

ESTIMACIÓN DEL PUNTO DE SATURACIÓN DE LA FIBRA (PSF) DE LAS MADERAS

M. Fuentes-Salinas

División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. C.P. 56230

La madera es un material higroscópico cuya variación en su contenido de humedad dentro en ciertos rangos, trae consigo cambios tanto en su peso como en sus dimensiones; a su vez, estos cambios pueden producir deformaciones, formación de grietas y rajaduras, así como el posterior desprendimiento de acabados y uniones. En el proceso de secado, cuando se pierde el agua que se encuentra en los lúmenes (agua libre) de las células de la madera, sólo se manifestará una reducción de su peso, sin embargo, cuando se inicia la evaporación del agua que se encuentra saturando las paredes celulares de las mismas células (agua higroscópica), se iniciará la contracción de la propia pared celular y la contracción de la madera en su conjunto de manera más significativa, con el consecuente riesgo de la tendencia a la deformación y agrietamiento (Brown, Panshin y Forsaith, 1952; Fuentes, *s/f*).

Por lo anterior, se considera importante conocer cuál es el valor del contenido de humedad (CH) que corresponde justo al nivel en el cual una madera ha perdido teóricamente toda su agua libre y sus paredes celulares están saturadas de agua higroscópica, ya que, como se indicó, ese punto representa el inicio de las contracciones (en un proceso de secado) o el máximo de su hinchamiento (en un proceso de adsorción). A este nivel se le conoce técnicamente como punto de saturación de la fibra, (PSF), (Kollmann y Côté, 1968).

Además de los cambios dimensionales, el PSF es el punto de inflexión o el valor límite que ocurre entre el CH y el calor de humectación de la pared celular, entre el CH y la conductividad eléctrica, entre el CH y la rigidez y resistencia mecánica de la madera y entre el CH y la adsorción - compresión del agua en la madera (Kollmann y Côté, 1968, p 199). Sin embargo, para conocer el PSF de las maderas utilizando algunas de estas funciones, representan métodos que en cada caso requieren de condiciones, procedimientos y equipo que no siempre se tienen o cuentan en las instituciones donde se realizan estudios de caracterización tecnológica de las maderas.

En este caso, la relación existente entre la contracción y/o el hinchamiento de la madera y el PSF ofrece una opción más sencilla para estimar este último valor y para lo cual se pueden utilizar dos métodos, los cuales se presentan y analizan en esta Nota Técnica, con el propósito de difundir su aplicación.

La relación lineal que existe entre el hinchamiento ($\Delta\alpha$) de la madera con el aumento del contenido de humedad (Δh) desde el estado anhidro hasta el PSF, permite estimar la "relación de hinchamiento" (q), que es el hinchamiento que sufre la madera por cada 1% de contenido de humedad que ésta aumente dentro del rango higroscópico, (Kollmann y Côté, 1968, p 209). Se determina por la siguiente relación:

$$q = (\Delta\alpha_h) / \Delta h$$

donde: q = Relación de hinchamiento.

$\Delta\alpha_h$ = Hinchamiento parcial hasta un determinado $h\%$ de CH.

Δh = Contenido de humedad al cual se estimó el hinchamiento parcial referido.

Esta relación de hinchamiento puede determinarse tanto para hinchamientos lineales como para el hinchamiento volumétrico, donde se tendría:

$$qV = (\Delta\alpha V_h) / \Delta h$$

donde: qV = Relación de hinchamiento volumétrico

$\Delta\alpha V_h$ = Hinchamiento parcial volumétrico hasta un $h\%$ de CH

Δh = Contenido de humedad al cual se estimó el hinchamiento parcial referido.

La qV es de utilidad en la estimación del "juego de la madera", es decir, en la predeterminación de los cambios

dimensionales que puede experimentar la madera en servicio por efecto de los cambios o variaciones en su CH durante el año. Así, junto con la relación de anisotropía, la relación de hinchamiento es una propiedad de la madera que la identificará como apropiada o no para una variedad de aplicaciones donde se requiere una buena estabilidad dimensional. Mientras más baja sea la relación de hinchamiento (q), y más cercana a la unidad sea la relación de anisotropía (A), más estable dimensionalmente será una madera.

