

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES AISLANTES NATURALES Y DE RECICLADO

Joel A. Gutiérrez¹⁾, Alejandro D. González²⁾

1) Centro Regional Universitario Bariloche, 8400 Bariloche, Río Negro. E-mail: joel.gutierrez@crub.uncoma.edu.ar

2) Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), CONICET y UNCOMA, 8400 Bariloche, Río Negro. E-mail: gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

Recibido: 07/08/12; Aceptado: 30/09/12

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es la medición de la conductividad térmica de materiales naturales y de reciclado que puedan ser utilizados como aislantes térmicos en la zona fría de la Patagonia Andina. Se construyó un equipo de geometría cilíndrica, apto para medir materiales a granel. Se ensayaron la piedra pómez volcánica, el aserrín, el cartón corrugado, el papel picado, la paja de cereal de avena, y la cámara de aire. En orden decreciente en calidad térmica se obtuvo: cartón, aserrín, paja de cereal, papel picado, y piedra pómez. Los valores absolutos encontrados, entre 0,065 y 0,13 W/m²K, están de acuerdo con el rango de variación citado por otros autores. Para los materiales estudiados aquí, se encontró una correlación entre la densidad y la conductividad térmica.

Palabras clave: Medición, Aislación térmica, Reciclados, Materiales naturales

INTRODUCCIÓN

En trabajos previos, se estudió el impacto en energía y gases de efecto invernadero de materiales naturales usados en construcción de viviendas (González et al., 2011). Se encontró que la paja de cereal de trigo es, a la vez, apta como aislante térmico y presenta un impacto muy bajo de producción e implementación con respecto a materiales convencionales. En la zona muy fría de la Patagonia Andina (zona bioclimática VI, norma IRAM 11603), la mayoría de las viviendas no cuentan con aislaciones térmicas adecuadas. En los hogares con provisión de gas natural subsidiado, los consumos son muy altos (González et al., 2007), y en aquellos casos desconectados de la red el uso de leña y otros combustibles no aseguran condiciones de confort, en particular en sectores sociales vulnerables.

Existe una diversidad de materiales locales, ya sea naturales o de reciclados, que son aptos para mejorar la envolvente de los edificios, con la consecuente mejora del confort y la reducción de la necesidad de combustibles. En Bariloche la municipalidad cuenta con una cooperativa de trabajo de reciclado (ARB, 2012) que opera directamente en el vertedero municipal, y cuenta con espacio, galpones, y máquinas de compactado que le permiten comercializar una cantidad substancial de cartón, papel, vidrio, plástico, metal y otros materiales. Por otro lado, en junio de 2011 se tuvo la erupción del Volcán Puyehue, Cordon Caulle, que por acción del viento depositó millones de m³ de arena volcánica y piedra pómez en las ciudades de Bariloche y Villa la Angostura. Estos materiales son livianos, con densidad de alrededor de 600 kg/m³ para la arena, y de 300 kg/m³ para la piedra pómez. Estas densidades sugieren posibles buenas propiedades aislantes que deben ser confirmadas, así como también en el caso de los reciclados.

Existen muchos materiales que pueden ser utilizados para la aislación térmica de las casas, y que al presente no se utilizan o se utilizan muy poco. Por ejemplo, aislaciones de 0,08 m a 0,10 m de cartón, realizadas en revestimiento de siding o chapa, han dado buen resultado en paredes externas en la región. En los sectores más vulnerables de la ciudad de Bariloche las viviendas son muy precarias y con grandes pérdidas de calor, lo cual conduce a bajo confort con una demanda excesiva de combustible. En su mayoría, esos sectores se encuentran dentro del 40 % de la población no conectada a la red de gas natural, y utilizan leña para la calefacción. La información sobre materiales de aislación alternativos puede contribuir a la promoción de la conservación de energía en la construcción con materiales naturales, y para los sectores sociales vulnerables que podrían rehabilitar térmicamente las viviendas con bajo costo (González, 2008).

