

## MANUAL DEL EQUIPO

### INTRODUCCIÓN

La transferencia de calor es una rama de la ciencia que involucra el intercambio y/o la conversión de energía, por lo cual obedece tanto la primera como la segunda ley de la termodinámica. Sin embargo, sus principios no se deducen de la termodinámica, ya que esta principalmente evalúa procesos de equilibrio y por el contrario el flujo de calor es producto de un desequilibrio de temperatura y sus conceptos son mayormente aplicables en la ingeniería [1].

Es conocido que la energía térmica puede ser transferida a través de tres mecanismos a saber: conducción (transporte molecular), convección y radiación. En este caso particular, nos referimos al mecanismo de conducción de calor y en especial a la ecuación constitutiva que permite estimar la velocidad de transferencia de calor a través de un material en función de un gradiente de temperatura [2].

A principios del siglo XIX, Joseph Fourier en su obra *Teoría Analítica del Calor* define las propiedades elementales que determinan la acción del calor y demuestra matemáticamente su comportamiento con ayuda de sus observaciones experimentales, estableciendo la ley fundamental de la conducción o mejor conocida como Ley de Fourier en su honor [3, 4]. Además, Fourier afirma sobre el estudio del calor que “...ningún tema tiene relación más amplia con el progreso de la industria y las ciencias naturales; la acción del calor siempre está presente...” y tenía la razón, pues su teoría es de importancia en diversas aplicaciones prácticas como intercambiadores de calor, reactores, calderas, condensadores, generadores, acondicionadores de aire, y almacenamiento de energía térmica entre muchos otros que pueden llegar a ser de gran interés en la ingeniería química [1, 3].

A continuación, este manual de prácticas de laboratorio pretende orientar el estudio de distintos aspectos relacionados con la transferencia de calor por conducción, a través de una serie de prácticas experimentales que permitirá relacionar los datos experimentales con los principios matemáticos establecidos por Fourier en un módulo de conducción lineal de calor.

## OBJETIVOS

- Determinar la distribución de temperatura en estado estable a través de paredes en serie con distintos materiales.
- Evaluar la capacidad de conducción de calor de diferentes materiales en un sistema de paredes en serie.
- Estimar el coeficiente de transferencia de calor global para el flujo de calor a través de una combinación de diferentes materiales.
- Estudiar el estado inestable de conducción de calor a través de materiales aislantes.

## MARCO TEÓRICO

### Transferencia de calor

El calor puede definirse como, energía térmica en movimiento debido a una discontinuidad de la temperatura en un sólido o fluido. Desde un punto de vista molecular, el transporte conductivo de energía hace referencia al transporte de energía desde partículas (o moléculas) con mayor nivel de energía (mayor temperatura) a otras con menor nivel de energía (menor temperatura), dentro de un fluido o sólido debido a las interacciones entre estas [5].

### Conducción en sólidos

El mecanismo de conducción se basa en el contacto directo a través de las interacciones de las partículas más energéticas hacia las menos energéticas de una sustancia sin intercambio de materia. Se presenta cuando existe un gradiente de temperatura mediante las vibraciones reticulares y/o electrones libres en un medio sólido. La razón a la que fluye el calor a través de un medio depende de su geometría, espesor y el material del que esté hecho [6, 7].

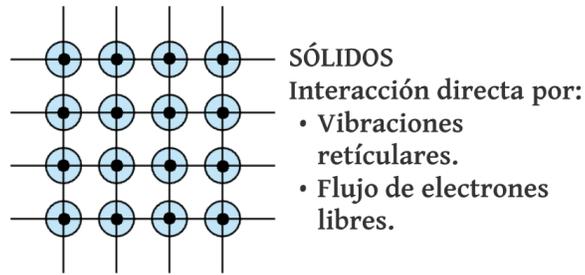


Figura 1. Conducción en sólidos.

Ley de Fourier:

Establece que la velocidad a la que el calor ( $Q$ ) se transfiere a través de un material sólido es proporcional al gradiente de temperatura  $\nabla T$  y al área ( $A$ ) perpendicular a la dirección del gradiente de temperatura. La constante de proporcionalidad ( $k$ ) es conocida como la conductividad térmica del material [8]. La Ley de Fourier está dada por la siguiente expresión:

$$\vec{Q} = -kA\nabla T$$

Donde  $\nabla$  es el operador gradiente y el signo negativo es incluido para asegurar que el flujo de calor es positivo cuando la temperatura disminuye en la dirección positiva de la variable independiente.

Con el fin de mostrar la aplicación de la Ley de Fourier considere una placa sólida de espesor  $\Delta x$ , cuyas temperaturas son constantes en cada uno de sus extremos e iguales a  $T_1$  y  $T_2$  como se muestra en la figura 2.

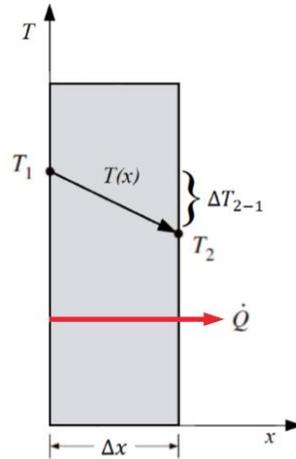


Figura 2. Conducción a través de una placa sólida.

