

Desarrollo e implementación de prácticas de laboratorio usando un módulo de conducción lineal de calor para la asignatura de Laboratorio de Procesos I de la Escuela de Ingeniería Química

Julieth Katherin Vargas Serrano, Alvaro Andrés Villabona Mosquera

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Químico

Director

Arlex Chaves Guerrero

Doctor en Ingeniería Química

Codirector

Fernando Viejo Abrante

Doctor en Ciencia y Tecnología de Materiales

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas  
Escuela de Ingeniería Química  
Bucaramanga

2020

## **Dedicatoria**

A Dios.

Quien inspiro mi alma y cuerpo dándome salud y sabiduría para alcanzar cada una de mis metas. Por haberme guiado en este camino permitiéndome disfrutar de cada momento de esta grandiosa etapa de mi vida.

A mis nonos, Hermes Serrano y Belén Carreño.

Por su motivación, apoyo incondicional, amor y sabiduría que me inspiraron para creer en mí misma logrando cada uno de mis sueños siendo mejor persona. Son la luz que ilumina mis caminos que faltan por recorrer.

A mis padres, Belsy Serrano y Alvaro Vargas.

Por su apoyo incondicional y dedicación para convertirme en la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ellos, además, de la formación y educación que con mucho esfuerzo y amor lograron darme.

A mis hermanos.

Por ser mis compañeros de vida y a pesar de las circunstancias, hemos compartido grandes experiencias manteniéndonos unidos sin importar los problemas y adversidades.

Al resto de familiares.

Por contribuir con su apoyo, palabras de ánimo y acciones que me ayudaron a salir adelante.

A mis mejores amigos.

Quienes siempre estuvieron ahí apoyándome y enseñándome a ser mejor persona. Gracias por la confianza y los momentos compartidos que nos llenaron de mucho amor y felicidad.

A mis compañeros.

Por acompañarme en este camino de lucha, desempeñando un papel importante en la parte académica y social.

Julieth Katherin Vargas Serrano.

A Dios,

Por darme la sabiduría durante todo el trayecto de mi carrera profesional levantándome en los momentos más difíciles y ayudándome a tomar las decisiones correctas en una de las mejores etapas de la vida.

A mi madre Alia,

Quien siempre me ha acompañado en este largo camino brindándome todo el amor y el apoyo para hacer realidad este sueño en común, ningún hijo podría estar más orgulloso de tener una madre como ella.

A mi padre Alvaro,

Por estar pendiente de mí a pesar de la distancia inculcándome los valores y consejos necesarios para siempre seguir adelante y no desfallecer.

A mis hermanas,

Por creer siempre en mí, apoyarme y tratar de facilitarme los medios necesarios para llegar hasta este punto de mi vida.

A mis familiares y amigos,

Que con su aprecio me han dado el apoyo suficiente en este camino.

A mis nuevos amigos Luis, Erika, Ximena y Tania, entre muchos otros,

Que conocí en este largo camino y con los que viví momentos inolvidables tanto de alegrías y tristezas, pues ellos le dan el color a esta excelente experiencia y la hacen inmejorable.

Al profe Javier,

Que me brindó su amistad y me transmitió su conocimiento y enseñanzas de vida para ser un mejor profesional.

Para Alejandra quien me ha apoyado y aconsejado con las palabras adecuadas en esta última parte del pregrado.

A Juli,

Quien conocí desde que comencé esta experiencia, quien ha sido mi compañera, novia y amiga acompañándome y apoyándome en las buenas y en las malas para juntos hoy culminar este proceso, gracias a ella soy parte de lo que ahora soy.

A todos mis compañeros y conocidos en la universidad, pues ellos son una pieza fundamental para que hoy pueda finalmente pueda decir, soy ingeniero químico.

## Agradecimientos

Los autores agradecen:

De manera especial al profesor Arlex Chaves Guerrero, quien, con sus enseñanzas, conocimientos y su apoyo incondicional; nos guio a través de cada una de las etapas de este proyecto y durante la carrera profesional.

Al profesor Fernando Viejo Abrante, por la oportunidad de hacer parte del equipo de trabajo del proyecto y su acompañamiento durante el mismo.

A la Universidad Industrial de Santander, nuestra alma mater; por brindarnos una educación de excelente calidad para formarnos como personas integra y futuros profesionales con principios éticos para contribuir al fortalecimiento de una sociedad democrática con calidad de vida.

A los ingenieros Guillermo, Eduardo y Wilson, por sus enseñanzas para ser mejores profesionales y su acompañamiento durante la carrera.

A los profesores que hicieron parte de nuestra formación educativa en el ámbito académico y personal; esforzándose cada día para enseñarnos a ser mejores, a creer en nosotros sin importar los obstáculos que se nos presente.

