

**PROTOTIPO PARA DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN
SOLIDOS, HACIENDO USO DE LA TARJETA DE SONIDO DE UN
COMPUTADOR Y EL SOFTWARE OSCILLOSCOPE 2.51.**

**MARÍA CLAUDIA ROSADO MENDOZA
SANDRA LIZATTE BARBOSA ABRIL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

**PROTOTIPO PARA DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN
SÓLIDOS, HACIENDO USO DE LA TARJETA DE SONIDO DE UN
COMPUTADOR Y EL SOFTWARE OSCILLOSCOPE 2.51.**

**MARÍA CLAUDIA ROSADO MENDOZA
SANDRA LIZATTE BARBOSA ABRIL**

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Químico**

**Director:
M.Sc. JOSE CARLOS GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

En este trabajo quiero hacer un sencillo homenaje a quienes contribuyeron en la formación profesional y humana a lo largo de este proceso, sus valiosos aportes han significado el cumplimiento de logros importantes, en particular:

Agradezco a Dios que todo lo ha hecho posible y quien dispuso estuviere en esta hermosa actividad de sorprenderme aprendiendo.

A mi padre LUIS FOCION BARBOSA, quien en cada desafío hizo su mayor esfuerzo para que pudiese alcanzar la meta; con el conocí lo que es el amor verdadero.

A mi madre SILVIA HELENA ABRIL, quien me recordó la importancia que tiene el no desviarse del objetivo y en momentos de adversidad me mostro una solución

A mis hermanos DIEGO FERNANDO, LINA MARÍA Y JULIÁN ALEJANDRO, quienes me enseñaron la diversidad de la vida.

A LIGIA, quien me enseñó que todo en la vida requiere un gran esfuerzo cuando este vale la pena.

A mis tías SONIA y NURY por su constante preocupación

A mi tío HOLLMAN y familia por su ejemplo de tenacidad y amor

A JACKSON ERMINZUL quien me acompañó en circunstancias difíciles y prosperas, a él y a su familia por su compañía incondicional.

A mi compañera MARÍA CLAUDIA ROSADO por su gran trabajo en equipo y madurez a la hora de enfrentar retos

A mis queridos amigos, quienes con cada particularidad forman un todo cada vez más interesante.

Sandra Lizatte Barbosa Abril

DEDICATORIA

A quien debo mi existir y todas las maravillas de mi vida, DIOS; el ser que ha permitido mis triunfos y lecciones en las derrotas, ha enviado ángeles en forma de personas que me han animado para no desfallecer, y tener siempre en cuenta nunca debo cambiar el objetivo o la meta sino el camino para llegar a ella.

A mis padres JUANA MENDOZA y GIOVANY ROSADO, el amor más grande y puro que tengo, mis ejemplos de vida, quienes siempre me han recalado la importancia de los valores, del amor a Dios, el respeto por los demás, la honestidad, la perseverancia, para lograr todo lo que se desee alcanzar.

A MARY CARMEN, LUIS FELIPE, GIOVANNA y GIOHANNA, por llenarme el corazón y enseñarme que los hermanos también pueden ser tus mejores amigos.

A mi abuela ASCENCIÓN DE MENDOZA, que amo con todo mi corazón, gracias por tenerme siempre presente en tus oraciones, Dios te de vida y salud abuelita, para seguir teniéndote a mi lado.

A la señora IRMA INÉS NÚÑEZ, mi angelito de carne y hueso, con quien estaré eternamente agradecida y deseo las mayores bendiciones, por brindar su sabiduría de la vida, a esa niña que llego a su hogar con el sueño de ser ingeniera, y hoy está a punto de lograrlo; a su familia por ese cariño sincero.

A mi amiga y compañera en este trabajo SANDRA LIZATTE BARBOSA, por ser un buen complemento para hacer las cosas lo mejor posible y a quien deseo muchos éxitos en los nuevos retos de vida que se avecinan.

A todos mis familiares y amigos por llenarme de bonitos momentos, Dios los bendiga.

María Claudia Rosado Mendoza

AGRADECIMIENTOS

A los técnicos LUIS EDUARDO CARREÑO, WILSON EDUARDO CARREÑO, ADOLFO HERNÁNDEZ GARCÍA y JUAN DOMINGO CARREÑO, por su oportuna ayuda en circunstancias difíciles, gracias a su colaboración la toma de datos pudo ser rápida y efectiva.

A los M.Sc. OMAR GUERRA FERNANDEZ y ALEXANDER QUITIAN ARCINIEGAS, por la orientación brindada en el manejo de los conceptos de bases del trabajo de investigación.

Al Químico ENRIQUE MEJÍA, docente (UIS), por sus asesorías en la calibración de termistores y obtención de valores de conductividad térmica.

Al Físico GERSON REINA MEDRANO, por su asesoría en la analogía eléctrica.

Al estudiante de Química (UIS) NELSON GUTIÉRREZ, por su asesoría en el programa visualizador de frecuencia OSCILLOSCOPE y el montaje del circuito 555.

Al Ing. Civil JACKSON MONROY y la Química YARIDE PACHECO por el apoyo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN	18
1.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	21
1.2.1. Metales y sus aleaciones.	22
1.2.2. Materiales aislantes	22
1.3 MÉTODOS USADOS PARA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	23
1.4 FLUJO DE CALOR - POTENCIA ELÉCTRICA	25
1.4.1. Ley de ohm	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	33
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS	37
3.1. MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SIN SISTEMA ELECTRÓNICO.	37
3.1.1 Elección del material patrón	39
3.2 MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA CON SISTEMA ELECTRÓNICO	40
4. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO Y ANÁLISIS DE PROPAGACIÓN DE ERRORES	45
5. CONCLUSIONES	47
6. RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	54

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Componentes de la interfaz.	32
Tabla 2. Distancia entre placa-termistor 1 y termistor 1-2.	42
Tabla 3. Determinación de la conductividad térmica del mármol (material patrón), a partir de las mediciones utilizando el sistema electrónico.	43

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Determinación de la $k = f(T)$ del mármol (material patrón) obtenido con el montaje previo y modelo empírico de Zoth & Hanel.	39
Gráfica 2. Frecuencia generada por la interfaz vs Temperatura del termistor (1) ntc- 10 K Ω , durante el calentamiento en baño de aceite.	40
Gráfica 3. Frecuencia generada por la interfaz vs Temperatura del termistor (2) ntc-10 K Ω , durante el calentamiento en baño de aceite.	41
Gráfica 4. Comportamiento de $k = f(T)$ del mármol (material patrón) obtenido con el sistema electrónico.	44
Gráfica 5. Comportamiento de $k = f(T)$ del mármol (material patrón) obtenidos con el montaje previo/ montaje con s.e / modelo empírico de Zoth & Hanel.	45

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Soporte experimental	54
Anexo B. Fichas de Seguridad	70

RESUMEN

TÍTULO: PROTOTIPO PARA DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN SÓLIDOS, HACIENDO USO DE LA TARJETA DE SONIDO DE UN COMPUTADOR Y EL SOFTWARE OSCILLOSCOPE 2.51*

AUTORES: MARIA CLAUDIA ROSADO MENDOZA, SANDRA LIZATTE BARBOSA ABRIL**

PALABRAS CLAVE: tarjeta de sonido, conductividad térmica, termistores, integrado 555.

La importancia de determinar la conductividad térmica radica, en que es un parámetro clave para la industria, en el diseño y desarrollo de nuevos materiales, que permitan una mayor eficiencia en la conservación y generación de calor.

El proyecto de investigación, presenta el desarrollo de un prototipo como alternativa para la determinación de la conductividad térmica en sólidos en los laboratorios de investigación de la Universidad Industrial de Santander, este es un mecanismo simple de diseñar. Se realizaron estudios previos, sobre transferencia de calor por conducción y principios básicos sobre eléctrica y electrónica, los cuales permitieron establecer el montaje propuesto, posteriormente se llevaron a cabo mediciones de temperatura, que permitieron fijar a través de correlaciones empíricas el valor de la conductividad térmica, a continuación, se incorporó un sistema electrónico, que consta de una interfaz de baja potencia conformada por un integrado 555, con acople a la tarjeta de sonido de un computador, que permite visualizar a través de un software llamado OSCILLOSCOPE; valores de frecuencia que son proporcionales a los valores de temperatura durante el calentamiento del material, lo anterior hace posible una manipulación práctica de los datos obtenidos en el estudio, en los cuales se basa el análisis del comportamiento del material durante la transferencia de calor, para mejorar sus propiedades térmicas de acuerdo a los requerimientos. Por último, se realiza una validación del prototipo, mediante la comparación de los resultados obtenidos con respecto al propuesto por otros autores, a partir de lo cual se concluyó que el prototipo es una alternativa potencial para la determinación de conductividad térmica en sólidos, porque arroja valores cercanos al rango y es posible mejorar la confiabilidad de sus mediciones utilizando un software de mejor sensibilidad en estudios posteriores.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Director: José Carlos Gutiérrez, M.Sc.

ABSTRACT

TITLE: PROTOTYPE FOR DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY IN SOLIDS, MAKING USE OF CARD SOUND OF A COMPUTER AND OSCILLOSCOPE SOFTWARE OSCILLOSCOPE 2.51*

AUTHORS: MARIA CLAUDIA ROSADO MENDOZA, SANDRA LIZATTE BARBOSA ABRIL**

KEY WORDS: sound card, thermal conductivity, thermistors, circuit 555.

The importance of thermal conductivity determination is that it is a key parameter for industry in the design and development of new materials, to give better efficiency in the heat conservation and generation.

This research presents the development of a prototype as an alternative for the determination of thermal conductivity in solid at Universidad Industrial de Santander's research laboratories, this is a simple mechanism for designing. Previous studies on heat transfer by conduction and basic principles in the electrical and electronics area that allowed establishing the assembly proposed efficiency. Subsequently temperature measurements that allowed set the value of thermal conductivity through empirical correlations, an electronic system composed by a low power interface consisting in a 555 integrated with coupling to the soundcard of a computer, which allows viewing through a software called OSCILLOSCOPE joined, relating the frequency values that are proportional to temperature values during the material heating process and in that way, being able of using them easily to improve material properties and analyze their energy transfer deficiencies in the manufacture or use. Finally, a prototype validation is performed by comparing the results obtained with respect to that proposed by others, from which was concluded that the prototype is a potential alternative for the determination of thermal conductivity in solids, because casts values close to the range and possibilities for improving the reliability of their measurements using software better sensitivity in future studies.

* Undergraduated project

** Physical and Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering Department. Director: José Carlos Gutiérrez. Chemical M.Sc.

INTRODUCCIÓN

En ingeniería es objeto de investigación constante, el análisis y determinación de las propiedades termofísicas de los materiales, con el fin de optimizar su desempeño en el diseño y operación de los equipos empleados en laboratorios de investigación y a nivel industrial, para obtener ahorro en el consumo energético de los sistemas de transporte, distribución de calor y energía eléctrica, que es un aspecto fundamental en el desarrollo de la ciencia y la tecnología [29].

En numerosos procesos industriales se trabaja para incrementar la conducción de calor, utilizando materiales que posean elevada conductividad térmica; mientras que en otros, se desea reducir el efecto de la conducción, por lo tanto se emplean materiales de baja conductividad térmica, vacíos intermedios dispuestos en configuraciones con poca área de contacto; para las situaciones anteriormente descritas asociadas a los procesos es necesario conocer previamente valores de conductividad térmica en los materiales. Ante las necesidades requeridas de conservación o generación de calor, se recurre a tratamientos fisicoquímicos para diseñar nuevos materiales o realizar modificaciones en la estructura de un material base, con el propósito de mejorar propiedades, como la conductividad térmica, que evidencia la tendencia del comportamiento del material frente a los eventos de transferencia de calor.

El objetivo de este trabajo, es el montaje de un prototipo sencillo basado en la ley de Fourier, el efecto joule y el método de placa caliente, que incorpora un sistema electrónico (sensores, interfaz y software), el cual simplifica la adquisición y el procesamiento de datos, para determinar el comportamiento de la conductividad térmica en sólidos con respecto a la temperatura, lo cual contribuye con la identificación de sus características como aislante o conductor térmico.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan aspectos generales sobre transferencia de calor por conducción, que permiten comprender el concepto de conductividad térmica y su dependencia con respecto a la naturaleza del material en estudio, también se nombran algunos métodos propuestos para la determinación de la conductividad térmica y por último se analiza la analogía eléctrica y térmica

1.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por conducción es el transporte de energía interna en forma de calor por contacto íntimo entre cuerpos a diferentes temperaturas, o en zonas de un mismo cuerpo; en el cual existe un gradiente de temperatura [6]. La variación más evidente de temperatura por unidad de longitud se obtiene en la dirección normal a la superficie isoterma, un incremento de temperatura en esta dirección es dependiente del gradiente de temperatura; el cual es un vector perpendicular a la superficie isoterma y positiva en el sentido de las temperaturas crecientes. El valor de conducción será mayor en cuanto la distancia sea menor.

A medida que se calienta el material debido a la influencia térmica de una fuente de calor con temperatura variable, se va formando un perfil de temperatura con el ΔT (gradiente de temperatura) vs el ΔY (gradiente de distancia entre puntos de medida de temperatura en dirección Y) en estado estacionario (equilibrio térmico) donde, existe una velocidad constante de flujo de calor q a través de la placa que mantenga la diferencia de temperaturas (ΔT); este perfil posee una pendiente que indica la magnitud de la velocidad con la que se transfiere el calor por unidad de área a través del material, normalmente conocida como conductividad térmica.

Toda la teoría de transmisión de calor por conducción está fundamentada en los trabajos de investigación empírica de Fourier. Empleando la relación que establece en su ecuación de calor, teniendo datos de variación de temperatura

con respecto, a datos de variación de distancia entre puntos estratégicos de medida y el flujo de calor que circula a través del área transversal del material, se puede hallar la conductividad térmica de la pieza (el signo negativo de la ecuación es debido a que el calor se transfiere en la dirección en la que disminuye la temperatura) [7].

Ley de Fourier

$$q_y = -kA \frac{dT}{dy}$$

q_y = flujo de calor en dirección Y (W).

k = conductividad térmica ($W m^{-1} K^{-1}$).

$\frac{dT}{dy}$ = es la variación de la temperatura con la distancia entre puntos de medida.

A = Área de sección transversal del material (m^2).

La transferencia de calor en el material de interés se realiza como lo muestra la figura 1.

En un medio isótropo en el que la transferencia de calor en las tres direcciones del espacio es la misma en un punto dado, puede escribirse una ecuación análoga para cada una de las tres direcciones coordenadas:

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \qquad q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \qquad q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}$$

Estas tres relaciones corresponden a los componentes de la ecuación vectorial:

$$q = -k \Delta T$$

Correspondiente a la forma tridimensional de la ley de Fourier. Ésta establece que el vector densidad de flujo de calor q es proporcional al gradiente de temperatura ΔT . En un medio isótropo el calor fluye por conducción en la dirección en que el descenso de temperatura es más pronunciado; En este caso la diferencia de temperatura se da entre planos perpendiculares al eje Y causando el transporte de energía en la dirección Y. Ya que la placa es más delgada en la dirección Y que en la dirección X y Z, las pérdidas son despreciables en los extremos perpendiculares a los ejes X y Z. De esta forma q_x y q_z son cero. En general la

velocidad de conducción de calor en cualquier punto en un material se caracteriza por un vector de flujo de calor q este puede ser determinado en componentes a lo largo de los tres ejes coordenados. Sin embargo, se puede ignorar la naturaleza vectorial de q y considerar solo su componente escalar Y para un simple caso de conducción unidimensional de calor [6], por tanto Y es la dirección en la que se estudia el fenómeno de transferencia de calor para todos los materiales empleados durante el desarrollo de este proyecto, considerando que al estudiar la propagación en una dirección para un medio uniforme se tiene información de todas las direcciones en las cuales debe tener un comportamiento similar la transferencia. En el caso particular de la madera, esta es una dirección donde se obtendrá menor valor de conductividad térmica, con respecto a otras direcciones; el transporte del calor por conducción, tropieza con menores resistencias en la dirección de las largas moléculas en cadena de celulosa, que ortogonalmente a ellas [1].