Si aplicamos la ley de Fourier a esta configuración, resulta en un flux de calor unidimensional ( $q_x$ ) en régimen estacionario, a través de una pared plana de espesor ( $\Delta x$ ) y de superficie constante ( $A$ ) mostrado en la figura 2, con una distribución de temperatura  $T(x)$  y conductividad térmica ( $k$ ), que llevado a la ecuación general se expresa como [1],

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{ó} \quad \dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{Ec. 1})$$

El flux de calor ( $q_x$ ) es la velocidad con la que se transfiere el calor  $\dot{Q}$  en la dirección  $x$  por unidad de área perpendicular en la dirección de transferencia. El signo menos es consecuencia de la segunda ley de la termodinámica donde establece que el flujo de calor debe ir en la dirección del cambio de temperatura como se ilustra en la figura 3.

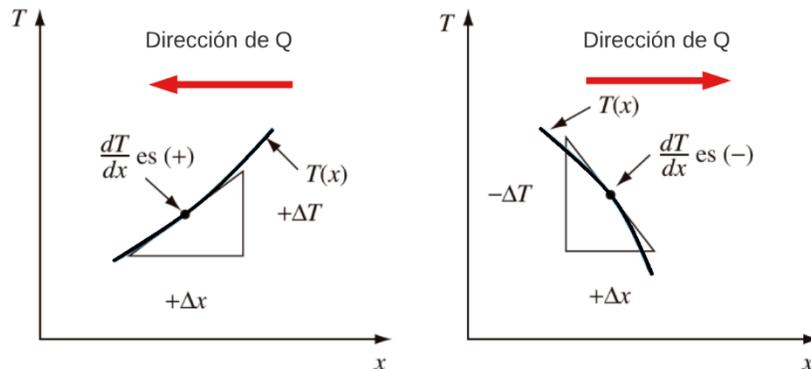


Figura 3. Convención de signos según la dirección del calor.

### Conductividad térmica

De acuerdo a la ley de Fourier, la conductividad térmica ( $k$ ), es la propiedad de un material que indica la facilidad con que la energía térmica se transfiere a través del mismo, en otras palabras, es una medida de la capacidad del material para conducir calor y depende principalmente de las condiciones físicas tales como temperatura y la anisotropía del material [5, 9]. Se define como,

$$k = \frac{\dot{Q}/A}{|dT/dx|} \quad (\text{Ec. 2})$$

Un valor elevado de conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante [6].

Una manera común de medir la conductividad térmica de un material es hacer el montaje de un calentador eléctrico constituido por una muestra, entre dos secciones idénticas de material totalmente aislado como se ilustra en la figura 4.

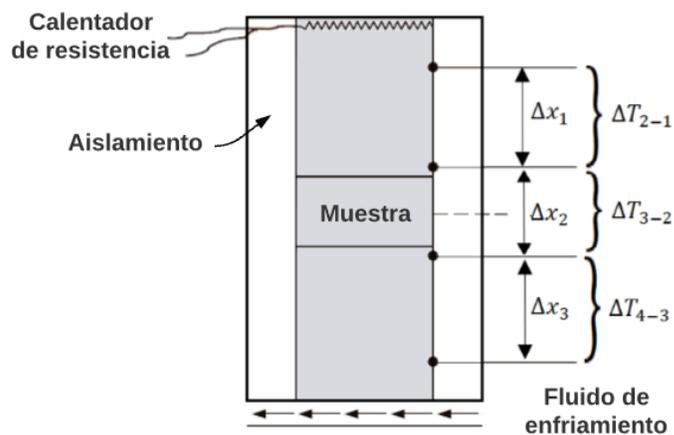


Figura 4. Calentador eléctrico.

El calentador está compuesto de tres secciones: calentamiento, intermedia y enfriamiento. Desde el punto de vista geométrico, consta de varias capas de diferentes

materiales, es decir, una pared plana compuesta de tres capas o dicho de otra manera una pared en serie que se representa de la siguiente manera,

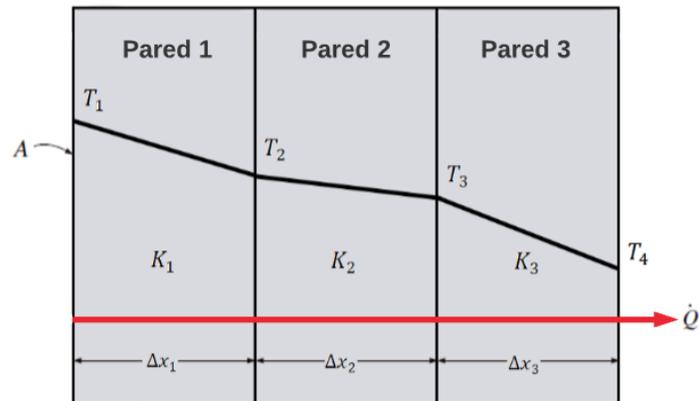


Figura 5. Sistema con paredes en serie.

Asumiendo que la energía de entrada es conducida sin pérdida a los alrededores hacia las demás placas, el flujo de calor  $\dot{Q}$ , entre cada sección o pared debe ser igual [10]. Aplicando la ley de Fourier en cada sección se obtiene:

$$\frac{Q}{A} = \frac{K_1 \Delta T_1}{\Delta x_1} = \frac{K_2 \Delta T_2}{\Delta x_2} = \frac{K_3 \Delta T_3}{\Delta x_3} \quad (\text{Ec. 3})$$

Una configuración similar puede realizarse para demostrar la proporcionalidad inversa entre el gradiente de temperatura y el área perpendicular a la dirección del flujo de calor como la que se muestra en la figura 6.