A Joaquín, por su acompañamiento y dedicación en este proyecto.

A nuestros compañeros, Michelle y Karen, por su aporte y apoyo durante el proyecto.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	15
1. Objetivos .....	19
1.1 Objetivo general.....	19
1.2 Objetivos específicos .....	19
2. Metodología .....	20
2.1 Establecimiento de condiciones de operación .....	20
2.1.1 Reconocimiento del equipo.....	20
2.1.2 Calibración del equipo .....	21
2.1.3 Identificación de las condiciones de operació: .....	21
2.2 Diseño de las prácticas de laboratorio .....	21
2.2.1 Planteamiento y desarrollo de prácticas.....	21
2.2.2 Pruebas experimentales.....	21
2.2.3 Análisis de datos .....	22
2.3 Validación de las prácticas.....	22
2.4 Elaboración del manual.....	22
2.5 Diseño de herramienta pedagógica .....	22
2.6 Capacitación.....	23
3. Resultados y Discusión .....	23
3.1 Establecimiento de condiciones de operación .....	23
3.1.1 Reconocimiento del equipo.....	23

3.1.2 Calibración del equipo .....	26
3.1.3 Identificación de las condiciones de operación .....	29
3.2 Diseño de prácticas de laboratorio .....	30
3.2.1 Planteamiento y desarrollo de las prácticas .....	30
3.3 Validación de las prácticas.....	31
3.4 Elaboración del manual: .....	36
3.5 Herramienta pedagógica .....	37
3.6 Capacitación.....	40
3.6.1 Taller de prueba piloto .....	40
4. Conclusiones .....	42
5. Recomendaciones .....	43
Referencias Bibliográficas .....	44

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Curvas de calibración del canal de voltaje, corriente y flujo de agua</i> .....	29
Tabla 2 <i>Condiciones de operación del equipo para cada práctica</i> .....	30
Tabla 3 <i>Datos para muestra de latón a 120 y 170 voltios</i> .....	33
Tabla 4 <i>Cálculos variables ley de Fourier</i> .....	34
Tabla 5 <i>Errores porcentuales</i> .....	34

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Diagrama metodológico de la metodología desarrollada en el presente proyecto.</i> .....	20
Figura 2 <i>Unidad de servicio de transferencia de calor H112</i> .....	24
Figura 3 <i>Módulo de conducción lineal de calor H112A</i> .....	25
Figura 4 <i>Diagrama instrumental del Módulo H112A</i> .....	26
Figura 5 <i>Configuración de los canales de temperatura</i> .....	27
Figura 6 <i>Curva de calibración del voltaje</i> .....	28
Figura 7 <i>Temperatura en función de la distancia desde la termocupla 1</i> .....	36
Figura 8 <i>Página inicio del sitio web Conducción de calor</i> .....	39
Figura 9 <i>Página de generalidades del sitio web Conducción de Calor</i> .....	40
Figura 10 <i>Taller con el subgrupo 1</i> .....	41
Figura 11 <i>Taller con el subgrupo 2</i> .....	42

## Lista de Apéndices

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Descripción del equipo .....	47
Apéndice B. Curvas de calibración de corriente y flujo .....	49
Apéndice C. Manual del equipo.....	50
Apéndice D. Visualización de la herramienta pedagógica .....	81
Apéndice E. Guías para taller prueba piloto .....	84

## Glosario

**Calor:** energía térmica en movimiento debido a una discontinuidad de la temperatura en un sólido o fluido.

**Conducción en sólidos:** se presenta cuando existe un gradiente de temperatura mediante las vibraciones reticulares y/o electrones libres en un medio sólido por medio del contacto directo que se da entre las interacciones de las partículas más energéticas hacia las menos energéticas.

**Conductividad térmica:** propiedad de la materia que determina su capacidad para transmitir calor por su interior.

**Ley de Fourier:** establece que la velocidad a la que el calor se transfiere a través de un material sólido es proporcional al gradiente de temperatura y al área perpendicular a la dirección del gradiente de temperatura. La constante de proporcionalidad se conoce como la conductividad térmica del material.

## Resumen

**Título:** Desarrollo e implementación de prácticas de laboratorio usando un módulo de conducción lineal de calor para la asignatura de laboratorio de procesos I de la escuela de Ingeniería Química.\*

**Autores:** Julieth Katherin Vargas Serrano, Alvaro Andrés Villabona Mosquera\*\*

**Palabras Clave:** Calor, conducción, ley de Fourier, sitio web, herramienta pedagógica, TIC.

**Descripción:** En el presente trabajo de grado se desarrollaron prácticas de laboratorio usando un módulo de conducción lineal de calor para ser implementadas en la asignatura de Laboratorio de Procesos I, y así contribuir con la formación académica de los estudiantes del programa de pregrado de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, fortaleciendo los conocimientos sobre la transferencia de calor por conducción y la ley de Fourier a través del componente práctico.

