

## POROSIDAD Y COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA MADERA DE ALGARROBO (PROSOPIS)

Aeberhard R., Aeberhard A., Natalini, M., Martina P., Corace J., Ventin A.

GIDER, Grupo de Investigación de Energías Renovables

Dpto. de Termodinámica – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Nordeste

Av. Las Heras 727 - C.P.3500-Resistencia-Chaco -Tel: 03722-425064 - E-Mail: raquel@ing.unne.edu.ar

**RESUMEN:** En esta comunicación se presentan los primeros resultados obtenidos de la determinación de la porosidad de la madera de Algarrobo en estado anhidro y se analiza la variación de la conductividad térmica con respecto a la humedad relativa ambiente. Los valores fueron calculados empíricamente y serán utilizados en el diseño del modelo de simulación que está desarrollando el Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE con referencia al transporte combinado de calor y masa en la madera.

**Palabras clave:** Porosidad, conductividad térmica, madera de algarrobo.

### ANTECEDENTES

Es ya conocida la utilización de la madera como aislante térmico en la construcción de edificios. En todas las aplicaciones prácticas desempeña un papel importante el coeficiente de conductividad térmica. Este coeficiente es una constante del material, que depende también de la dirección del flujo de calor, de la temperatura y del grado de humedad del material. La conductividad térmica de los sólidos porosos depende principalmente de su peso específico. Este efecto queda explicado teniendo en cuenta que la conductividad térmica del aire que llena los poros es mucho menor que la del constituyente pesado del material poroso. La conductividad térmica de un material húmedo es mucho mayor que la del material seco y la del agua tomados individualmente. Este hecho se explica, en parte, por el efecto de la transmisión de calor por convección, debido al movimiento de agua por capilaridad dentro del material poroso y por el hecho de que las propiedades del agua absorbidas son distintas de la del agua libre. La deducción de una ley física para determinar el coeficiente de conductividad térmica presenta grandes dificultades ya que habría que considerar las dimensiones celulares, los espesores de las capas de moléculas de agua en la superficie interna, los cosenos en la dirección respecto a las fibras y los coeficientes de conductividad térmica de cada una de las partes componentes. En consecuencia es preferible la fórmula empírica siguiente, hallada por vía estadística:

$$\lambda = 0,168 \rho_0 + 0,022 \quad [\text{Kcal/ m h } ^\circ\text{C}] \quad [1]$$

Esta ecuación da resultados aceptables en la práctica para todos los pesos específicos aparentes  $\rho_0$  [ $\text{g/cm}^3$ ] de las maderas usuales. La estructura del sólido y su interacción con el fluido en difusión influyen principalmente en la forma en que ocurre la difusión y en la rapidez de transporte. En las maderas la circulación o difusión se realiza a través de los vasos. La ecuación que da la relación entre el volumen vacío, o poros, y la parte maciza en los cuerpos porosos se puede escribir para la madera anhidra de la siguiente forma:

$$\text{Porosidad}(\%) = \frac{V_0 - \frac{P_0}{1,5}}{V_0} = (1 - \frac{\rho_0}{1,5}) \cdot 100 \quad [2]$$

donde  $\rho_0$  es el peso específico aparente [ $\text{g/cm}^3$ ] y 1,5 representa el peso específico real de la materia leñosa de la pared celular.

### METODOLOGÍA DE TRABAJO

*Materiales y Técnica operatoria:* En los ensayos se utilizaron probetas cúbicas de algarrobo (Prosopis) de 2 cm de arista, obtenidas de muestras de madera correspondientes a un mismo ejemplar, en condiciones de humedad relativa constante. Las probetas fueron llevadas al estado de saturación por inmersión en agua destilada. Las muestras extraídas del agua fueron escurridas al aire y pesadas. Los volúmenes de las probetas se determinaron por medición indirecta, como lo establecen las normas: COPANT 461, IRAM 9543 y francesa 51-006. Posteriormente las probetas fueron colocadas en estufa bajo condiciones de temperatura y humedad relativa del aire controladas y constantes. Estas condiciones fueron modificadas para cada lote de 10 probetas.