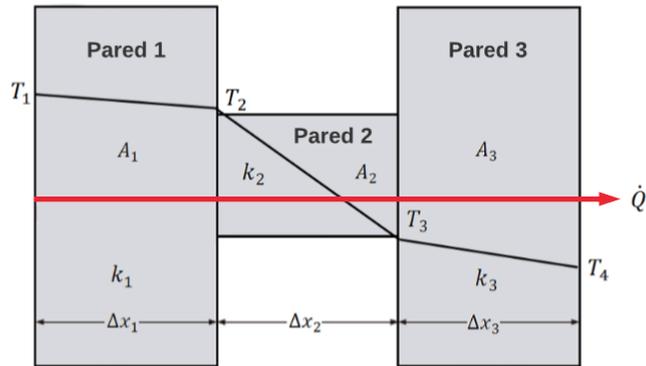


Figura 6. Pared compuesta con área intermedia reducida.

Considerando una sección intermedia de área reducida en un sistema de tres paredes de un mismo material como el que se muestra en la figura 6 y asumiendo que la energía térmica de la pared 1 es conducida sin pérdida a los alrededores hasta la pared 3, la ley de Fourier aplicada en cada una de las secciones resulta:

$$\dot{Q} = kA_1 \frac{\Delta T_{12}}{\Delta x_{12}} \quad y \quad \dot{Q} = kA_2 \frac{\Delta T_{23}}{\Delta x_{23}} \quad (\text{Ec. 4})$$

De donde es posible deducir una relación directa entre las áreas de los materiales y los respectivos gradientes de temperatura [10]:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\left(\frac{\Delta T_{23}}{\Delta x_{23}}\right)}{\left(\frac{\Delta T_{12}}{\Delta x_{12}}\right)} \quad (\text{Ec. 5})$$

Conociendo las respectivas temperaturas y distancias, del resultado de la ecuación 5 puede realizarse una comparación con la relación teórica de áreas puesto que este es un valor conocido y así determinar el error de la experimentación realiza [10].

Esta misma formulación puede realizarse con la otra sección no reducida para comparar esta relación de áreas.

Coeficiente global de transferencia de calor:

Es el coeficiente de transferencia de calor utilizado al tener un sistema compuesto por varias secciones de distinto o igual material que visto de otra manera sería la conductividad térmica de un sistema. Si observamos la figura 5 y aplicamos este concepto, las ecuaciones quedan de la siguiente manera [10]:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = U * \Delta T_{14} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde el coeficiente global puede ser representado como:

$$\frac{1}{U} = \frac{\Delta x_{12}}{k_1} + \frac{\Delta x_{23}}{k_2} + \frac{\Delta x_{34}}{k_3} \quad (\text{Ec. 7})$$

## TEMAS DE CONSULTA

- Conceptos fundamentales de transferencia de calor.
- Ley de Fourier y conductividad térmica.
- Ecuación diferencial de la conducción de calor en coordenadas cartesianas.
- Conducción a través de paredes en serie.

## DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo o modulo experimental para el estudio de conducción de calor, está compuesto por una unidad de servicio de transferencia de calor H112 y un módulo de conducción lineal de calor H112A con sus respectivos accesorios, Figura 7. La unidad base o de servicio H112 es una consola de acero revestido que proporciona alimentación regulada CA con un suministro de voltaje de 0 – 240 voltios (2A) ajustable para el módulo de conducción H112A. Incluye un indicador digital de temperatura de 12 puntos, un medidor

digital de corriente y voltaje, 12 entradas de temperatura y una conexión con el sistema de adquisición de datos. El módulo de conducción H112A es un aparato a pequeña escala constituido de una sección aislada de 25 mm de diámetro calentada en latón, y una sección de enfriamiento que se puede ensamblar con una de las cuatro muestras aisladas en la interfase (sección intermedia). El extremo caliente utiliza un calentador nominal de 75 W (240 voltios máximo), que está equipado con un interruptor de límite de alta temperatura. La sección fría tiene dimensiones idénticas al extremo caliente y esta refrigerada por agua. Cada sección contiene tres termopares igualmente espaciados de 15 mm para medir los gradientes de temperatura a lo largo de las barras como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Equipo de conducción lineal de calor

El diagrama instrumental del módulo de conducción lineal de calor lineal H112A se muestra en la figura 9, el cual ilustra esquemáticamente la relación funcional de la instrumentación y los componentes del flujo del proceso del sistema.

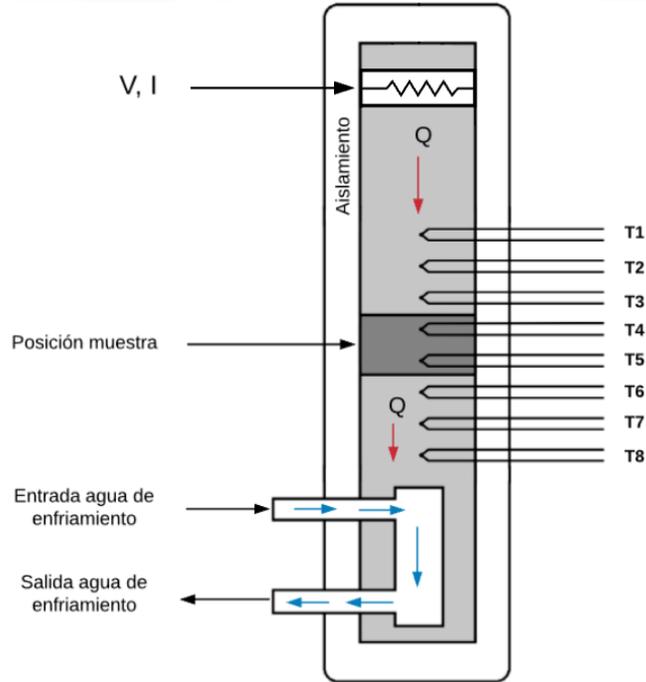


Figura 8. Diagrama instrumental del módulo H112A.

