

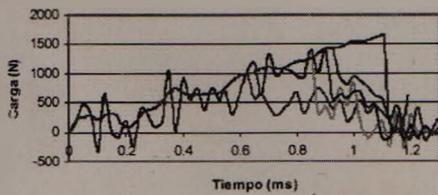
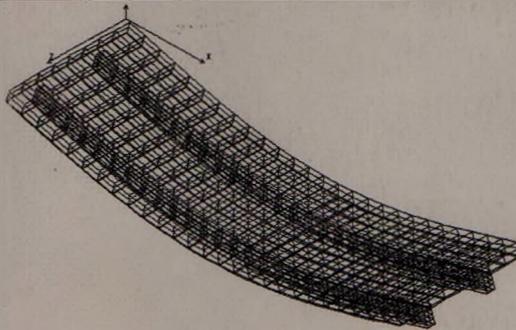


Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004

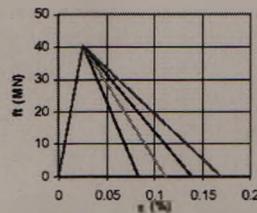


Contour Plot of NODAL V. MISES
Deformation (MID): DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

**2^{DA} JORNADA
DE
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA
PARA
INGENIERÍA
2004**



— Cf = 2160 N/m — Cf = 3240 N/m — Cf = 5400 N/m
— Cf = 4250 N/m (DF) — Ens. Laboratorio



— Cf = 2160 — Cf = 3240
— Cf = 5400 — Cf = 4250

Determinación de la Conductibilidad Térmica del Algarrobo para Distintos Contenidos de Humedad, Mediante un Equipo de Placa Caliente

Martina, Pablo; Aeberhard, Arturo; Aeberhard, María R.; Corace, Juan J; Ventín, Adriana; Tortosa, Graciela

Grupo de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables – GIDER
Departamento de Termodinámica – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Nordeste

Av. Las Heras 727-C.P.3500-Resistencia-Chaco – República Argentina
T.E: 03722-425064 – Fax: 03722-428106- E-Mail: pablo@ing.unne.edu.ar

RESUMEN

Se realizaron ensayos para determinar el coeficiente de conductibilidad térmica de la madera de algarrobo para diferentes contenidos de humedad de madera. Los ensayos se realizaron mediante el equipo de placa caliente construido por el Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a las normas IRAM 11559. Se ensayaron 2 muestras de madera de algarrobo de 30*30*5cm, colocadas entre una placa caliente (resistencia calefactora con doble arrollamiento de cobre) y 2 placas frías (planchas de aluminio con serpentín de agua). Como sensores de temperatura se usaron resistores de platino Pt100. Se realizaron 4 ensayos con las muestras a diferentes pesos (lo que implica diferentes contenidos de humedad). Como resultados se obtuvieron 4 diferentes valores de conductibilidad térmica, confirmándose, según lo indican las consideraciones teóricas, el aumento de esta propiedad con el aumento del contenido de humedad. Se comparan los resultados con los obtenidos por fórmulas empíricas.

PALABRAS CLAVES

Conductibilidad térmica, equipo de placa caliente, norma IRAM 11559, contenido de humedad de madera, algarrobo, fuente fría y fuente caliente.

ANTECEDENTES

El Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería se encuentra trabajando hace 3 años en un proyecto sobre Transferencia Combinada de Calor y Masa en Maderas utilizadas como material de construcción poroso e higroscópico. En el marco de este proyecto se construyó el año pasado (Martina *et al.*, 2003) un equipo de placa caliente para la determinación de la conductividad térmica, de acuerdo a las normas IRAM 11.559 y ASTM C177-85. El equipo consiste en una placa central calefactora (placa caliente) formada por 2 arrollamientos concéntricos de cobre (uno interno y el otro externo o de guarda). Esta resistencia tiene por misión entregar calor en forma de energía eléctrica. A ambos lados de la placa caliente se encuentran sendas planchas de cobre de 1,5mm de espesor, cuya misión es uniformar el flujo calórico. Luego van colocadas las muestras a medir y finalmente, y siempre dirigiéndonos hacia fuera, se colocan las placas frías, una de cada lado, consistentes en planchas de aluminio con serpentín de agua caliente. Todo el conjunto va rodeado de planchas de isopor de

