad ambiente pueden originar cambios dimensionales, los cuales a su vez originarán fendas de diversa importancia.

El grado de repelencia al agua de una madera tratada, se evalúa mediante la medida del ángulo de contacto agua-madera o mejor aún evaluando su variación en el tiempo, todo lo cual entraña bastante dificultad. Para el primer tipo de evaluación se utilizan procedimientos microscópicos con el sistema de superficie basculante.

Dada la anisotropía de la madera y la imposibilidad de lograr superficies lisas, los sistemas citados no ofrecen demasiada eficacia, por lo que la mayoría de los investigadores han optado por el empleo de técnicas empíricas basadas en la disminución de toma de agua o bien hinchazón de la pared celular. Así, el cambio dimensional es un parámetro de toma de agua por la pared celular hasta el momento en que se alcanza su punto de saturación, no sirviendo para grados de humedad superiores al citado punto.

Presenta una enorme importancia: repelencia al agua, al retrasar la aparición del agua libre, produce una inhibición de los posibles ataques de bacterias y hongos, al necesitar ésta para su desarrollo.

Experiencias llevadas a cabo en campos de estacas para evaluar la efectividad de los tratamientos de repelencia al agua, con resultados posiblemente extrapolares al conocerse las condiciones de realización, indican que estos tratamientos pueden mantener un efecto protector durante varios años (20 años;

Mrar). Dado que estos estudios son muy dilatados se basan en la medida de la toma de agua o de los cambios dimensionales experimentados por probetas sumergidas en agua (U.S.A. probetas de 25 × 25 mm de sección y 6,5 mm de longitud en la dirección de la fibra).

Dado que la repelencia al agua de una superficie de madera viene dada por el ángulo de contacto agua-madera, éste se habrá de medir inmediatamente se sumerja la madera y si los valores son superiores a 90°, dicha superficie presentará una alta repelencia al agua.

En todos los casos, el grado de difusión del agua en la madera, así como su hinchazón son funciones, tanto de la temperatura como de la humedad inicial, por lo que las probetas a ensayar se deberán precondicionar a un 60-65 % de humedad relativa y 20-25° C con lo que se obtendrá un grado de humedad de la madera del 12-13 %.

Tratamientos de estabilidad dimensional

Así como la repelencia al agua mide la cantidad de ésta que toma la madera, la estabilidad dimensional, indica la hinchazón resultante de esa toma de agua.

La evaluación de estabilidad dimensional que una madera presente tras ser sometida a tratamiento, se puede hacer mediante el denominado coeficiente de eficiencia de antihinchazón (o de merma) E.A.H. debiéndose especificar en todos los casos si se consiguió con agua líquida o con vapor de agua.

Se verifica que:

$$E.A.H. = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100$$

donde:

S_2 = Coeficiente de hinchazón (o merma) volumétrica en la probeta no tratada.

S_1 = Coeficiente de hinchazón volumétrica en la probeta tratada.

$$S = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100$$

donde:

V_2 = Volumen de la madera tras acondicionar.

V_1 = Volumen de la madera secada en estufa hasta el 0 %.

Los cambios en las dimensiones de las piezas de madera que se producen como consecuencia de toma de humedad, se pueden medir según una sola componente, según la dirección que se considere (tangencial, radial o longitudinal) aunque lo ideal sería medirlos volumétricamente, verificando los cambios en las tres direcciones a la vez.

Para evitar que los resultados obtenidos no se falseen, se deberá comparar madera de las mismas características (origen, % de albura y duramen, tamaño, corte, etc.).

III. TRATAMIENTO QUIMICO PROTECTOR EMPLEADO

La consideración de cualquier tipo de tratamiento protector de la madera implica a «priori» el conocimiento del lugar de su puesta en servicio y por tanto, de la agresividad del entorno, lo cual cobra aún mayor importancia en el caso de los tratamientos de estabilidad dimensional de la madera frente al agua. Una vez conocido este particular, se deberá estudiar la especie (s) a tratar, para posteriormente tras elegir el producto protector más adecuado, aplicarlo mediante el sistema más idóneo. Por todo ello, se tratará seguidamente del protector y sistema de aplicación utilizados en el estudio.