El equipo permite la investigación experimental de la conducción de calor y la medición de la conductividad térmica de varios conductores sólidos y aislantes (Figura 8). La muestra de latón de 25 mm de diámetro contiene dos termocuplas (T4, T5) que hacen parte de los ocho termocuplas que contiene el módulo de conducción H112A. Las ocho termocuplas están conectadas directamente a la unidad base H112.



13	Muestra de acero inoxidable
14	Muestra de Aluminio
15	Muestra de latón con área reducida
16	Muestra de papel
17	Muestra de corcho
18	Pasta térmica
8	Muestra de Latón con termopares T4, T5

Figura 9. Accesorios del equipo.

## PROCEDIMIENTO

### Calibración del equipo

El proceso de la calibración del equipo consta de la configuración de los canales de temperaturas, voltaje de entrada, canal de corriente del calentador y el flujo del agua. El proceso de calibración de las tres últimas mencionadas anteriormente es similar.

- Ubique la manguera donde el agua pueda fluir de una manera segura para evitar fugas.
- Enchufe la unidad de servicio de transferencia de calor H112 y el sistema de adquisición de datos Data Logger al tomacorriente.
- Encienda la unidad base H112 por medio del interruptor que se encuentra ubicado en la unidad base.
- Verificar que la perilla de control de voltaje este en cero.
- Ejecute el programa P. A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
- Cargar los archivos preconfigurados en *Configuration File Name* como se muestra en la figura 10.

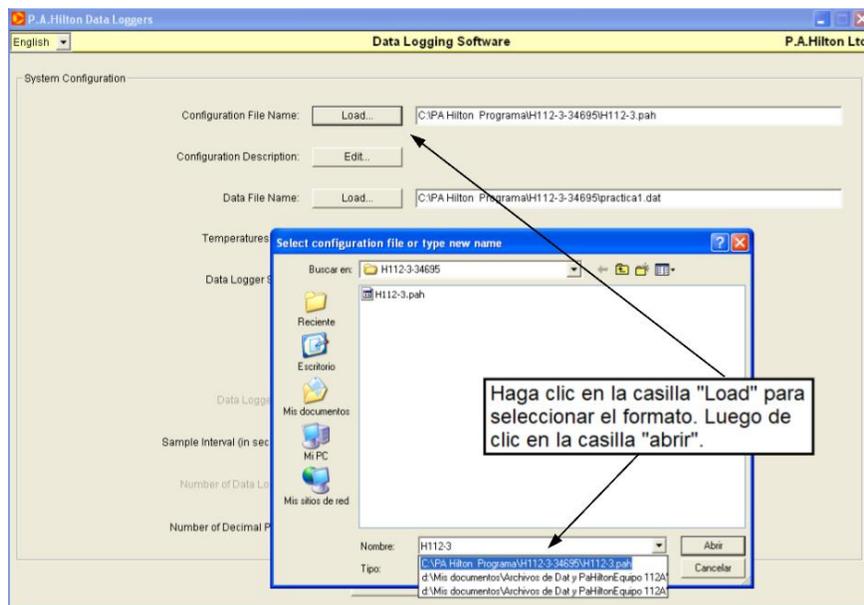


Figura 10. Configuración del sistema.

- Editar el nombre en *Data File Name* para obtener un nuevo archivo como se muestra en la figura 11.

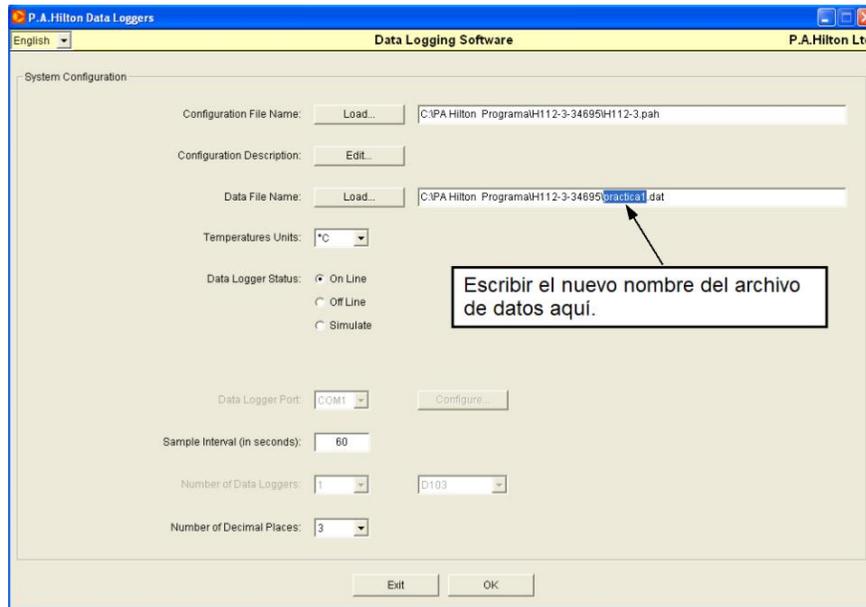


Figura 11. Nuevo archivo.