Ley de Fourier

$$q_y = -kA \frac{dT}{dY}$$

$$Q = \frac{q_y}{A} = -k \frac{dT}{dY}$$

Q = Densidad de flujo de calor (W/m^2).

Figura 1. Dirección de la transferencia de calor a través de la muestra.



1.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica se refiere a la capacidad para conducir el calor, la cual depende de la estructura microscópica del material; esta es elevada en metales y es baja en los gases (a pesar de que en ellos la transferencia puede hacerse a través de electrones libres), en materiales iónicos y covalentes ya que estos últimos carecen de electrones libres pues sus iones positivos y negativos están estrechamente unidos entre sí mediante fuerzas de naturaleza electrostática [25], siendo muy baja en aislantes térmicos; como la fibra de vidrio. El parámetro fundamental en el estudio de la conductividad térmica de materiales es su porosidad, pues los gases presentes en los poros pueden dar lugar a transmisión de calor por otras formas distintas a la conducción, como lo es la convección (transporte de calor por medio del movimiento del fluido, este mecanismo de transmisión solo se presenta en los líquidos y en los gases). La constante de proporcionalidad k presente en la ley de Fourier es la conductividad térmica; sin embargo, la conductividad térmica no es constante, es una función de la temperatura para todas las fases y en líquidos y gases depende también de la presión, especialmente cerca al estado crítico, para materiales como la madera y los cristales varía también en forma evidente con la dirección. Esta es una de las propiedades de transporte de los materiales [6].

La conductividad térmica depende de la cantidad de calor (q), el espesor en dirección de la transferencia, el área transversal del material, y el tiempo; en este caso el tiempo es ignorado porque se establecieron condiciones de estado estacionario. En las rocas además, las propiedades térmicas están delimitadas por el tamaño y forma del mineral, micro grietas, la presencia de poros y el agua contenida en ellos; la piedra pómez que aporta mínima conductividad térmica, mejora la eficiencia energética de los edificios proporcionando un mejor aislamiento [36].

A continuación, se especifica el comportamiento conductivo de algunos de los materiales mayormente usados en la industria:

1.2.1. Metales y sus aleaciones.

En metales el desplazamiento de los electrones libres produce la transmisión de calor y por lo tanto la igualación de la temperatura al pasar de las zonas calientes a las frías. Debido a que los electrones son portadores de calor y electricidad se deduce que un buen conductor de la electricidad también lo será del calor [21]. En los metales un aumento de la temperatura provoca aumento de la dispersión de la nube electrónica, esta es la causa de la disminución del valor de la conductividad con la temperatura. En el caso de las aleaciones entre dos metales, la conductividad térmica suele ser mucho más baja que la de cualquiera de ellos, la integración de los dos metales aunque por si mismos sean buenos conductores, perturban gravemente la transferencia de calor [9].

1.2.2. Materiales aislantes

Un material aislante es una sustancia de estructura fibrosa que encierra, en su interior, un gas (aire en general), formando celdillas. Son estas células de gas ocluido las que determinan el carácter de aislante, dado el bajo valor del coeficiente de conductividad en los gases [21].

Principales razones para el empleo de los materiales aislantes:

- Ahorro energético, disminuyendo el traspaso de calor por conducción.
- Control de temperatura, limitando el cambio de temperaturas de un fluido en canalización o depósito.
- Anticorrosión, evitando condensaciones sobre superficies frías.
- Protección antihielo; retardando la solidificación de un fluido.
- Seguridad, evitando que las altas temperaturas entren en contacto con el personal de trabajo.

1.3 MÉTODOS USADOS PARA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Los principales métodos empleados para determinación de conductividad térmica en materiales son: el método de la placa caliente guardada (Método C.177 85 de la ASTM) y el método del medidor de flujo de calor, se diferencian en que el primero es un método absoluto y el segundo un método relativo, es decir, está basado en una calibración previa del equipo realizada con un material cuya conductividad térmica es conocida. El método más establecido actualmente es el del equipo medidor de flujo de calor debido fundamentalmente a la rapidez con la que se realizan las medidas por ende se escogió este para el presente estudio [23]. Ejemplos de prototipos para determinación de conductividad térmica:

- **DISPOSITIVO PARA DETERMINAR CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS [28]:** Este método utiliza un microscopio de infrarrojo para la medición de la temperatura. Al igual que en el presente proyecto se realiza una medición comparativa utilizando valores de conductividad térmica ya establecidos. Este método tiene una incertidumbre estándar relativa de aproximadamente 10% y es una variación de la ASTM E 1225-87 [8].

- **MEDICIONES TERMOFÍSICAS. MEDIDA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES TERMOAISLANTES PARA LAS CONSTRUCCIONES [20]:** Presenta un sistema de medición con un ordenador para determinar la conductividad térmica de los materiales de construcción que se basa en una ITSM-1. El aparato consiste en un ITSM industrial para conductividad térmica y un sistema de medición virtual. El ITSM-1 está adaptado para el análisis de muestras en forma de placas con una superficie de 625 cm^2 y una altura de 1.10 cm. El calor se suministra a través de los extremos superior e inferior de las placas. Inicialmente, la muestra está a temperatura ambiente. En algún momento, la temperatura se eleva linealmente, hasta alcanzar el valor especificado. El sistema de medición virtual consta de un ordenador personal, una interfaz y un embalaje

de programas de aplicaciones. La interfaz incluye un conmutador analógico de 16 canales; un ADC, que convierte las tensiones que son proporcionales a los flujos térmicos y la diferencia de temperatura a código digital y coincide con los niveles de las señales de salida al ordenador; los circuitos que permiten que las señales de control y las temperaturas se establezcan de forma interactiva con el ITSM-1, y un decodificador de direcciones. Las señales analógicas procedentes de los sensores de temperatura se envían a través de preamplificadores a los sistemas de control de temperatura y la temperatura de medición de la ITSM-1. Una de las señales pasa a través del conmutador analógico al ADC y a través de un bus de datos de 16 bits al ordenador para su procesamiento. La pantalla muestra las dependencias de tiempo de los valores de medida, los flujos térmicos a través de la bordes inferior y superior de la muestra y la diferencia de temperatura en sus superficies. La conductividad térmica k de un material estándar se utiliza para la calibración y determinar la conductividad térmica de un espécimen desconocido. Las unidades relativas, normalizadas para valores más altos se muestran en el monitor, se representan gráficamente frente al tiempo desde el inicio del experimento. La conductividad térmica es determinada cuando el sistema es estable. Los resultados se ven afectados aparentemente por errores en el registro de la temperatura por el sistema de sensores de la placa de calor y las fugas a través de las superficies laterales. Este prototipo se puede utilizar para determinar la conductividad térmica de los materiales dentro de 0,1-1,5 W/m^{°C}, en el rango de temperatura de -40 a 50°C. El sistema reduce el tiempo de experimento y facilita la adquisición y procesamiento de datos.

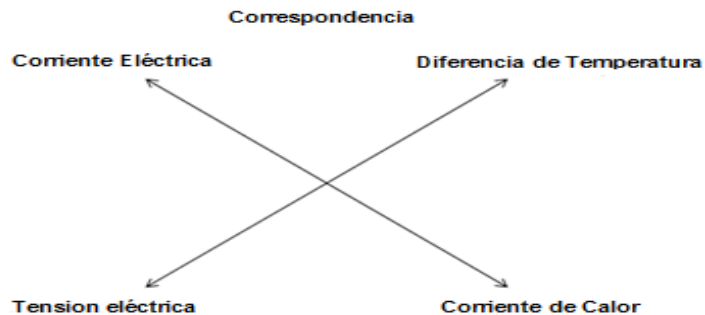
- **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE PLACA CALIENTE GUARDADA PARA MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES DE AISLAMIENTO [14]:** Aparato de placa caliente guardada diseñado para caracterizar muestras de alto espesor (de hasta 40 cm). Se aplica el Método de GHPEI tradicionalmente reconocido como el único método absoluto para la medición de conductividad térmica en el estado de equilibrio de materiales

homogéneos capaz de lograr una incertidumbre en la medición mundial por debajo de 2%. Su principio es el de reproducir flujo térmico uniforme, unidireccional y constante a una muestra homogénea atrapada entre dos placas. Un plato caliente calentado eléctricamente que se mantiene a temperatura T_h y un plato frío que se mantiene a una menor temperatura T_c . El calor disipado por el efecto Joule en el plato caliente viajaría a la placa fría a través de la muestra. Todas las transferencias térmicas no deseadas son efectivamente canceladas. La placa caliente se separa así en dos partes: una zona del calentador (o zona de medición) de área conocida, y un anillo de protección adyacente. Un pequeño espacio que separa las dos zonas y una termopila se utiliza a menudo para controlar la diferencia de temperatura entre estos. Como el calor producido en la placa de medición fluiría unidireccionalmente hacia la placa fría. Todos los otros flujos de calor son eliminados. El dispositivo GHP fue diseñado para medir conductividad térmica para la elaboración de materiales de construcción con resistencia térmica que van desde 0,1 a 15 $m^2 \cdot ^\circ C/W$. En la práctica, la principal limitación es la potencia máxima que la placa de calefacción es capaz de dar, es decir, 1 W. Para una diferencia de temperatura de 10 $^\circ C$ entre la placa caliente y fría, la resistencia térmica de la muestra se limita en el rango inferior a 0,225 $m^2 \cdot K/W$. En paralelo, la resistencia térmica es limitada en el rango superior por el nivel de ruido del sistema de adquisición para el calentador de potencia disipada. Pequeña diferencia de temperatura entre el calor y el frío placa induce pequeña disipación de potencia en el plato calentado.

1.4 FLUJO DE CALOR - POTENCIA ELÉCTRICA

Cuando el sistema que se estudia presenta conducción de calor estacionaria unidireccional, con conductividad térmica constante puede establecerse una analogía entre la conducción de calor (Ley de Fourier) y la potencia eléctrica entregada por una placa metálica de calentamiento [6].

Figura 2. Correspondencia eléctrica Ley de Ohm- Ley de Fourier.



Fuente: Transferencia de calor [9]

1.4.1. Ley de ohm

La ley de Ohm establece, que la intensidad de corriente que circula por un circuito dado es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo. Donde, I es la corriente que pasa a través del objeto en amperios, V es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios, G es la conductancia en siemens y R es la resistencia en ohmios (Ω). Específicamente, la ley de Ohm dice que R en esta relación es constante, independientemente de la corriente [18].

$$I = GV = \frac{V}{R} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Figura 3. Paralelo ley de Fourier y ley de Ohm.

LEY DE FOURIER	LEY DE OHM
<p>El flujo de calor por conducción en un medio en el que las magnitudes físicas no cambien con la dirección es proporcional y de sentido contrario al gradiente de temperatura en esa dirección [9]. De forma vectorial:</p> $q = -k\nabla T$	<p>La intensidad de la corriente que viaja entre dos puntos de un circuito eléctrico es proporcional a la tensión eléctrica entre estos puntos. la constante que permite la proporcionalidad es la conductancia eléctrica, que es la inversa de la resistencia eléctrica [31].</p> $I = GV = \frac{V}{R}$

Fuente: Transferencia de calor – Electrónica digital principios y aplicaciones [9,31]

Para los cálculos de conductividad térmica se establece la ecuación general:

$$Pe = I * V \quad \text{Ecuación (3) [9,23]}$$

$$Pe = Q = -k_y * A \frac{\partial T}{\partial y} \quad \text{Ecuación (4) [9,23]}$$

Pe= Potencia electrica

Q =Densidad de flujo de calor

Debido a que la intensidad de corriente y el voltaje que definen la potencia eléctrica, son basados en corriente continua, para hacer cálculos con corriente alterna es necesario utilizar el concepto de valor cuadrático medio (rms), para el voltaje y la intensidad corriente. El valor cuadrático medio del voltaje y la intensidad de una corriente de alterna, es aquel valor que aplicado sobre una resistencia tiene la misma eficacia térmica que una continua, lo cual produce la misma disipación de calor (eroga la misma potencia) que una corriente continua de dicho valor [19].

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{Ecuación (5) [18]}$$

$$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Ecuación (6) [18]

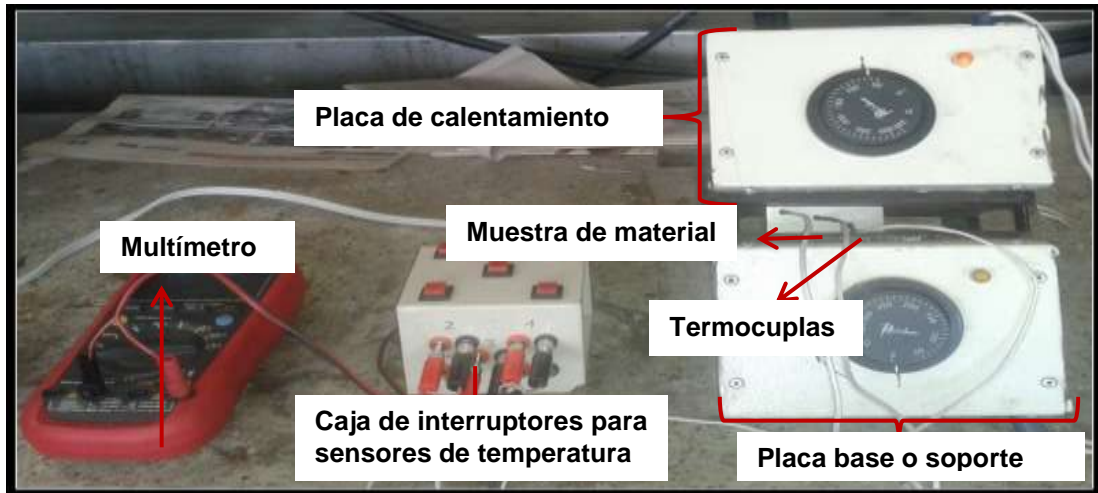
Efecto Joule: Si por un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor; debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo; razón por la que los aparatos eléctricos y electrónicos necesitan un ventilador que disipe el calor generado y evite el calentamiento excesivo de los diferentes dispositivos. La energía absorbida por un conductor al ser recorrido por una corriente eléctrica se transforma íntegramente en calor [34].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El prototipo para la determinación de conductividad térmica en sólidos, propuesto en este proyecto de investigación, está basado en el método de placa caliente; el montaje del prototipo se realizó en dos partes:

- **Montaje previo:** Consiste en la disposición de una placa de calentamiento construida en hierro (que va conectada a la corriente eléctrica), una placa del mismo metal que solo se usa como soporte y una muestra de material sólido caracterizado ubicado entre ambas placas [16]; en el cual se genera un gradiente de temperatura al estar en contacto con una zona de alta temperatura (placa caliente) y zona de baja temperatura (placa de soporte: placa fría o a temperatura ambiente) durante la medición. La placa de calentamiento cuenta con un control de temperatura manual que permite ajustar el valor de temperatura en el rango de 50-200°C, con una sensibilidad ± 2.0 °C; al seleccionar la temperatura deseada para calentar la muestra de material, el control enciende la luz de un bombillo que indica que el calentamiento ha iniciado, la luz se apaga inmediatamente que la placa alcanza la temperatura deseada (llega al estado estacionario=equilibrio térmico), esta permanece constante y uniforme en toda la superficie. La muestra de material, tiene en su cara frontal una serie de orificios escalonados, en los cuales se colocaron termocuplas tipo K; las cuales fueron conectadas a una caja de interruptores, y está a un multímetro digital UNI-T UT-61B, para medir la variación de la temperatura en distintos puntos de su superficie, al ir aumentando la temperatura de la placa de calentamiento en un rango entre 60-200°C; las mediciones se realizaron una vez se estabilizaba la temperatura de la placa. Empleando una pinza amperimétrica AVC electronics U266, se hicieron las lecturas de voltaje y corriente, a las cuales se les calculo el valor cuadrático medio, para determinar la potencia eléctrica que la placa entrega en forma de calor a la muestra de material durante la experimentación.

