

## COMPARACIÓN DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN DE LA MADERA DE ALGARROBO OBTENIDAS EN FORMA EXPERIMENTAL Y UTILIZANDO EL MODELO DE HAIWOOD Y HORROBIN

Aeberhard, R., Aeberhard, A., Corace J.J., Martina P., Ventin A.,  
GIDER, Grupo de Investigación de Energías Renovables  
Dpto. de Termodinámica – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Nordeste  
Av. Las Heras 727, (3500), Resistencia, Chaco  
Tel: (03722) 420076 - E-Mail: [raquelaeberhard@yahoo.com.ar](mailto:raquelaeberhard@yahoo.com.ar)

**RESUMEN:** Se compararon las isotermas de sorción para la madera de la especie Algarrobo (*Prosopis*) obtenidas en forma experimental y a través del modelo matemático de Hailwood y Horrobin, para diferentes condiciones de temperatura y humedad ambiente. Los resultados indicaron una coincidencia satisfactoria entre las isotermas de sorción simuladas y experimentales. El modelo de Hailwood y Horrobin predice la humedad de la madera, independientemente de su especie. La aplicación de este modelo permitirá conocer con anticipación el comportamiento de la madera ante diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, ya que el grupo G.I.D.E.R. trabaja actualmente en el comportamiento higrótico de distintas especies chaqueñas.

**PALABRAS CLAVE:** isotermas de sorción – modelo matemático – modelo de Hailwood y Horrobin – Madera de Algarrobo

### INTRODUCCIÓN

La relación entre el contenido de humedad de equilibrio (CHE) de la madera y la humedad relativa del aire, a una temperatura constante, puede expresarse por medio de una curva llamada isoterma de sorción. La construcción de una isoterma de sorción se hace experimentalmente colocando una probeta de madera a distintas condiciones de humedad relativa del aire y manteniendo la misma temperatura, hasta llegar al peso constante, que ocurre cuando se establece el equilibrio. Para poder predecir la humedad de equilibrio de la madera de Algarrobo se utilizó un modelo desarrollado por Hailwood y Horrobin conociendo las condiciones de temperatura y humedad ambiente en la que la madera sería expuesta. La ecuación general de múltiples hidratos desarrollada por Hailwood y Horrobin está dada por la siguiente ecuación (SKAAR, 1972), conocida también como ecuación de dos hidratos:

$$CHE(\%) = \frac{18}{W} \left( \frac{Kh}{1-Kh} + \frac{K_1Kh + 2K_1K_2K^2h^2}{1 + K_1Kh + K_1K_2K^2h^2} \right) \times 100 \quad [1]$$

El primer término de la ecuación entre paréntesis representa la fracción de agua libre disuelta, mientras que los demás términos representan la fracción de agua presente como monohidrato, dihidrato, etc.  $K$  es la constante de equilibrio entre el agua disuelta y su presión relativa de vapor ( $h$ ),  $K_i$  la constante de equilibrio, representada por el cociente entre la actividad química del hidrato para las actividades de los regentes (agua y madera no hidratada), 18 es el peso molecular del agua y  $W$  el peso molecular de la madera por mol de sitio de adsorción. Los coeficientes de la ecuación [1] fueron determinados a través de regresión no-lineal, (Simpson, 1973; Simpson & Rosen, 1981), utilizando los datos de la tabla de humedad de equilibrio para la madera de Sitka spruce (*Picea sitchensis*). Los coeficientes de la ecuación desarrollada por Hailwood y Horrobin para las temperaturas expresadas en grados Celsius son los siguientes:

$$\begin{aligned} W &= 349 + 1,29T + 0,0135T^2 & K &= 0,805 + 0,000736T - 0,00000273T^2 \\ K_1 &= 6,27 - 0,00938T - 0,000303T^2 & K_2 &= 1,91 + 0,0407T - 0,000293T^2 \end{aligned}$$

A pesar de que la ecuación fue ajustada para una sola especie de madera con valores de humedades de equilibrio intermedios entre los extremos de histéresis para cada humedad relativa, la ecuación ha sido ampliamente utilizada para prever la humedad de equilibrio de otras maderas. La idea de cómo se verifican los fenómenos de sorción y sus diversas formas, hace pensar que la concordancia entre diferentes especies se debe a que la composición química de la pared celular varía muy poco en las diversas maderas, pues existe aproximadamente un 50 a 60% de celulosa cuya estructura bicelular debe ser prácticamente independiente de la especie (Kollmann, 1951). Ello permite deducir que el tipo de madera debe tener poca influencia en la sorción química y adsorción, y sólo podrían aparecer grandes diferencias cuando la condensación capilar es muy intensa, especialmente, si se desarrolla en capilares de bastante luz.

