

Fatiga higroscópica y dimensional de la madera

ANTONIO GUINDEO CASAÚS, Dr. Ing. de Montes
LUIS GARCÍA ESTEBAN, Dr. Ing. de Montes
E.T.S.I.M.-ESPAÑA

Fecha de recepción: 13-II-91

RESUMEN

Este artículo resume la línea de investigación seguida para demostrar y evaluar el fenómeno físico de fatiga higroscópica y dimensional.

Para ello se ha recurrido a la construcción de isotermas de 20°C y al establecimiento de unos coeficientes de envejecimiento para evaluar dicho proceso.

SUMMARY

This article abridges the investigation line followed to demonstrate and to evaluate the physical phenomenon of the hygroscopic fatigue dimensional.

For such intention has been used the construction of isothermals for 20°C and the establishment of oldness coefficients to evaluate such process.

PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL FENÓMENO DE FATIGA HIGROSCÓPICA

Se ha definido fatiga higroscópica y dimensional de la madera como la pérdida de respuesta por parte de esta última frente a los cambios higrotérmicos del aire.

Para la demostración de este fenómeno nos apoyamos en las isotermas de sorción correspondientes a 20°C de cada una de las maderas utilizadas, y se considerará demostrado el mismo cuando la pendiente de las isotermas construidas disminuyan. Ello implicará que para una misma variación de humedad relativa del aire, respecto a la curva de sorción correspondiente a la madera sin fatigar, la madera responde con un contenido de humedad inferior.

Esto quizá sea más fácilmente comprensible si lo observamos gráficamente. En la Fig. 1 se ha dibujado la isoterma de 20°C correspondiente a *Pinus sylvestris* L. En ella se determina gráficamente que para un intervalo de humedad relativa comprendida entre el 65 y 82 %, el contenido de humedad en la madera varían entre el 14,05 y el 19,18 %.

Si después de someter a la misma madera a un período de fatiga tal, que permita disminuir la pendiente de la isoterma de 20°C y trazáramos de nuevo dicha isoterma, nos encontraremos que para el intervalo de humedad relativa antes reseñado los

contenidos de humedad en la madera serán menores, es decir, esa misma madera ha perdido poder de respuesta respecto a los cambios higrotérmicos.

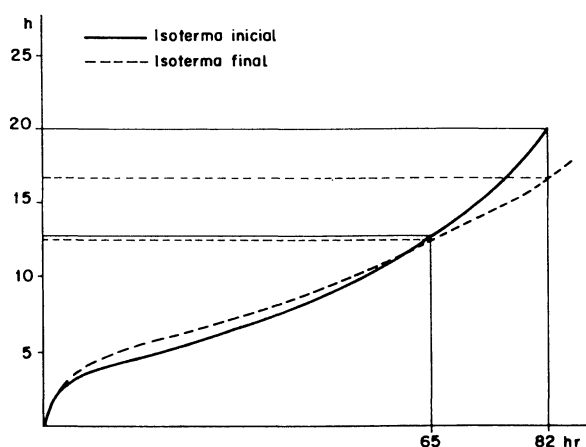


Fig. 1

MADERAS UTILIZADAS

A todas las maderas utilizadas en este estudio se les exigió proceder de una muestra de madera verde, con el fin de asegurarnos que la madera recién cortada no había sufrido ningún ciclo de envejecimiento natural que desvirtuase el estudio del fenómeno físico.

La preparación de las muestras definitivas estuvo precedida por la obtención de tablillas con un grosor de 15 mm. y un secado de forma natural por debajo del punto de saturación de la pared celular, llegando a las proximidades del 12 %.

La justificación de secar la madera de forma natural obedece a evitar defectos como fendas, deformaciones o tensiones internas que pueden provocarse por una mala elección de la célula de secado o por una conducción defectuosa de la misma, a la vez que eliminamos un parámetro o variable que pueda sesgar la demostración del fenómeno.

Por otro lado, rebajar el contenido de humedad de la madera por debajo del punto de saturación de la pared celular, obedece a que el fenómeno debe ser demostrado por debajo de ese punto y que además se haga por encima del 12 %, porque su demostración se pretende realizar dentro de límites normales de uso.