Figura 4. Montaje previo para determinación de conductividad.



MATERIALES DE PRUEBA

Los materiales escogidos para realizar las pruebas del prototipo sirvieron para comprobar su funcionamiento, gracias a la comparación de los valores de referencia de estos materiales y los valores obtenidos con el montaje. Las conductividades térmicas de referencia se determinaron en pruebas efectuadas por medio de distintos métodos, en los cuales existe la constante en las condiciones de entorno como temperatura: 25°C y humedad relativa de: 70%, esto permite enfocar las diferencias entre las conductividades únicamente en el método de obtención. Los materiales empleados fueron:

- **Piedra pómez.**
- **Madera de pino.**
- **Mármol.**
- **Aleación aluminio-silicio.** Contenido 87% Aluminio-13% Silicio [29].

Precedente a la experimentación se estudiaron las propiedades térmicas de los materiales, lo cual permitió su elección [30], por lo que se pretendía someter el montaje a eventos en los cuales la transferencia de calor fuese apropiada como en el caso del aluminio, regular como en el mármol (de las piedras naturales con alta

densidad de energía y excelente conductividad térmica que existe y de las mejores piedras para absorber grandes cantidades de calor rápidamente) y eventos en los cuales la transferencia fuese mínima como lo es la madera y piedra pómez. La madera se escogió porque es un caso muy interesante debido a la anisotropía que presenta; esta particularidad hace que el estudio de sus propiedades sea complejo lo cual se pudo corroborar en la experimentación; analizando como la influencia de las condiciones de entorno (humedad y temperatura), la densidad, contenido de humedad de la muestra, contenido de extractos, dirección del grano (arreglo celulítico), las irregularidades estructurales tales como cheques y nudos, ángulo de fibrillas y temperatura, la porosidad que presenta afecta la respuesta del material frente al transporte de energía [28].

- **Montaje con incorporación de sistema electrónico:** Consta de los componentes utilizados en el montaje previo a excepción de las termocuplas; además del sistema de adquisición de datos que se divide en 3 partes: sensores, interfaz y software.

- **Sensores.** Para el prototipo se eligieron termistores como sensores de temperatura. Los termistores responden a una variación de la temperatura, dependiendo si son NTC o PTC [21,30]. En el caso de este montaje se utilizaron del tipo NTC, los cuales ante un incremento de temperatura disminuyen su valor de resistencia eléctrica. Se utilizaron en el montaje 2 termistores NTC de 10 Kohmios, comprados en: ***ELECTROBIOMEDICAL S.A.S. CRA 10 N°20-19 OF.1020 –BOGOTA-COLOMBIA.***

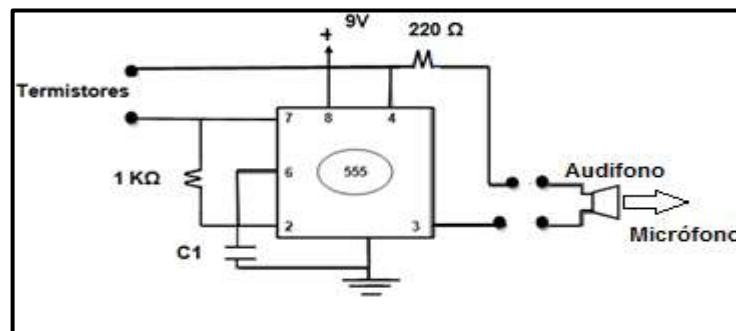
- **Interfaz.** Dispositivo de baja potencia que transforma cambios de resistencia eléctrica de los termistores a una señal de audio que varía su frecuencia e ingresan al computador a través de la tarjeta de sonido [11]. Algunas aplicaciones de esta interfaz son: termómetro digital [4], sensor electrónico para gases [15] y medidor meteorológico [5].

Tabla 1. Componentes de la interfaz.

INTERFAZ	
Componentes	Especificación
Circuito integrado 555- base	Generador de señal de audio
Placa de prueba	Placa de baquelita universal
Resistencias	<ul style="list-style-type: none"> • 220 Ω • 1 KΩ ;con 1/2 W de potencia
Condensador cerámico	0,1 μ F y 100V.
Pila-portapila	9V
Audífono – Micrófono	
Tarjeta de sonido	HP Pavilion g4-1270la Notebook pc

Los termistores que van variando su resistencia a medida que se va aumentando la temperatura de calentamiento de la muestra de material, se conectan a la interfaz de baja potencia, donde se genera una frecuencia audible emitida por un audífono, la cual es captada por el micrófono aislado con espuma, para contrarrestar las perturbaciones del entorno. La frecuencia es monitoreada por medio del software OSCILLOSCOPE 2.51 [24, 31].

Figura 5. Circuito de la interfaz de baja potencia para la generación de frecuencias audibles.

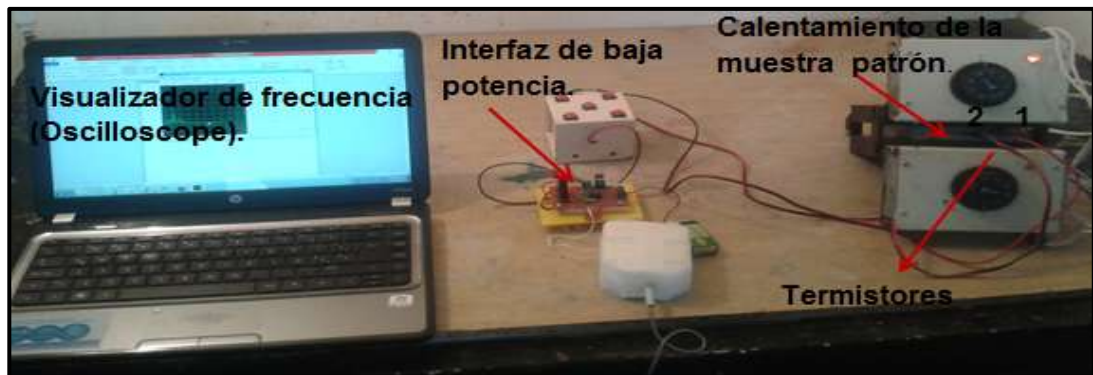


Fuente: Amplificadores operacionales [11]

➤ **Software:** EL software utilizado fue el OSCILLOSCOPE 2.51, es un software sencillo que permite visualizar en pantalla las señales de audio que entran por la

tarjeta de sonido, producidas por la interfaz de baja potencia. En pantalla se muestran las frecuencias de la señal de audio; el pico más alto reportado al presionar los interruptores correspondientes a cada termistor, representa la frecuencia relacionada a la temperatura de calentamiento de la placa al estabilizarse [5,8, 27].

Figura 6. Montaje para determinación de conductividad térmica con sistema electrónico.



2.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación, se realiza una descripción de los pasos, para lograr el montaje del prototipo para determinación de la conductividad térmica.

Figura 7. Flujograma del desarrollo de la metodología general.

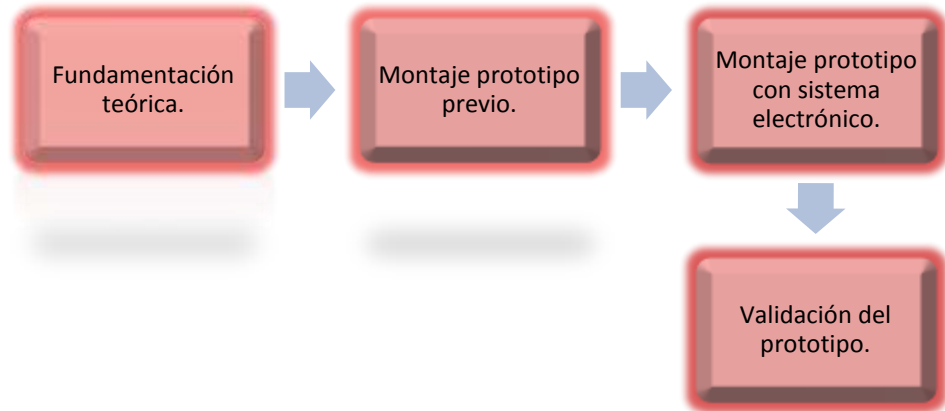
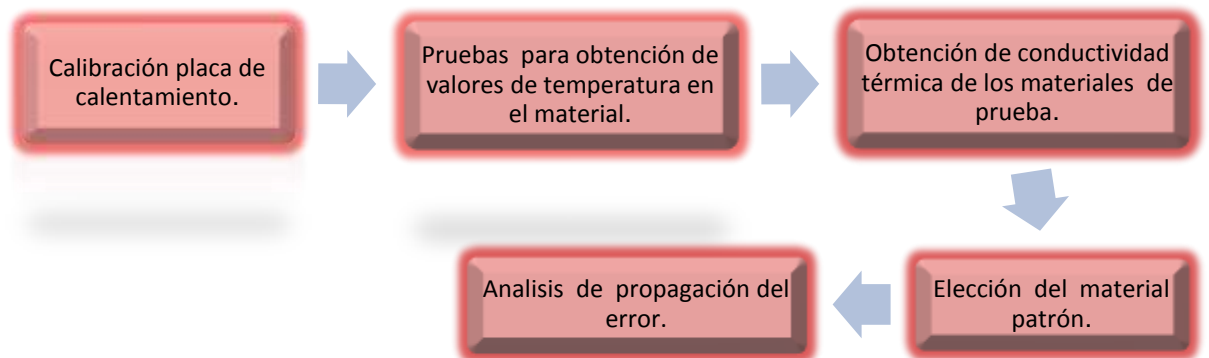
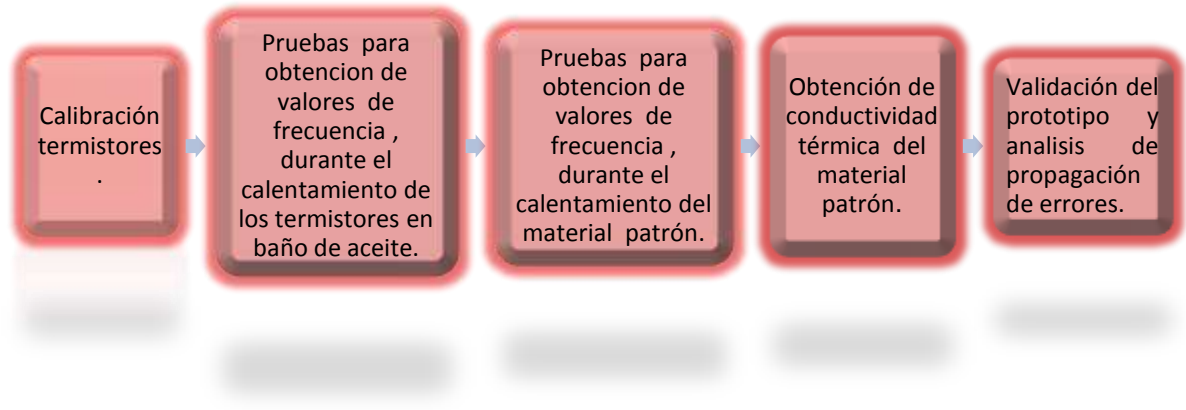


Figura 8. Flujograma del desarrollo de la metodología del montaje previo.



Calibración de la placa de calentamiento: Se conectó la placa de calentamiento a la corriente eléctrica; mediante el sistema de control de temperatura, se aumentó gradualmente la temperatura en el rango de 60 - 200°C. Se graficaron en MATLAB, los registros de las temperaturas de la placa ajustadas con el control de temperatura vs las temperaturas detectada en la placa por la termocupla tipo K y mediante regresión lineal se obtuvo el polinomio de calibración de la placa.

Figura 9. Flujograma del desarrollo de la metodología del montaje con sistema electrónico.



Calibración de termistores: Antes de realizar la calibración de los termistores, fue necesaria la calibración previa del termómetro de referencia marca Brand, al utilizarlo como instrumento patrón para la medición de temperatura [3,10,32]. Este termómetro tiene una escala de temperatura de 0-200°C y una sensibilidad de 0,2°C. Es de gran importancia en el ámbito experimental, realizar la calibración de los instrumentos empleados, para no acumular errores de medición, que desvían el valor de las medidas de su valor real. El procedimiento consistió en utilizar patrones primarios, que presentan determinados puntos de fusión, dentro del rango de trabajo de temperatura 0-200°C [10]. Los patrones primarios utilizados tienen un porcentaje de pureza del 99%, proveniente de laboratorios MERCK (Bogotá). (Ver tabla 1, anexo A).

Se adicionó una cantidad de sustancia patrón dentro de un capilar, hasta completar 5 mm de altura, se sujetó al termómetro con un cordón de caucho, de manera que la muestra quedara en el mismo nivel del bulbo. El termómetro junto con el capilar se introdujo en un vaso de precipitado con aceite mineral, teniendo cuidado de que no tocara las paredes del vaso, además de que el bulbo quedara completamente sumergido, pero con el orificio abierto del capilar fuera del líquido.

Aumentando la temperatura gradualmente, se registraron los valores dados por el termómetro: al formarse la primera gota y al fundirse por completo la sustancia. (Ver tabla 2, anexo A). Se promediaron estos valores para comparar con el valor del punto de fusión de la literatura para cada una de las sustancias patrón utilizadas. Se realizó una regresión lineal de los datos de la literatura vs datos experimentales, y así se obtuvo la ecuación característica del termómetro. (Ver gráfica 2, anexo A).

Una vez calibrado el termómetro, se procedió a la calibración de los termistores. Para esta calibración los termistores se calentaron en un baño de aceite mineral y durante ese calentamiento se midieron valores de resistencia eléctrica dados en el rango de temperatura entre 40-160 °C, manejando el multímetro y la caja de interruptores para observar los valores correspondientes a cada termistor. La importancia de calibrar los termistores, se concentró en la necesidad de obtener los polinomios característicos, que permitiesen describir el comportamiento de la resistencia eléctrica, como respuesta a variaciones de temperatura y además, confirmar si estos sensores resistivos presentaban el fenómeno de histéresis

La histéresis, se refiere a la diferencia de los valores de la resistencia eléctrica de los termistores, cuando están expuestos a un proceso de calentamiento con respecto a un proceso de enfriamiento en el mismo rango de temperatura. A partir de los datos de resistencia de los termistores obtenidos durante el calentamiento y enfriamiento, se calcularon nuevos valores de resistencia eléctrica para determinar el modelo que describe el comportamiento de la resistencia eléctrica de los termistores con respecto a la temperatura, teniendo en cuenta el efecto de histéresis que presentan estos sensores; lo anterior permite utilizar el polinomio característico de los termistores para conocer los valores reales de resistencia y/o temperatura en los termistores, independientemente de si el proceso es de calentamiento o enfriamiento (Ver, gráficas 3 - 6, anexo A) [12].