Este proyecto consistió en el diseño de prácticas para la elaboración del manual de operación del equipo y una herramienta pedagógica basada en las TIC, con el propósito de permitir el fácil aprendizaje y mejorar el proceso de enseñanza para los estudiantes. Además, se realizó un taller de prueba piloto para los estudiantes que cursaban la asignatura de Fenómenos de Transporte I dirigida por el docente Arlex Chaves Guerrero.

Se determinaron las condiciones de operación para cada una de las prácticas, siendo en total cuatro prácticas diseñadas para el equipo. La herramienta pedagógica constó de un sitio web basado en la información del contenido del manual de operación del equipo. Los resultados del diseño de las prácticas y la herramienta pedagógica de transferencia de calor por conducción, así como el desarrollo de las capacitaciones del taller de prueba piloto son presentados en este trabajo.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Arlex Chaves Guerrero. Doctor en Ingeniería Química. Codirector: Fernando Viejo Abrante. Doctor en Ciencia y Tecnología de Materiales.

### Abstract

**Title:** Development and implementation of laboratory practices using a linear heat conduction module for the subject of process laboratory I of the school of Chemical Engineering.\*

**Authors:** Julieth Katherin Vargas Serrano, Alvaro Andrés Villabona Mosquera\*\*

**Key Words:** Heat, conduction, Fourier's law, website, pedagogical tool, ICT.

**Description:** In the present degree work, laboratory practices were developed using a linear heat conduction module to be implemented in the subject of process laboratory of Chemical Process I, and thus contribute to the academic training of the students of the undergraduate program of Chemical Engineering of the Industrial University of Santander, strengthening the knowledge about heat transfer by conduction and Fourier's law through the practical component.

This project consists of the design of practices for the development of the equipment operation manual and a pedagogical tool based on Information and Communication Technologies (ICT), with the purpose of allowing easy learning and improving the teaching process for students. In addition, a pilot test workshop was held for students who were taking the subject of transport phenomena I directed by the teacher Arlex Chaves Guerrero.

The operating conditions were determined for each of the practices, with a total of four practices designed for the team. The pedagogical tool consisted of a website, which was based on the information contained in the equipment's operating manual. The results of the design of the practices and the pedagogical tool of heat transfer by conduction, as well as the development of the training of the pilot test workshop are presented in this work.

---

\* Degree Work

\*\* Physical and Chemical Engineering's Faculty. School of Chemical Engineering. Director: Arlex Chaves Guerrero. Doctor in Chemical Engineering. Co-director: Fernando Viejo Abrante. Doctor in Materials Science and Technology.

## Introducción

El calor hizo parte de uno de los problemas de estudio de la filosofía natural. Conocer su comportamiento fue abarcado por los más grandes científicos de la historia (Cheng, 1999). Sin embargo, fue sólo hasta principios del siglo XIX que Jean-Baptiste Joseph Fourier con su tratado *Théorie analytique de la chaleur* publicado en el año 1822, estableció las principales leyes que gobiernan el calor, así como las demostraciones matemáticas de su comportamiento, llevándolo así a ser una nueva rama autónoma del conocimiento definiéndose en la física matemática y excluyéndose del contexto de la dinámica y la química (Fourier, 1878; Friedman, 1977).

Fourier (1878) recopila, observa y compara todos los estudios tanto teóricos como experimentales realizados por él y por otros autores hasta ese entonces. Funda su teoría postulando que el calor al igual que la gravedad, penetra cada sustancia del universo, sus rayos ocupan todas las partes que componen el espacio; además define con precisión las propiedades elementales que determinan la acción del calor reduciéndolo a tan sólo tres observaciones fundamentales afirmando: “diferentes cuerpos no poseen en el mismo grado la misma capacidad para contener calor, para recibirlo o transmitirlo a través de sus superficies, ni para conducirlo por el interior de sus masas”. Finalmente, Fourier plantea que el problema de la propagación del calor, consiste en determinar cuál es la temperatura en cada punto de un cuerpo en un instante dado, suponiendo que se conozcan las temperaturas iniciales (Fourier, 1878). A partir de lo anterior, propuso y solucionó matemáticamente problemas de transporte del calor para distintas geometrías, apoyado en el uso de las recientes ecuaciones diferenciales en su época, el cálculo integral y las series y transformadas de Fourier (Cheng, 1999; Fourier, 1878).