- Asegúrese de que este en modo *On line* e introduzca el intervalo de tiempo en segundos entre cada toma de datos.
- Seleccione *Channels Configuration* en el menú principal y haga clic en “OK”.
- Configure los canales de temperatura por medio de la función “*Offset*” a través del valor de referencia en *Show Current Value* y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.
- Seleccione “*Input Volts*” y luego de clic en *Calibrate*.
- Escoger tres valores o medidas de Voltaje y luego pulse leer. Es necesario que cada medida escogida se haga por medio del control de voltaje para que sea leída por medio del transductor.
- Ubíquese en *Linear* y luego en *Graph* para verificar el comportamiento lineal.
- Haga clic en *aceptar* para volver a los canales de configuración.
- Seleccione ahora *Input Amps* y luego de clic en *Calibrate*.

- Escoger tres valores de Corriente con ayuda de la perilla de control de voltaje para que cada valor escogido sea leído y se registre.
- Ubíquese en *Linear* y luego de clic en *Graph* para verificar el comportamiento lineal.
- Entre al canal de *Water Flow* y luego clic en *Calibrate*.
- Abra la válvula de desagüe y realice tres mediciones de flujo con ayuda de una probeta y un cronómetro. Para cada medida no olvide pulsar en *Read*.
- Ubíquese en *Linear* y luego de clic en *Graph* para verificar el comportamiento lineal.

### Práctica 1: Flujo de calor unidireccional a través de un sistema homogéneo

- Enchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 al tomacorriente.
- Encienda la unidad base H112 por medio del interruptor.
- Coloque la muestra de latón en la sección intermedia del módulo de conducción lineal de calor H112A y ajuste las abrazaderas de palanca con la sección caliente.
- Ejecute el programa P.A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
- Cargar los archivos preconfigurados y editar el nombre del archivo con el fin de crear uno nuevo.
- Configure los canales de temperatura por medio de la función “*Offset*” a través del valor de referencia en *Show Current Value* y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.
- Gire la perilla en el sentido opuesto a las agujas del reloj para fijar la tensión en 120 voltios.
- Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de agua aproximadamente de 25 mL/s. Este flujo se verifica en el canal de *Water Flow* en el *Data Loggers*.
- Durante la práctica es necesario controlar el valor del voltaje y el flujo de agua ya que no suelen ser constantes.
- Permita que el sistema se estabilice y empiece a tomar medidas. En el menú principal de clic en *Collect Data* y luego en *Numeric Display*.

- Monitorear las temperaturas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 hasta que estabilicen manteniendo un flujo de agua en un rango de 24-28 g/s.
- De clic en *Start Recording* para llevar acabo la recogida de datos
- Aumente el voltaje a 170 voltios y espere a que el sistema estabilice.
- Finalice dando clic en *Stop Recording*, luego regrese al menú principal y haga clic en *Exit*.
- Ubique la perilla en el nivel mínimo (0 voltios) y espere a que el sistema se enfríe mediante el flujo de agua.
- Desenchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 cuando T1 se encuentre por debajo de 35°C.

*Práctica 2: Determinación del coeficiente de transferencia de calor global y la conductividad térmica a través de una combinación de diferentes materiales*

- Enchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 al tomacorriente.
- Encienda la unidad base H112 por medio del interruptor.
- Unte las superficies de las secciones frías y calientes del módulo H112A con una pasta térmica.
- Coloque la muestra de Acero Inoxidable o Aluminio en la sección intermedia del módulo de conducción lineal de calor H112A y ajuste las abrazaderas de palanca con la sección caliente.
- Ejecute el programa P.A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
- Cargar los archivos preconfigurados y editar el nombre del archivo con el fin de crear uno nuevo.
- Configure los canales de temperatura por medio de la función "Offset" a través del valor de referencia en *Show Current Value* y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.
- Gire la perilla en el sentido opuesto a las agujas del reloj para fijar la tensión en 90 voltios.

- Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de agua aproximadamente de 25 mL/s. Este flujo se verifica en el canal de Water Flow en el Data Loggers.
- Durante la práctica es necesario controlar el valor del voltaje y el flujo de agua ya que no suelen ser constantes.
- Permita que el sistema se estabilice y empiece a tomar medidas. En el menú principal de clic en *Collect Data* y luego en *Numeric Display*.
- Monitorear las temperaturas T1, T2, T3, T6, T7, T8 hasta que estabilicen manteniendo el flujo de agua en un rango de 24-28 g/s.
- De clic en *Start Recording* para llevar acabo la recogida de datos
- Aumente el voltaje a 140 voltios y espere a que el sistema estabilice.
- Finalice dando clic en *Stop Recording*, luego regrese al menú principal y haga clic en *Exit*.
- Ubique la perilla en el nivel mínimo (0 voltios) y espere 10 minutos.
- Utilice los guantes de protección y saque la muestra del módulo para limpiarla con Metanol.
- Ensamble de nuevo las secciones frías y calientes, y esperé a que el sistema se enfríe mediante el flujo de agua.
- Cierre la válvula de drenaje cuando T1 se encuentre por debajo de 35°C y apague el equipo por medio del interruptor.
- Desenchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 cuando T1 se encuentre por debajo de 35°C.
- Limpie las superficies de las secciones frías y calientes con Metanol.