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

A continuación, se muestran los resultados y análisis de los datos obtenidos con el prototipo usando el montaje previo y el montaje con sistema electrónico.

3.1. MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SIN SISTEMA ELECTRÓNICO.

Condiciones del entorno

- Humedad Promedio= 70%
- Temperatura Promedio = 25 °C

Potencia entregada por la placa de calentamiento

- Intensidad de corriente (rms)= 1,2 A
- Voltaje (rms)= 82,02 v
- Potencia eléctrica= 98,6 W (Ver ecuación 4)

Balance de energía del sistema

$$Q_{\text{conducción}} = k * A * \frac{dT}{dy} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Por la ley de la analogía de eléctrica

$$Q_{\text{potencia eléctrica entregada por la placa}} = Q_{\text{conducción en la muestra de material}}$$

Ecuación (8)

MADERA DE PINO

La conductividad térmica de la madera es baja debido principalmente a su estructura porosa y a la anisotropía que presenta. Los valores de conductividad térmica obtenidos por medio de esta experimentación entre 59,93 y 78°C aproximadamente, fueron más altos que los arrojados por el modelo de Harada [33], debido a que la madera utilizada es tipo blanda donde la humedad es

significativa [14,26,29]; El R2 nos indica que el polinomio de segundo grado obtenido con los datos experimentales, explica la variación observada de la conductividad térmica con la temperatura con una calidad del 98.4% en el rango de 59,93- 182,72 °C (Ver tabla 7 y 8, gráfica 9, anexo A).

PIEDRA PÓMEZ

La piedra pómez es una roca volcánica de baja densidad, que presenta una alta porosidad. La densidad del material que depende de la porosidad del mismo hace que los valores de conductividad térmica obtenidos sean diferentes en las distintas pruebas que se realicen en el laboratorio debido al gas retenido en ellos; entonces a baja densidad se obtienen valores de conductividad térmica bajos, prueba de ello es la diferencia en el valor obtenido en esta prueba y el que se encuentra con el modelo de Zoth & Hanel [2], por lo tanto, no es un buen patrón de calibración para el montaje final (Ver tabla 9 y 10, gráfica 8, anexo A). La conductividad térmica se determina por la medición del gradiente de temperatura en la entrada de la roca y del calor (ASTM 1045-1090 1990) [13,20,22].

ALEACIÓN ALUMINIO-SILICIO

El comportamiento conductivo de la aleación Al-Si, observado es útil para comprobar la efectiva transferencia de energía que este material posee, lo que es representado en las temperaturas que se obtuvieron en cada punto estratégico del material durante el calentamiento. En esta aleación en la que el aluminio es el metal aleante predominante, y por lo tanto, tiene un alto valor de conductividad térmica, también se puede observar, que al ir aumentando la temperatura esta va disminuyendo de manera más drástica que si fuera el aluminio puro [9, 29] (ver tablas 11-12 y gráfica 9, anexo A).

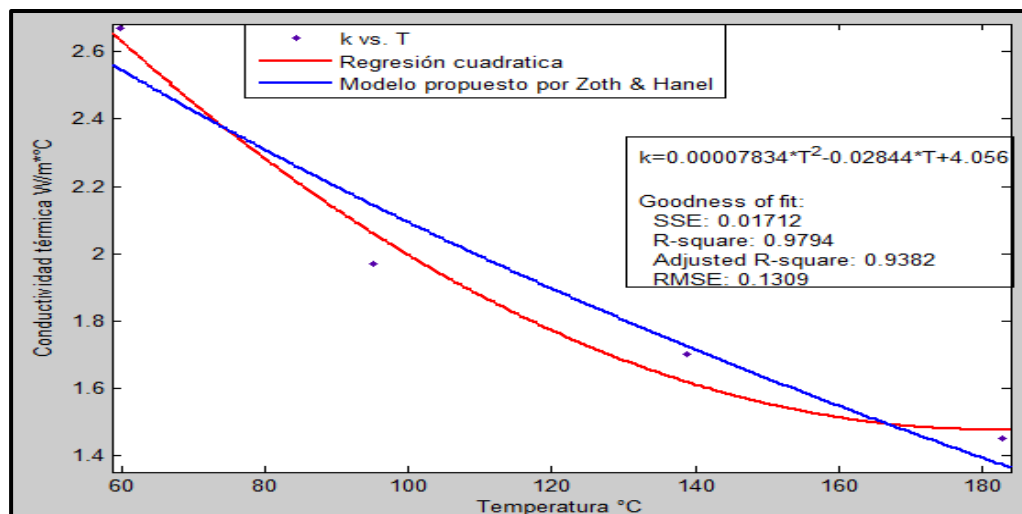
MÁRMOL

El mármol es un material pétreo metamórfico, que procede normalmente de calizas, compuesta por calcita e impurezas es un buen aislante térmico en

ausencia de humedad. Los valores de conductividad térmica obtenidos con el material de prueba mármol fueron satisfactorios pues el valor de conductividad térmica en el rango de temperatura de calentamiento de 59,93 - 182,72 °C, estuvo comprendido entre 2,67 - 1,45 W/m*°C, cercano al rango en el que se encuentra el valor de conductividad térmica encontrado en otros ensayos realizados [2,13] (ver tabla 13 y 14, gráfica 10, anexo A).

3.1.1 Elección del material patrón. Se eligió el mármol como material patrón porque a diferencia de los demás materiales prueba, el impacto de otras propiedades físicas como la humedad y la porosidad sobre la medición, no fue significativo, permitiendo que el comportamiento de la conductividad térmica con la temperatura, sean cercanos al modelo empírico propuesto por Zoth & Hanel para rocas [2].

Gráfica 1. Determinación de la $k = f(T)$ del mármol (material patrón) obtenido con el montaje previo y modelo empírico de Zoth & Hanel.

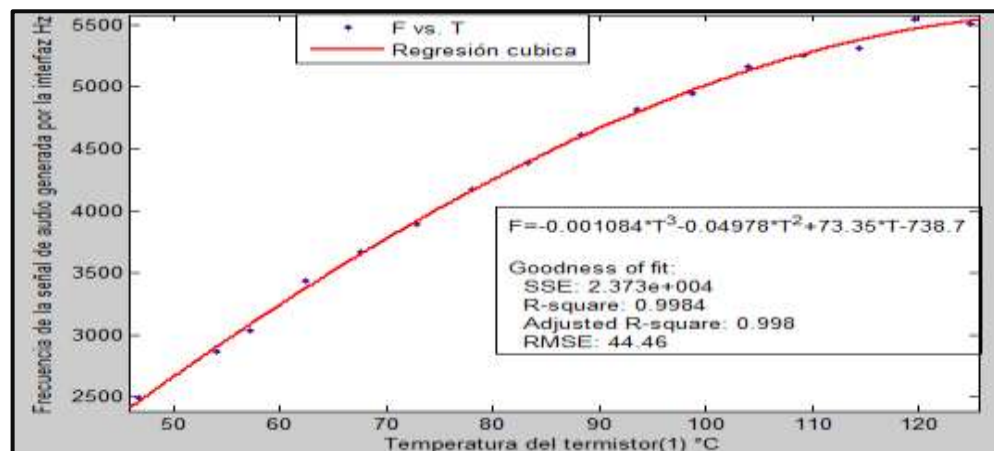


3.2 MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA CON SISTEMA ELECTRÓNICO

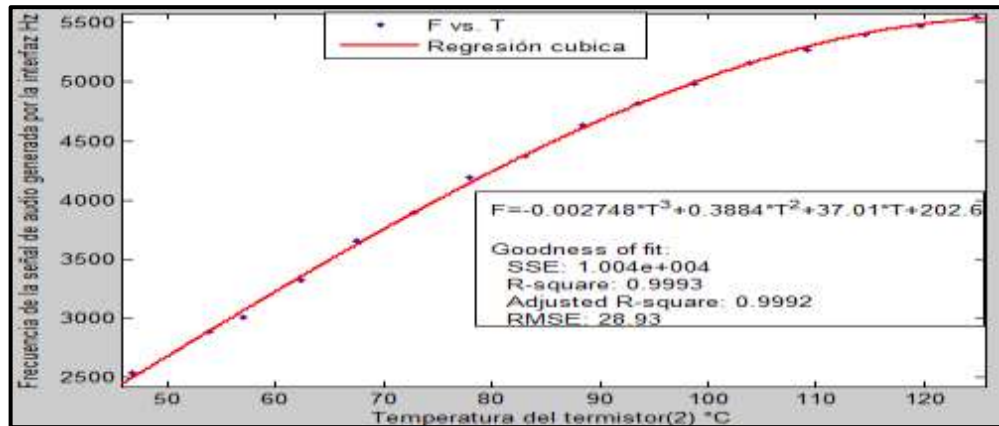
La toma de datos con el sistema electrónico para la determinación de la conductividad térmica del mármol se llevó a cabo en 2 etapas:

- **Medición de frecuencias durante el calentamiento de los termistores en baño de aceite (Ver figura 5, anexo A).** Esta medición se realizó para obtener el polinomio que describe la relación entre la frecuencia detectada por el OSCILLOSCOPE correspondiente a la temperatura sensada por los termistores.

Gráfica 2. Frecuencia generada por la interfaz vs Temperatura del termistor (1) ntc- 10 K Ω , durante el calentamiento en baño de aceite.



Gráfica 3. Frecuencia generada por la interfaz vs Temperatura del termistor (2) ntc-10 K Ω , durante el calentamiento en baño de aceite.



En las graficas 2 y 3, se puede observar que los coeficientes de determinación nos indican que los modelos cubicos, explican la variación observada de la frecuencia de la señal de audio generada por la interfaz con respecto a la temperatura con una calidad de 99.84% y 99.93%; los coeficiente de determinacion ajustados se emplearon como parámetro para elegir el grado del polinomio mas adecuado para relacionar ambas variables (ver tabla 13).

- **Medición en el OSCILLOSCOPE de las frecuencias de la señal de audio generada por la interfaz durante el calentamiento del mármol (material patrón) utilizando los termistores como sensores de temperatura.** Esta medición se realizó para obtener los valores de frecuencia de la señal de audio generada por la interfaz durante el calentamiento del mármol, y a partir de esos datos conocer los valores de temperatura en el mármol sensados por los termistores empleando los polinomios de $F=f(T)$, de las gráficas 2-3 y la herramienta función objetivo de Excel. Se calcularon adicionalmente los valores de resistencia correspondientes a los valores de temperatura registrados en el mármol, a partir de la ecuación característica de cada termistor, por tratarse de un parámetro importante para describir estos sensores.

Tabla 2. Datos obtenidos por los valores de frecuencia medidos con el software OSCILLOSCOPE, durante el calentamiento de los termistores ntc 10 K Ω , introducidos en el mármol (material patrón).

Temperatura placa [°C]	TERMISTOR 1			TERMISTOR 2		
	Frecuencia [Hz]	Resistencia [K Ω]	Temperatura mármol [°C]	Frecuencia [Hz]	Resistencia [K Ω]	Temperatura mármol [°C]
60,5	2359,88	3,946	44,96	2312,80	4,167	43,35
69,4	2627,60	3,367	49,31	2512,50	3,648	46,96
78,3	2940,00	2,795	54,57	2756,20	3,113	51,37
87,1	3307,50	2,241	61,05	3077,00	2,539	57,22
96,0	3583,10	1,893	66,17	3325,90	2,174	61,82
104,9	3932,20	1,520	73,06	3656,60	1,771	68,10
113,8	4318,10	1,179	81,40	3987,40	1,440	74,67
122,6	4685,60	0,908	90,41	4310,00	1,172	81,47
131,5	4942,90	0,742	97,72	4667,20	0,921	89,78
140,4	5200,10	0,587	106,51	4924,50	0,762	96,59

Finalmente se calculan los valores de conductividad térmica del mármol a partir de los ΔT generados entre los termistores y la placa durante el calentamiento.

Tabla 2. Distancia entre placa-termistor 1 y termistor 1-2.

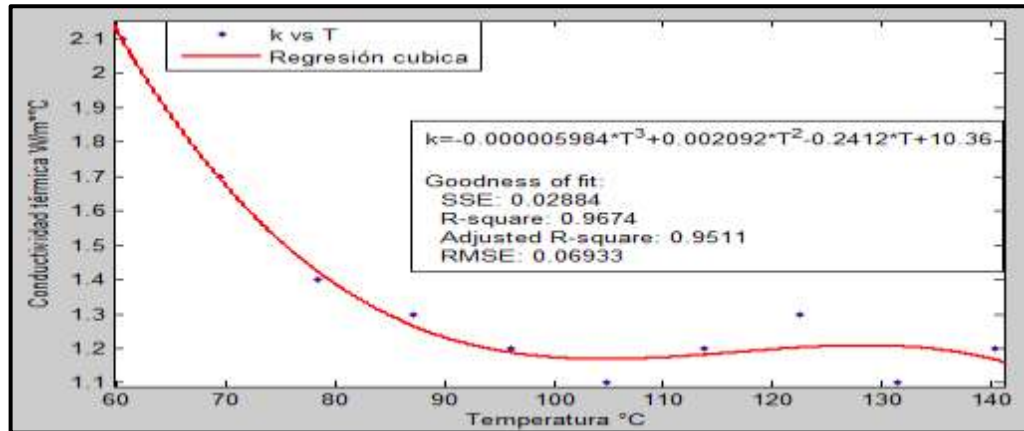
$\Delta y_{(0-1)}$ [m]	0,006
$\Delta y_{(1-2)}$ [m]	0,003

Tabla 3. Determinación de la conductividad térmica del mármol (material patrón), a partir de las mediciones utilizando el sistema electrónico.

Temperatura placa [°C]	Termocuplas	ΔT [°C]	dT/dy	K [W/m*°C]
60,5	(0-1)	15,54	4643,33	2,12
	(1-2)	1,61		
69,4	(0-1)	20,09	5910,71	1,67
	(1-2)	2,35		
78,3	(0-1)	23,73	6841,51	1,44
	(1-2)	3,20		
87,1	(0-1)	26,05	7404,83	1,33
	(1-2)	3,83		
96	(0-1)	29,83	8496,01	1,16
	(1-2)	4,34		
104,9	(0-1)	31,84	8962,00	1,10
	(1-2)	4,95		
113,8	(0-1)	32,40	8553,93	1,15
	(1-2)	6,74		
122,6	(0-1)	32,19	7750,55	1,27
	(1-2)	8,94		
131,5	(0-1)	33,78	8612,41	1,14
	(1-2)	7,94		
140,4	(0-1)	33,89	7991,17	1,23
	(1-2)	9,92		

Los valores de conductividad térmica que se utilizaron para obtener el polinomio $k=f(T)$, son los resaltados en la tabla 1, la elección de estos valores, se realizó en base a tendencia de la gráfica 3, que se obtuvo con las mediciones del montaje previo.

Gráfica 4. Comportamiento de $k = f(T)$ del mármol (material patrón) obtenido con el sistema electrónico.