En el presente trabajo se ensayaron diferentes materiales de los cuales se infieren buenas propiedades aislantes, y que pueden obtenerse cantidades significativas a partir del reciclado y acopio a un bajo precio. Para estos fines se construyó un equipo de geometría cilíndrica basado en trabajos previos de Saravia (2009), con el cual se midió la conductividad térmica de materiales a granel y enrollables. Se dan detalles del funcionamiento del nuevo equipo y mediciones de conductividad térmica de distintos materiales y en función de su densidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Equipo de medición utilizado

La Figura 1 muestra un esquema en corte del equipo utilizado. El diseño es el mismo que en trabajos previos de Saravia (2009), con algunas modificaciones en cuanto al tamaño y los materiales. El interior contiene un caño metálico de hierro de 50 mm, dentro del cual se sitúa un calentador eléctrico de hilo resistivo tensado en la línea del eje. Para el exterior se usó un

tubo de chapa galvanizada de 200 mm de diámetro. Las tapas del equipo son de aglomerado tipo OSB de 0,036 m de espesor las cuales centran los dos caños concéntricos; cada tapa posee un orificio central por donde pasa la resistencia eléctrica que suministra la potencia y las conexiones de termocuplas internas. Por fuera de las tapas se coloca aislación térmica para disminuir las pérdidas laterales. El equipo requiere de 21 litros de material para el llenado.

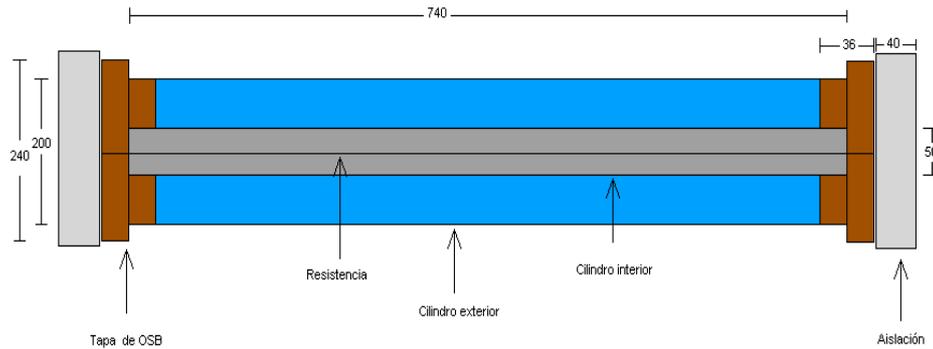


Fig. 1 Esquema del cilindro externo, el interno y la resistencia.

La resistencia de calentamiento es comercial del tipo usada para fundir plástico o cortar telgopor, y tiene una resistencia total de 7,2 Ohm en la longitud del tubo utilizado. Se busca una potencia cercana a los 20W, para lo cual se usó una fuente de voltaje de 12 Volt.

Construcción e instrumentación del equipo

En la Figura 2a) se observa el equipo desarmado, y en 2b) su estado final conectado a los instrumentos.



Fig. 2: a) Equipo desarmado con detalle del cilindro de calentamiento; b) disposición final con instrumentación conectada

Se utilizaron termómetros datalogger con termocuplas y termómetros de termocuplas de lectura instantánea para seguimiento y verificación de los resultados. Las termocuplas se instalaron en contacto con las superficies pegadas con cinta de papel. En el exterior se instalaron termocuplas en puntos equidistantes de una sección perpendicular al eje, para medir la diferencia de temperatura entre la zona superior y la inferior. En la Figura 2b) se observa el aislamiento térmico de fieltro de 15 mm para que no interfiera el ambiente en la medición de la temperatura en la cara externa superior del cilindro.

El equipo está colocado sobre un soporte metálico, que fue aislado para que no exista puente térmico con el cilindro externo. De la misma forma que menciona Saravia (2009), se encontró una diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior del caño externo. En parte, esta diferencia se debe al flujo de calor interno modelado por la geometría del equipo, y en parte a la convección del aire exterior. Las diferencias de temperatura observadas en régimen estacionario fueron de 2 a 4°C en valores promedio de 30°C. Sin embargo, aun con el equipo sin funcionar se observó una diferencia de temperaturas cercana a 1°C entre la parte superior e inferior, lo cual indica el efecto de convección en el cilindro externo. Para los cálculos de conductividad se utilizó el valor promedio de temperaturas superior e inferior.

En la Figura 3 se muestra el dispositivo con material para medición, en este caso cartón corrugado.