*Práctica 3: Efecto del gradiente de temperatura a través de un sistema con área intermedia reducida*

- Enchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 al tomacorriente.
- Encienda la unidad base H112 por medio del interruptor.
- Unte de pasta térmica ambas superficies de la muestra de latón de área reducida y colóquela en la sección intermedia del módulo de conducción lineal de calor H112A y ajuste las abrazaderas de palanca con la sección caliente.

- Ejecute el programa P.A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
- Cargar los archivos preconfigurados y editar el nombre del archivo con el fin de crear uno nuevo.
- Configure los canales de temperatura por medio de la función “*Offset*” a través del valor de referencia en *Show Current Value* y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.
- Gire la perilla en el sentido opuesto a las agujas del reloj para fijar la tensión en 90 voltios.
- Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de agua aproximadamente de 25 mL/s. Este flujo se verifica en el canal de Water Flow en el Data Loggers.
- Durante la práctica es necesario controlar el valor del voltaje y el flujo de agua ya que no suelen ser constantes.
- Permita que el sistema se estabilice y empiece a tomar medidas. En el menú principal de clic en *Collect Data* y luego en *Numeric Display*.
- Monitorear las temperaturas T1, T2, T3, T6, T7, T8 hasta que estabilicen manteniendo el flujo de agua en un rango de 24-28 g/s.
- De clic en *Start Recording* para llevar a cabo la recogida de datos
- Aumente el voltaje a 120 voltios y espere a que el sistema estabilice.
- Finalice dando clic en *Stop Recording*, luego regrese al menú principal y haga clic en *Exit*.
- Ubique la perilla en el nivel mínimo (0 voltios) y espere 10 minutos.
- Utilice los guantes de protección y saque la muestra del módulo para limpiarla con Metanol.
- Ensamble de nuevo las secciones frías y calientes, y espere a que el sistema se enfríe mediante el flujo de agua.
- Cierre la válvula de drenaje cuando T1 se encuentre por debajo de 35°C y apague el equipo por medio del interruptor.
- Desenchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 cuando T1 se encuentre por debajo de 35°C.
- Limpie las superficies de las secciones frías y calientes con Metanol.

Práctica 4: Estudio sobre un estado transitorio de conducción de calor usando aislantes

- Enchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 al tomacorriente.
- Encienda la unidad base H112 por medio del interruptor.
- Coloque la muestra de corcho o papel en la sección intermedia del módulo de conducción lineal de calor H112A y ajuste las abrazaderas de palanca con la sección caliente.
- Ejecute el programa P.A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
- Cargar los archivos preconfigurados y editar el nombre del archivo con el fin de crear uno nuevo.
- Configure los canales de temperatura por medio de la función “*Offset*” a través del valor de referencia en *Show Current Value* y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.
- Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de agua aproximadamente de 25 mL/s. Este flujo se verifica en el canal de Water Flow en el Data Loggers.
- Durante la práctica es necesario controlar el valor del voltaje y el flujo de agua ya que no suelen ser constantes.
- Gire la perilla en el sentido opuesto a las agujas del reloj para fijar la tensión en 60 voltios.
- En el menú principal de clic en *Collect Data* y luego en *Numeric Display*.
- Para llevar acabo la recogida de datos de clic en *Start Recording*.
- Monitorear las temperaturas T1, T2, T3, T6, T7, T8 y el flujo de agua manteniéndolo en un rango de 24-28 g/s hasta que se cumpla un tiempo de 100 minutos.
- Luego aumente el voltaje a 90 voltios y monitoree las temperaturas hasta que el sistema estabilice.
- Finalice dando clic en *Stop Recording*, luego regrese al menú principal y haga clic en *Exit*.
- Ubique la perilla en el nivel mínimo (0 voltios) y espere 10 minutos aproximadamente.

- Utilice los guantes de protección y saque la muestra del módulo.
- Ensamble de nuevo las secciones frías y calientes para asegurar que el sistema se enfríe de manera más rápida.
- Cierre la válvula de drenaje cuando T1 se encuentre por debajo de 35°C y apague el equipo por medio del interruptor.
- Desenchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 cuando T1 se encuentre por debajo de 35°C.

## EXTRACCIÓN DE LA TOMA DE DATOS A HOJA DE EXCEL

- Ejecute el programa Excel y enseguida seleccione libro en blanco.
- Ubicarse en la parte superior izquierda en archivo y luego seleccione abrir.
- Haga clic en examinar. Verifique la selección de todos los archivos.
- Busque el archivo (formato Data) que se guardó con el nombre asignado y haga clic en abrir (Figura 12).