Por otra parte, el concepto de conductividad térmica que explica una de las observaciones propuestas por Fourier, fue abordado por cerca de 300 años pasando por grandes científicos tales como Galileo, Hooke, Newton, Boerhaave, Franklin, Black, Rumford y Fourier entre muchos otros que realizaron distintos aportes, hasta su completa claridad gracias a los estudios del Conde Rumford y Marc Pictet en 1810 (Alex, 1933; Narasimhan, 2010).

Sin embargo, el término “conductor” proviene de la ciencia de la electricidad, fundada a partir de 1720 por Stephen Gray e introducido por John Desaguliers alrededor de 1738, y se define como “la capacidad de un material para transmitir electricidad por su interior” y “no conductor” “para los que oponen resistencia a la misma” (Alex, 1933; Cheng, 1999; Narasimhan, 2010).

A partir de entonces, estos conceptos fueron adoptados por el estudio del calor para un uso similar al de la electricidad. En ese sentido, Benjamín Franklin hace la primera analogía entre estas dos ciencias, realizando distintos experimentos relacionados con la mayor o menor capacidad de conducción que tienen los materiales y comienza a incentivar a algunos de sus colegas proporcionándoles ideas en la realización de experimentos en estos temas, siendo Rumford uno de ellos (Narasimhan, 1999; Narasimhan, 2010).

Como resultado de todos estos estudios, incluida la invención del Calorímetro de hielo por Antoine Lavoisier y Pierre Simon Laplace en el invierno de 1782, Fourier realiza la primera medición de la conductividad térmica para una barra de hierro, encontrando que ésta es  $3/2$  veces la cantidad requerida para convertir un kilogramo de hielo a  $0^{\circ}\text{C}$  en una masa igual de agua líquida a esa misma temperatura; además, en sus experimentos, encuentra que, si se tienen tres termómetros igualmente espaciados a lo largo de una barra de un material, se cumple que la relación entre la suma de las temperaturas entre el primer y tercer termómetro, con la temperatura

del segundo  $((T_1 + T_3)/T_2)$  es una constante a lo largo del mismo (Fourier, 2013; Narasimhan, 2010).

La teoría planteada por Fourier ha trascendido a través de los años, pues está incluida y 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 han contribuido sustancialmente para el desarrollo de la industria, y que a su vez hacen parte del estudio de la ingeniería química (Bergman et al., 2011; Fourier, 1878; Narasimhan, 1999).

En ese sentido, y con el fin de contribuir al desarrollo académico y fortalecer los conocimientos fundamentales de los estudiantes, la escuela de Ingeniería Química ha adquirido en los últimos años distintos equipos de laboratorio que tienen una funcionalidad ya sea en la parte investigativa o en la parte pedagógica. Uno de ellos es el módulo de conducción de calor lineal H112A junto a su respectiva unidad de servicio H112, que fue suministrado por la empresa Hilton cuyos principales productos de venta son los equipos educativos.

Mediante este equipo es posible estudiar la transferencia de calor lineal por conducción a través de un material isotrópico, que es uno de los principales fundamentos del programa académico y que está siempre presente en cuantiosas aplicaciones ingenieriles. Al tratarse de un sistema lineal reduce considerablemente las variables de cálculo, lo que permite analizar con mayor facilidad los datos recolectados y obtener una menor cantidad de errores al realizar las distintas prácticas de laboratorio que se pueden trabajar con este equipo, si éstas son llevadas a cabo correctamente según las instrucciones que serán planteadas.

Con base en lo anterior, el presente proyecto busca ampliar la batería de prácticas de la asignatura de laboratorio de procesos I, aplicando un concepto fundamental bastante importante

para un ingeniero químico y que relaciona con gran precisión y exactitud las matemáticas con un fenómeno de la naturaleza. Sin embargo, debido a que este equipo aún no se ha utilizado, es necesario llevar a cabo el diseño y la implementación de diferentes procedimientos experimentales. Se plantea, por otro lado, la incógnita de si mediante el diseño de diferentes prácticas de laboratorio se podrá comprobar los planteamientos y las observaciones realizadas en la teoría analítica del calor de Joseph Fourier hace ya cerca de 200 años y qué tan acertados son los datos obtenidos a partir del mismo.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Desarrollar prácticas de laboratorio usando el módulo de conducción lineal de calor H112A para su implementación dentro de la asignatura de Laboratorio de Procesos I del programa de pregrado de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

### **1.2 Objetivos específicos**

Identificar y ajustar las condiciones de operación del módulo de conducción lineal de calor H112A para su correcto desempeño.

