

# Influencia de variables en la determinación del coeficiente de conductividad térmica en probetas de poliestireno expandido.

## Influence of variables in the determination of the coefficient of thermal conductivity in expanded polystyrene specimens.

Presentación: Octubre 2023

### **Gonzalo Barrientos Santini**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe – CECOVI, Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda - Argentina.  
gbarrientos@frsf.utn.edu.ar

### **Francisco Ulibarrie**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe – CECOVI, Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda - Argentina.  
fulibarrie@frsf.utn.edu.ar

### **Sebastián Vanney**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe – CECOVI, Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda - Argentina.  
svanney@frsf.utn.edu.ar

### **Resumen**

Se inició con la investigación y análisis de bibliografía relacionada con el método de flujo de calor para evaluar la conductividad térmica de un material, metodología que utiliza el equipo HFM-446. El objetivo es comparar resultados y procedimientos para definir variables que afectan la determinación de este coeficiente.

Se conformaron 2 probetas de poliestireno expandido, material muy aislante térmicamente y se definieron las variables a analizar. Cada probeta fue secada, pesada, medida y ensayada por el equipo. Las variables incluyeron superficies, temperaturas y uso o no del kit instrumental del equipo según corresponda con su resistencia térmica.

Los ensayos llegaron a buen término, pudiendo comparar los resultados entre sí y realizar el análisis de la influencia de cada variable.

Se dirá que, a mayor superficie, mejores resultados y viceversa. El uso o no del kit debe tenerse en cuenta según corresponda. A mayor temperatura, la conductividad crece linealmente.

**Palabras clave:** materiales aislantes, conductividad térmica, poliestireno expandido, método de flujo de calor.

### **Abstract**

The research and analysis of bibliography related to the heat flow method to evaluate the thermal conductivity of a material, a methodology that uses the HFM-446 equipment, was started. The objective is to compare results and procedures to define variables that affect the determination of this coefficient.

Two expanded polystyrene specimens, a very thermally insulating material, were formed and the variables to be analyzed were defined. Each specimen was dried, weighed, measured and tested by the team. The variables included surfaces, temperatures and use or non-use of the equipment's instrument kit as appropriate to their thermal resistance.

The tests were completed and the results could be compared with each other and the influence of each variable could be analyzed. It will be said that the larger the surface, the better the results and vice versa. The use or not of the kit should be taken into account accordingly. The higher the temperature, the conductivity increases linearly.

**Keywords:** insulating materials, thermal conductivity, expanded polystyrene, heat flow method.

## Introducción

### Importancia del control de la eficiencia energética

En los últimos años ha tenido lugar un mayor desarrollo de materiales aislantes y amigables con el medio ambiente buscando la sustentabilidad en la industria de la construcción. Asimismo, se ha dado un aumento de los requerimientos de eficiencia energética para las edificaciones buscando el ahorro de energía. Esta dualidad lleva a la necesidad de contar con mayores precisiones en cuanto a la evaluación de las propiedades térmicas de los materiales, principalmente la Conductividad ( $\lambda$ ) y la Resistencia (R) Térmicas. (Hung Anh and Pásztor, 2021: 01-02) (Baldinelli et al., 2019: 01).

Las propiedades térmicas de muchos materiales de construcción se encuentran indicadas en los datos brindados por las distintas normas técnicas. Sin embargo, la mejor manera de contar con datos precisos es realizar la medición de estas propiedades directamente sobre los materiales (Baldinelli et al., 2019: 01), teniendo en cuenta a su vez, que una estimación inexacta de la conductividad térmica de un material podría derivar en errores en el cálculo del desempeño energético de las edificaciones (Yang et al., 2022: 01).

### VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS.

Dentro de las variables que influyen en la medición de la conductividad, se mencionarán las siguientes: contenido de humedad, tamaño de la muestra, estructura interna del material (porosidad, distribución de poros), temperatura y humedad ambiente, densidad aparente, espesor, velocidad del flujo de aire, presión y el envejecimiento. (Yang et al., 2022: 01) (Hung Anh and Pásztor, 2021: 04).

Teniendo en cuenta lo planteado, este proyecto apunta a definir que variables resultan ser más relevantes y en qué medida influyen a la hora de evaluar la conductividad térmica de distintos materiales. Como punto de partida, se iniciarán los ensayos analizando un material reconocido como muy aislante: Poliestireno Expandido, EPS (Expanded Polystyrene).

Según (Hung Anh and Pásztor, 2021: 04-09), se tendrá que, el EPS aumenta la  $\lambda$  muy ligeramente frente a un aumento de humedad, la disminuye frente a un aumento de su densidad y la incrementa frente a un aumento de presión. Asimismo, según (Hung Anh and Pásztor, 2021: 04), la  $\lambda$  variará incrementándose linealmente frente a un aumento de la temperatura, y aumentará su R frente a un incremento de espesores.

### Equipo de Medición de Conductividad y Resistencia Térmicas

El Laboratorio de Conductividad del Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) cuenta con un Equipo de Medición de Conductividad y Resistencia Térmicas del tipo HFM-446 de la marca Netzsch. Su principio de operación es el de un Medidor de Flujo de Calor, HFM (Heat Flux Measurement), donde la muestra se coloca entre dos placas calentadas controladas según una temperatura media de la muestra y un gradiente de temperatura definidos por el usuario, para medir el calor que fluye a través de la muestra. El espesor de la muestra L se mide mediante un medidor de espesor interno. El equipo permite configurar además la presión ejercida sobre la muestra. El flujo de calor Q a través de la muestra se mide mediante dos transductores de flujo de calor calibrados que cubren una gran área de ambos lados de la muestra. Una vez alcanzado el equilibrio térmico, el equipo registra los valores de  $\lambda$  y R. Para el cálculo de  $\lambda$  ( $W/m^2K$ ) y de R, se utilizan el flujo de calor promedio  $Q/A$  ( $W/m^2$ ), el espesor de la muestra L (m) y el gradiente de temperatura  $\Delta T$  (Kelvin), de acuerdo con la Ley de Fourier, ecuación [1] (NETZSCH-Gerätebau GmbH, 2023) (Baldinelli et al., 2019: 04).

$$\lambda = \frac{Q}{A} * \frac{L}{\Delta T} \quad [1]$$

Teniendo en cuenta las prestaciones del Equipo utilizado y las variables que influyen en la obtención y cálculo de las propiedades térmicas de los materiales, todas mencionadas anteriormente, el objetivo del presente trabajo busca definir algunas de estas variables y analizarlas ensayando probetas de EPS. Se considerará como referencia, la metodología de ensayo planteada por Baldinelli et al., 2019: 02-03.

## Metodología

### Materiales

Se contactó con un proveedor de placas de poliestireno expandido (EPS) para la adquisición del material con el cual se realizarían las probetas a ensayar. En este punto, se optó por no considerar como variables de ensayo la densidad y el espesor de las probetas. Por tal motivo y según las disponibilidades planteadas por el proveedor, se tomaron los siguientes parámetros fijos:

- Densidad fija: 28 kg/m<sup>3</sup>, valor verificado mediante ensayos en los laboratorios del CECОВI.
- Espesor fijo: 2,5 cm, aproximadamente una pulgada.

Con estas definiciones se procedió a la compra de las placas de EPS, cortándose luego las mismas con trinchetas para obtener las probetas con las dimensiones requeridas, intentando en el proceso mantener lisas y pulidas todas las caras de estas. En este punto, se consideró una nueva variable:

- Superficies: Se consideraron dos superficies para las probetas, una con el máximo que podría ensayar el equipo (30,5 x 30,5 cm) y otro con el mínimo (10,5 x 10,5 cm).

De esta forma, se obtuvieron dos probetas, una de 105x105x25 (largo x ancho x espesor) y otra de 305x305x25 aproximadamente.

### Verificación de Constancia de Masa

Se procedió a colocar todas las probetas en estufa a +50°C. Este valor se definió teniendo en cuenta que la temperatura a la cual se ven afectadas las propiedades del poliestireno expandido es de 80°C para exposiciones de larga duración. La permanencia en estufa se requirió para lograr la constancia de masa, considerándose inicialmente un período de 24 hs.

Luego de alcanzada la constancia de masa, las probetas fueron colocadas en una cámara de estabilización mediante sílica gel durante aproximadamente 30 minutos y luego pesadas para la obtención de los pesos secos.

Por último, se procedió a medir exactamente el largo, ancho y espesor de cada probeta, realizando un promedio entre 6 mediciones de cada lado, tomando valores de caras inferiores y superiores para lograr una mejor aproximación.

### Ensayo en Equipo de Conductividad Térmica

Con los datos de dimensiones y pesos secos de cada probeta, se procedió a realizar los ensayos de conductividad térmica en el Equipo mencionado en la Introducción.

En esta etapa y en función de las prestaciones del Equipo, se sumaron las siguientes variables a los ensayos:

- Medición de cuatro Temperaturas Medias: 0, 10, 25 y 50 °C.
- Medición de cuatro Deltas de Temperaturas diferentes (variaciones de temperatura entre la placa superior y la inferior del equipo): 10, 20, 30 y 40 °C.
- Utilización o no del Kit de instrumentación.

### Análisis del uso del Kit

El Manual de Servicio del equipo utilizado plantea la necesidad y conveniencia de utilizar un kit de instrumentación opcional para superar las limitaciones técnicas y reducir el rango de resistencia térmica en materiales más densos y rígidos con mayor conductividad térmica. Asimismo, se plantea el uso del kit para situaciones de espacios de aire y muestras con mayor conductividad térmica. La siguiente tabla presenta los Niveles de Resistencia Térmica que define el Manual y su relación con el uso del Kit de Instrumentación.

|  |                  |  |
|--|------------------|--|
| <b>NIVELES DE RESISTENCIA TÉRMICA DEFINIDOS EN EL MANUAL DE SERVICIO DEL EQUIPO UTILIZADO</b><br><small>(m<sup>2</sup>K/W)</small> | Menor a 0,02     | de medición precisa.   |
|  | Entre 0,02 y 0,1 | os; siempre requerido uso del kit; precisión reducida.   |
|  | Entre 0,1 y 0,3  | Materiales con superficies duras y alta conductividad; siempre requerido uso del kit.  |
|  | Entre 0,3 y 0,5  | Materiales ligeralmente más duros y conductividad más baja y materiales más blandos y con alta resistencia; requerido uso del kit.   |
|  | Mayor a 0,5      | Materiales blandos y espumosos y con baja conductividad; no se requiere uso del kit.<br>Materiales rígidos y de superficies irregulare y materiales densos y duros; se recomienda el uso del kit.<br>Materiales con cierta homogeneidad y estructura bien cerrada (de baja porosidad); no se requiere uso del kit. |

Tabla 01 – Niveles de Resistencia Térmica definidos en el Manual de Servicio del equipo utilizado.

Por otro lado, se tiene que la Norma IRAM 11601:2002 “Aislamiento Térmico de Edificios, Métodos de Cálculo”, presenta valores de referencia de Conductividades Térmicas para el Poliestireno Expandido según diferentes densidades, para una temperatura media de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  y humedad de  $60 \pm 10\%$ . Considerando a su vez, que la Resistencia Térmica se calcula como el cociente entre el espesor de la probeta sobre la Conductividad Térmica del material, se llega a los siguientes valores de Resistencias esperadas según esta Norma.

| MATERIAL   |             | DENSIDAD APARENTE | CONDUCTIVIDAD TÉRMICA      | RESISTENCIAS TÉRMICAS      |
|--|-------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Materiales Aislantes Térmicos                        |             | $\text{kg/m}^3$   | $\text{W/m}^*\text{K}$     | $\text{m}^2\text{K/W}$     |
| Poliestireno Expandido                               | En Planchas | 25                | 0,033                      | 0,758                      |
|  |             | 30                | 0,032                      | 0,781                      |
| <i>Intervalo de valores esperados según la Norma</i> |             | <b>28</b>         | <b>Entre 0,033 y 0,032</b> | <b>Entre 0,758 y 0,781</b> |

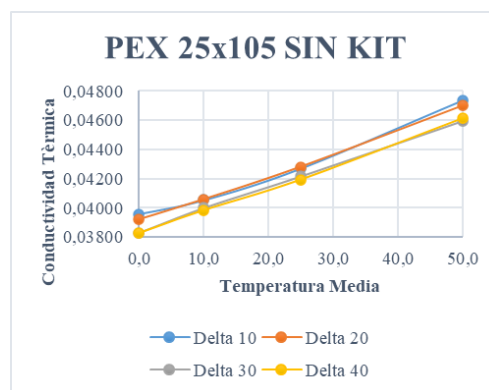
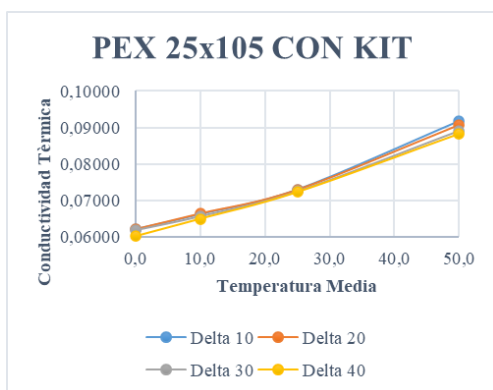
Tabla 02 – Extracto de la Tabla A.1 “Conductividades Térmicas” de la Norma IRAM 11601:2002. Página 19 y valores esperados de Conductividad y Resistencia Térmica según esta.

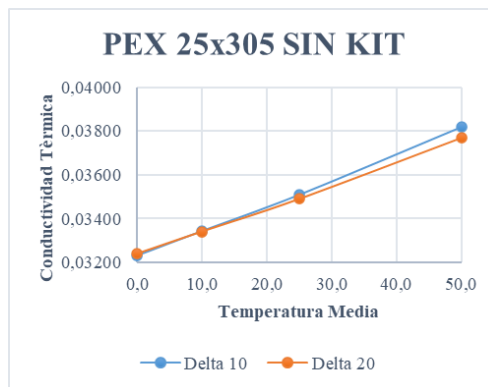
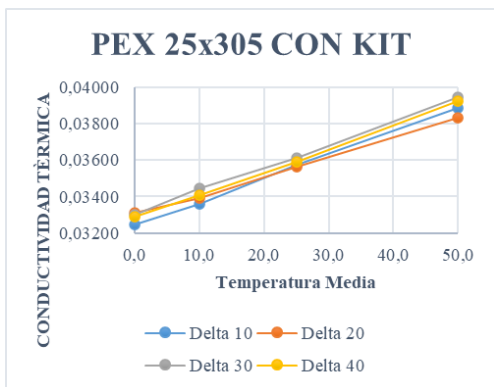
Según lo anterior, considerando los valores de Resistencias esperados según la Norma y la clasificación definida por el Manual del Equipo, se concluye que en ningún caso se debería utilizar el kit de instrumentación. No obstante, para introducir una variable extra al análisis de resultados, se opta por realizar una serie de ensayos con el uso del kit, repitiendo luego las mismas variables sin el uso de este para lograr a posteriori una comparación.

## Resultados y Discusión

Se ensayaron 16 combinaciones de Temperaturas Medias y Deltas de Temperaturas utilizando el kit (C/K) y sin hacerlo (S/K), para la Probeta PEX 25x105 y C/K para la probeta PEX 25x305. Además, se realizaron 8 combinaciones para la Probeta anterior S/K, llegando en todos los ensayos mencionados a buen término.

Dentro de los valores de Conductividad Térmica obtenidos, se observa una variación lineal creciente de la Conductividad a medida que se produce el aumento de la temperatura. De manera análoga sucede con los valores de Resistencia Térmica, ya que estos se relacionan de manera inversa a los de Conductividad, según el espesor de la probeta. Estas variaciones pueden observarse, por ejemplo, en los Gráficos siguientes, correspondientes a los ensayos de las dos probetas, ya sea C/K o S/K.





Gráficos 01, 02, 03 y 04 – Conductividades Térmicas - Temperaturas Medias; Probeta PEX 25x105 (01 y 02); Probeta PEX 25x305. (03 y 04). Con kit (01 y 03); Sin kit (02 y 04).

En los gráficos anteriores también es posible observar como las curvas de cada Delta de Temperatura se mantienen en valores muy similares entre sí, por lo que prácticamente se superponen unas con otras.

Para continuar el análisis, se presenta la siguiente Tabla con los promedios de los valores obtenidos por el equipo en los ensayos. Se consideran los valores de Conductividades y Resistencias Térmicas, discriminando los ensayos C/K y S/K. Los promedios calculados corresponden a las Temperaturas Medias de 25°C ensayadas y al total de combinaciones realizadas con todas las Temperaturas Medias y Deltas de Temperaturas medidos. Esta separación entre promedios calculados se realiza para poder comparar los valores de  $\lambda$  y R esperados según la Norma IRAM 11601:2002 dados en la Tabla 02, con aquellos resultados obtenidos que sean lo más contrastables posibles. Teniendo en cuenta que los valores de la Norma se basan en una Temperatura Media de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , se realiza la comparación con los resultados obtenidos con las Temperaturas Medias de 25°C en primer lugar, y luego con el promedio de todos los resultados obtenidos. De esta manera, como primer análisis se observa que la diferencia entre los resultados promediados sólo con Temperatura Media 25°C y los resultados promediados con todos los valores es muy pequeña, por lo que bien se puede continuar el análisis con estos últimos.

| DENOMINACIÓN DE PROBETAS | USO DEL KIT | CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS               |                              | RESISTENCIAS TÉRMICAS                  |                              |               |       |
|--------------------------|-------------|--|------------------------------|--|------------------------------|---------------|-------|
|                          |             | Valores esperados según Norma (T 20°C) | Valores obtenidos en Ensayos | Valores esperados según Norma (T 20°C) | Valores obtenidos en Ensayos |               |       |
|                          |             | W/m*K                                  |                              | m <sup>2</sup> K/W                     |                              |               |       |
| PEX 25x105               | SÍ          | Entre 0,033 y 0,032                    | Prom. (T 25°)                | 0,073                                  | Entre 0,758 y 0,781          | Prom. (T 25°) | 0,367 |
|                          |             |  | Prom. (Todos)                | 0,073                                  |                              | Prom. (Todos) | 0,376 |
| PEX 25x305               | SÍ          |  | Prom. (T 25°)                | 0,036                                  | Entre 0,758 y 0,781          | Prom. (T 25°) | 0,717 |
|                          |             |  | Prom. (Todos)                | 0,035                                  |                              | Prom. (Todos) | 0,729 |
| PEX 25x105               | NO          |  | Prom. (T 25°)                | 0,042                                  | Entre 0,758 y 0,781          | Prom. (T 25°) | 0,589 |
|                          |             |  | Prom. (Todos)                | 0,042                                  |                              | Prom. (Todos) | 0,597 |
| PEX 25x305               | NO          |  | Prom. (T 25°)                | 0,035                                  | Entre 0,758 y 0,781          | Prom. (T 25°) | 0,752 |
|                          |             |  | Prom. (Todos)                | 0,033                                  |                              | Prom. (Todos) | 0,804 |

Tabla 03 – Resumen de resultados promediados.

En la Tabla 03 puede observarse como las probetas ensayadas S/K dieron en ambos casos resultados más o menos cercanos a los esperados según la Norma. Por el contrario, sólo la probeta con mayor superficie de las ensayadas C/K dio valores cercanos a los esperados.

Por otro lado, si se realizase un análisis por superficies, se observa que la probeta con mayores dimensiones obtuvo muy buenos resultados, tanto C/K como S/K, mientras que la probeta de menores dimensiones tuvo resultados más o menos aproximados cuando se respetó el no uso del kit según lo analizado en las Tablas 01 y 02.

Se podría agregar, además, que la mayor aproximación de resultados a los valores esperados por parte de la Probeta PEX 25x305 frente a la PEX 25x105 en los ensayos S/K se pudo haber dado debido al mejor aprovechamiento de las prestaciones del Equipo

por parte de la primera. Esto, debido a que el mismo realiza sus mediciones considerando diferentes puntos que se encuentran dentro del espacio disponible para colocar la muestra, por lo que la probeta de mayores dimensiones pudo aprovechar mejor todos los puntos del Equipo, mientras que la probeta de menores dimensiones sólo utilizó algunos.

## Conclusiones

### Variable: Superficies

- A mayor superficie de la probeta, los valores obtenidos se acercan en gran medida a los esperados según la Norma, gracias a tener un mejor contacto con las placas del equipo, sin dejar espacios vacíos.

### Variable: Temperaturas Medias

- A mayor temperatura media entre las placas del equipo, se observa una mayor Conductividad Térmica y una menor Resistencia Térmica, variando linealmente en ambos casos como era esperado.

### Variable: Deltas de Temperatura

- La variación de los Deltas de Temperatura en el ensayo no afecta en gran medida los valores de Conductividad y Resistencia Térmicas obtenidos.

### Variable: Uso del Kit

- El uso o no del kit influye en gran medida en los resultados obtenidos y debe ser utilizado o no según la clasificación definida por el Manual del Equipo en la Tabla 01 y según los valores de Resistencia Térmica que puedan estar establecidos en la Norma IRAM 11601:2002 o dados por el fabricante.

## Desarrollo a futuro

En primer lugar, se prevé repetir los mismos ensayos citados en este trabajo, con el fin de verificar los valores obtenidos. Posteriormente, se plantea la posibilidad de realizar ensayos con el mismo material considerando otras variables, dentro de las que se incluyen el espesor, la densidad y la humedad.

También se prevé a futuro el análisis de otros materiales con distintas capacidades de aislación, considerando en primera instancia un material con una baja capacidad de aislación térmica, con el objetivo de contar con resultados y análisis de materiales con propiedades térmicas opuestas, cruzando a su vez en el análisis algunas de las variables ya conocidas.

## Reconocimientos

Se agradece la colaboración en el desarrollo de actividades al Ing. Mariano Suárez, a la Dra. Anabela Guillarducci, a la Ing. Dianela González, al Ing. Marcelo Avendaño, a Inés Anthony y a Luciano Massons. Especialmente agradecemos a la Universidad Tecnológica Nacional por su financiación, al CECОВI (FRSF- UTN) por brindar los medios tecnológicos para realizar nuestra propuesta.

## Referencias bibliográficas

- G. Baldinelli, F. Bianchi, S. Gendelis, A. Jakovics, G. L. Morini, S. Falcioni, S. Fantucci, V. Serra, M.A. Navacerrada, C. Díaz, A. Libbra, A. Muscio, F. Asdrubali, (2019). "Thermal conductivity measurement of insulating innovative building materials by hot plate and heat flow meter devices: A Round Robin Test", *International Journal of Thermal Sciences*, 139, 25–35.
- W. Yang, Y. Wang, J. Liu, (2022). "Optimization of the thermal conductivity test for building insulation materials under multifactor impact", *Construction and Building Materials*, 332, 127380.
- L.D. Hung Anh and Z. Pásztor, (2021). "An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials", *Journal of Building Engineering*, 44, 102604.
- Norma IRAM 11601:2002. Aislamiento térmico de edificios, Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.
- NETZSCH-Gerätebau GmbH, Germany (2023). "HFM 446 lambda series - Heat Flow Meter for Testing Insulation Materials". Disponible en <<https://analyzing-testing.netzsch.com/es>>.