El hecho de afirmar que la demostración del fenómeno se deba realizar por debajo del punto de saturación de la pared celular, no significa que excluyamos la posibilidad de que el fenómeno exista fuera de ese límite, sino que tecnológicamente sólo tiene utilidad por debajo de éste y, por tanto, su demostración se debe realizar en ese rango.

Alcanzando un contenido de humedad de un 12 ± 2 % se procedió a la obtención de las probetas definitivas (150 x 50 x 10 mm). De cada una de éstas se obtuvieron probetas testigo (60 x 50 x 10 mm) y probetas destinadas a fatiga (85 x 50 x 10 mm).

Las especies utilizadas fueron:

- *Pinus sylvestris* L.
- *Populus* sp.
- *Pinus pinaster* Ait.
- *Quercus pyrenaica* Willd.
- *Pinus insignis* Dougl.
- *Fagus sylvatica* L.
- *Eucalyptus globulus* Labill.

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Las probetas elegidas para fatiga fueron las destinadas a la metodología íntegra del estudio, mientras que las probetas testigo fueron utilizadas únicamente para calcular la humedad de la madera bajo condiciones de 65 % de HR y 20°C en la isoterma inicial.

Es decir, la elección de segregar de las probetas a

fatiga una parte para probetas testigo tiene por objeto utilizar estas últimas para calcular el peso anhidro de las primeras bajo condiciones del 65 % e HR y 20°C.

Esto, en definitiva, obedece a evitar iniciar la isoterma de sorción antes de la fatiga con probetas sometidas a un proceso de secado hasta peso anhidro en estufa. De esta forma se evitan las posibles desviaciones de la isoterma inicial.

El acondicionado de las probetas se consideró como tal cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas de la misma probeta era inferior o igual a 0,0050 gr.

Dicho acondicionado nos permite conocer con exactitud el peso húmedo de las probetas testigo y fatiga, y apoyándonos en las primeras el peso anhidro de las segundas, valor este último fundamental para el conocimiento de los pesos húmedos correspondientes a puntos de equilibrio de la isoterma de sorción de 20°C.

Alcanzado el acondicionado de las probetas testigo, que recordemos correspondía a diferencias entre pesadas consecutivas inferiores o iguales a 0,0050 gr, dichas probetas así mantenidas fueron introducidas en estufa de desecación con circulación forzada de aire hasta peso anhidro.

La obtención del peso anhidro de dichas probetas nos permitió determinar el contenido de humedad de las mismas para esas condiciones higrotérmicas.

La humedad de esas probetas testigo también nos permitió calcular el peso anhidro de las probetas a fatiga.

Cambiando las condiciones higrotérmicas de la cámara se obtuvieron los contenidos de humedad, además del 65 %, para el 82 y 90 %.

Estos estados permitieron tratar la isoterma de 20°C antes de fatigar la madera.

La expresión matemática que rige estas experiencias obedece a la exponencial:

$$h = 0,08 \cdot h_r^{0,3} + a_1 \cdot e^{-1/2 [b_1 (h_r - 1) - 1]^2} + a_2 \cdot e^{-1/2 [b_2 (h_r - 1) - 1]^2}$$

Además en cada punto de equilibrio se determinaron las anchuras correspondientes de cada probeta, para establecer así la evolución dimensional en los tres estados higrotérmicos.

Conocida la isoterma de 20°C de cada una de las maderas elegidas, el siguiente paso consistió en envejecer las mismas probetas con las que se obtuvo dicha isoterma.

Dicho envejecimiento tuvo por objeto forzar en la

madera contenidos de humedad cambiantes en cortos períodos de tiempo, como consecuencia de situaciones higrotérmicas variables. En definitiva, se trató con este procedimiento de fatiga representar en un corto período de tiempo un largo período de puesta en obra de la madera.

Este envejecimiento consistió en ciclos alternativos de fatiga por isoterma de 50°C y desecación hasta peso anhidro durante 7 días, 5 ciclos.

En cuanto al número de ciclos elegido responde al seguimiento realizado a las maderas elegidas durante su período de envejecimiento.

Dicho seguimiento demostró que todas ellas, al final del quinto ciclo, habían amortiguado su pérdida de peso y dimensiones frente a las variaciones de humedad y temperatura, arrojando al final de dicho ciclo valores de humedad en la madera y longitudes muy similares al cuarto ciclo.