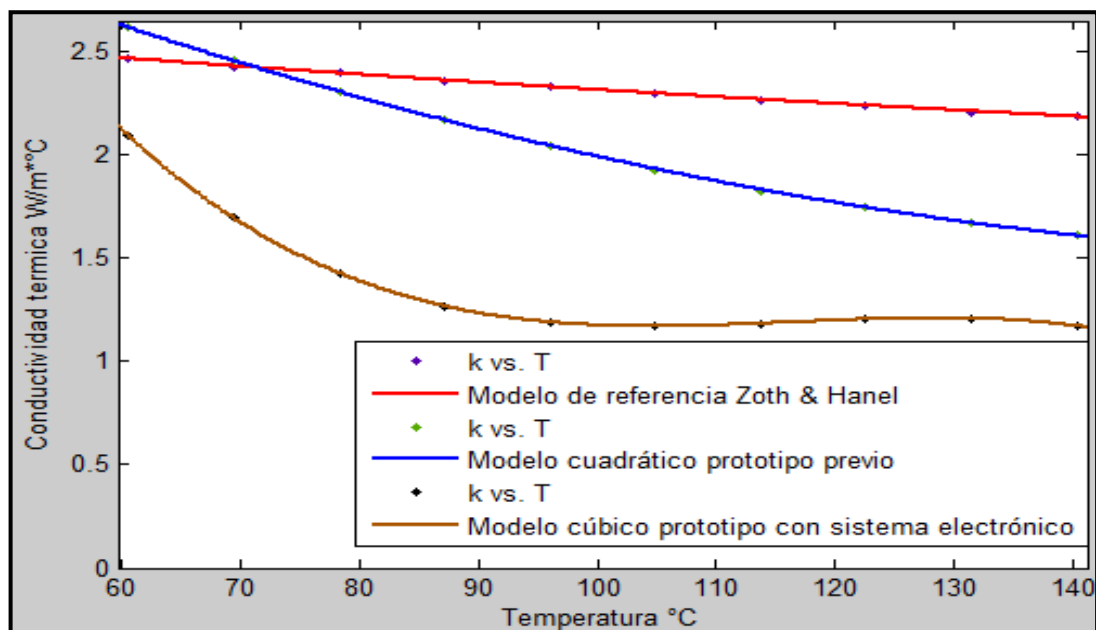


Como se puede observar en la gráfica 8 el coeficiente de determinación tiene un valor de 0.9674, lo cual indica que el polinomio de tercer grado explica el comportamiento de los datos experimentales de la conductividad térmica con respecto a la temperatura en el rango de 60.5-140.4°C, con una calidad del 96.74%, lo cual dice que solo el 3.26% de los datos experimentales podrían estar por fuera del comportamiento propuesto por este modelo. El valor de conductividad térmica a 149,2°C fue despreciado, debido a que la temperatura alcanzada por el termistor (1), fue aproximada al límite de operación de los termistores, en donde la medición de estos sensores tiende a fallar (ver tabla 2, anexo A).

4. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO Y ANÁLISIS DE PROPAGACIÓN DE ERRORES

Para validar el prototipo, se realizó una comparación entre los valores de conductividad térmica obtenidos utilizando el montaje previo y al incorporar el sistema electrónico, para el material que se utilizó como patrón (mármol), y el modelo empírico propuesto por Zoth & Hanel para determinar la conductividad térmica en rocas.

Gráfica 5. Comportamiento de $k = f(T)$ del mármol (material patrón) obtenidos con el montaje previo/ montaje con s.e / modelo empírico de Zoth & Hanel.



En el montaje previo las termocuplas no fueron calibradas haciendo posible una propagación de errores, en este caso sistemáticos, en los valores de conductividad térmica calculados lo cual se ve reflejado en la tabla 4 al compararlos con los valores del modelo de referencia.

Al comparar el modelo de Zoth & Hanel y el obtenido utilizando el prototipo en el montaje previo y al incorporar el sistema electrónico, es notable que las tendencias de los datos son un tanto distantes, debido a que el modelo de Zoth & Hanel, es un modelo general para rocas metamórficas, mientras que el modelo propuesto, es para un tipo de roca en particular; la variación de la composición en rocas causa un efecto importante en conductividad térmica, lo cual explica en cierto grado las diferencias entre los valores obtenidos en ambos modelos; además se presentaron otros factores que influyeron significativamente durante las mediciones y finalmente afectaron la calidad de los valores obtenidos al incorporar el sistema electrónico para la adquisición de datos.

A continuación se analizaron los posibles errores determinados e indeterminados:

- Dificultad considerable, al realizar la lectura exacta de los valores de frecuencia de la señal de audio que emite la interfaz, los cuales son presentados en pantalla por medio del software OSCILLOSCOPE.
- La interfaz es sensible al ruido del entorno y a pesar de que contaba con un sistema de aislamiento, también es cierto que esto no anula del todo las perturbaciones, lo cual se pudo afectar los valores de frecuencia obtenidos en la experimentación.

5. CONCLUSIONES

- En esta tesis se desarrolló un prototipo, considerado una alternativa potencial para la caracterización térmica de nuevos materiales, en los laboratorios de investigación de la Universidad Industrial de Santander.
- Garantizar condiciones del entorno en las que el sonido de los alrededores no sea superior al absorbido por el aislamiento del micrófono y audífono, permitiendo anular las perturbaciones en la interfaz con el fin de mejorar la confiabilidad de las mediciones realizadas con el prototipo.
- El proyecto de investigación permite conjugar los fenómenos eléctricos, electrónicos y de transferencia de calor para estudiar el comportamiento de propiedades térmicas que influyen en la productividad de los procesos.

6. RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores donde se proponga una mayor confiabilidad del prototipo planteado para determinar la conductividad térmica en sólidos y así poder contribuir en el desarrollo de la metrología térmica en la búsqueda de asegurar la unidad de mediciones de las propiedades de los materiales [21], se hacen las siguientes sugerencias:

- Garantizar condiciones del entorno en las que el sonido de los alrededores no sea superior al absorbido por el aislamiento del micrófono y audífono, permitiendo anular las perturbaciones en la interfaz con el fin de mejorar la confiabilidad de las mediciones realizadas con el prototipo.
- Garantizar condiciones del entorno en las que el sonido de los alrededores no sea superior al absorbido por el aislamiento del micrófono y audífono, permitiendo anular las perturbaciones en la interfaz con el fin de mejorar la confiabilidad de las mediciones realizadas con el prototipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVAREZ NOVES, Humberto. La madera como aislamiento térmico. Asociación de investigación técnica de la madera. Madrid.
2. AURANGZEB, Liaqat Ali Khan and MAQSOOD, Asghari. Prediction of effective thermal conductivity of porous consolidated media as function of temperature: a test example of limestones. Journal of physics D: Applied Physics. 2007.
3. AYRES, Dave y BLUNDEL, Anne. Calibración de termómetros. Isotech China. 2011.
4. BELL, Florian. BARTON, Donna. LAIR, Jesse and JONES, Christopher. Digital sensor for miniature medical thermometer, and body temperature monitor.2003.
5. BENGHANEM, M. Measurement of meteorological data base on wireless data acquisition system monitoring.2009.
6. BETANCOURT GRAJALES, Ramiro. Fenómenos de transporte un curso introductorio. Facultad de Ingeniería y Arquitectura Universidad Nacional de Colombia.
7. BIRD, R. Byron. STEWART, Warren E. LIGHTFOOT, Edwin. N. Fenómenos de transporte. 2 ed. México: editorial Limusa Wiley, 2007.
8. BOX, George P. HUNTER, J. Stuart y HUNTER, William G. Estadística para investigadores. 2 ed. Barcelona: Editorial Reverté.
9. CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. 2 ed. Editorial Mc Graw Hill.17-24 p.

10. CHERONIS, Nicolás. Macro y semi-micro métodos en la química orgánica: Manual de laboratorio. Barcelona.
11. COUGHLIN F, Robert y DRISCOL F, Frederick. Amplificadores operacionales y circuitos integrales lineales. 5 ed. México: Pearson-Prentice hall. Capítulo 13.
12. DE ALMEIDA, L.A.L. DEEP, G.S. LIMA, A.M.N. Nonlinear inverse filtering for measurement of thermal hysteresis. Brasil: IEEE, 2002.
13. DI SIPIO, Eloisa. CHIESA, Sergio. DESTRO, Elisa. GALGAROA, Antonio. GIARETTA, Aurelio. GOLA, Gianluca and MANZELLA, Adele. Rock thermal conductivity as key parameter for geothermal numerical models. European geosciences union general assembly 2013, EGU Division energy, resources & the environment. 87-94 p.
14. DUBOIS, S and LEBAU, F. Design construction and validation of guarded hot plate apparatus for thermal conductivity measurement high thickness crop-based specimens. Belgium: University of Liege, 2013.
15. DURAN CARRILLO, Alejandro. RAMIREZ MUÑOZ, Diego. SANCHEZ MORENO, Jaime. CASANS BERGA, Silvia and NAVARRO ANTON, Edith. A new gas sensor electronic interface with generalized impedance converter. Spain: 2008.
16. GANKULY, B. K. McKINNEY, Karl R and HASSELMAN, D.P.H. Thermal-stress analysis of flat plate with temperature-dependent thermal conductivity. Journal of the American ceramic society. 2006.

17. GONG, Lunlun. WANG, Yonghong. CHENG, Xudong. ZHANG, Ruifang and ZHANG, Heping. Thermal conductivity of highly porous mullite materials. China: International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013. 253-259 p.
18. HERMOSA DONATE, Antonio. Principios de electricidad y electrónica. Chile: editorial Marcombo, 1999. 135-139 p.
19. KORNEV, E. A. LELEVKIN, V. M. LELYUKHIN, A. S. PETRUSHANSKII, M. G. and CHETVERIKOVA, A. G. Heat-insulating materials for construction. Measurement techniques, vol 43, No.7, 2000. 627- 629 p.
20. KURT, Seref. UYSAL, Burhanettin and OZCAN, Cemal. Thermal conductivity of oriental beech impregnated with fire retardant. Journal of Coating and Technology Research, 2009. 523-530 p.
21. LEIJA, Lorenzo. Métodos de procesamiento avanzado e inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores. México: Reverté, 2009.
22. LOLEB, L. Arthur. Thermal conductivity: VIII, A theory of thermal conductivity of porous materials. Journal of the American Ceramic Society, 2011.
23. MARIN ALFONSO, Jeison. Análisis y medición del flujo de calor generado en un circuito electrónico. Colombia: Universidad Industrial de Santander. 1-100 p.
24. MATHWORKS. Acquiring data with a sound card.1-3 p.
25. MOSCA, Tipler. La conducción en los semiconductores. Barcelona: Reverté, 2005. Capítulo 38.

26. SALINAS, Carlos. ANANIAS, Rubén y ALVAEAR, Mara. Simulación del Secado convencional de la madera. Chile: Universidad del Bio-Bio, dpto de Ingeniería en maderas, 2004.
27. SAUQUILLO MIGUEL, Ignacio y LASCORZ SALAZAR, Pedro. Prácticas con sistemas electrónicos. Madrid: editorial Mc Graw Hill 1993.
28. SLIFKA, A. J. Aparato para medir la conductividad térmica de recubrimientos cerámicos. Instituto nacional de estándares y tecnología. Vol 105, número 4, Julio - Agosto 2000.
29. SMITH, William F. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. 2 ed. México: editorial Mc Graw Hill. 672-676 p.
30. SOISSON, Harold E. Instrumentación Industrial. 5 ed. México: editorial Limusa.
31. TOKHEIM, Roger L. Electrónica digital principios y aplicaciones. 7 ed. México: editorial Mc Graw Hill, 2008.
32. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, Departamento de física aplicada. Introducción a la física experimental: Calibrado de un termistor, 2004.1-5 p.
33. VILLE, Hankalin, TUUKKA, Ahonen and RISTO, Raiko. Thermal properties of a pyrolysing wood particle. Tampere university of technology, 2009.
34. WEISEND, John. The Joule –Thomson Effect. Cryogenic Society of America, 2010.
35. WOZNIAK, Maciej, DANELSKA, Anna. RUTKOWSKI, Pawel and KATA Dariusz. Thermal conductivity of highly loaded aluminium nitride–poly(propylene

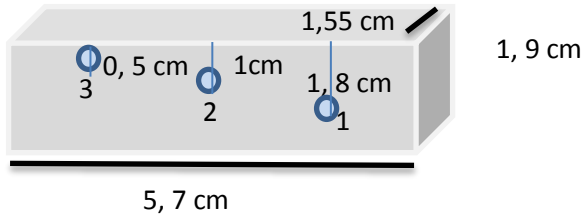
glycol) dispersions. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013. 593-598 p

36. YASAR, E and ERDOGAN, Y. Strength and thermal conductivity in lightweight building materials. Turkey: Springer-Verlag 2008.

ANEXOS

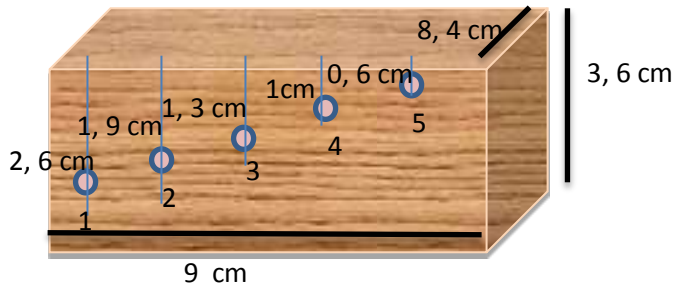
Anexo A. Soporte experimental

Figura 1. Bloque piedra pómez 3



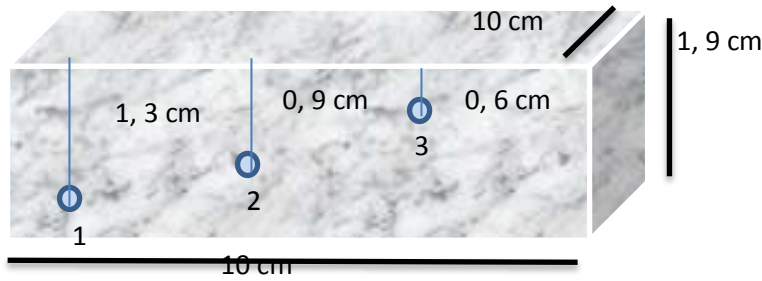
Área transversal: $8,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Masa: 0,012 Kg

Figura 2. Bloque de madera pino



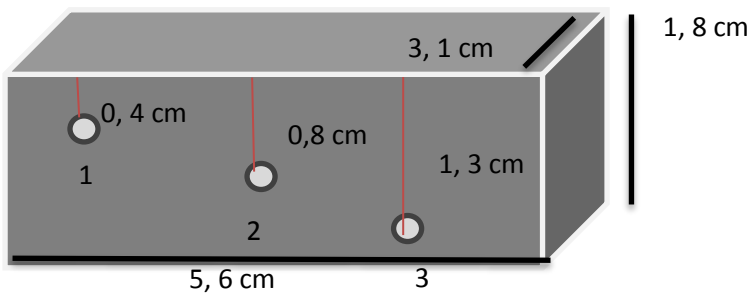
Área transversal: $0,0077 \text{ m}^2$
Masa: 0,146 Kg