Fig. 3: Foto del dispositivo donde se observa el cartón corrugado, los dos tubos concéntricos, y la resistencia eléctrica central.

En el estado estacionario, se utilizó la expresión para calcular la conductividad térmica λ de las diferentes muestras (Incropera y DeWitt, 2004; Saravia, 2009):

$$\lambda = \text{Pot} \cdot \text{Ln}(\text{Rext}/\text{Rint}) / [2 \cdot \text{Pi} \cdot \text{L} \cdot (\text{Text} - \text{Tint})] \quad (1)$$

Donde:

- Pot es potencia entregada por el resistor,
- Rext es el radio del cilindro externo en contacto con el ambiente,
- Rint es el radio del cilindro interno de calentamiento,
- L es la longitud del material incorporado, y Ln el logaritmo en base e
- Text es la temperatura de estado de equilibrio del cilindro externo,
- Tint es la temperatura de estado de equilibrio del cilindro interno.

Materiales ensayados

Los materiales elegidos para una primera etapa fueron paja de avena, piedra pómez, cartón corrugado, aserrín, y papel picado (Figura 4a-e). La paja de avena proviene de un productor regional (Golondrinas, Chubut) descrito en un trabajo previo (González et al., 2011). El cartón no fue reciclado sino nuevo del tipo comercializado en pinturerías.



Fig. 4: materiales utilizados; a) paja de avena, b) Piedra pómez, c) Cartón corrugado, c) Aserrín de madera, e) papel de diario picado.

La piedra pómez fue recolectada en la costa sur del Lago Nahuel Huapi, es de origen volcánico, y cayó en la zona noroeste del lago el 4 de junio de 2011, para luego ser llevada en flotación a la costa sur por efecto del oleaje y de las corrientes hacia la desembocadura del Río Limay. El material se secó en horno y se midió la conductividad con una humedad relativa del 15%. Es resto de los materiales se secó en un ambiente calefaccionado. El papel picado se obtuvo de papel de diario, trozado manualmente a un tamaño aproximado entre 2 y 3 cm de lado. En los casos de paja de avena y de papel picado se ensayaron 2 densidades distintas para cada uno. Estas densidades se lograron agregando mayor cantidad de material y compactándolo en el volumen constante del cilindro de medición.

RESULTADOS

Temperaturas en equilibrio térmico

En la Figura 5 se muestra el resultado de la medición con el instrumento lleno de papel picado de 127 kg/m^3 de densidad aparente. En todos los casos estudiados, una vez alcanzado el equilibrio se observan variaciones pequeñas de temperatura, debidas a variaciones en la temperatura ambiente y en el voltaje de la fuente por cambios en la tensión de línea. La variación es pequeña comparada con la temperatura medida, menor al 2% en todos los casos. Para compensar por una posible contribución a los valores de conductividad, se tomaron los promedios en todo el período de tiempo medido una vez alcanzada la estabilidad.

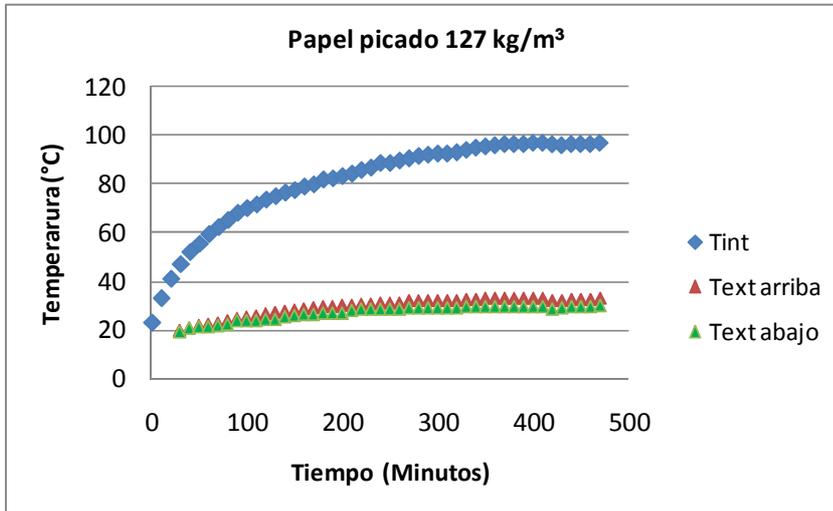


Fig. 5: temperatura del cilindro interno y externo en función del tiempo, con relleno de papel picado

Como se mencionó, por efecto de la convección la temperatura del cilindro externo no es uniforme, lo cual se observa en la Figura 5 e indicado como Text arriba y Text abajo. Para todos los casos con el cilindro lleno de material las diferencias encontradas son pequeñas. Se consideró entonces a la temperatura del cilindro externo, necesaria en la Ecuación (1), como el promedio de las temperaturas medidas en la parte inferior y superior.

Para un análisis cualitativo se ensayó también la cámara de aire sin relleno de material. En este ensayo ocurren procesos convectivos del aire que son dominantes frente a la conducción del calor, y la ecuación (1) no es entonces válida. De todos modos, resulta interesante observar la diferencia de temperaturas cuando se llena con algún material la cámara de aire. Esta comprobación experimental sencilla puede ser útil para educación en cursos y talleres en donde se explica y sensibiliza sobre conservación de la energía a través del uso de aislantes térmicos. En las inquietudes y consultas en los cursos y talleres, se encuentra que es habitual la creencia de que una cámara de aire cumple las mismas funciones que un aislante. La Figura 6 muestra las temperaturas de los cilindros en función del tiempo obtenidas sin relleno de material, es decir se midió el efecto de la cámara de aire cilíndrica. El estado de equilibrio se alcanza en 100 minutos, con un ΔT (Text-Tint) de 31°C . No es necesario medir por períodos de tiempo largos como los observados en la Figura 5, en este caso esto se debe a que la medición se realizó durante la noche.

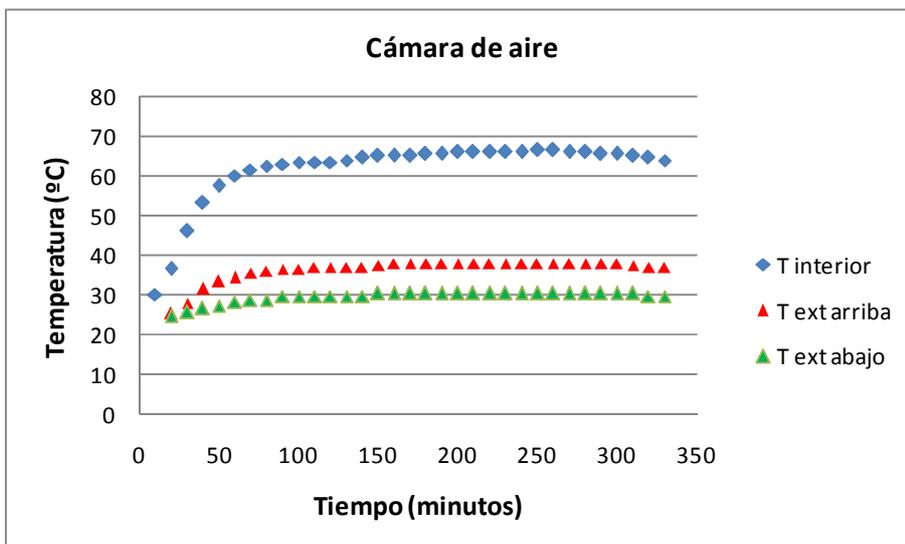


Fig. 6: temperatura del cilindro interno y externo en función del tiempo, medida sin material de relleno.

Nótese que en este caso la diferencia de temperatura interior y exterior es mucho menor que cuando el cilindro se llena de material. Esto se debe al efecto dominante de la convección en el caso de la cámara de aire, lo que conduce a una conductividad aparente elevada. La convección también se manifiesta en la mayor diferencia de temperatura entre la parte inferior y superior del cilindro externo.

La Tabla I resume las temperaturas de equilibrio encontradas en cada caso, y los tiempos necesarios para llegar al estado de equilibrio. Para el caso del cartón corrugado la estabilidad se alcanzó a los 330 minutos con un ΔT de 100 °C, mientras que para piedra pómez el tiempo para llegar a la estabilidad fue algo mayor (440 minutos), con un $\Delta T=45$ °C. El tiempo en llegar a estabilidad está relacionado también con la capacidad calorífica del material. Otros autores obtuvieron la capacidad calorífica de materiales aislantes con el mismo equipo que se utiliza para medir conductividad térmica (Wakili et al., 2003). Para esto aplicaron una variación de tensión en la resistencia de calentamiento y estudiaron el período transitorio. Este aspecto no será considerado en el presente trabajo, y nos concentraremos en la obtención de las conductividades térmicas a partir de la ecuación (1) en estado de equilibrio.

Tabla I: temperaturas resultantes y tiempo en alcanzar el equilibrio térmico

Material	Densidad (kg/m ³)	Temperatura cilindro interno (°C)	T. cilindro externo; promedio inferior y superior (°C)	Tiempo equilibrio (minuto)
Aserrín	175	100,7	28,7	490
Piedra pómez	345	75,2	30,1	440
Paja de avena	58	103	32,1	430
Paja de avena densa	76	113,7	30,6	460
Papel picado	127	96,6	31,0	370
Papel picado denso	165	98,2	31,1	440
Cartón corrugado	47	130,1	30,4	330
Vacío: cámara de aire		65,2	33,9	100

En todos los casos se tuvo especial cuidado en que el llenado sea completo: procediéndose a cargar, acomodar, golpear para que el material ocupe todo el volumen, y agregar lo necesario para el llenado total. Se verificó luego que el llenado no variara con la posición. En los casos de paja de avena y papel picado se ensayó con dos densidades distintas, logradas a través de incluir por compactación mayor cantidad de material en el cilindro.

A partir de la expresión (1) se obtuvieron los valores de la conductividad térmica de los diferentes materiales.

La Tabla II resume la conductividad térmica resultante y la densidad aparente para aserrín, piedra pómez, dos densidades de paja de avena y de papel picado, y cartón. Como se mencionó, para un análisis cualitativo se incluye también la cámara de aire sin relleno de material. El valor en este caso no corresponde a la conductividad del aire (conocida y de valor 0,023 W/m²K) sino que está dominado por la convección. Para el aire el valor de conductividad resumido en la Tabla II debe considerarse con esta salvedad: se trata de un valor indicativo de transferencia de calor dominada por convección. De la selección de materiales estudiada, el de mayor capacidad aislante es el cartón corrugado, seguido de la paja de avena de mayor densidad. El aserrín, la paja de avena de menor densidad, y el papel picado en ambas densidades presentan conductividad muy similar. La piedra pómez tiene una conductividad mayor

Tabla II: densidad aparente de los materiales y conductividad térmica obtenida

Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m ² K)
Aserrín	175	0,092
Piedra pómez	345	0,13
Paja de avena	58	0,091
Paja de avena densa	76	0,079
Papel picado	127	0,091
Papel picado denso	165	0,088
Cartón corrugado	47	0,065
Cilindro vacío: cámara de aire		0,19

Con un error en la medición de temperatura de 0,5°C, un error en el voltaje de 0,2 V, de resistencia de 0,1 Ω , y de longitud de 0,005 m en el diámetro (debido a una leve ovalización del cilindro externo), el error resultante en la medición de la conductividad es de 6%. La densidad se midió pesando con una balanza de lectura mínima 0,005 kg, y el volumen es el del espacio entre los cilindros internos y externos que conlleva el error en los diámetros, por lo cual el error en la densidad resulta de 4%. Estos errores se obtienen con propagación de error relativo en la ecuación (1) y en el cociente de masa y volumen que conduce a la densidad aparente (Roederer, 2002).

En la Figura 7 se grafica la conductividad térmica obtenida en función de la densidad del material correspondiente. Se obtiene una interpolación lineal con coeficiente $R^2 = 0,83$, el cual indica correlación entre las variables conductividad y densidad aparente. Este resultado no es general para todo material porque se ha ensayado un rango pequeño de densidades.

Sin embargo, la tendencia es notable y puede ser útil en estudios futuros que amplíen la diversidad de materiales. En la Figura 7 se incluye el resultado que obtuvo Saravia (2009) para goma de neumáticos desmenuzados (en círculo color negro), cuyo valor concuerda muy bien con la tendencia observada en el presente trabajo.

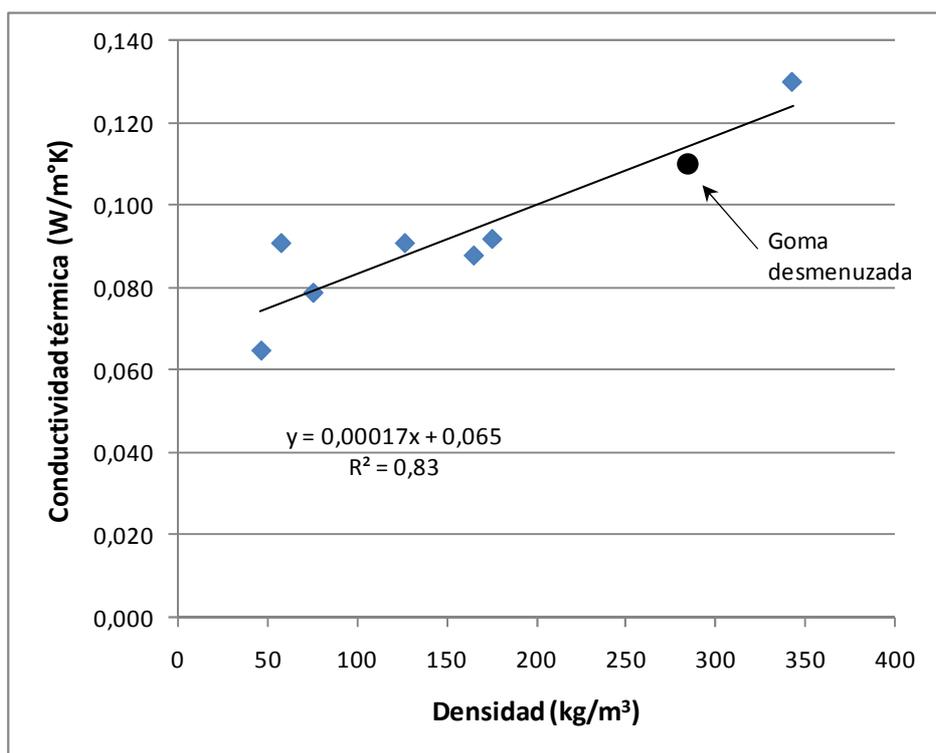


Figura 7: Conductividad térmica en función de la densidad aparente para los materiales de la Tabla II, y para neumáticos desmenuzados (Saravia (2009))

DISCUSIÓN

El dispositivo cumplió ampliamente su propósito ya que se pudo armar rápidamente, con materiales accesibles, en su mayoría de reciclados del taller de mantenimiento del Centro Regional Universitario Bariloche. En concordancia con lo indicado por Saravia (2009), se destaca la simpleza del equipo y su potencial para encontrar resultados confiables de conductividad térmica de materiales a granel. En la actualidad existen diversas iniciativas en construcción natural y con reciclados que pueden beneficiarse de métodos sencillos de ensayo en el ámbito local. Con respecto a la versión previa de Saravia (2009), decidimos aumentar el tamaño del equipo, el cual sigue siendo liviano y de mesa pero no tan fácilmente transportable. Esta elección se debió a la facilidad para el llenado del tipo de material ensayado. La termometría usada aquí fue del tipo termocuplas con datalogger, aunque ésta puede ser reemplazada por termómetros de termocuplas de lectura instantánea, y considerar sólo los valores finales en condiciones de equilibrio, obtenida en tiempos mayores a los indicados en la Tabla I.