Realizado dicho envejecimiento se procedió de nuevo a la construcción de las isotermas de 20°C, en los tres estados higrotérmicos, determinando humedades y evolución dimensional.

CONCLUSIONES

Se definieron dos coeficientes de análisis. El COEFICIENTE DE FATIGA HIGROSCOPICA, que queda definido por el cociente entre la tangente del ángulo que forman dos puntos de equilibrio higroscópico consecutivos de la isoterma de sorción correspondiente a madera sin fatigar, y la tangente del ángulo que forman los mismos puntos de equilibrio higroscópico de la isoterma de sorción correspondiente a madera fatigada (Fig. 2).

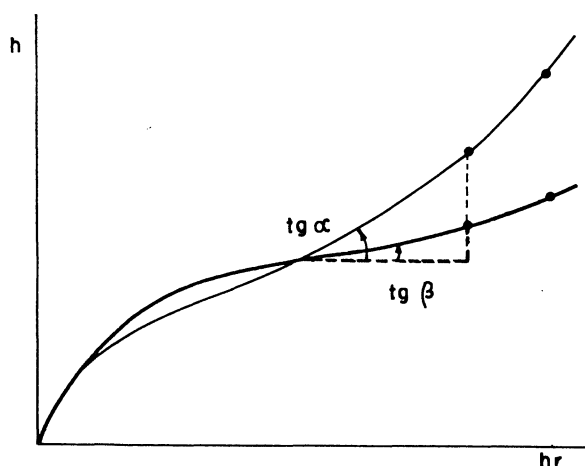


Fig. 2

La definición otorgada a este coeficiente permite afirmar que la existencia de fatiga higroscópica se encuentra implícita en que el valor de dicho coeficiente sea distinto de la unidad. Valores distintos a

ella implicará fatiga higroscópica positiva o negativa.

El cuadro 1 recoge los coeficientes de fatiga higroscópica de una de las maderas objeto de estudio (*Pinus sylvestris* L.).

CUADRO 1

		Isot. inic.	Método A	Coefic. de fatiga
		tg α	tg β	tg α/tg β
65-82	TG	0,3	0,20	1,50
%	RD	0,28	0,17	1,64
82-90	TG	0,69	0,19	3,63
%	RD	0,64	0,17	3,76

Como conclusión inicial y fundamental de este trabajo se comienza por afirmar que el fenómeno de FATIGA HIGROSCOPICA existe y queda demostrado por la obtención de coeficientes de fatiga superiores a la unidad en todas la maderas incluidas en este trabajo.

Es importante señalar que mientras que en el primero de los intervalos elegidos (65-82 %), no existe una diferencia notable en cuanto al comportamiento seguido por todas las maderas después de ser envejecidas, variando sus coeficientes de fatiga entre 1,35 y 2,38, sin embargo en el segundo de los tramos o intervalo de humedades relativas los coeficientes de fatiga correspondientes a frondosas son mucho más elevados que los correspondientes a coníferas. La madera que respondió con mayor coeficiente de fatiga higroscópica en el segundo de los tramos fue la de *Eucaliptus globulus* Labill (tg α/tg β = 5,85).

En cuanto a la fatiga dimensional se definió como coeficiente de fatiga la expresión:

$$C_{Fd} = (1 - L_F/L_i) \times 100$$

Siendo:

C_{Fd} = Coeficiente de fatiga dimensional.

L_i = Anchura correspondiente a la probeta envejecida.

L_i = Anchura inicial de la probeta.

La existencia de fatiga dimensional estará condicionada a que dicho coeficiente sea distinto que cero. Valores distintos de cero significarán fatiga dimensional positiva o negativa.

El cuadro 2 refleja dichos coeficientes. Su análisis demuestra la existencia del fenómeno de FATIGA DIMENSIONAL EN LA MADERA. En la mayoría de las maderas estudiadas ha tenido lugar fatiga positiva, significando esto que han perdido poder de respuesta en cuanto a dimensiones para un mismo intervalo de humedad relativa. Solamente de forma puntual en 4 de los 42 estados de equilibrio estudiados se obtuvieron valores de fatiga dimensional negativa. Su existencia no tiene una agrupación

lógica, ni en cuanto a pertenencia a un estado higrotérmico, ni en cuanto a corresponder a un grupo específico de frondosas o coníferas.