A intervalos regulares de tiempo las probetas fueron extraídas de la estufa y pesadas para determinar el “peso húmedo” (Ph) y el “volumen húmedo” (Vh), al tiempo T. Esta operación se repitió hasta obtener pesos húmedos constantes. Las probetas que alcanzaron la humedad de equilibrio se colocaron en estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Luego se determinaron los pesos a diferentes tiempos hasta pesada constante, obteniéndose así el “peso anhidro” (Pa) y el “volumen anhidro” (Va). Se determinaron los pesos específicos de las muestras en estado anhidro, como resultado del cociente entre el peso de las mismas y su correspondiente volumen. Finalmente se determinaron los coeficientes de conductividad térmica mediante la ecuación [1] y se calculó el volumen de aire o poros utilizando la ecuación [2]

## RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados obtenidos en forma teórica. Para la obtención de los puntos representados en los gráficos 1, 2 y 3 se calculó el coeficiente de conductividad térmica ( $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$ ), a través de la ecuación [1] y se graficaron los mismos respecto a la humedad ambiente (%), al peso específico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y al volumen de poros (%).

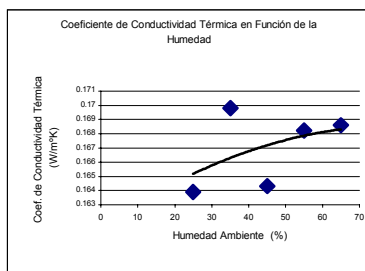


Gráfico 1

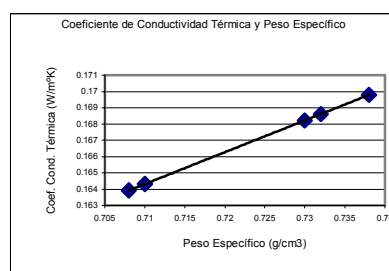


Gráfico 2

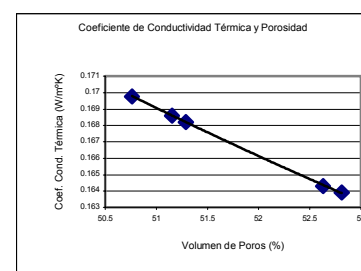


Gráfico 3

Los puntos de los gráficos 4 y 5 se obtuvieron relacionando el volumen de poros(%), obtenidos de la expresión [2], con respecto a la humedad relativa ambiente (%) y al peso específico de las muestras en estado anhidro.

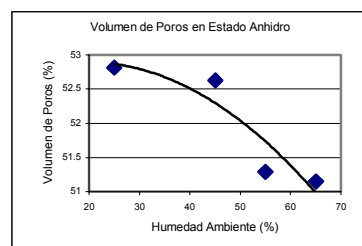


Gráfico 4

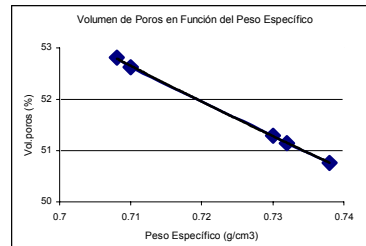


Gráfico 5

## CONCLUSIÓN

Los primeros valores obtenidos son coincidentes con los mencionados en la literatura y responden adecuadamente a la aplicación en forma empírica de las ecuaciones [1] y [2]. Se observa que en el caso de sólidos porosos, como es el caso de la madera, la conductividad térmica depende en forma notoria de la fracción de huecos, del tamaño de los poros y del fluido que está contenido en los mismos.

## REFERENCIAS

- David Himmelblau y Kenneth Bischoff, “Análisis y Simulación de Procesos”, Editorial Reverté, 1992.  
 Bird, Stewart and Lighthfoot “Fenómenos de Transporte”, Editorial Reverté, 1997.  
 Isachenko, Osipova, Sukomel “Transmisión del Calor”, Marcombo. S.A. de Boixareu Editores, 1973  
 Treybal Robert E., “Operaciones de Transferencia de Masa”, Editorial Mc Graw Hill, 2000.  
 Kollmann, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer Verlag Berlin.  
[http://fai.unne.edu.ar/biologia/planta/maderas.htm#Crecimiento\\_Secundario](http://fai.unne.edu.ar/biologia/planta/maderas.htm#Crecimiento_Secundario)  
<http://www.uco.es/jardin-botanico/cd1/Maderas%20CITES/peso.htm>

## ABSTRACT

This communication are presented the first results obtained in the determination of the porosity of the wood of carob tree ( algarrobo) in state anhydrous, and the variation of the thermal conductivity is analyzed with regard to the relative humidity. This values were calculated empirically and they will be utilized to the design of simulation model that the Department of Thermodynamic of the Engineering Faculty of the UNNE is developing referred to the combined transport of heat and mass in the wood.

**Keywords:** porosity , thermal conductivity , wood of carob tree ( algarrobo ).