Figura 3. Bloque Mármol



Área transversal: $0,01 \text{ m}^2$
Masa: 0,512 Kg

Figura 4. Bloque de aluminio



Área transversal: $0,0017 \text{ m}^2$
Masa: 0,0779 Kg

Tabla 1. Instrumentos de medición utilizados y especificaciones técnicas.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	MAGNITUD MEDIDA	ESPECIFICACIONES
Termómetro de referencia (Brand)	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Escala de medición 0-200°C • Sensibilidad: $\pm 0.02^\circ\text{C}$
Software OSCILLOSCOPE	Frecuencia[Hz]	<ul style="list-style-type: none"> • Escala: -36.8-11025 Hz • Sensibilidad: ± 36.8 Hz
Pinza amperimétrica (AVC electronics -U266)	Corriente [A]	<ul style="list-style-type: none"> • Escala de medición :0-200-1kA • Exactitud : $\pm 2.0\%$
	Voltaje [V]	<ul style="list-style-type: none"> • Escala de medición: 0-750V • Exactitud: $\pm 1.0\%$
Multímetro digital (uni-t ut61b)	Temperatura [$^\circ\text{C}$]	<ul style="list-style-type: none"> • Escala de medición :40 $^\circ\text{C}$ - 1000 $^\circ\text{C}$ • Exactitud: $\pm 1,2\%$
	Resistencia [K Ω]	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance: 400 Ω / 4 k Ω / 40Ω/ 400kΩ/4 MΩ/ 40MΩ • Exactitud: $\pm 1.0\%$

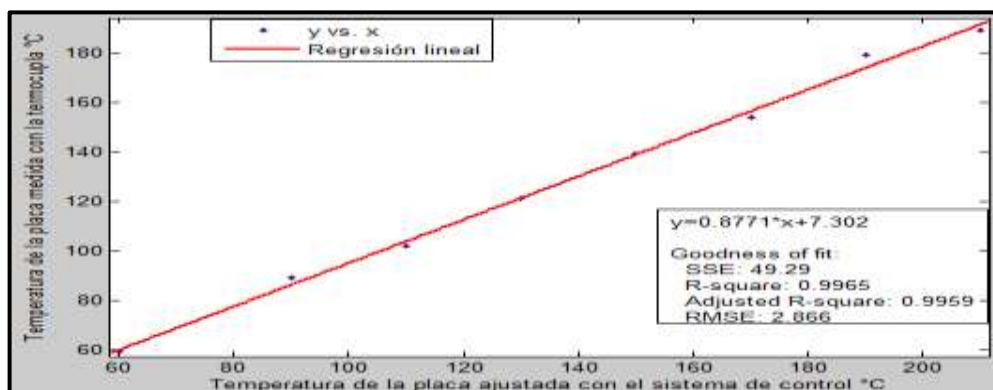
Fuente: Manual de especificaciones técnicas de cada instrumento

Tabla 2. Sensores de temperatura utilizados en los montajes (previo/con s.e), para la determinación de la conductividad térmica.

SENSORES DE TEMPERATURA	FUNCIONAMIENTO	ESPECIFICACIONES
Termocuplas	Cambios de voltaje con respecto a la temperatura sensada.	Tipo K: <ul style="list-style-type: none"> • Rango de medición: -40- 1000 °C • Sensibilidad: 50µV/°C • Precisión: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Termocupla 1: ± 2.08 °C ✓ Termocupla 2: ± 2.22 °C ✓ Termocupla 3: ± 2.19 °C
Termistores	Cambios de resistencia con respecto a la temperatura sensada.	NTC- 10KΩ: <ul style="list-style-type: none"> • Rango de medición: -50°-125°C • Sensibilidad: 0.02KΩ/°C • Bajos tiempos de respuesta • Precisión: ±0.02 °C

Fuente: Manual de especificaciones técnicas de cada sensor

Gráfica 1. Calibración de temperatura – Placa de calentamiento.



Fuente: Los autores

Tabla 3. Puntos de fusión de sustancias patrón utilizadas para la calibración del termómetro de referencia marca Brand.

Sustancias patrón	Punto de fusión(°C) [Literatura]
Naftaleno	80
Acetanilida	113,5
Acido benzoico	122
Benzoina	132
Ácido salicílico	157,5

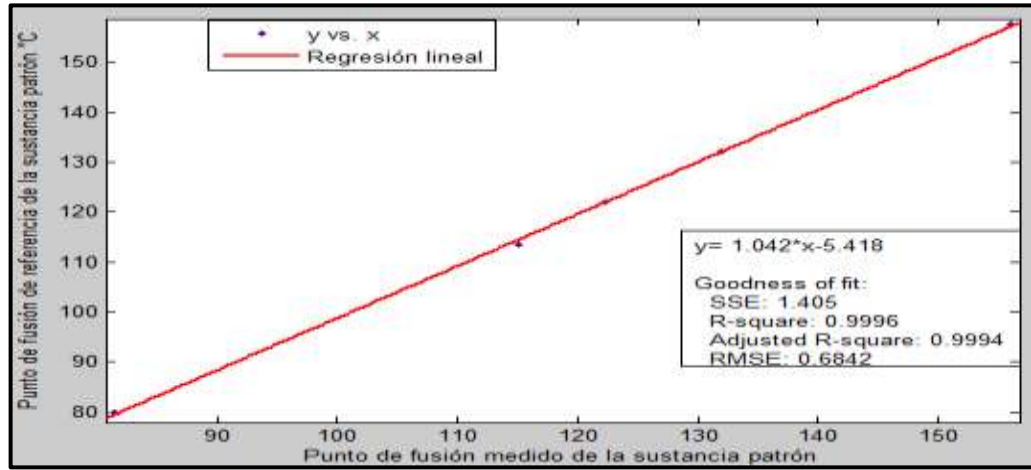
Fuente: Macro y semi-micro métodos en la química orgánica: Manual de laboratorio [10]

Tabla 4. Puntos de fusión experimentales de sustancias patrón utilizadas para la calibración del termómetro.

Patrón primario	Intervalo de Temperatura de fusión(°C)	Punto de fusión experimental(°C)
Naftaleno	80-83	81,5
Acetanilida	114-116,2	115,1
Acido benzoico	121,6-123	122,3
Benzoina	130,8-133	131,9
Ácido salicílico	153-159	156

Fuente: Los autores

Gráfica 2. Polinomio característico del termómetro de referencia marca Brand.



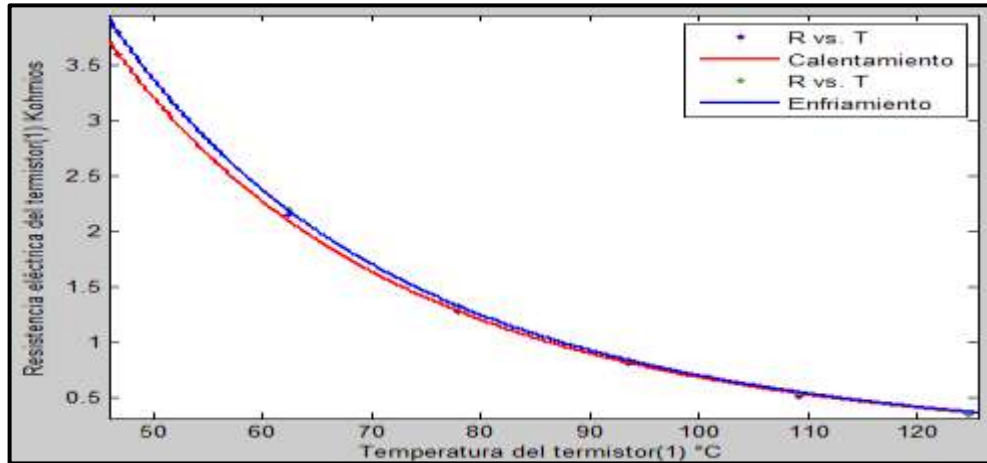
Fuente: Los autores

Tabla 5. Parámetros de calibración termistor (1) ntc- 10 K Ω .

Temperatura calibrada (°C)	Calentamiento Resistencia promedio (K Ω)	Enfriamiento Resistencia promedio (K Ω)	Resistencia resultante del efecto de histéresis (K Ω)
46,7	3,59	3,795	3,6925
62,3	2,15	2,205	2,1775
77,9	1,275	1,335	1,305
93,6	0,81	0,845	0,8275
109,2	0,52	0,55	0,535
124,8	0,355	0,365	0,36

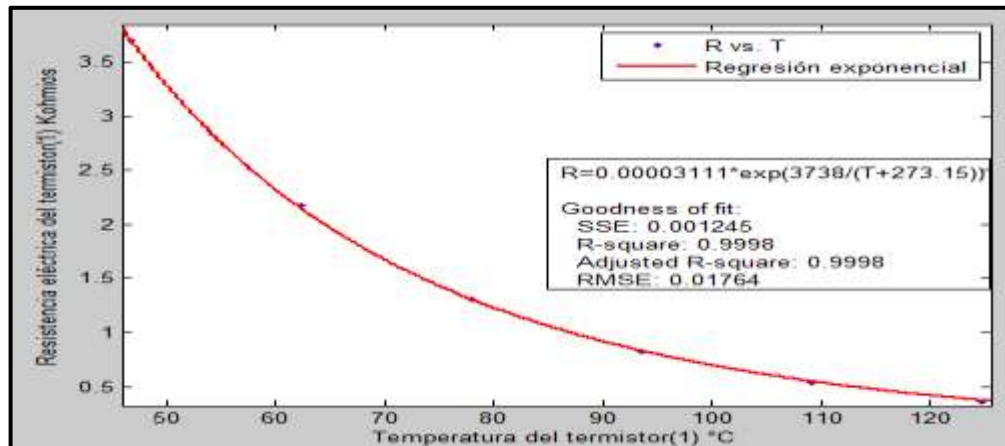
Fuente: Los autores

Gráfica 3. Histéresis presentada en el termistor (1) ntc -10 KΩ.



Fuente: Los autores

Gráfica 4. Comportamiento de la resistencia eléctrica del termistor (1) ntc 10 KΩ, con respecto a la temperatura teniendo en cuenta la histéresis.



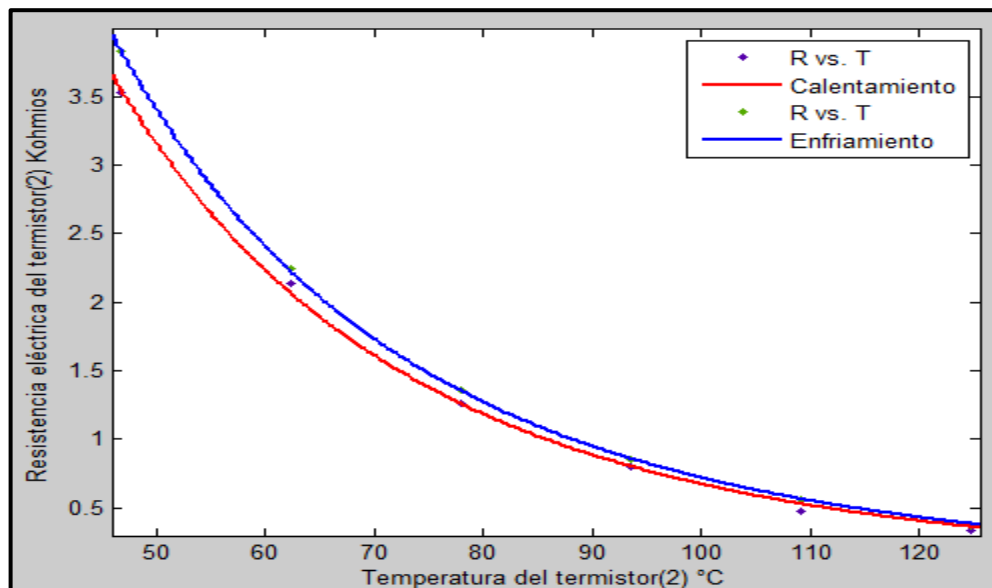
Fuente: Los autores

Tabla 6. Parámetros de calibración termistor (2) ntc 10 KΩ.

Temperatura calibrada (°C)	Calentamiento	Enfriamiento	Histéresis (KΩ)
	Resistencia promedio (KΩ)	Resistencia promedio (KΩ)	
46,7	3,53	3,83	3,68
62,3	2,135	2,25	2,1975
77,9	1,265	1,36	1,3125
93,6	0,805	0,85	0,8275
109,2	0,475	0,56	0,5175
124,8	0,335	0,37	0,3525

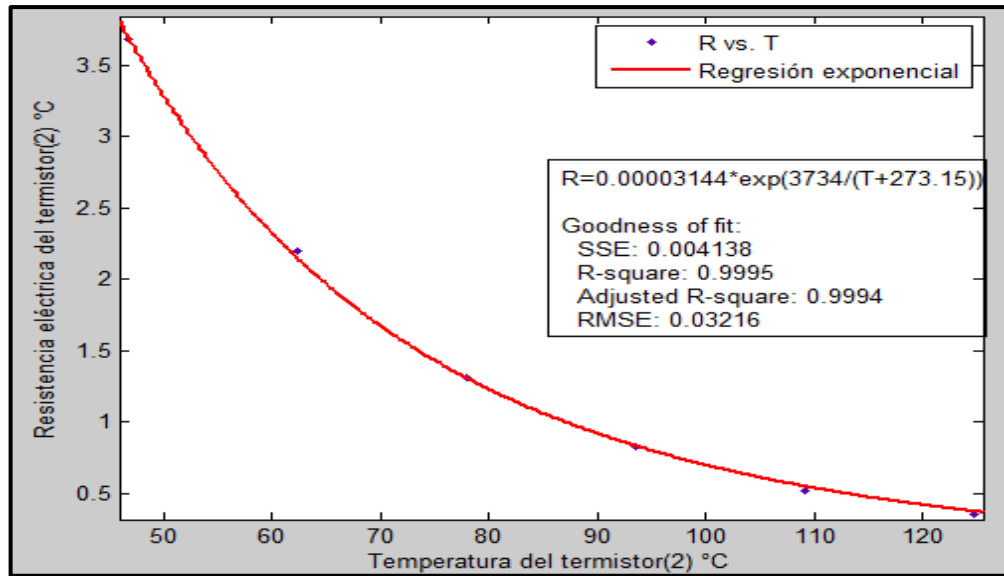
Fuente: Los autores

Gráfica 5. Histéresis presentada en el termistor (2) ntc -10 KΩ.



Fuente: Los autores

Gráfica 6. Comportamiento de la resistencia eléctrica del termistor (2) ntc 10 K Ω , con respecto a la temperatura teniendo en cuenta la histéresis.



Fuente: Los autores

Tabla 7. Datos de temperatura promedio (resultantes de 3 ensayos) en la madera de pino durante el calentamiento.