III.1. Protector empleado

El protector utilizado en el estudio es el denominado Vac-sol, en cuya composición se diferencian una serie de materias activas disueltas en un disolvente. Este, es un derivado del petróleo denominado White-spirit, cuyas principales características son:

- Densidad a 15° C: 0,77 a 0,79.
- Punto de inflamación: > 39° C.
- Residuo: <1 %.

La composición porcentual del protector es:

- Materias activas: 33,33 %.
- Disolvente: 66,66 %.

Las materias activas presentes son:

Elementos insecticidas y fungicidas	Furfural:
	Con características insecticidas.
	Dieldrín:
	Con características insecticidas.
Dióxido de tributilo estañado:	
Con características fungicidas	

a estos productos insecticidas y fungicidas se añaden ceras y resinas, en importante proporción, con propiedades hidrófugas.

Para la madera que se deba colocar al exterior, se recomienda como grados de retención adecuados, entre 24 y 30 litros/m³ madera.

Al entrar en la madera y tras la evaporación posterior del disolvente, las materias activas forman complejos no deslavables.

III.2. Sistema de tratamiento empleado

Aun empleando un producto de tipo orgánico, que a igualdad de condiciones incidentes presenta unos mayores grados de penetración en la madera que otro de tipo hidrosoluble, el logro, de unos adecuados grados de retención y penetración del producto en la madera, implica su aplicación mediante un sistema de autoclave, al considerar que la madera a tratar será colocada a la intemperie, al exterior.

Los sistemas que se pueden emplear en nuestro caso podrían ser los denominados Bethell y Vacío-vacío.

Dada la sencillez del segundo de los sistemas citados, así como su gran difusión mundial, es el empleado en este trabajo.

El sistema Vacío-vacío, de forma general consta de las siguientes fases:

1. Introducción de la madera en el recinto de tratamiento del autoclave.
2. Realización de un vacío en el citado recinto, variable en tiempo e intensidad en razón tanto de la especie de madera en sí como del grado de tratamiento que se desea aplicar.
3. Introducción de la solución del protector hasta dejar la madera inmersa en él. El protector penetra en la madera en función del vacío anteriormente realizado.
4. Mantenimiento de la madera sumergida en el protector durante un cierto tiempo, función de las características ya citadas en el punto 2.
5. Evacuación del protector sobrante, del recinto de tratamiento.
6. Realización de un segundo vacío (vacío final) normalmente de una mayor intensidad y tiempo de mantenimiento que el anteriormente realizado. Con él, se extrae el exceso de producto introducido en la madera dejando sus superficies limpias y secas a la par que se evitan posibles exudaciones posteriores de las ceras y

resinas del producto que podrían aflorar, al encontrarse en exceso bajo condiciones de alta temperatura.

El empleo de este sistema, en el que no se utiliza la presión, para algunas de las especies de madera a estudiar y considerando su puesta en servicio en ambientes agresivos (intemperie) puede que no suministre el grado de protección adecuado y que fuese deseable la aplicación de un cierto grado de presión (p. ejemplo 2 kg/cm^2) mantenido durante un corto período de tiempo, es decir, la aplicación de un sistema de pseudovacío-vacío. Sin embargo, dado el grosor de las probetas a ensayar el sistema de Vacío-vacío, suele ser adecuado en la mayoría de los casos.

III.3. Cédulas de tratamiento utilizadas

En virtud de las dimensiones de las probetas a ensayar, $5 \times 5 \text{ cm}$ de sección y 1 cm de grosor en la dirección de la fibra, de fácil impregnación, se han utilizado unas cédulas medias en relación con las empleadas normalmente para cada una de las especies de madera estudiadas, bajo circunstancias normales de empleo a la intemperie y para grosores variables entre 4 y 6 cm .

Estas cédulas medias se aplican a las diferentes maderas en razón de sus características de tratabilidad, estableciéndose cédulas semejantes para distintas especies que seguidamente se citan:

A) Cédula de tratamiento del chopo

Vacío inicial: 100 mm Hg durante $1'$.
Tiempo de inmersión: $2'$ a $4'$.
Vacío final: 550 mm Hg durante $15'$.

B) Cédula de tratamiento de abedul y el haya

Vacío inicial: $180\text{-}200 \text{ mm Hg}$ durante $6'$.
Tiempo de inmersión: $6'\text{-}8'$.
Vacío final: 500 mm Hg durante $20\text{-}25'$.