Diseñar las prácticas de laboratorio estableciendo los respectivos protocolos de encendido, puesta en marcha, apagado del dicho módulo.

Desarrollar una herramienta pedagógica que permita orientar a los estudiantes y docentes en la realización de las prácticas de laboratorio.

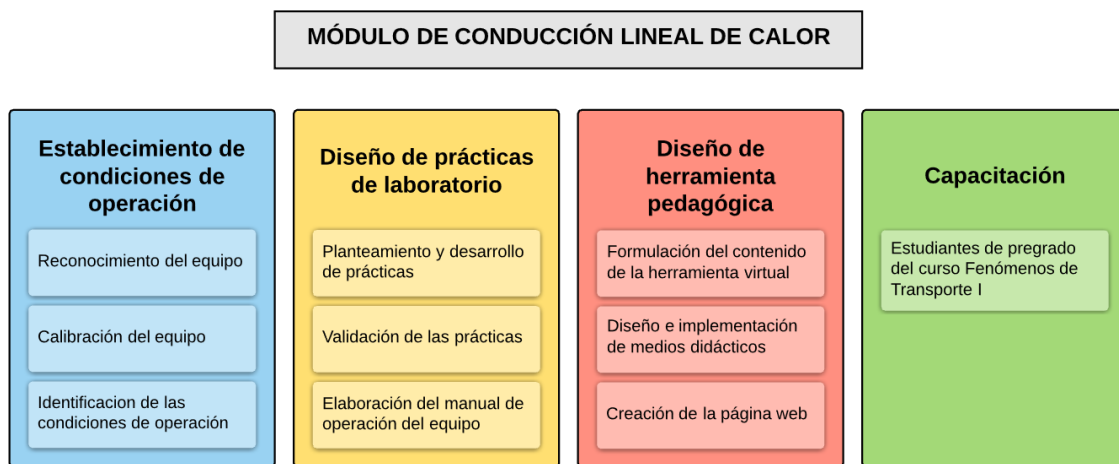
Capacitar a los estudiantes, docentes y técnicos de laboratorio por medio de un taller de pruebas piloto.

## 2. Metodología

En esta sección se describe la metodología para la realización de este proyecto, que consistió en una serie de pasos que nos permitieron alcanzar cada uno de los objetivos planteados. En la figura 1 se esquematiza de manera general las etapas que conforman dicha metodología.

**Figura 1**

*Diagrama metodológico de la metodología desarrollada en el presente proyecto.*



### 2.1 Establecimiento de condiciones de operación

#### 2.1.1 Reconocimiento del equipo

Se realizó la identificación y reconocimiento del módulo de conducción lineal de calor con su respectiva unidad auxiliar que componen el equipo por medio de la información teórica disponible en los manuales genéricos, suministrados por la empresa P.A. Hilton Ltd. Los manuales

permitieron estudiar cada una de las partes integrales del equipo, así como el funcionamiento, mantenimiento y seguridad.

### ***2.1.2 Calibración del equipo***

Seguidamente del reconocimiento del equipo se ejecutó la calibración y ajuste del mismo con el fin de garantizar el correcto funcionamiento durante el desarrollo de las prácticas dentro de las especificaciones.

### ***2.1.3 Identificación de las condiciones de operación***

Mediante ensayos se determinaron los rangos de operación de voltaje y suministro de agua para estudiar el comportamiento de operación del equipo mediante la evaluación de las variables de respuesta.

## **2.2 Diseño de las prácticas de laboratorio**

### ***2.2.1 Planteamiento y desarrollo de prácticas***

Una vez finalizado el reconocimiento y la calibración del equipo se dio inicio a la puesta en marcha del mismo. Se seleccionaron y plantearon las prácticas con base en los propósitos establecidos en el manual genérico del equipo.

Para el diseño de cada práctica se tuvieron en cuenta criterios como conceptos fundamentales, pruebas experimentales y análisis de datos.

### ***2.2.2 Pruebas experimentales***

Se realizó una serie de pruebas teniendo en cuenta los límites de voltaje y flujo de agua establecidos en cada práctica para un correcto desempeño del equipo. Durante las pruebas se llevó a cabo la toma de datos de tal manera que se permitiera diseñar la estructura de las prácticas de laboratorio de acuerdo a la información cuantitativa y cualitativa.

### **2.2.3 Análisis de datos**

A partir de la información extraída de las pruebas, se interpretaron y estudiaron los datos tabulados de acuerdo a las condiciones de operación establecidas en cada práctica.

### **2.3 Validación de las prácticas**

Consistió en hacer varias sesiones de pruebas experimentales por cada práctica desarrollada en el laboratorio para así verificar los resultados obtenidos con respecto a su variación y medición de las variables respuestas del equipo módulo de conducción lineal de calor H112A.