Conociendo además qV se está en posibilidades también de calcular el punto de saturación de la fibra (PSF), pues el hinchamiento de la madera alcanza su máximo al llegar a este nivel. La deducción está representada por las siguientes relaciones:

$$qV = DaV_h / Dh \gg (aV_{12}) / 12\%CH \gg (aV_{18}) / 18\%CH \gg (aV_{TOTAL}) / PSF$$

es decir:

$$qV = (\alpha V_{TOTAL}) / PSF$$

Así, si en un proceso de sorción de una muestra de madera se estima su qV y su hinchamiento volumétrico total (aV_{TOTAL}), con estos valores se deduce su correspondiente punto de saturación de la fibra (PSF)

si:

$$qV = (aV_{TOTAL}) / PSF$$

entonces:

$$PSF = (aV_{TOTAL}) / qV \quad (1)$$

Por otro lado, existe una estrecha relación entre la densidad básica de las maderas (D_b), el punto de saturación de la fibra de las mismas y sus relaciones de hinchamiento. Para un determinado volumen de madera verde, el producto del volumen (V_v) con su D_b representa su correspondiente peso anhidro (P_o). Por otra parte, por la definición de contenido de humedad, el CH que presente esa madera corresponde a un porcentaje de ese mismo P_o , de manera que conociendo ésto, se puede estimar la contracción volumétrica (βV) que pueda experimentar la madera cuando pierde esa humedad. Esto se verá más claramente en el siguiente ejemplo:

Se tiene una madera cuya densidad básica (D_b) es $0.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; su PSF = 30 % y presenta un volumen verde (V_v) de 10 cm^3 . De esta manera el correspondiente P_o de ese volumen es:

$$P_o = 10 \text{ cm}^3 * 0.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} = 5 \text{ g.}$$

el peso del agua al PSF será:

$$\text{Peso agua} = 5 \text{ g} * 30\% = 5 \text{ g} * (30/100) = 1.50 \text{ g}$$

Por su densidad, esa cantidad de agua ocuparía respectivamente un volumen de 1.50 cm^3 , de donde se infiere que si se seca la pieza de madera hasta su estado anhidro, se tendrá un volumen final anhidro (V_o) de:

$$V_v - V_{\text{agua}} = V_o$$

es decir,

$$V_o = 10.00 \text{ cm}^3 - 1.50 \text{ cm}^3 = 8,50 \text{ cm}^3.$$

Si el valor de 1.50 cm^3 se derivó de relacionar primero el V_v por la D_b y luego por el correspondiente contenido de humedad CH (en fracción), significa que la "diferencia de volumen" entre el volumen verde y el volumen anhidro, esto es, el volumen del agua, se obtiene por la expresión:

$$\text{Diferencia de volumen} = V_v * D_b * (PSF/100)$$

Pero por la expresión común de la contracción de la madera, se sabe que $V_v - V_o$ es igual a la diferencia de volumen, o sea la contracción total en términos absolutos, entonces:

$$V_v - V_o = V_v * D_b * (PSF/100)$$

sustituyendo en la ecuación común para la contracción volumétrica total de la madera (βV_t):

$$\begin{aligned} \beta V_t &= [(V_v - V_o) / V_v] 100 = \\ \beta V_t &= \{ [V_v * D_b * (PSF/100)] / V_v \} 100 \end{aligned}$$

por lo tanto, despejando se tendrá:

$$\beta V_t = D_b * PSF$$

así, en el ejemplo utilizado se tendría:

$$\beta V_t = 0.5 * 30 = 15.0 \%$$

La contracción obtenida con esta expresión, la cual presentan tanto Brown, Panshin y Forsath (1952, p 37) como Kollmann y Côté (1968, p 162), es ligeramente mayor a la real. Sucede que al encontrarse el agua higroscópica en el interior de la pared celular, se encuentra sometida a elevadas fuerzas de compresión, provocando que su densidad sea un poco mayor a la que tendría en condiciones normales, ésta es de $1.113 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Brown, Panshin y Forsath, 1952, p 49; Kollman y Côté, 1968, p 163). Por lo

anterior, para cálculos más exactos se debe tomar en cuenta esta densidad en la determinación de la contracción volumétrica total por este método, utilizando un factor de 0.9 al realizar las determinaciones para así considerar el volumen específico del agua, esto es:

$$bV_t = (1 * D_b * PSF) / 1.113$$

es decir:

$$\beta V_t = 0.9 * D_b * PSF$$

De manera similar a la deducción realizada para la ecuación (1), finalmente, si por los procedimientos tradicionales se estima primero la densidad básica (D_b) y la contracción volumétrica total (bV_t), se podrá estimar el correspondiente punto de saturación de la fibra (PSF).

si:

$$\beta V_t = 0.9 * D_b * PSF$$

entonces:

$$PSF = \beta V_t / (0.9 * D_b) \quad (2)$$

La estimación del PSF aplicando la contracción volumétrica total (bV_t) y la densidad básica (D_b) es presentada por Skaar (1972, p 87) pero sin aplicar el factor de ajuste de la densidad del agua en la pared celular (1.113), reportando un buen ajuste cuando se comparan los valores así obtenidos en varias maderas con los obtenidos por otros procedimientos.