C) Cédula de tratamiento del castaño, eucalipto y roble

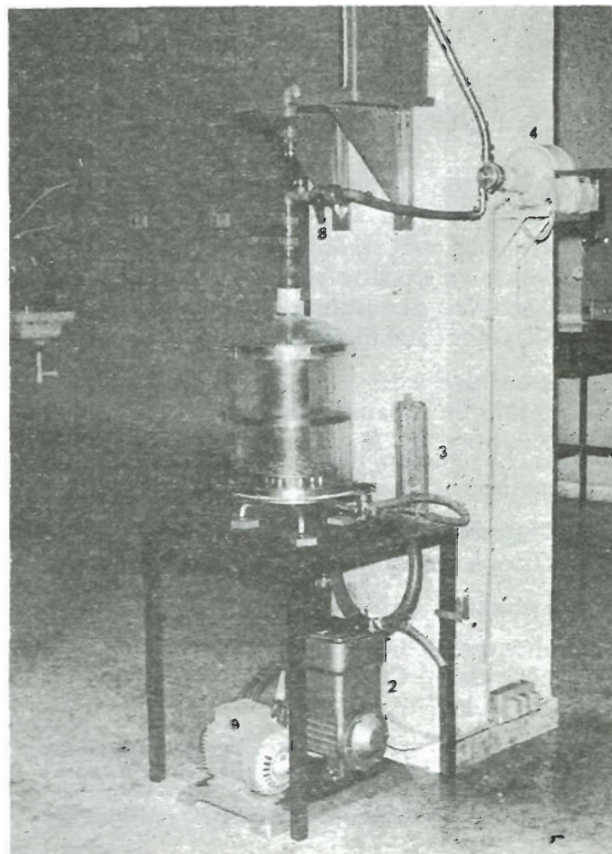
Vacío inicial: 600 mm Hg durante $20'$.
Tiempo de inmersión: $25'$.
Vacío final: 550 mm Hg durante $15'$.

D) Cédula de tratamiento de los pinos radiata, pinaster y silvestres, así como de la *Pseudotsuga toxifolia* (Coníferas)

Vacío inicial: 250 mm de Hg durante $8'$.
Tiempo de inmersión: $6'$.
Vacío final: 550 mm de Hg durante $25'$.

Figura 3. Aparato para el tratamiento de la madera mediante el sistema Vacío-vacío. La numeración existente en la figura indica los elementos componentes del aparato de tratamiento, que son:

1. Recipiente en el que se verifica el tratamiento de la madera.
2. Bomba de vacío.
3. Escala medidora del vacío realizado en 1, mediante el empleo de 2.
4. Bomba de retorno del producto de 1 al depósito de almacenaje superior (5).
5. Depósito de almacenaje del producto empleado en el tratamiento.
6. Primera llave de paso del depósito 5 al recipiente de tratamiento 1.
7. Segunda llave de paso del recipiente de tratamiento 1 a la bomba de recuperación 4 y al depósito de almacenaje 5.
8. Llave de paso que comunica 5, 4 y 1.



III.4. Aparato empleado para el tratamiento

El tratamiento Vacío-vacío se llevó a efecto en un aparato ideado por el autor con fines docentes principalmente y que se expone en la figura de la página anterior.

IV. NORMATIVA APLICADA

Los ensayos utilizados emplean vapor de agua para las maderas que han de ser utilizadas en el interior y agua líquida para las de uso externo, siendo éste el caso presente.

En todos los casos y a fin de conseguir resultados válidos, se debe considerar:

Duración del ensayo.—Debe ser tal, que asegure que la hinchazón final de equilibrio sea alcanzada.

Probetas.—Deberán ser tales, que presenten las tratadas y las sin tratar, igual porcentaje de albura y duramen, así como que la dirección de la fibra sea paralela a una de las caras.