### **2.4 Elaboración del manual**

Concluidas las pruebas experimentales, se elaboró el manual de operación del equipo. Se establecieron los protocolos de encendido, funcionamiento, mantenimiento, limpieza, seguridad y apagado del equipo con el apoyo de los manuales genéricos. Por otra parte, se recolectó información teórica necesaria y se plantearon los criterios a evaluar como la ley de Fourier, coeficiente de transferencia de calor global, conductividad térmica, entre otros conceptos que se relacionaran para cada práctica.

### **2.5 Diseño de herramienta pedagógica**

Se definió y trazó el contenido de las prácticas experimentales implementadas para la creación de una página web basada en las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Para el diseño, se incluyeron medios didácticos (multimedia) que permiten la orientación y facilidad del aprendizaje del desarrollo de las prácticas por parte de los estudiantes.

## **2.6 Capacitación**

Se desarrollaron dos capacitaciones, una como taller de prueba piloto para los estudiantes de pregrado que estaban cursando la asignatura de Fenómenos de Transporte I por el docente Arlex Chaves Guerrero, y otra para los técnicos responsables de dirigir las prácticas de la asignatura de Laboratorio de Procesos I.

## **3. Resultados y Discusión**

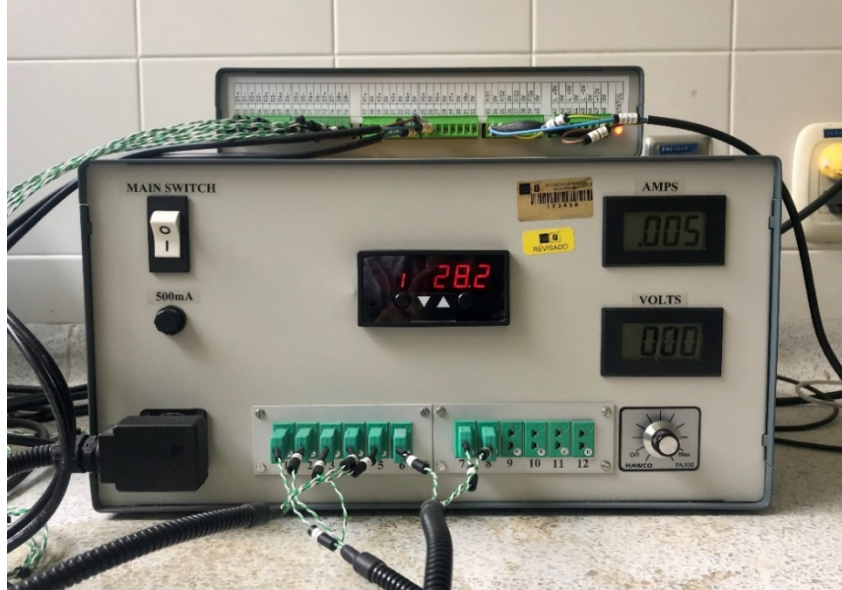
### **3.1 Establecimiento de condiciones de operación**

#### ***3.1.1 Reconocimiento del equipo***

De acuerdo con los manuales genéricos, el equipo marca P. A. Hilton Ltd. está compuesto por una unidad de servicio de transferencia de calor H112 la cual está conectada a un módulo de conducción lineal de calor H112A. La unidad de servicio de transferencia de calor H112 (Figura 2) es una consola auxiliar con un suministro de voltaje variable entre 0 y 240 V, que alimenta de manera regulada (CA) el módulo de conducción lineal de calor H112A. La unidad base incluye instrumentación adecuada al módulo, un indicador digital de temperatura de 12 puntos, 12 enchufes de entrada tipo k, un medidor digital de corriente y voltaje.

**Figura 1**

*Unidad de servicio de transferencia de calor H112*



En la Figura 3, se muestra el montaje del módulo H112A, el cual permite la investigación experimental de la conducción de calor a pequeña escala. El módulo de conducción lineal de calor H112A es de forma cilíndrica y es montado en su eje vertical sobre el zoclo. Consta de una sección de enfriamiento y una sección de calentamiento hechas de latón con aislamiento de 25 mm de diámetro que se puede ensamblar con una de las cuatro muestras de prueba en la sección intermedia (interfase). La sección fría tiene dimensiones idénticas a la sección caliente y se refrigera mediante un flujo de agua. Cada sección está equipada con tres termopares separados a 15 mm. Por otra parte, hay una muestra de latón equipada con dos termopares distanciados de igual manera que los demás siendo en total ocho termopares conectados directamente a la Unidad de Servicio de Transferencia de Calor H112. En el extremo caliente se utiliza un calentador eléctrico cuya potencia nominal es 75 W (240 V máximo) compuesto de un interruptor que limita la temperatura.