3cm, para impedir que el calor fugue hacia fuera. El equipo tuvo una primera etapa de puesta en funcionamiento y calibración, realizándose varios ensayos preliminares para comparar los resultados obtenidos con valores hallados en la bibliografía. Inclusive se realizó una pasantía en el Laboratorio de Habitabilidad Higrotérmica del Inti Cecon, en el Parque Tecnológico Miguelete, San Martín, provincia de Buenos Aires. Allí se estudió el funcionamiento y se compararon los resultados con los equipos que se encuentran en ese Laboratorio, como ser el medidor de conductividad térmica por el método del flujo de calor DYNATECH Rapid k y el medidor de conductividad térmica por el método de la placa caliente DYNATECH TCFG-R4-6. Los resultados obtenidos por comparación y por análisis bibliográfico permiten establecer que los valores obtenidos con el conductímetro desarrollado en nuestro Laboratorio son satisfactorios. La determinación de la conductibilidad térmica de la madera de algarrobo a diferentes contenidos de humedad es uno de los objetivos del proyecto antes mencionado, por ello se desarrolló el equipo de medición, mediante el cual se podrán realizar mediciones en todos los materiales higroscópicos, como ser madera, yeso, etc. Los datos obtenidos serán de gran importancia para el diseño térmico de aislaciones, paredes, cubiertas, etc.

CONSIDERACIONES TEORICAS

La conductividad térmica de los sólidos porosos como la madera depende principalmente de su peso específico, del contenido de humedad, de la dirección del flujo de calor y de la temperatura (Kollmann, 1934). Algunos investigadores han estudiado la conductividad térmica en hormigones y morteros en función de la densidad, utilizando un equipo de placa caliente (Volantino y Rodríguez, 1997). En este trabajo dejaremos de lado el peso específico, la dirección del flujo de calor y de la temperatura como condicionante de la conductividad y estudiaremos principalmente el contenido de humedad y su influencia en la conductividad. La mayor parte de las experiencias realizadas coinciden en que el coeficiente de conductibilidad térmica es función lineal o casi lineal del contenido de humedad. Los sólidos porosos secos son muy malos conductores del calor en comparación con ese mismo sólido con cierto contenido de humedad (Aeberhard *et al.*, 2003) Este hecho se explica debido a que el aire que llena los poros de un sólido seco conduce el calor menos que el agua (ASHRAE Handbook, Fundamentals 1997):

$$\text{Conductividad térmica del agua} = 0,5 \text{ kcal/m}^*\text{h}^*\text{°C} > 0,0216 \text{ kcal/m}^*\text{h}^*\text{°C} = \text{conductividad térmica del aire}$$

Para el caso de la madera, esta característica se observa notablemente, ya que la madera va variando permanentemente su contenido de humedad al ir variando las condiciones atmosféricas que la rodean (equilibrio higroscópico), y por lo tanto va variando su conductibilidad térmica. Un trozo de madera recién cortado del árbol al cual pertenece, tiene un contenido de humedad altísimo, (alrededor del 80 al 100%) tendrá por lo tanto,

una conductibilidad térmica mayor. Al ir secándose al buscar el equilibrio higroscópico con el medio ambiente (del 10 al 15%) su conductibilidad disminuirá.

También existen leyes físicas para la determinación de la conductibilidad térmica en maderas, pero esto 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 conductibilidad calorífica de cada una de las componentes (Aeberhard *et al.*, 2003). En consecuencia se prefiere utilizar fórmulas empíricas, halladas por vía estadística.

METODOLOGIA y RESULTADOS

Se ensayaron 2 muestras de madera (M1 y M2) de 30cm*30cm*5cm en 4 estados diferentes de contenido de humedad: estado anhidro (0%), al 3.6%, al 5.0% y totalmente saturadas de agua (al 31.14%). En esos 4 estados se ensayó la conductividad, obteniéndose 4 valores diferentes y crecientes al aumentar el contenido de humedad. Para iniciarse el ensayo, se regulaba el variador de tensión para que entregue una intensidad de corriente baja, y luego se aumentaba la corriente lentamente, hasta alcanzar una temperatura de fuente caliente entre 60°C y 70°C. En ese punto se deja fija la corriente eléctrica, y la temperatura de la fuente fría empieza a aumentar lentamente, hasta alcanzar luego, de 20 a 22 hs, una temperatura de entre 30°C y 40°C. Mientras tanto se hacía circular agua de red por el serpentín de la placa fría. Aproximadamente a las 26 hs, el sistema ya alcanzaba el estado estacionario (las temperaturas no varían más), anotándose a partir de ese momento los valores de temperatura fría, caliente y potencia entregada a la placa, datos con los que se calcula la conductividad, aparte del espesor de la madera y la sección de pasaje del calor. En los 3 ensayos realizados con maderas con cierto contenido de humedad (ensayos 2, 3 y 4), se notó que la muestra de madera perdía algo de peso al finalizar el ensayo, pero ésta pérdida de peso resultó ser poco significativa, casi despreciable. Por ejemplo, en el ensayo n°2, el peso inicial de la madera fue de 3250gr (3.602%) y al finalizar el ensayo, 26 horas después, el peso se redujo a 3233gr (3.060%). Por lo tanto, a pesar que el contenido de humedad no permanece rigurosamente constante a lo largo de todo el ensayo, se puede afirmar que los valores hallados son correctos ya que la pérdida de humedad es mínima. Los resultados obtenidos en los ensayos para la muestra de madera M2 se indican en la Tabla 1:

ensayo n°	Peso (gr)	contenido de humedad (%)	conductib. térmica λ Joule/seg * °C * m
1	3137	0,000	0,22108
2	3250	3,602	0,24180
3	3294	5,004	0,25594
4	4114	31,144	0,28367

Tabla 1: valores característicos de la muestra M2

Estos valores se volcaron en gráfico 1, colocándose en abscisas los contenidos de humedad y en ordenadas los valores de conductibilidad térmica λ . También se colocó en el gráfico la regresión lineal que más se ajusta a esta variación.

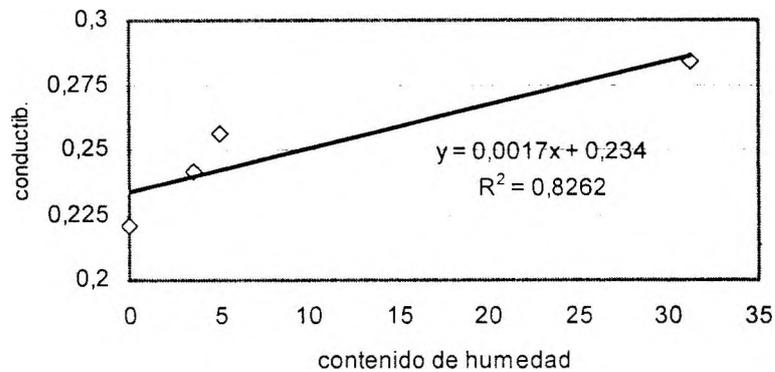


Gráfico 1: conductibilidad en función del contenido de humedad

CONCLUSIONES

Los valores de conductibilidad térmica hallados se acercan lo suficiente a los valores encontrados en la bibliografía para maderas similares, aunque debe aclararse que hasta la fecha no se habían hecho cálculos para la madera de algarrobo. Por otra parte, el equipo de medición de conductibilidad desarrollado por el GIDER demostró funcionar correctamente, lo cual no impide que en el futuro se le hagan algunas modificaciones, como por ejemplo mejorar el material con el que se lo aísla del exterior. Próximamente se ensayaran otros tipos de madera de la zona, para los cuales no se cuenta con datos concretos de conductibilidad térmica en función del contenido de humedad.

BIBLIOGRAFIA

- IRAM 11559 (1994) Determinación de la resistencia térmica y propiedades conexas en régimen estacionario. Método de la placa caliente con guarda /ASTM C177, ISO 8302. Thermal insulation . Determination of steady state and thermal resistance and related properties. Guarded hot plate apparatus.
- Martina P., Aeberhard A., Corace J., Aeberhard R. (2003) Fabricación de un equipo de placa caliente para la determinación de la conductividad térmica de materiales. Uso en investigación y docencia. Reunión de Comunicaciones de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste.
- Kollmann F. (1993) Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Springer Verlag, Berlin, pp 553-561
- Volantino V. y Rodríguez J., (1997) Determinación de la relación conductividad térmica-densidad en hormigones y morteros. Cumplimiento de las condiciones de

- habitabilidad. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol.1 N° 2 pp 49-52
- Aeberhard R., Aeberhard A., Natalini M., Martina P., Corace J., Ventin A. (2003) Porosidad y coeficiente de conductividad térmica de la madera de Algarrobo (Prosopis) Averma , vol 7, ISSN 0329-5184
- ASHRAE Handbook Fundamentals (1997) SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., pag 36.3
- Aeberhard R., Aeberhard A., Natalini M., Martina P., Corace J., Ventin A. (2002) Determinación del coeficiente de conductividad térmica y porosidad de la madera de Algarrobo. Reunión de Comunicaciones de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste.