

MATERIALES AISLANTES DE PERLITA Y SILICATO DE CALCIO. CONDUCTIVIDAD TERMICA Y PROPIEDADES.

G. Arambarri y E.F. Aglietti

CETMIC (Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica). Cno. Centenario y 506 C.C. 49 (1897) M. B. Gonnet. Bs.As. Argentina.

E-mail: aglietti@netverk.com.ar

RESUMEN

La aislación térmica tiene suma importancia en la industria en cuanto a reducir las pérdidas de energía. Existen diferentes materiales de acuerdo al rango de temperaturas de trabajo. La propiedad física que define a estos materiales es su conductividad térmica, directamente relacionada con la densidad aparente del material. Los materiales conformados de silicato de calcio (wolastonita) y de perlita, son los más empleados en el rango de temperaturas intermedias (323-800 K).

En este trabajo se estudian y analizan las principales características fisicoquímicas de dichos materiales. La resistencia mecánica es mayor para los materiales de silicato de calcio al igual que su resistencia a la deformación. La conductividad térmica fue medida por el método del hilo caliente. La conductividad de estos materiales en función de la temperatura, muestran correlaciones lineales. El aumento de la densidad causa un aumento lineal de la conductividad. Esta funcionalidad permite predecir la conductividad de los mismos. A medida que aumenta la temperatura, y a densidades similares, los materiales aislantes a base de silicato de calcio presentan mejores valores de conductividad térmica que los materiales aislantes a base de perlita.

Palabras claves

Materiales Aislantes, Propiedades, Conductividad, Perlita, Wolastonita

INTRODUCCIÓN

La conductividad térmica es la propiedad más importante en los materiales aislantes ya que revela su capacidad de transmisión del calor y por lo tanto determina los costos energéticos de muchos procesos. Los materiales refractarios que actúan como aislantes, poseen una distribución de poros que contienen aire o gas, que constituye el poder aislante del material. Por otra parte esa fase gaseosa está distribuida de muchas formas y esta distribución de poros tiene una marcada influencia en la conductividad como también en muchos casos en la resistencia mecánica. El tamaño y forma de los poros depende del método de fabricación, pues podemos tener poros cerrados, o en otros casos poros interconectados, que aumentan la conductividad. La fase continua de los aislantes determina además la conductividad, siendo la mayoría de ellos silico-aluminatos. Tanto los ladrillos como los paneles aislantes tienen en muchos casos porosidades mayores al 60%, por lo tanto son caracterizados por la densidad aparente. Diversos autores han estudiado la conductividad térmica de materiales aislantes en función de la temperatura y otras características del material [1-2]. Las técnicas de medida de la conductividad se realizan en base a dos métodos normalizados: el primero de ellos emplea

la ley de Fourier [3], el otro se denomina el método del hilo caliente [4], siendo este último más rápido y empleado a más bajas temperaturas. La aplicación de uno u otro ha sido estudiada para diversos materiales [5].

Los materiales aislantes se suelen clasificar de acuerdo al rango de temperatura en el cual se emplean. En el rango de temperaturas intermedias (323K a 800K) donde se incluye la mayoría de los procesos químicos y petroquímicos, prevalecen las condiciones típicas del vapor; este rango es el más importante en la industria de procesos químicos. Los materiales más importantes en este rango por la aplicabilidad son: perlita expandida y silicato de calcio. En este trabajo se estudian y analizan las principales características fisicoquímicas de dichos materiales, tales como resistencia mecánica y deformación. La conductividad térmica fue medida por el método del hilo caliente (hot wire method). Se estudia la conductividad de estos materiales en función de la densidad y la temperatura, obteniéndose correlaciones lineales entre conductividad y temperatura de ensayo. La conductividad puede expresarse como una función de la densidad de los mismos, en un rango de temperaturas de 80 a 340 °C

MATERIALES Y TÉCNICAS EXPERIMENTALES

La wolastonita, es un silicato del calcio (48% CaO, 51.7% SiO₂), que ha recibido mucha atención durante las últimas dos décadas, debido a sus buenas propiedades físicas. En las wolastonita naturales sus composiciones varían de lugar a lugar y, en la mayoría de los lugares presenta impurezas por lo que necesita ser mejorada para su utilización.

El uso de la wolastonita ha aumentado notablemente su empleo en cerámica en los últimos años. En el azulejo para la pared, está el mayor uso de la wolastonita debido a que promueve la uniformidad de dimensiones, baja contracción, buena resistencia, y baja expansión con la humedad. Además la wolastonita disminuye oscurecimiento en cuerpos de azulejos de alta cantidad de arcilla y tiene un potencial para mejorar resistencia con el objetivo de que no se produzcan rajaduras. La mayoría de los beneficios de la wolastonita se relaciona con la disminución en el consumo de energía, es una razón básica para la popularidad súbita de la misma. Se usa como aislantes cerámico para bajos requerimientos térmicos. En otras aplicaciones, como tratamiento de escorias para la industria siderúrgica, la wolastonita está investigándose y esto podría contribuir potencialmente a un aumento de la producción de la misma.

La perlita es un mineral vítreo, volcánico, la cual tienen lustre como una perla y normalmente se encuentran en numerosas capas concéntricas que se parecen en apariencia a la piel de una cebolla. Químicamente, la perlita es esencialmente una mezcla de silicato de aluminio amorfo.

El análisis químico típico es 71-75% SiO₂, 12.5-18% Al₂O₃, 4-5 K₂O, 1-4% sodio, óxidos del calcio, y rastros de óxidos de estos metales.

La perlita también contiene un 2-5% de agua combinada que permite expandir la perlita calentándola. Este proceso crea un material único muy liviano.

La perlita expandida actúa como un aislador térmico y acústico excelente, es resistente al fuego y es un material extremadamente liviano. A menudo estas características combinadas hacen que perlita sea deseable para el uso en varios productos aunque la perlita tiende a ser más caro que muchos otros materiales livianos. La perlita se usa para azulejos, aislamiento de las cañerías, para la pared de yeso (tipos especiales), condicionando hortícola, aislamiento criogénico y medios filtrantes.

Técnica

Existen varios métodos para medir la conductividad, pero método del hilo caliente se destaca entre ellos porque no necesita muestras de formas complejas y además el costo del instrumental no es demasiado elevado. A estas ventajas se le suma la de ser un método absoluto, es decir, no necesita de elementos de comparación. Esto representa una ventaja, ya que dichos elementos de comparación no deben modificar su conductividad térmica frente a sucesivos ensayos.

La seguridad y simplicidad del método ha hecho que se lo tome como método de control para otros métodos absolutos. El método hilo caliente es descrito en la norma DIN 51046 [3]. Es un procedimiento de medición no estacionario basado en el censado del aumento de la temperatura de una fuente lineal de calor incorporada en el elemento a medir.

El método del hilo caliente se usa en materiales cerámicos dieléctricos hasta temperaturas de 1600°C, aunque la mayoría de los equipos operan a una temperatura máxima de ensayo de 700°C. Dicho método está destinado a muestras de ensayo homogéneas, porosas y compactas, así como a materiales pulverulentos, granulares y espumosos inorgánicos. Es apropiado, ante todo, para materia prima y materiales con menor conductividad térmica (λ) que 1,72 Kcal/m h K y una difusibilidad térmica (α) menor que 0,003 m²/h.

Propiedades Físico-químicas de los materiales

La absorción de agua no es deseable debido a que la misma provoca un incremento en los coeficientes de conductividad térmica, generando así un incremento en pérdida de energía, la que se traduce en una pérdida económica. Esto se puede verificar un día de lluvia y días subsiguientes, debido al incremento de la producción de vapor necesario para eliminar el agua absorbida por la aislación. Cabe recordar que dicha instalación no recupera su capacidad total aislante luego de la eliminación del agua.

Tabla 1. Valores de la absorción de agua de los materiales.

MATERIAL	ABSORCIÓN DE AGUA (ASTM C-209)
Silicato de Calcio (S)	77.4%(v/v)
Perlita(P)	5.1%(v/v)

Mientras mayor sea la resistencia a la compresión (Fig. 1), menor será el espesor del aislante requerido; esto se debe a que al comprimirse se reduce su densidad aparente y aumenta su conductividad térmica, lo cual se traduce en un gasto energético mayor. Además se ahorra en la construcción auxiliar que presentan por ejemplo los aislantes fibrosos, la cual representa entre un 3 y un 6% del costo de aislación.

Se observa que si el material va a estar sometido a bajos valores de compresión cualquiera de los dos aislantes responden de buena manera, pero si va a estar sometido a altos valores compresión responde más eficientemente el Silicato de Calcio.

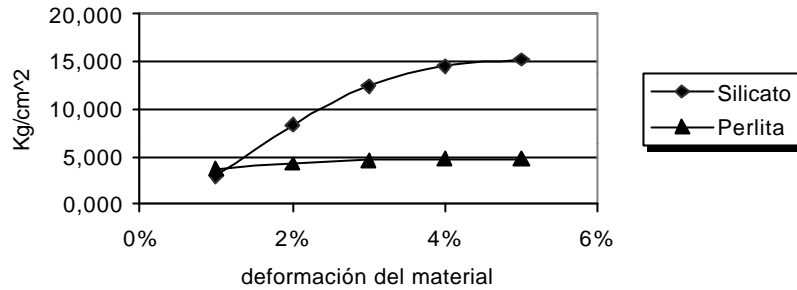


Figura 1. Resistencia mecánica en función de la deformación.

Módulo de Rotura a la flexión:

La resistencia mecánica a la flexión fue medida en probetas prismáticas. Los valores están en acuerdo a lo observado para la resistencia a la deformación, en cuanto a la mayor resistencia del material de silicato. La wolastonita tiene un comportamiento más elástico, en cambio la perlita se comporta como un material quebradizo.

Tabla 2: Resistencia a la flexión de los materiales.

MATERIAL	RESISTENCIA (KPa- ASTM C-203)
Silicato de Calcio (S)	162.3
Perlita(P)	26.2

Antes de medir la densidad de los aislantes fueron introducidos en las muflas de calcinación de probetas con el objetivo de que sea eliminada el agua que pueden tener retenida.

Para tomar la densidad se midieron las dimensiones de las probetas con el objetivo de calcular su volumen, luego se pesaron las probetas en una balanza que pesa al gramo. Con dichos valores se calculo la densidad aparente como masa/volumen.

Medidas de conductividad

Se analizaron materiales de distinta densidad, sin embargo para ampliar el rango de densidades en estudio se elaboraron otros partiendo de las materias primas básicas, generando aislantes de perlita y silicato de calcio de distinta densidad. Para generar ladrillos aislantes a partir de la perlita expandida se uso como aglutinante una solución de silicato de sodio al diez por ciento. La densidad deseada se logro modificando la relación porcentual entre el mineral crudo (más denso) y el mineral expandido. Las placas de silicato de calcio se prensaron con el objetivo de obtener conformados de más de una densidad.

Las probetas se estabilizaron en mufla a una temperatura de calcinación de 400 °C, se midió su densidad y luego se tomo su conductividad a las temperaturas estipuladas.

Los materiales de perlita fueron identificados como: P1 a P7, de densidad creciente. Las muestras de wolastonita se denominaron S1 a S4.

Las mediciones de la conductividad se realizaron a cuatro temperaturas sobre cada material, es decir, a densidad constante. Las temperaturas fueron 80, 149, 260 y 371 °C .

En la Tabla 3 se muestran los valores de la conductividad a distintas temperaturas de los materiales estudiados.

Tabla 3. Medidas de conductividad sobre los materiales en estudio.

MUESTRA	Densidad (g/cm ³)	Conductividad Térmica (w/w K)				Indice de Correlación
		80°C	149°	260°	371°C	
P ₁	0,178	0,063	0,078	0,097	0,114	0,9952
P ₂	0,184	0,070	0,083	0,105	0,120	0,9944
P ₃	0,205	0,074	0,086	0,104	0,123	0,9998
P ₄	0,218	0,071	0,086	0,109	0,119	0,9781
P ₅	0,258	0,083	0,096	0,113	0,123	0,9675
P ₆	0,282	0,086	0,096	0,115	0,127	0,9911
P ₇	0,327	0,088	0,098	0,120	0,134	0,9918
S ₁	0,246	0,080	0,085	0,096	0,104	0,9955
S ₂	0,270	0,085	0,090	0,098	0,108	0,9967
S ₃	0,317	0,085	0,092	0,105	0,114	0,9942
S ₄	0,395	0,091	0,104	0,107	0,116	0,9008

Los valores de conductividad en función de la temperatura considerando densidad constante muestran un comportamiento lineal con índices de correlación superiores a 0,99 (salvo una muestra). Este comportamiento es más común en materiales de baja densidad, sin embargo esta linealidad en muchos casos esta restringida a un rango estrecho de temperaturas. Este comportamiento permite con buena aproximación predecir la conductividad a otras temperaturas dentro del rango de trabajo utilizado

La relación entre la conductividad térmica y la densidad aparente ha sido descripta por la siguiente ecuación exponencial a una temperatura especifica [6].

$$K = a \cdot e^{b \cdot d}$$

K : Conductividad térmica a temperatura especifica.

d : Densidad aparente.

a : Conductividad térmica extrapolada a d=0

b : Exponente

Para el análisis de datos puede transformarse la ecuación anterior en:

$$\ln K = \ln a + b \cdot d$$

Esta ecuación a sido probada válida para hormigones refractarios en determinados rangos de temperatura o densidad [2].

Cuando se grafica el logaritmo de la conductividad como una función de la densidad aparente para los materiales estudiados se puede obtener una relación lineal entre estos valores con coeficientes de correlación dentro de lo aceptable a pesar de que no son tan buenos como en el caso de conductividad en función de la temperatura a densidad constante.

En todos los casos el punto de menor densidad se aparta bastante de la linealidad; en este trabajo fueron tomados todos los puntos, pero si sacamos el punto de menor densidad se observa un gran aumento de los coeficientes de correlación. Una gráfica típica de lo que sucede se observa es la siguiente representación obtenida para la perlita a una temperatura de 260° C (Fig. 2).

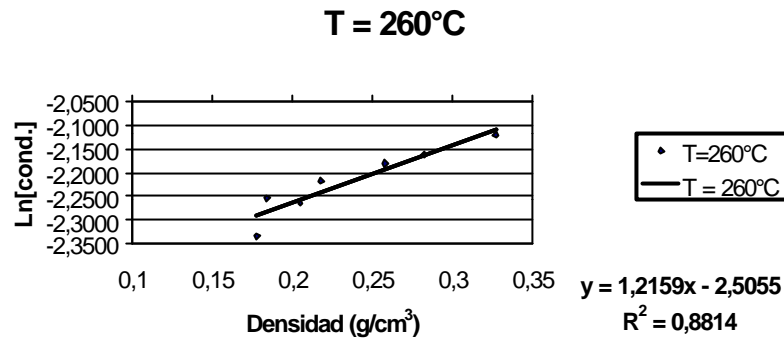


Figura 2. Relación entre conductividad y densidad para los materiales de perlita.

Con las relaciones conductividad-temperatura a densidad constante y conductividad-densidad a temperatura constante, se estableció un programa de cálculo (Fig. 3) para obtener la conductividad de estos materiales entrando con valores de densidad y temperatura.

El error relativo porcentual entre los valores medidos experimentalmente en este trabajo y los valores predichos por el programa de cálculo de la conductividad para los aislantes a base de Perlita se encuentran en el rango de 0-5,9%. Tomando el valor mínimo del error relativo porcentual, por ejemplo a $T= 149^{\circ}\text{C}$ y a densidad $0.218\text{gr}/\text{cm}^3$ (P4), y tomando el valor máximo del error relativo porcentual a $T= 149^{\circ}\text{C}$ y densidad $0.178\text{gr}/\text{cm}^3$ (P1), el error porcentual medio es 2,41%.

El error relativo porcentual entre los valores medidos experimentalmente en este trabajo y los valores predichos por el programa de cálculo de la conductividad para los aislantes en base de Silicato de Calcio se encuentran en el rango de 0-2,63%. Variando el valor mínimo del error relativo porcentual, por ejemplo a $T= 371^{\circ}\text{C}$ y a densidad $0.27\text{gr}/\text{cm}^3$ (S2), y el valor máximo del error relativo porcentual a $T= 371^{\circ}\text{C}$ y densidad $0.317\text{gr}/\text{cm}^3$ (S3), se obtiene un error porcentual medio de 0.67%.

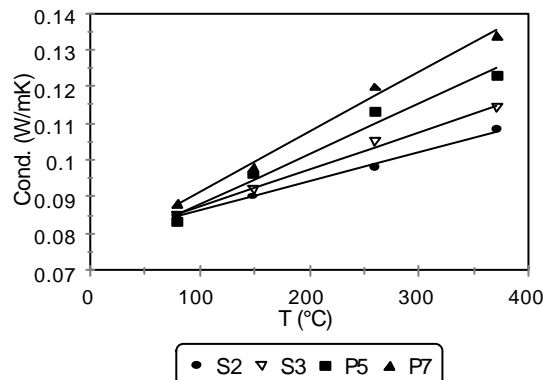


Figura 3. Valores experimentales (puntos) y obtenidos por calculo (líneas) para alguno de los materiales en estudio.

Estos valores obtenidos dan una buena predicción del valor de conductividad, a pesar de que las correlaciones logarítmicas de ésta en función de la densidad aparente a temperatura constante no son del todo buenas.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio que permite obtener el valor de la conductividad para aislantes de Perlita y Silicato de Calcio en función del estado en que se encuentran (densidad aparente), y la temperatura a la que están trabajando con un error aceptable. Los valores de conductividad obtenidos como resultado de este trabajo son muy útiles para ser usados en cálculos aproximados.

Con respecto a los valores de conductividad obtenidos para los distintos materiales y a distintas densidades aparentes, a temperaturas prefijadas se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Los materiales aislantes a base de Perlita y Silicato de Calcio muestran un comportamiento aproximadamente lineal de la conductividad en función de la temperatura lo que se ve reflejado en los coeficientes de correlación.

El aumento de la densidad aparente, para un mismo material, conduce a un sensible aumento de la conductividad térmica.

A mayores temperaturas se hace más fuerte la influencia de la densidad aparente.

A medida que aumentamos la temperatura, a densidades similares, los materiales aislantes a base de Silicato de Calcio presentan mejores valores de conductividad térmica que los materiales aislantes a base de Perlita.

REFERENCIAS

1. M.S. Crowley, J.S. Young. Thermal conductivity of monolithic refractories. Am. Ceram. Soc. Bull., 67 (7), 1196-1200, 1989.
2. G.R. Bonn. Thermal conductivity of refractory castables. Interceram, 3, 24-33, 1988.
3. Deutsche Normen, DIN V 51046 T. (Norma alemana para la determinación de la conductividad térmica.), August, 1976.
4. Standard test method for: Thermal conductivity of refractories. ASTM C201-68. Reapproved. 1979.
5. L. Hageman, E. Peters. Thermal conductivity-comparison of methods:ASTM method-hot wire methods and its variations. Interceram, 31 (2), 131-35, 1982.
6. R.W. Wallace, G.H. Criss. Thermal conductivity of castable refractories in relation to bulk density. Am. Ceram. Soc. Bull., 47 (2), 176-179, 1968.