La obtención de las probetas de ensayo deberá de seguir los siguientes pasos:

- Obtención de un listón de 25 cm de longitud y una sección de 5×5 cm, procurando que no presente nudos ni cualquier otro tipo de alteración que pueda conducir a resultados poco significativos.
- Acondicionamiento de la madera a un 12-13 % de humedad.
- Corte del listón en secciones perpendiculares a su mayor longitud de 1 cm de grosor, procurando no queden los bordes astillados.
- Numeración consecutiva de las probetas, a fin de evitar al comparar probetas antiguas, los efectos de la humedad o densidad a lo largo del listón.
- Tratamiento de las probetas numeradas pares o bien de las impares.
- Secado al aire de las probetas tratadas durante al menos 15 días, procurando no tengan contacto con superficie alguna, lo que podría afectar a la cantidad de protector tomado (pérdidas por contacto), por lo que se las mantendrá colgadas durante el período de tiempo ya comentado, necesario para que se verifique la evacuación del disolvente, quedando las materias activas fijas a la madera.

En el caso de madera laminada se emplearán dos listones de $2,5 \times 5$ cm de sección y 25 cm de longitud, unidos mediante una línea de cola de resorcina en frío. La diferente colocación de las

dos piezas, en relación con la línea de cola y sus anillos de crecimiento, influirá en el resultado final del ensayo, debiendo de ser normalizadas.

Aun cuando existen diversas normativas en países, tales como U.S.A., Inglaterra, etc., la determinación de la estabilidad dimensional de la madera tratada con productos repelentes del agua, se ha realizado en base a la propuesta UNE 56 541, según la cual las probetas a emplear habrán de tener 50 mm de lado y 10 mm de grosor, cortadas de forma que éste sea en la dirección de la fibra.

Las probetas, según se puede ver en la figura siguiente, se colocarán apoyadas en una placa y en contacto con las puntas de unos micrómetros de capa plana.

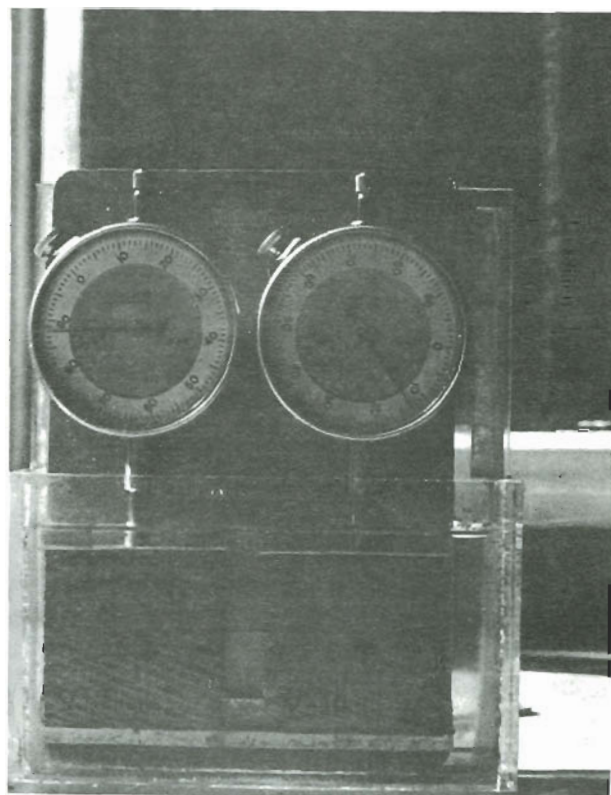


Figura 4.
Aspecto de dos probetas de madera, una tratada (T) y otra sin tratar (ST), sumergidas durante el ensayo de estabilidad dimensional.

El ensayo se realiza manteniendo las dos probetas T y ST (probetas consecutivas del listón original) sumergidas en agua durante 30 minutos, al cabo de los cuales se leen los micrómetros, pudiendo así conocer la variación dimensional en la dirección tangencial (tal como se puede observar en la figura) para cada probeta.

La estabilidad dimensional, se calcula mediante la fórmula:

$$E.D. = \frac{Lst - Lt}{Lst} \times 100$$

donde:

Lst = Lectura micrométrica correspondiente a la probeta sin tratar.

Lt = Lectura micrométrica correspondiente a la probeta tratada.

En el caso de maderas coníferas, se considerará una E.D. aceptable siempre que E.D. \geq 70 %. Para las frondosas este límite deberá ser inferior, al tratarse, normalmente, de maderas de una mayor estabilidad dimensional natural.

Esta norma cumple con las especificaciones:

- N.º N W M A - M - 2 - 51 de la American National Woodworking Manufacturers Association (U.S.A.).
- U.S.A. Federal Specification TT-W-572.