A partir de los datos de temperatura de equilibrio y potencia calórica entregada, se obtuvo la conductividad de diferentes materiales. Los valores obtenidos están de acuerdo con los obtenidos en experiencias previas y resumidos en distintas publicaciones (Cricyt, 2012; Gonzalo, 2003; IRAM, 2002). En el tipo de materiales a granel ensayados, existen variaciones en la densidad, humedad y granulometría, con lo cual los materiales que presenta la bibliografía no son los mismos que los disponibles aquí. Por ejemplo, la Norma IRAM 11601 (IRAM, 2002) indica una conductividad entre 0,19 y 0,31 W/m²K para piedra pómez de densidad 600 kg/m³. El valor encontrado aquí para una densidad de 345 kg/m³ es de 0,13 W/m²K. Por otro lado, un aspecto importante que debe destacarse es la dependencia de la conductividad térmica con la temperatura. Otros autores destacan que existe una variación de λ con la temperatura que en algunos materiales se incrementa en el rango de 7°C a 40°C (Abdou y Budaiwi, 2005). Estos autores ensayaron la lana de vidrio, la lana de roca, el poliestireno expandido y el poliuretano. Estos materiales no fueron investigados en el presente trabajo. De todos modos, debe notarse que en el equipo utilizado aquí existe un gradiente de temperatura elevado (alrededor de 1°C/mm), que para cada material puede deducirse de la Tabla I. Por lo tanto, distintas capas cilíndricas del material pueden estar comportándose con valores de λ diferentes, y entonces los resultados encontrados aquí, de existir esta variación con la temperatura para los materiales ensayados, deben considerarse promedio en el rango de valores de temperatura dados en la Tabla I. En el presente experimento el exterior se encuentra a la temperatura más baja y correspondiente a un ambiente cálido. Esto significa que es esperable que los valores obtenidos aquí sean sobrevaluados para las temperaturas habituales encontradas en los edificios (Abdou y Budaiwi, 2005). Este es un aspecto interesante para investigar en trabajos futuros, tal vez comparando los resultados con equipos de geometría plana, ya que los dispositivos de medición de conductividad térmica funcionan con gradientes de temperatura.

Es notable la correlación mostrada en la Figura 6 entre la conductividad térmica con la densidad aparente. No tenemos por ahora una interpretación de esta dependencia funcional, pero es posible que sea consecuencia de la transferencia de calor en

las celdas de aire intersticial, lo cual varía con la densidad del material a granel. En trabajos futuros se investigarán distintas granulometrías, lo que puede dar una indicación de la influencia de los espacios de aire entre las partículas. En trabajos previos, Aeberhard et al. (2003) mencionan una tendencia similar para madera en el rango de densidad de las maderas usuales. Usando la ecuación (1) de Aeberhard et al. (2003), se obtiene para 500 kg/m^3 un valor $\lambda = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$, y para 1000 kg/m^3 se tiene $\lambda = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. El valor encontrado aquí para el aserrín es $0,092 \text{ W/m}^2\text{K}$, algo inferior al de la madera blanda.

En cuanto al uso práctico de los materiales como aislantes, los valores encontrados son similares y cada material tiene ventajas en el momento de su elección, considerando la disponibilidad y el costo al momento de adquirirlo, ya sea como reciclado o recolectado. Por ejemplo, la piedra pómez resultó con el valor mayor de conductividad. Sin embargo, tiene capacidad de soportar carga, tiene masa térmica, es inalterable con la humedad (salvo en las propiedades térmicas), y su condición poco atractiva para roedores (debido al alto contenido de sílice), lo convierten en una opción óptima en aislación de contrapisos, zócalos y veredas exteriores. En un trabajo reciente se estudió el aislamiento realizado con piedra pómez de la tierra en el perímetro de un invernadero (González, 2012). Se encontró que el cartón corrugado es un excelente aislante térmico con valores de $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ siendo un material fácil de conseguir a partir del reciclado o comprarlo a bajo costo. El cartón ensayado es del tipo corrugado comercial, habitualmente vendido en pinturerías, y queda pendiente el ensayo del cartón común encontrado en reciclado de cajas. Los valores deberían ser muy similares, pero puede haber efectos de compactación y daño involuntario de las celdas de aire en el cartón de cajas, que en principio tenderían a aumentar la conductividad térmica. El aserrín tuvo valores muy similares al papel picado y a la paja de avena. Este material es derivado de producciones agropecuarias y forestales, es de fácil acceso en la zona rural, y con ciertos cuidados puede ser producido de manera sustentable (González et al., 2011).