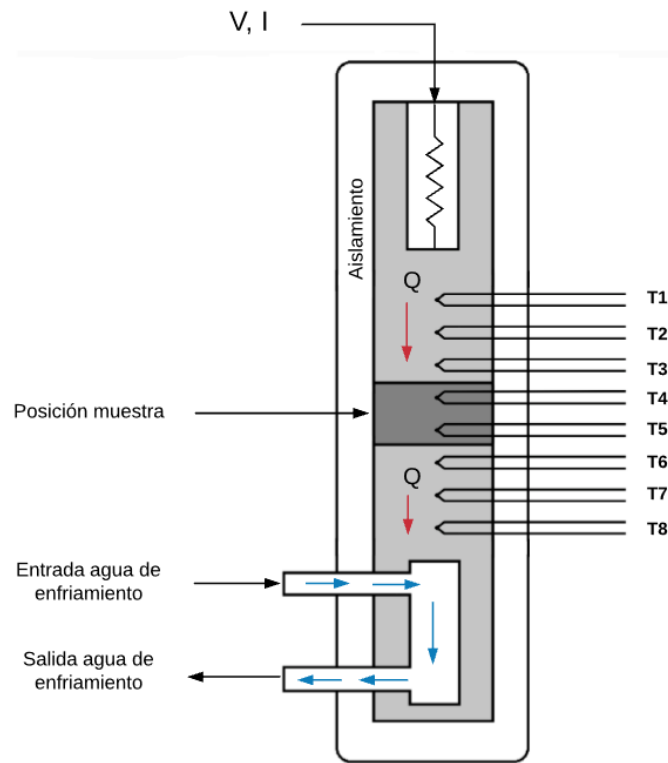
La potencia suministrada al calentador es controlada y medida por la Unidad de Servicio de Transferencia de Calor H112.

## Figura 2

*Módulo de conducción lineal de calor H112A*



Por seguridad, el módulo de conducción H112A contiene un cortacircuitos interno de alta temperatura que impide cualquier sobrecalentamiento mediante un reinicio automático. A continuación, se esquematiza la interconectividad del módulo de conducción que permite comprender mejor el proceso

**Figura 3***Diagrama instrumental del Módulo H112A*

Se elaboró un documento para facilitar a los estudiantes el reconocimiento de cada una de las partes con sus respectivas especificaciones de la unidad de servicio H112 y el módulo H112A (Anexo A).

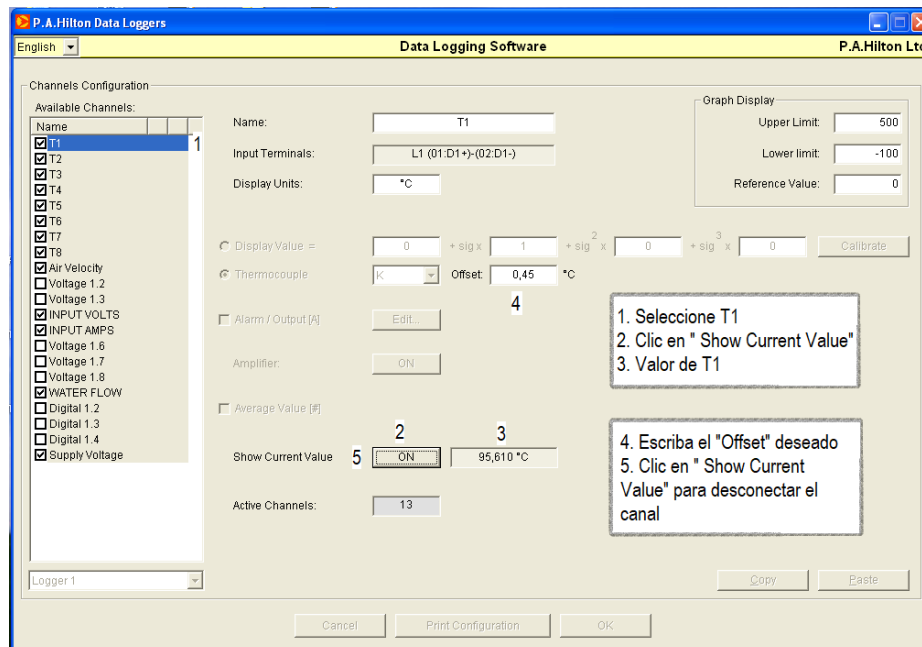
### **3.1.2 Calibración del equipo**

El procedimiento de la calibración del equipo constó de dos partes y se llevó a cabo mediante el uso del sistema de adquisición de datos HC112 (software y hardware) junto a la consola H112. La primera parte consistió en la configuración preliminar de los canales de temperatura, paso que debe realizarse antes de iniciar cada práctica con el fin de ajustar la lectura

realizada por el termopar y sean consistentes los gradientes de temperatura a lo largo del módulo. Primeramente, en el software HDL se selecciona el botón “Show Current Value” y se corrige en tiempo real dando valores en la casilla “Offset” verificándose con el valor medido del panel digital del módulo base H112 como se muestra en la Figura 5. Asimismo, cada canal de temperatura se ajustó de la misma manera para un total de ocho termopares.