Aunque la norma tan sólo cita la medición a los 30 minutos de inmersión, a fin de obtener un más perfecto conocimiento de la evolución del proceso, se han tomado los datos numéricos correspondientes a 30'', 1', 1'30'', 2', 2'30'', 3', 3'30'', 4', 4'30'', 5', 15' y 30', pudiendo de esta forma obtenerse las curvas de variación dimensional de la madera T. y S.T., tanto gráficamente como numéricamente. En este segundo caso se logran mediante el sistema de mínimos cuadrados. También se obtendrá el coeficiente de correlación para cada ecuación, indicador del grado de adecuación de los valores (puntos) obtenidos a las citadas curvas.

V. FACTORES INCIDENTES EN LA EVALUACION DE LA ESTABILIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA FRENTE AL AGUA

Existen cierto número de factores que pueden variar los valores de la estabilidad dimensional frente al agua de las distintas especies de madera. Dichos factores se pueden agrupar en:

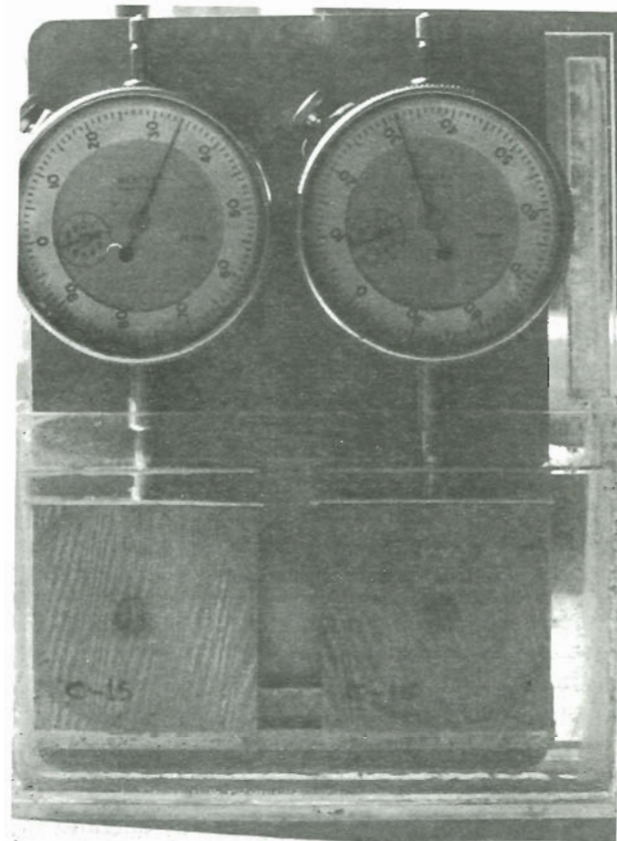
- Factores externos a la madera.
- Factores de la madera.

Factores externos a la madera

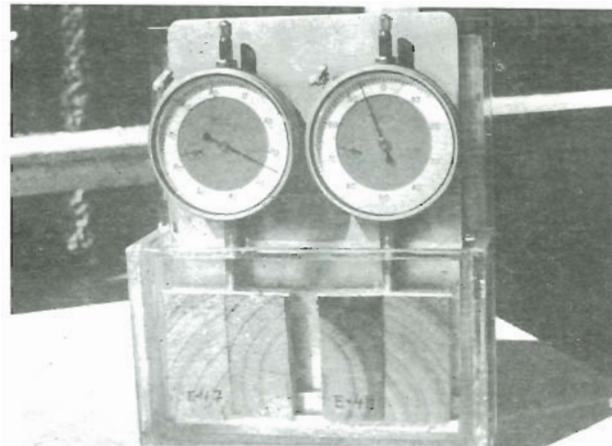
- Temperatura del ensayo.
- Temperatura del agua de ensayo.
- Características del agua de ensayo.

Factores de la madera

- Presencia de alteraciones bióticas en la madera (hongos, insectos, etc.).



Madera con cierto % de duramen.
Madera laminada con azulado.



- Presencia de alteraciones abióticas en la madera (nudos, fendas, etc.).

Para poner de manifiesto la importancia de alguno de estos factores, en relación con los valores de estabilidad dimensional obtenidos se incluyen seguidamente los resultados correspondientes a un estudio realizado por el autor con madera de *Pinus radiata* D. Dont.

(Continuará).