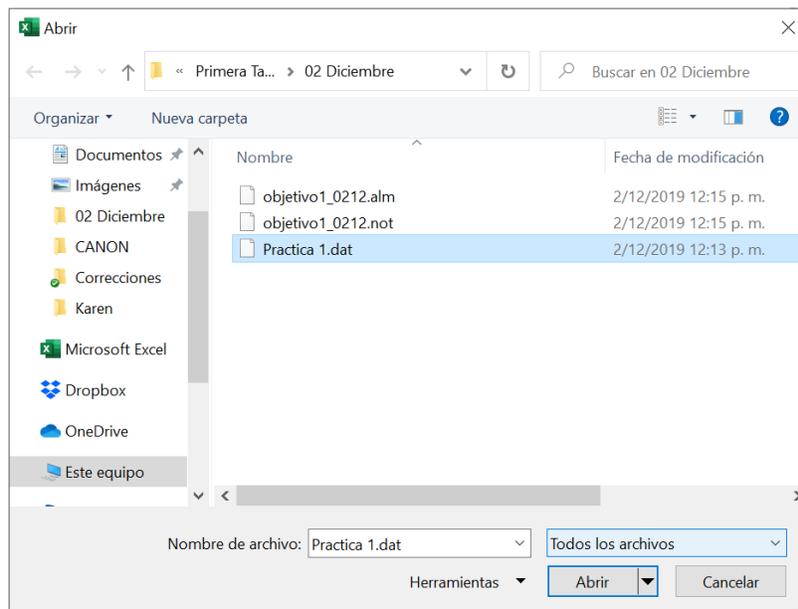


Figura 12. Archivo preconfigurado data

- Seleccione la casilla delimitados en el asistente de importación de datos y luego de clic en siguiente como se muestra en la figura 13.

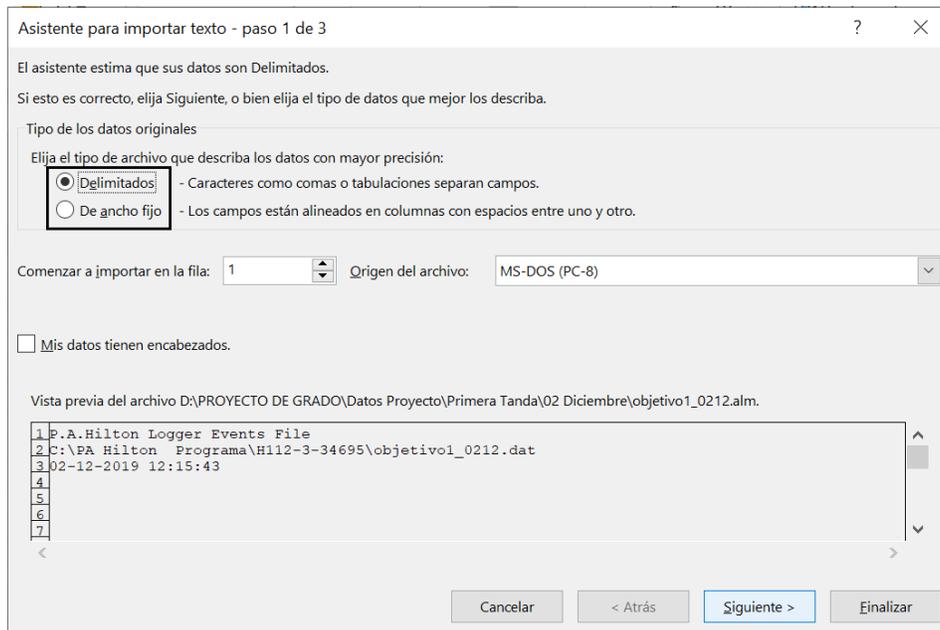


Figura 13. Asistente de importación de datos

- Seleccione ahora la casilla punto y coma; y finalmente de clic en siguiente, enseguida finalizar (figura 14).

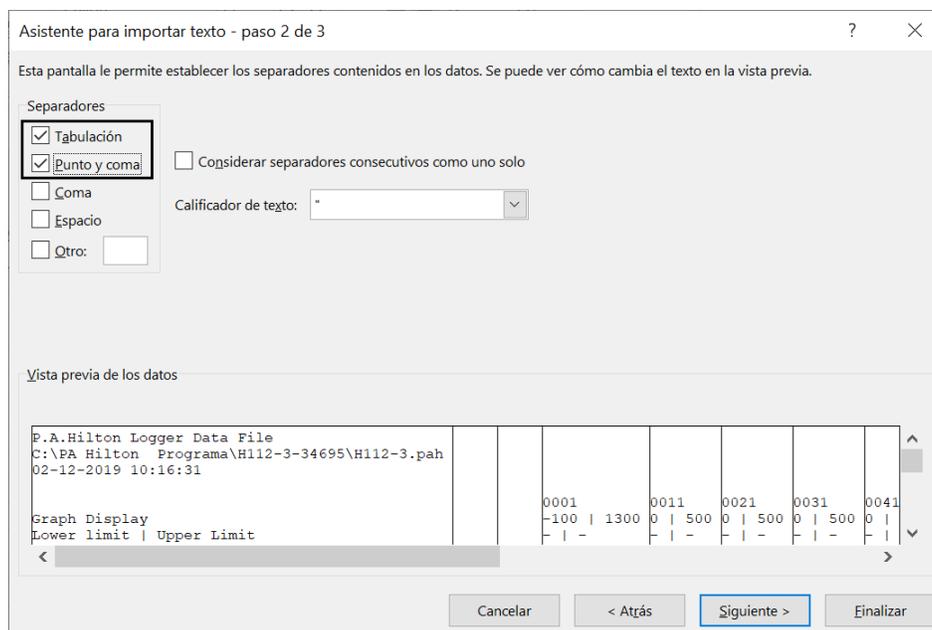


Figura 14. Configuración de la vista de los datos experimentales.