Esta afirmación está basada en el hecho de encontrarnos ante un mecanismo o proceso de envejecimiento de la madera que responde únicamente a un fenómeno de superficie de la pared celular, excluyéndose por tanto el hecho de que la madera presente una determinada orientación.

CUADRO 2

		ISOTERMA INICIAL			MÉTODO A			COEFICIENTE DE FATIGA		
		Li 1...5			Lf 1...5			Cfd		
		65 %	82 %	90 %	65 %	82 %	90 %	65 %	82 %	90 %
Pinus silvestris L.	TG	50,40	51,20	52,13	50,41	50,82	51,11	-0,0198	0,7422	1,9566
	RD	50,30	50,74	52,29	50,20	50,47	50,66	0,1988	0,5321	3,1172
Populus sp.	TG	48,50	49,00	49,94	48,46	48,82	48,99	0,0825	0,3673	1,9023
	RD	50,44	50,78	51,59	50,50	50,74	50,94	-0,1190	0,0788	1,2599
Pinus Pinaster Ait.	TG	50,89	51,34	52,34	51,11	51,19	51,79	-0,4323	0,2922	1,0508
	RD	50,50	50,76	51,49	50,41	50,75	51,01	0,1782	0,0197	0,9322
Quercus Pyrenaica Wild.	TG	50,82	51,65	53,41	50,76	51,47	53,34	0,1181	0,3485	0,1311
	RD	51,33	51,58	52,27	51,22	51,52	51,70	0,2143	0,1163	1,0905
Pinus Insignis Dougl.	TG	48,90	49,43	50,30	48,88	49,38	49,46	0,0409	0,1012	1,6700
	RD	50,00	50,20	50,52	49,83	50,12	50,76	0,3400	0,1594	-0,4751
Fagus Sylvatica L.	TG	50,78	51,69	53,37	50,53	51,64	52,02	0,4923	0,0967	2,5295
	RD	50,60	51,09	51,77	50,57	50,87	51,00	0,0593	0,4306	1,4873
Eucaliptus globulus Labill.	TG	50,73	52,03	54,14	50,68	51,95	53,07	0,0986	0,1538	1,9764
	RD	50,52	51,14	51,83	50,42	50,88	51,63	0,1979	0,5084	0,3859

BIBLIOGRAFIA

- D'ADONOV, K.F. IVZLA; SCHCHEKIN, V. A.: "Change in hysteresis of pine wood from temperature action during cyclic heating". Izvestia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii: Lesnoi Zhurnal. 1981. (1) p. 65-67.
- SHUKLA, K.S., JAIN, V.K.; BHALLA, H.K.L.; KUMAR, S.: "Physical and mechanical properties of wood-wool boards. I. Hygroscopicity and dimensional stability". Journal-Timber Development Association of India. Oct. 1981. 27 (4). p. 41-45.
- ROWELL, R. M.; YOUNGS, R.L.: "Dimensional stabilization of wood in use". USDA Forest Service research note FPL. United States, Forest Products Laboratory. Jan 1981 (0243).