### MATERIALES Y TÉCNICA OPERATORIA

En los ensayos se utilizaron probetas cúbicas de madera de la especie algarrobo (*prosopis*), de 2 cm de arista. En la elección de estas dimensiones se tuvo en cuenta lo recomendado por la conferencia de Ginebra (1949) y la norma francesa B51-003 (Sallenave, 1955). Los ensayos se llevaron a cabo para las temperaturas de 30 °C y 40 °C. Las humedades relativas del aire de secado se hicieron variar en el rango de 20% a 90% y la velocidad del aire se mantuvo constante en aproximadamente 0,25 m/seg. Para cada ensayo se utilizaron 10 probetas obtenidas de muestras de madera de Algarrobo correspondientes a

un mismo ejemplar. Primeramente fueron llevadas al estado de saturación por inmersión en agua destilada. Las probetas extraídas del agua fueron escurridas al aire y pesadas obteniéndose los “pesos de madera saturada”. Posteriormente fueron introducidas en una cámara climatizadora Brabender (Foto N° 1). Los ensayos se realizaron en condiciones constantes de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire de secado. Finalmente las probetas fueron secadas en una estufa a 105 °C (Foto N° 2), construida en el Departamento de Termodinámica, hasta obtener el peso anhidro de las mismas.



Foto N° 1: Cámara climatizadora



Foto N° 2: Estufa

En los gráficos 1 y 2 se comparan las curvas de humedades de equilibrio correspondientes a las isotermas de 30 y 40 °C obtenidas en forma experimental y en forma empírica mediante la ecuación de Hailwood y Horrobin.

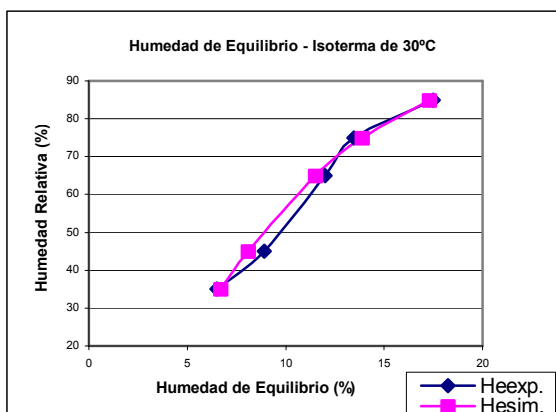


Gráfico 1. Comparación de las isotermas de 30°C

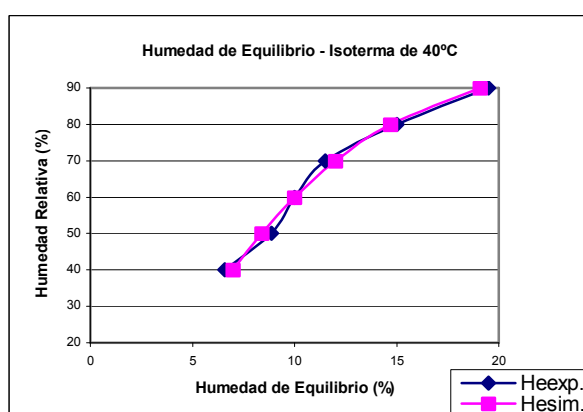


Gráfico 2: Comparación de las isotermas de 40°C

## CONCLUSIÓN

Los resultados alcanzados indicaron una coincidencia satisfactoria entre las isotermas de sorción determinadas mediante el modelo de Hailwood y Horrobin y las isotermas de sorción obtenidas en forma experimental para la madera de Algarrobo. El modelo matemático desarrollado por Hailwood y Horrobin predice la humedad de la madera, independientemente de su especie. La aplicación de este modelo permitirá conocer en forma rápida y anticipada el comportamiento de la madera ante diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, ya que el grupo G.I.D.E.R. estudia actualmente el comportamiento higrotérmico de distintas especies chaqueñas, en el marco de los proyectos: “Transferencia Combinada de Calor y Masa en Materiales Constructivos Porosos e Higroscópico” y “Estudio de Especies Alternativas del Bosque Chaqueño Utilizadas como Material de Construcción Poroso e Higroscópico”.

## REFERENCIAS

- Kollmann, F. (1951). *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Springer Verlag Berlin. pp. 399-452.
- Sallenave, P. (1955). *Propriétés Physiques et Mécaniques des Bois Tropicaux de L'union Française*. Centre Technique Forestier Tropical. pp. 9-16.
- Simpson, W.T. (1973). Predicting Equilibrium Moisture Content of Wood by Mathematical Models. *Wood and Fiber*, 5(1) 1973, p 41-45.
- Simpson, W.T., Rosen, H.N. (1981). Equilibrium Moisture Content of Wood at high temperatures. *Wood and Fiber*, 13(3) p 150-158.
- Skaar, C. (1972). *Water in Wood*. New York : Syracuse Univ. Press. p 1-125

**ABSTRACT.** Sorption isotherms for timber of algarrobo family (Prosopis) being obtained in an experimental way and through Hailwood and Horrobin mathematical models were compared for different temperature and moisture environmental conditions. Results indicated an agreement between simulated and experimental sorption isotherms. Hailworth and Horrobin model predicts moisture of timber, independently of its species. Applying this model will allow knowing beforehand behaviour of timber on different environmental conditions of relative temperature and moisture, since GIDER group studies at present hygrothermal behaviour of different species from Chaco.

**KEY WORDS.** Sorption isotherms- mathematical model- Hailwood and Horrobin model- algarrobo timber.