De los dos procedimientos presentados en (1) y (2) para estimar el punto de saturación de la fibra de las maderas, se considera que el presentado en (2) es más preciso, toda vez que se deriva de valores también más precisos o no sujetos a la influencia de la variación del contenido de humedad en la madera o al gradiente de humedad, y por lo tanto de contracción, que si puede afectar al procedimiento (1), es decir, el procedimiento (1) se deriva de la relación de hinchamiento volumétrico, y éste, por la contracción diferencial que se va manifestando en la madera conforme se va secando del exterior hacia el interior y la irregular distribución del contenido de humedad dentro de una pieza (Brown, Panshin y Forsath, 1952, p 37), hará que el PSF resultante también esté sujeto a variaciones y no presente repetibilidad. Por el contrario, el PSF estimado por el método aquí propuesto en (2) parte de condiciones extremas y totales, esto es, el peso anhidro, el volumen verde y la contracción volumétrica total, todas ellas sujetas a menos variaciones de contenido de humedad o gradientes de contracción en la muestra de madera, y, por lo tanto, más adecuado para aplicarse en la estimación del punto de saturación de la fibra en los estudios de caracterización tecnológica de las maderas.

Finalmente, en la Cuadro 1 se reproducen los valores de densidad básica (D_b), contracción volumétrica total (bV_t) y punto de saturación de la fibra (PSF) de 10 especies de maderas mexicanas reportadas por Bárcenas (1985), y se agrega el valor del PSF calculado con la expresión (2) de esta nota técnica.

CUADRO 1. Valores comparativos del PSF de diez maderas mexicanas, con el estimado por la expresión $PSF = \beta V_t / (0.9 * D_b)$

Especie	D_b (g·cm ⁻³)	bV_t (%)	PSF (%) reportado por Bárcenas (1985)	PSF (%) calculado con (2)
<i>Alnus jorullensis</i> Furlow.	0.42	14.30	30.02	37.83
<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl.	0.67	12.73	21.86	21.11
<i>Lysiloma bahamensis</i> Benth	0.60	9.47	22.00	17.53
<i>Manilkara zapota</i> (L.) V. Royen	0.86	15.40	28.50	19.89
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	0.42	10.70	36.00	29.72
<i>Pinus ponderosa</i> Dougl.	0.39	10.67	30.55	30.40
<i>Quercus elliptica</i> Nee	0.71	20.13	38.70	31.50
<i>Quercus rugosa</i> Nee	0.60	15.64	28.50	28.96
<i>Schizolobium parahibum</i> (Vell.) Balke	0.30	9.39	33.10	34.77
<i>Terminalia amazonia</i> (Gmel)Excell.	0.62	13.30	27.40	23.83
Media			29.66	27.55

La diferencia entre las medias de ambos PSF fue del 2.11 % de CH. Al no contarse con la información referente al método utilizado para calcular el PSF en los datos reportados por Bárcenas (1985), no se puede hacer una discusión sobre la mayor confiabilidad o no del PSF presentado por esta autora, pero si quedan manifiestos los valores del PSF que se obtendrían al aplicar el método aquí reportado, contando además con el respaldo que dio origen a su estimación.

LITERATURA CITADA

- BARCENAS P., GUADALUPE M. 1985. Recomendaciones para el Uso de 80 Maderas de Acuerdo con su Estabilidad Dimensional. Nota Técnica 11. LACITEMA – INIREB, Xalapa, Ver. 18 p.
- BROWN, H. P.; A. J. PANSHIN y C. C. FORSAITH. 1952. Textbook of Wood Technology, Vol. II. McGraw Hill. New York, 783 p.
- FUENTES S., MARIO. s/f. Apuntes para el Curso de Tecnología de la Madera I. Serie de Apoyo Académico N° 33. DiCiFo. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Méx. 97 p.
- KOLLMANN, F. P. y W. A. CÔTÉ Jr. 1968. Principles of Wood Technology I. Springer Verlag. New York. 592 p.
- SKAAR, CH. 1972. Water in Wood. Syracuse Wood Science Series, Syracuse University. 218 p.