- CUDINOV, B.S.; ANDREEV, M.D.: "Hygroscopicity of wood at temperatures below zero degree centigrade. 2. The condition of the hygroscopic moisture and the equilibrium moisture content". Leipzig, VEB Fachbuchverlag. Holztechnologie. Sept. 1978. 19 (3) p. 147-151.
- RESCH, H.; HOAG, M.L.; ROSEN, H.N. "Desorption of yellow-poplar in superheated steam". Forest products journal. Madison. Mar 1988. 38 (3) p. 13-18.
- MATEJAK, M.: "Effect of wood drying on sorption isotherms". Holzforschung und Holzverwertung. Aug 1983. 35 (4) p. 80-84.
- KRUTUL, D.: "Sorption and desorption of the Entandophragma sp. wood after extranction with selected organic solvents". Zeszyty naukowe. Technologia drewna. Akademia Rolnicza W. Warszawie. 1979. (10) p. 19-33.
- RESCH, H.; HOAG, M.L.; ROSEN, H.N.: "Desorption of yellow-poplar in superheated steam". Forest products journal. Madison. Mar 1988. 38 (3) p. 13-18.
- HART, C.A.: "Effective surface moisture content of wood during sorption". Wood Sci. Apr 1977. 9 (4). p. 194-201.
- FOURNIER, F.J.L.: "Diffusion de l'humidité dans le bois de 20 degrees a 95 degrees C en fonction de son état sorption". Note Rech Laval Univ Dep Exploit Util Bois. June 1976. 16.
- DJOLANI, B.: "Hysteresis et effets de second ordre de la sorption d'humidité dans le bois aux températures de 5 degrees, 21 degrees, 35 degrees, 50 degrees C". Annales des Sciences Forestieres. Eng. sum. 1972. 29 (4). p. 465-474.
- VICTOR, V. J. "Capillary hysteresis in wood". Indian Acad Wood Sci J. July/Dec 1971. 2 (2) p. 73-83.
- ROZSA, A.N.; HILLIS, W.E.: "High temperature and chemical effects on wood stability. Part 4. Testing for the stability of dried pine wood". CSIRO Div. Chem. & Wood technol. Australia. 1987. 41 (2) p. 115-118.
- ONISHI, H.; GOTO, T.: "Dimensional stabilization of wood with functional oligomer and methyl methacrylate". Journal of the Society of Materials Science. Japan. 1983. 32 (359) p. 904-909.
- MOLINSKI, W.: "Deformations of wood stretched across the grain during simultaneous moistening and redrying in humid air". Fac. Wood Tech., Agric. Univ. Poznan, Poland. 1987. 39 (5) p. 116-118.
- METEKAK, M.: "Influence of wood moisture in the course of the sorption isotherms". Agric. Univ., Warsaw, Poland. 1983. 34 (4) p. 80-84.
- HART, C.A.: "Relative humidity, EMC, and collapse shrinkage in wood". Dep. Wood & Paper Sci., N. Carolina State Univ. Forest Products Journal. 1984. 34 (11/12) p. 45-54.
- D'YAKONOV, K.F.; SHCHEKIN, V.A.: "Change in the hygroscopicity of Scots pine wood as a result of the temperature effect during cyclic heating" Lesotekh. Inst., Voronezh, USSR. Lesnoi Zhurnal. 1981. (n.º 1) p. 65-67.
- CUDINOV, B.S.; ANDREEV, M.D.; STEPANOV, V.I.; FINK EL'STEIN, A.V.: "The hygroscopicity of wood at temperatures below 0 deg. C. I. Sorption and fibre saturation point". Holztechnologie 1978. 19 (2) p. 91-94.
- LAFOREST, P.; PLAMONDON, A.: "Effect of a high hydrostatic pressure on the membranes [cell-wall material] of wood. Part 2. Hygroscopic and mechanical properties of wood". Note de Recherches, Departement d'Exploitation et Utilisation des Bois, Universite Laval 1976 (15).
- BOROVNIKOV, A.M.; RVANINA, A.M.: "Unified method of determining the limit of hygroscopicity of wood". Lesnoi Zhurnal. USSR. 1973. 16 (6) p. 168-169.
- D'YAKONOV, K.F.; KUR'YANOVA, T.K.: "Change in the hygroscopicity of Birch wood after thermal treatment and long-term storage". Lesnoi Zhurnal. USSR. 1975. (6) p. 162-163.
- ZIEGLER, G.A.; BEALL, F.C.: "Water vapor sorption by softwood cell wall constituents". Research Briefs, School of Forest Resources, Pennsylvania State University 1974. 8 (2) p. 10-12.
- SANYAL, S.N.; MITTEL, R.C.: "To study the stress-strain hysteresis in timber at rooms temperature and different R.H.". For. Res. Inst. & Coll., Dehra Dun, UP. Indian Forester. India. 1980. 106 (9) p. 627-636.
- ENGELHARDT, F.: "Investigations on the sorption of water vapour by beech wood in the temperature range 110 deg to 170 deg C". Inst. fur Holzforschung der Univ. Munchen. German Federal Republic. Holz als Roh-und Werkstoff. 1979. 37 (3) p. 99-112.
- VOLCHANOVA, M.N.: "Sorption hysteresis of comminuted wood". Lesnoi Zhurnal, USSR. 1976. (N.º 1) p. 118-121.