CONCLUSIONES

Se construyó un dispositivo para la medición de conductividad térmica de materiales de construcción, con el objetivo de analizar las propiedades de materiales naturales y de reciclados. El equipo es similar al desarrollado previamente por otros autores, aunque se aumentó el tamaño para facilitar la carga del tipo de material ensayado en el presente trabajo. Consiste en dos cilindros concéntricos, el interior es el de calentamiento y el exterior el de estabilización de temperatura. En el espacio entre los cilindros se sitúan las muestras a ensayar. Las primeras mediciones se realizaron con aserrín, piedra pómez, cartón, paja de avena y papel picado. Se midió además la cámara de aire, la cual presenta transferencia de calor principalmente por convección. A través del análisis de temperaturas se mostró la diferencia relevante en la transmisión de calor al usar materiales que bloqueen la convección y al mismo tiempo que tengan coeficientes térmicos bajos. Se obtuvieron valores de conductividad entre $0,065 \text{ W/m}^2\text{K}$ para cartón y de $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ para piedra pómez. El aserrín, el papel picado, y la paja de cereal presentan conductividades similares, alrededor de $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Para los materiales seleccionados y el rango de densidades estudiado, de 50 a 340 kg/m^3 , la conductividad térmica resultó proporcional a la densidad, con un coeficiente de correlación R^2 de $0,83$.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el proyecto B155 "Problemáticas ambientales en norpatagonia andina: riesgos y oportunidades" de la Universidad Nacional del Comahue, y por el proyecto PIP 114 200801 00107 del CONICET. Se agradece al Departamento Mantenimiento del Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, por el apoyo en la construcción del equipo y materiales.

REFERENCIAS

- Abdou A.A., Budaiwi I.M. (2005). Comparison of thermal conductivity measurements of building insulation materials under various operating temperatures. *Journal of Building Physics* 29, 171-184
- Aeberhard et al. (2003). Porosidad y coeficiente de conductividad térmica de la madera de algarrobo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 7, C08.09-08.10
- ARB (2012). Asociación de Recicladores Bariloche. <http://www.reciclarbariloche.com.ar/>
- Crycit (2012). Conductividad térmica de materiales. <http://www.crycit.edu.ar/lahv/pruebas/conductancia/principal.htm>
- González A.D (2012). Estudio de la temperatura del suelo en un invernadero en la Patagonia Andina. Mejora a través de aislamiento térmico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, enviado
- González A.D, Tognetti C., Van den Heede S. (2011). Beneficios ambientales del uso de paja de cereal para muros en edificios de la Patagonia Andina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 15, 07.55-07.63.
- González A.D. (2008). Aumento de eficiencia térmica en la ciudad de Bariloche: propuesta de plan de mejoras con dirección de subsidios a la inversión, y no al consumo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12, 7.57-7.64
- González, A.D.; Carlsson-Kanyama, A.; Crivelli, C.; Gortari S. (2007). Residential energy use in one-family households with natural gas provision in a city of the Patagonian Andean region. *Energy Policy* 35, 2141–2150.
- Gonzalo G.E. (2003). *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Ed. Nobuko, Bs.As.
- Incropera, F. P. y DeWitt, D. P. (2004). *Fundamentals of heat and mass transfer*, 4th edition, John Wiley.
- IRAM (2002). Norma 11601 3ra edición. Aislamiento térmico de edificios. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario
- Roederer J.G. (2002). *Mecánica elemental*. Capítulo 1. Eudeba, BsAs.

- Saravia L. (2009). Equipo para medir la conductividad térmica. Medida de neumáticos desmenuzados. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 13, 08.01-08.03
- Wakili K.G., Vinder V., Vonbank R. (2003). A simple method to determine the specific heat capacity of thermal insulations used in building constructions. Energy & Buildings 35, 413-415

ABSTRACT: The aim of this work is to measure the thermal conductivity of construction materials from natural and recycling origin, and that could be available for insulation in the cold region of the Andean Patagonia. To achieve this goal we have built an apparatus with cylindrical geometry allowing the study of loose-fill materials. We have measured volcanic light-weight rock in small pieces, saw dust, cardboard, oats straw, shredder paper, and the air filled cavity. The range of values obtained was 0,065 to 0,13 W/m²K, in agreement with similar materials reported previously. The best thermal insulation was for cardboard, followed by oats straw, saw dust, shredder paper and volcanic rock. A noticeable correlation between the density and the conductivity was obtained for the range of materials studied.

Keywords: Measurements, Thermal insulation, Recycling, Natural building materials