## SEGURIDAD

A continuación, se presentan los lineamientos de seguridad de uso del equipo en el laboratorio de conductividad de materiales:

- Mantener en orden y limpieza el lugar de trabajo antes, durante y después de la ejecución de cualquier tarea con el equipo.
- En caso de ocurrir una sobrecarga causada por un cortocircuito o escape de tierra, el equipo está diseñado para apagarse mediante el interruptor del circuito principal.
- Verificar que las abrazaderas metálicas de presión del módulo de conducción lineal de calor H112A estén ajustadas al momento de la puesta en marcha del equipo.
- Se debe utilizar guantes resistentes al calor al momento de retirar la muestra de la sección intermedia del módulo H112A al finalizar la práctica.
- Después de cada practica que requiera el uso de la pasta térmica, se deberá proceder con la limpieza de las superficies de las secciones frías y calientes, así como las superficies de las muestras intermedias.
- Se debe asegurar la desconexión de la unidad de servicio de transferencia de calor H112 y el sistema de adquisición de datos HC112A al momento de finalizar completamente la práctica.
- Se debe abrir la válvula de drenaje del agua gradualmente hasta llegar al flujo requerido.
- Transitar en el laboratorio con precaución.
- En caso de desconexión de las mangueras de entrada y/o salida, cierre rápidamente la válvula de drenaje y limpie la zona afectada.

## RESULTADOS

Para la práctica 1:

- Calcular la conductividad térmica  $k$  en cada una de las secciones de la barra.
- Hallar el error porcentual con base en el valor teórico de conductividad.

- Graficar T vs distancia desde la termocupla T1.

Para la práctica 2:

- Calcular la conductividad térmica K en la sección intermedia de distinto material.
- Determinar el coeficiente global de calor a lo largo del material compuesto.
- Hallar el error porcentual para la conductividad y el coeficiente global de calor.
- Graficar T vs distancia desde la termocupla T1.

Para la practica 3:

- Calcular la conductividad térmica K en la sección intermedia reducida de latón.
- Determinar la relación de áreas entre la sección caliente y la intermedia y entre la sección fría y la intermedia.
- Hallar el error porcentual para la conductividad y las relaciones de áreas.
- Graficar T vs distancia desde la termocupla T1.

Para la practica 4:

- Calcular la conductividad térmica K en la sección intermedia del material aislante.
- Hallar el error porcentual para la conductividad del aislante.
- Graficar T1 vs tiempo, realizar su respectiva regresión y hallar la temperatura de estabilización realizando el límite cuando  $t \rightarrow \infty$ .

**Tablas para toma de datos:**

Las siguientes tablas pueden ser utilizadas para la recolección de los datos de las prácticas:

- ❖ Práctica 1:

Prueba No.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	V	I
	°C	Voltios	Amperios							
1										
2										
Distancia desde T1 [m]									---	---

❖ Práctica 2:

Prueba No.	T1	T2	T3	T6	T7	T8	V	I
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	Voltios	Amperios
1								
2								
Distancia desde T1 [m]							---	---

❖ Práctica 3:

Prueba No.	T1	T2	T3	T6	T7	T8	V	I
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	Voltios	Amperios
1								
2								
Distancia desde T1 [m]							---	---

❖ Práctica 4:

Tiempo de Muestreo	T1	V	I
Minutos	°C	Voltios	Amperios
0			
1			
2			
3			
4			
5			
.			
.			
.			
99			
100			

Prueba No.	T1	T2	T3	T6	T7	T8	V	I
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	Voltios	Amperios
1								
2								
Distancia desde T1 [m]							---	---

## RECOMENDACIONES

- A fin de que las temperaturas estabilicen rápidamente, se recomienda trabajar con el aire acondicionado a temperatura de un rango de 20 - 26 °C.
- Al momento de terminar cada practica es necesario retirar la muestra de la sección intermedia mediante guantes XXX.
- Es importante aplicar una cantidad adecuada de pasta térmica en el centro de las superficies de la sección caliente y fría antes de poner la muestra.
- Al finalizar las prácticas que requieran pasta térmica, es importante realizar una limpieza adecuada con isopos y Metanol asegurándose que no queden impurezas sobre y alrededor de las superficies de las secciones frías y calientes, además de las muestras de metales a utilizar.

## REFERENCIAS

- [1] M. S. Bohn, F. Kreith, and R. M. Manglik, *Principios de Transferencia de Calor* 7ed. ed. 2012, p. 761.
- [2] F. P. Incropera and D. P. Dewitt, *Fundamentos de Transferencia de Calor*, 4ed. ed. México, 1999, p. 912.
- [3] J. Fourier, "The Analytical Theory of Heat," in *Théorie analytique de la chaleur* Cambridge: Cambridge University Press, 1878, pp. 1-15.
- [4] D. W. Hahn and M. N. Özişik, *Heat Conduction*, Third Edition ed. John Wiley and Sons, 2012, p. 718p.

- [5] T. L. Bergman, D. P. DeWitt, F. Incropera, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7ed. ed. 2011, p. 997.
- [6] Y. A. Cengel and A. J. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa : Fundamentos y Aplicaciones*, 4ed. ed. México, 2011, p. 902.
- [7] M. Thirumaleshwar, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. India: Dorling Kindersley/Pearson, 2006.
- [8] U. S. Dixit, M. Hazarika, and J. P. Davim, "A Brief History of Mechanical Engineering," S. I. Publishing, Ed., 2017.
- [9] H. K. Gupta and S. Roy, *Geothermal Energy : An Alternative Resource for the 21st Century*. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science, 2007, pp. 33-48.
- [10] P-A-HILTON, *Manual de uso y Mantenimiento Modulo de Conducción Linear de Calor optional H112A*. United Kingdom: P-A-HILTON LTD, 2011, p. 55.