MADERA DE PINO (MEDIDA PROMEDIO)				
Temperatura Placa [°C]	Tiempo [s]	Temperatura termocuplas [°C]		
		T1	T2	T3
59,93	500,8	24,67	25	26,33
95,01	424,6	28	31,33	37
138,87	823,2	36	46,33	57,33
182,72	1612	49,33	66,33	82,67

$K_{literatura}$ (W/m $^{\circ}$ C)	0,163
Área transversal madera de pino (m 2)	0,0077

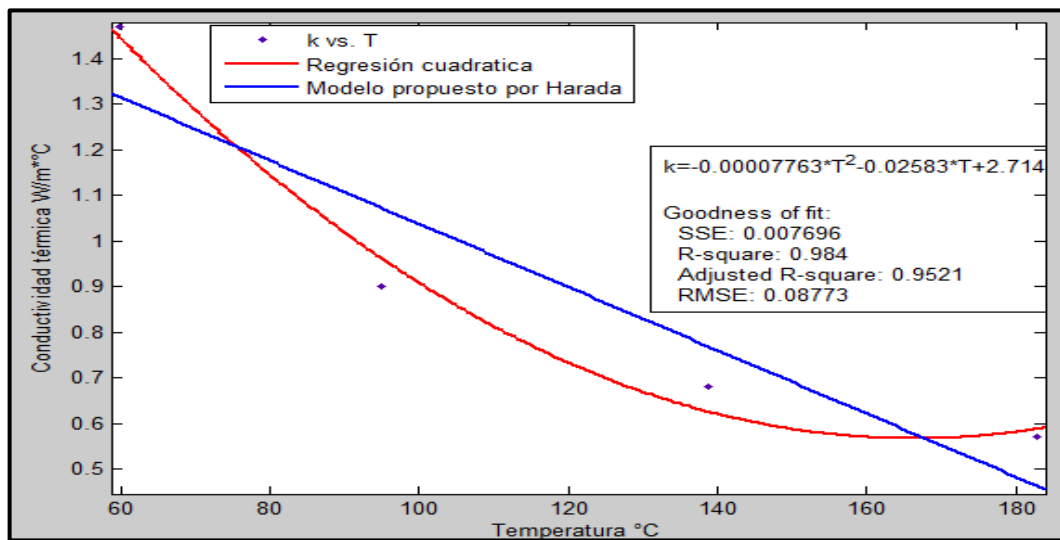
Distancia entre termocuplas	
$\Delta y_{(1-2)}$ [m]	0,007
$\Delta y_{(2-3)}$ [m]	0,006
$\Delta y_{(3-0)}$ [m]	0,01

Fuente: Los autores

Tabla 8. Determinación experimental de la conductividad térmica –Madera de Pino.

Temperatura Placa [°C]	Termocuplas	ΔT [°C]	dT/dy	K [W/m*°C]
59,93	(1-2)	0,33	8765	1,47
	(2-3)	1,33		
	(3-0)	33,60		
95,01	(1-2)	3,33	14272	0,90
	(2-3)	5,67		
	(3-0)	58,01		
138,87	(1-2)	10,33	19043	0,68
	(2-3)	11,00		
	(3-0)	81,54		
182,72	(1-2)	17,00	22487	0,57
	(2-3)	16,34		
	(3-0)	100,05		

Gráfica 7. Comportamiento de la conductividad térmica de la madera con respecto a la temperatura; regresión cubica de los datos experimentales y modelo de Harada.



Fuente: Los autores

Tabla 9. Datos de temperatura promedio (resultantes de 3 ensayos) durante el calentamiento de la Piedra Pómez.

PIEDRA POMEZ (MEDIDA PROMEDIO)				
Temperatura Placa [°C]	Tiempo [s]	Temperatura termocuplas [°C]		
		T1	T2	T3
59,93	518	27	31	35
95,01	430,3	33	45	53
138,87	775,4	44	64,7	69,7
182,72	2243,2	64,7	93,3	104

$K_{literatura}$ (W/m*°C)	0,12
Área transversal piedra pómez(m ²)	0,00088

Distancia entre termocuplas	
$\Delta y_{(1-2)}$ [m]	0,008
$\Delta y_{(3-0)}$ [m]	0,004

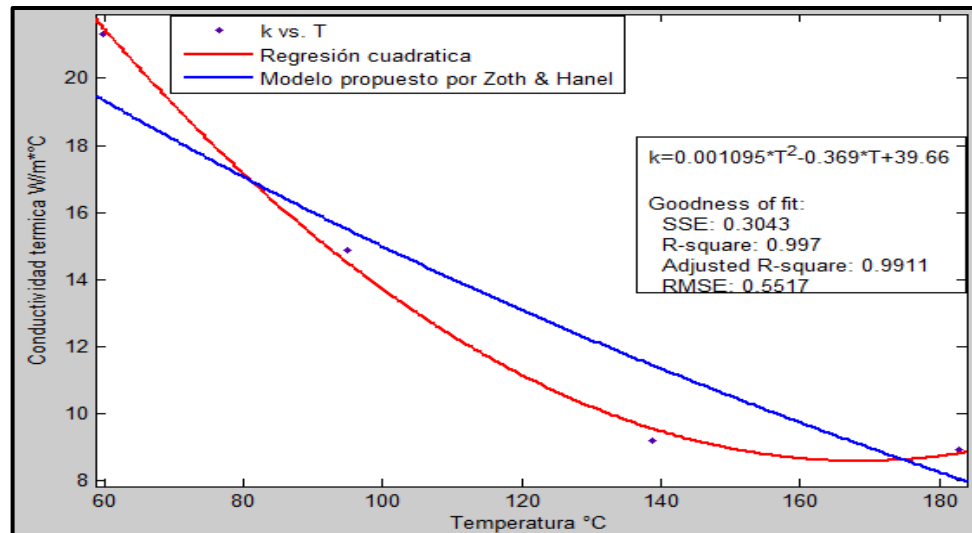
Fuente: Los autores

Tabla 10. Determinación experimental de la conductividad térmica –Piedra Pómez.

Temperatura Placa [°C]	Termocuplas	ΔT [°C]	Dt/dy	K [W/m*°C]
59,93	(1-2)	4,00	5233	21,33
	(2-3)	4,00		
	(3-0)	24,93		
95,01	(1-2)	12,00	7503	14,88
	(2-3)	8,00		
	(3-0)	42,01		
138,87	(1-2)	20,67	12134	9,20
	(2-3)	5,00		
	(3-0)	69,2		
182,72	(1-2)	28,67	12513	8,92
	(2-3)	10,67		
	(3-0)	78,72		

Fuente: Los autores

Gráfico 8. Comportamiento de la conductividad térmica de la piedra pómez con respecto a la temperatura; regresión cubica de los datos experimentales y modelo de Zoth & Hanel.



Fuente: Los autores

Tabla 11. Datos de temperatura promedio (resultantes de 3 ensayos) durante el calentamiento de la aleación Al-Si.

ALEACIÓN Al-Si (MEDIDA PROMEDIO)				
Temperatura Placa [°C]	Tiempo [s]	Temperatura termocuplas [°C]		
		T1	T2	T3
59,93	572,91	43,33	44,33	45
95,01	513,55	64,67	65,67	66
138,87	1060,91	94,33	96	96,00
182,72	3290	130	131	131

Área transversal Al-Si (m ²)	0,0017
K _{literatura} (W/m ^{°C})	164

Distancia entre termocuplas	
$\Delta y_{(1-2)}$ [m]	0,005
Δy_{2-3} [m]	0,0035

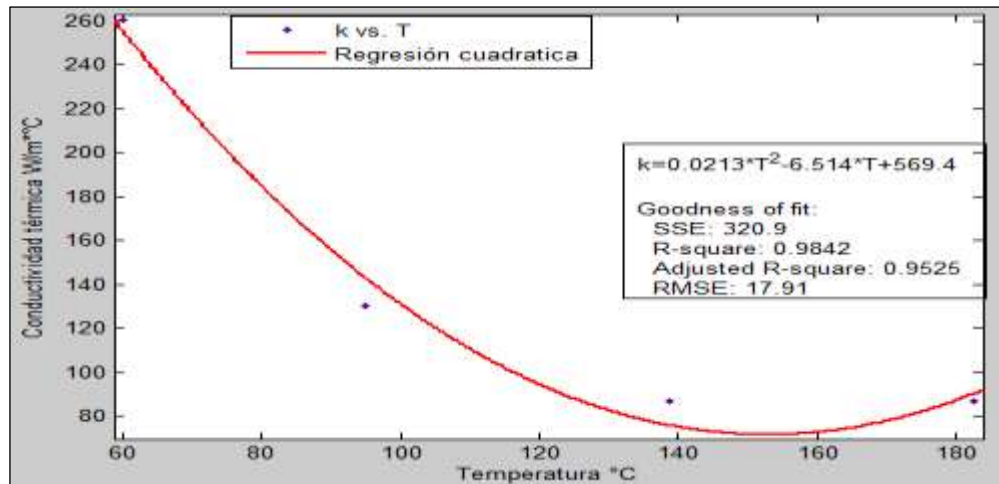
Fuente: Los autores

Tabla 12. Determinación experimental de la conductividad térmica- Aleación Al-Si.

Temperatura Placa [°C]	Termocuplas	ΔT [°C]	dT/dy	K [W/m*°C]
59,93	(1-2)	1,00	222	260,55
	(2-3)	0,67		
95,01	(1-2)	1,00	444	130,27
	(2-3)	0,33		
138,87	(1-2)	1,33	667	86,85
	(2-3)	0,33		
182,72	(1-2)	1,00	667	86,85
	(2-3)	0,00		

Fuente: Los autores

Gráfica 9. Comportamiento de la conductividad térmica de la aleación Al-Si con respecto a la temperatura.



Fuente: Los autores

Tabla 13. Datos de temperatura promedio (resultantes de 3 ensayos) durante el calentamiento del Mármol.

MARMOL (MEDIDA PROMEDIO)				
Temperatura Placa [°C]	Tiempo [s]	Temperatura termocuplas [°C]		
		T1	T2	T3
59,93	391,49	43	44	47
95,01	615,80	65	68,33	75
138,87	1361,93	99	103,67	113,67
182,72	4060	139,33	142,67	154

Área transversal mármol (m ²)	0,01
K _{literatura} (W/m*°C)	2,09

Distancia entre termocuplas	
$\Delta y_{(1-2)}$ [m]	0,004
$\Delta y_{(2-3)}$ [m]	0,003
$\Delta y_{(3-0)}$ [m]	0,006

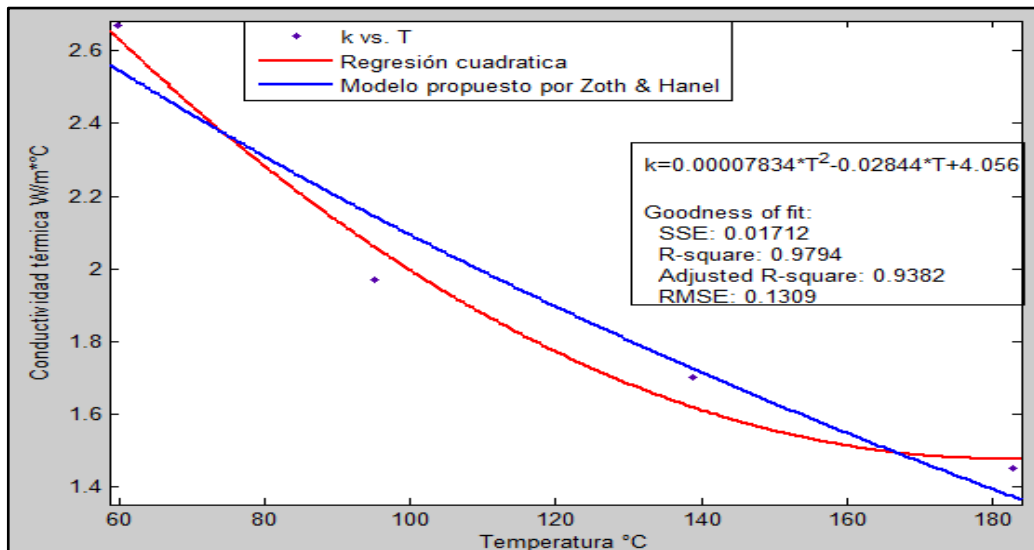
Fuente: Los autores

Tabla 14. Determinación experimental de la conductividad térmica- Mármol.

Temperatura Placa [°C]	Termocuplas	ΔT [°C]	dT/dy	K [W/m*°C]
59,93	(1-2)	1,00	3689	2,67
	(2-3)	3,00		
	(3-0)	12,93		
95,01	(1-2)	3,33	5004	1,97
	(2-3)	6,67		
	(3-0)	20,01		
138,87	(1-2)	4,67	5811	1,70
	(2-3)	10,00		
	(3-0)	25,20		
182,72	(1-2)	3,33	6781	1,45
	(2-3)	11,33		
	(3-0)	28,72		

Fuente: Los autores

Gráfica 10. Comportamiento de la conductividad térmica del mármol con respecto a la temperatura; regresión cubica de los datos experimentales y modelo de Zoth & Hanel



Fuente: Los autores

Figura 5. Montaje para medición de los valores de frecuencia durante el calentamiento de los termistores.



Fuente: Los autores

Tabla 15. Datos de frecuencia medidos con el software OSCILLOSCOPE, durante el calentamiento de los termistores ntc 10 K Ω , en baño de aceite.

Temperatura baño de aceite [°C]	Frecuencia [Hz]	
	Termistor 1	Termistor 2
46,69	2499	2535
53,98	2865	2889,5
57,11	3031,5	3013,5
62,32	3436	3325,9
67,53	3675	3656,6
72,74	3895	3895,5
77,95	4171,1	4189
83,16	4391,1	4373,2
88,37	4612,1	4630,5
93,58	4814,2	4814,2
98,79	4950	4989
103,94	5162,9	5163,4
109,21	5255,2	5273,6
114,42	5308,85	5402,2
119,63	5547	5475,8
124,84	5512,5	5549,2

Fuente: Los autores

Anexo B. Fichas de Seguridad



801776 Benzoína

para síntesis

Para preguntas en general por favor contacte a nuestro Servicio de Atención al Cliente:

Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
64293 Darmstadt
Germany
Teléfono: +49 6151 72-0
Fax: +49 6151 72 2000

09 febrero 2014

Número de producto	Embalaje	Cant./Env.	Precio
8017760250	Frasco, plástico	250 g	Precio sobre pedido
8017761000	Frasco, plástico	1 kg	Precio sobre pedido

Los precios están sujetos a cambios sin notificación.

Información sobre producto

Synonyms	α -Hydroxy- α -phenylacetophenone
Fórmula empírica (según Hill)	$C_{14}H_{12}O_2$
Fórmula químico	$C_6H_5CH(OH)COC_6H_5$
Número HS	2914 40 90
Número CE	204-331-3
Masa molar	212.24 g/mol
Número CAS	119-53-9

Datos químicos y físicos

Solubilidad en agua	0.3 g/l (25 °C)
Punto de fusión	132 - 134 °C
Masa molar	212.24 g/mol
Densidad	1.31 g/cm ³ (20 °C)
Bulk density	350 kg/m ³
Punto de ebullición	344 °C (1023 hPa)

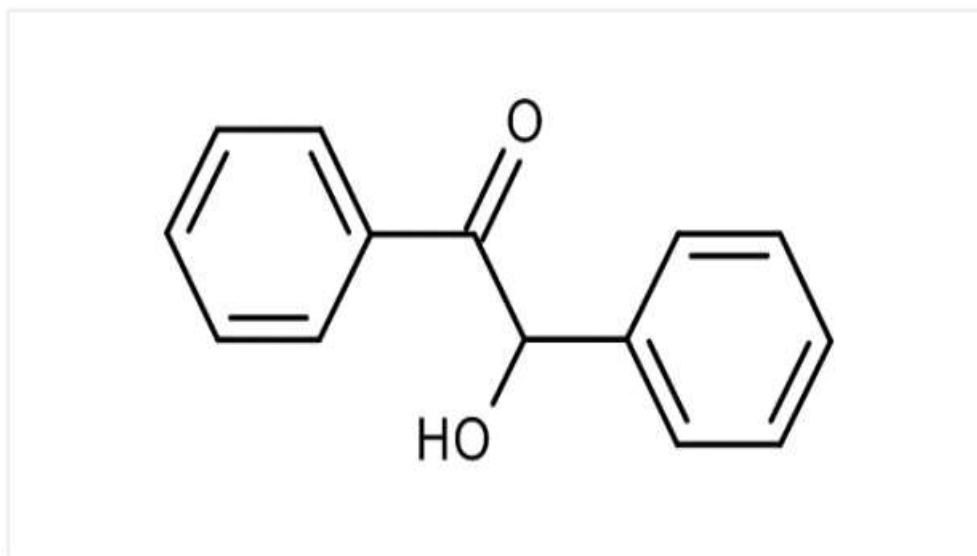
Presión de vapor	1.3 hPa (136 °C)
Temperatura de inflamabilidad	181 °C

Información de seguridad

RTECS	DI1590000
Clase de almacenamiento	10 - 13 Otros líquidos y sustancias sólidas
WGK	WGK 2 contamina el agua
Disposal	3 Los reactivos orgánicos líquidos relativamente no reactivos desde el punto de vista químico se recogen en la categoría A. Si contienen halógenos se les asigna la categoría B. Residuos sólidos: categoría C.

Datos toxicológicos

LD 50 oral	DL50 rata 10000 mg/kg
LD 50 dérmica	DL50 conejo 8870 mg/kg



© Merck KGaA, Darmstadt, Alemania, mcsa(at)merck.com.co, 2014

Fuente: Laboratorios Merck S.A



100011 Acetanilida

sustancia de ensayo para análisis elemental

Para preguntas en general por favor contacte a nuestro Servicio de Atención al Cliente:

Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
64293 Darmstadt
Germany
Teléfono: +49 6151 72-0
Fax: +49 6151 72 2000

09 febrero 2014

Número de producto	Embalaje	Cant./Env.	Precio
1000110005	Frasco de vidrio	5 g	Precio sobre pedido

Los precios están sujetos a cambios sin notificación.

Información sobre producto


Synonyms	N-Phenylacetamide
Fórmula empírica (según Hill)	C_8H_9NO
Fórmula químico	$CH_3CONHC_6H_5$
Número HS	2924 29 98
Número CE	203-150-7
Masa molar	135.16 g/mol
Número CAS	103-84-4

Datos químicos y físicos

Temperatura de ignición	540 °C
Solubilidad en agua	5 g/l (20 °C)
Punto de fusión	115 °C
Masa molar	135.16 g/mol
Densidad	1.22 g/cm ³ (20 °C)
Bulk density	370 kg/m ³
Valor de pH	5 - 7 (10 g/l, H ₂ O, 25 °C)

Punto de ebullición	304 °C (1013 hPa)
Presión de vapor	0.002 hPa (20 °C)
Temperatura de inflamabilidad	173 °C DIN 51758

Información de seguridad de acuerdo a GHS

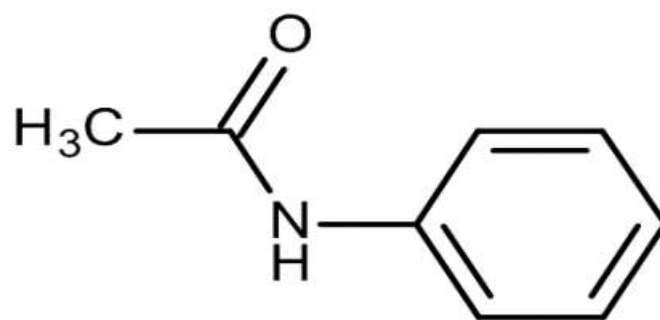
Hazard Statement(s)	H302: Nocivo en caso de ingestión.
Signal Word	Atención
Hazard Pictogram(s)	
RTECS	AD7350000
Clase de almacenamiento	10 - 13 Otros líquidos y sustancias sólidas
WGK	WGK 1 contamina ligeramente el agua
Disposal	3 Los reactivos orgánicos líquidos relativamente no reactivos desde el punto de vista químico se recogen en la categoría A. Si contienen halógenos se les asigna la categoría B. Residuos sólidos: categoría C.

Información de seguridad

Frase R	R 22 Nocivo por ingestión.
Características de peligrosidad	nocivo
Hazard Symbol	 Harmful

Datos toxicológicos

LD 50 oral	DL50 rata 800 mg/kg
------------	---------------------



© Merck KGaA, Darmstadt, Alemania, mcsa(at)merck.com.co, 2014

Fuente Laboratorios Merck S.A



100134 Ácido benzoico

sustancia de ensayo para análisis elemental

Para preguntas en general por favor contacte
a nuestro Servicio de Atención al Cliente:

Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
64293 Darmstadt
Germany
Teléfono: +49 6151 72-0
Fax: +49 6151 72 2000

09 febrero 2014

Número de producto	Embalaje	Cant./Env.	Precio
1001340005	Frasco de vidrio	5 g	Precio sobre pedido

Los precios están sujetos a cambios sin notificación.

Información sobre producto


Synonyms	Phenylformic acid, Benzene carboxylic acid
Fórmula empírica (según Hill)	$C_7H_6O_2$
Fórmula químico	C_6H_5COOH
Número HS	2916 31 00
Número CE	200-618-2
Masa molar	122.12 g/mol
Número CAS	65-85-0

Datos químicos y físicos

Temperatura de ignición	570 °C
Solubilidad en agua	2.9 g/l (25 °C)
Punto de fusión	121 - 123 °C
Masa molar	122.12 g/mol
Densidad	1.321 g/cm ³ (20 °C)
Bulk density	500 kg/m ³
Valor de pH	2.5 - 3.5 (H ₂ O, 20 °C) (solución saturada)

Punto de ebullición	249 °C (1013 hPa)
Presión de vapor	0.001 hPa (20 °C)
Temperatura de inflamabilidad	121 °C

Información de seguridad de acuerdo a GHS

Hazard Statement(s)	H302: Nocivo en caso de ingestión. H319: Provoca irritación ocular grave.
Precautionary Statement(s)	P305 + P351 + P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.
Signal Word	Atención
Hazard Pictogram(s)	
RTECS	DG0875000
Clase de almacenamiento	10 - 13 Otros líquidos y sustancias sólidas
WGK	WGK 1 contamina ligeramente el agua
Disposal	3 Los reactivos orgánicos líquidos relativamente no reactivos desde el punto de vista químico se recogen en la categoría A. Si contienen halógenos se les asigna la categoría B. Residuos sólidos: categoría C.

Información de seguridad

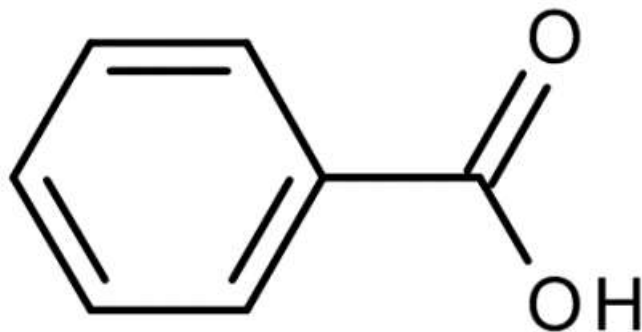
Frase R	R 22-36 Nocivo por ingestión. Irrita los ojos.
Frase S	S 24 Evítese el contacto con la piel.
Características de peligrosidad	nocivo, irritante
Hazard Symbol	 Harmful

Información de transporte

Clasificación (Transporte terrestre) ADR, RID	Kein Gefahrgut
Clasificación (Transporte marítimo) IMDG-Code	No Dangerous Good
Clasificación (Transporte aéreo) IATA-DGR	No Dangerous Good

Datos toxicológicos

LD 50 oral	DL50 rata 1700 mg/kg
LD 50 dérmica	DL50 conejo > 5000 mg/kg



© Merck KGaA, Darmstadt, Alemania, mcsa(at)merck.com.co, 2014

Fuente Laboratorios Merck S.A



818731 Ácido salicílico

para síntesis

Para preguntas en general por favor contacte
a nuestro Servicio de Atención al Cliente:

Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
64293 Darmstadt
Germany
Teléfono: +49 6151 72-0
Fax: +49 6151 72 2000

09 febrero 2014

Número de producto	Embalaje	Cant./Env.	Precio
8187310100	Frasco, plástico	100 g	Precio sobre pedido
8187311000	Frasco, plástico	1 kg	Precio sobre pedido

Los precios están sujetos a cambios sin notificación.

Información sobre producto

Synonyms	2-Hydroxybenzoic acid
Fórmula empírica (según Hill)	$C_7H_6O_3$
Fórmula químico	HOC_6H_4COOH
Número HS	2918 21 00
Número CE	200-712-3
Masa molar	138.12 g/mol
Número CAS	69-72-7

Datos químicos y físicos

Temperatura de ignición	500 °C
Solubilidad en agua	2 g/l (20 °C)
Punto de fusión	157 - 159 °C
Masa molar	138.12 g/mol
Densidad	1.443 g/cm ³ (20 °C)
Bulk density	400 - 500 kg/m ³

Valor de pH	2.4 (H ₂ O) (solución saturada)
Punto de ebullición	211 °C (1013 hPa)
Presión de vapor	10^{-1} hPa (100 °C)
Temperatura de inflamabilidad	157 °C

Información de seguridad de acuerdo a GHS

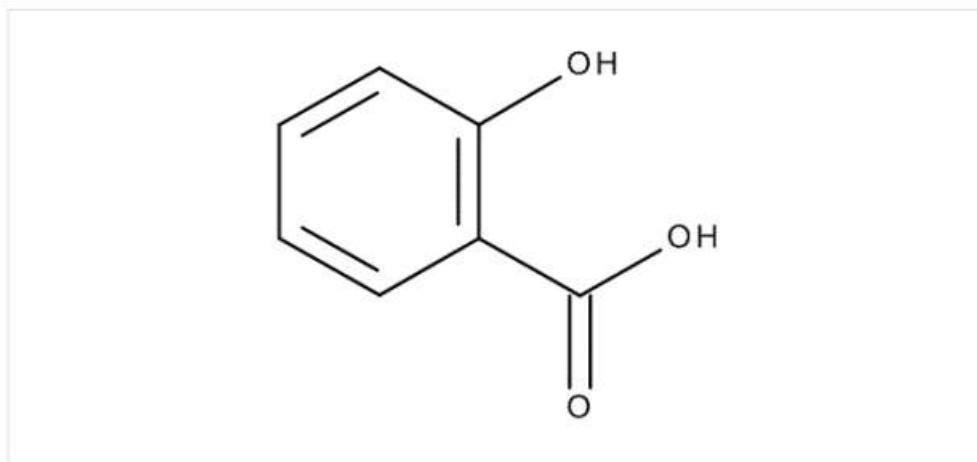
Hazard Statement(s)	H302: Nocivo en caso de ingestión. H318: Provoca lesiones oculares graves.
Precautionary Statement(s)	P280: Llevar gafas de protección. P305 + P351 + P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. P313: Consultar a un médico.
Signal Word	Peligro
Hazard Pictogram(s)	
RTECS	VO0525000
Clase de almacenamiento	10 - 13 Otros líquidos y sustancias sólidas
WGK	WGK 1 contamina ligeramente el agua
Disposal	3 Los reactivos orgánicos líquidos relativamente no reactivos desde el punto de vista químico se recogen en la categoría A. Si contienen halógenos se les asigna la categoría B. Residuos sólidos: categoría C.

Información de seguridad

Frase R	R 22-41 Nocivo por ingestión. Riesgo de lesiones oculares graves.
Frase S	S 22-24-26-39 No respirar el polvo. Evite el contacto con la piel. En caso de contacto con los ojos, lávese inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. Úsese protección para los ojos/la cara.
Características de peligrosidad	nocivo, irritante
Hazard Symbol	 Harmful

Datos toxicológicos

LD 50 oral	DL50 rata 1250 - 1580 mg/kg
LD 50 dérmica	DL50 rata > 2000 mg/kg



© Merck KGaA, Darmstadt, Alemania, mcsa(at)merck.com.co, 2014

Fuente Laboratorios Merck S.A



820846 Naftaleno

para síntesis

Para preguntas en general por favor contacte
a nuestro Servicio de Atención al Cliente:

Merck KGaA
Frankfurter Str. 250
64293 Darmstadt
Germany
Teléfono: +49 6151 72-0
Fax: +49 6151 72 2000

09 febrero 2014

Número de producto	Embalaje	Cant./Env.	Precio
8208460100	Frasco, plástico	100 g	Precio sobre pedido
8208461000	Frasco, plástico	1 kg	Precio sobre pedido

Los precios están sujetos a cambios sin notificación.

Información sobre producto


Fórmula empírica (según Hill)	$C_{10}H_8$
Número HS	2902 90 00
Número CE	202-049-5
Masa molar	128.17 g/mol
Número de índice CE	601-052-00-2
Número CAS	91-20-3

Datos químicos y físicos


Temperatura de ignición	540 °C
Solubilidad en agua	0.03 g/l (25 °C)
Punto de fusión	79 - 82 °C
Masa molar	128.17 g/mol
Densidad	1.15 g/cm ³ (20 °C)
Bulk density	550 - 600 mg/m ³
Punto de ebullición	218 °C

Presión de vapor	0.08 hPa (20 °C)
Límite de explosión	0.9 - 5.9 %(V)
Temperatura de inflamabilidad	80 °C

Información de seguridad de acuerdo a GHS

Hazard Statement(s)	H228: Sólido inflamable. H302: Nocivo en caso de ingestión. H351: Se sospecha que provoca cáncer. H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
Precautionary Statement(s)	P273: Evitar su liberación al medio ambiente. P281: Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. P308 + P313: EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consultar a un médico. P370 + P378: En caso de incendio: Utilizar arena para apagarlo.
Signal Word	Atención
Hazard Pictogram(s)	
RTECS	QJ0525000
Clase de almacenamiento	4.1B Materiales inflamables sólidos peligrosos
WGK	WGK 3 muy contaminante para el agua

Información de seguridad

Frase R	R 22-40-50/53 Nocivo por ingestión. Posibles efectos cancerígenos. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
Frase S	S 36/37-46-60-61 Úsese indumentaria y guantes de protección adecuados. En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muéstresele la etiqueta o el envase. Elimínese el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.
Características de peligrosidad	nocivo, cancerígeno, peligroso para el medio ambiente
Hazard Symbol	 Harmful



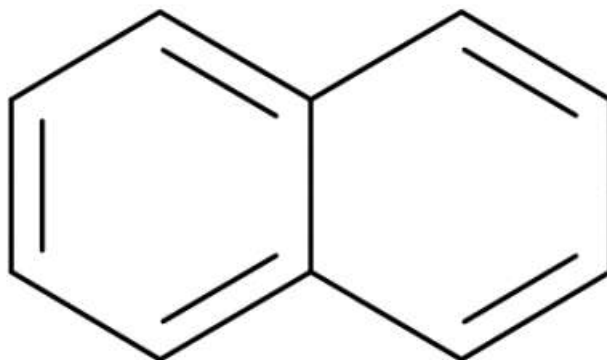
Dangerous for the environment

Información de transporte

Clasificación (Transporte terrestre) ADR, RID	UN 1334 Naphthalen, raffiniert, 4.1, III
Clasificación (Transporte marítimo) IMDG-Code	UN 1334 NAPHTHALENE, REFINED, 4.1, III
Clasificación (Transporte aéreo) IATA-DGR	UN 1334 NAPHTHALENE, REFINED, 4.1, III

Datos toxicológicos

LD 50 oral	DL50 rata > 2000 mg/kg
LD 50 dérmica	DL50 rata > 2500 mg/kg



© Merck KGaA, Darmstadt, Alemania, mcsa(at)merck.com.co, 2014

Fuente Laboratorios Merck S.A