**Figura 4**

*Configuración de los canales de temperatura*

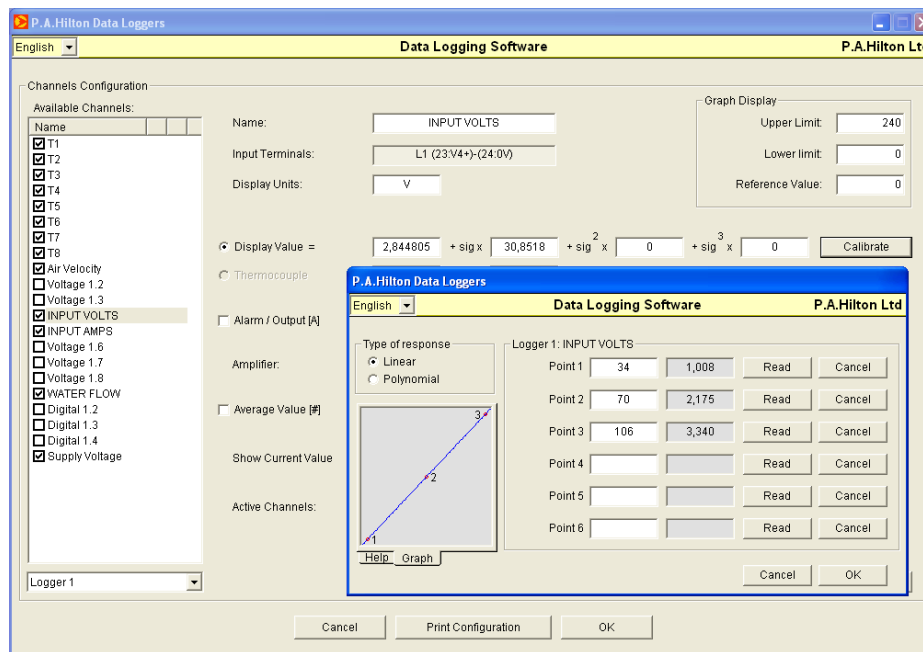


En la segunda parte se efectuó la calibración del voltaje de entrada, el canal de corriente del calentador y el flujo de agua. En cada calibración se realizó el mismo procedimiento partiendo de tres puntos (3 valores) para ser leídos por el programa y obtener la curva de calibración. En la

figura 6, se puede observar la curva de calibración del voltaje de entrada. La curva de calibración del canal de corriente y el flujo de agua se encuentran en el Anexo B.

**Figura 6**

*Curva de calibración del voltaje*



Los resultados obtenidos de la calibración del voltaje, corriente y flujo de agua se presentan en la Tabla 1. Cada curva de calibración está en función de x, donde x es el valor Read reportado por el programa.

**Tabla 1.***Curvas de calibración del canal de voltaje, corriente y flujo de agua*

<b>Curvas de calibración</b>								
<b>Voltaje (V)</b>			<b>Corriente (A)</b>			<b>Flujo de agua (g/s)</b>		
Punto	Valor	Read	Punto	Valor	Read	Punto	Valor	Read
1	0	-0,020	1	0	0,025	1	0	0,000
2	40	1,003	2	0,042	0,216	2	31,533	192,931
3	60	1,966	3	0,065	0,270	3	64,222	418,383
$3,543716 + 30,30405X$			$-7,476465E-3 + 0,2529029X$			$0,6876495 + 0,1532634X$		

**3.1.3 Identificación de las condiciones de operación**

Las variables que se identificaron y evaluaron para cada práctica son:

- Variables manipuladas: Voltaje de entrada (V)
- Variables de respuesta: Temperaturas de la zona caliente (T1, T2, T3), zona intermedia (T4, T5) y zona fría (T6, T7, T8).

Se establecieron los rangos de operación del equipo en cada práctica a desarrollar como se muestra en la tabla 2 (pendiente). El flujo de agua de enfriamiento se ajusta manualmente por medio de una válvula y es recomendable utilizar un flujo de 25-28 g/s. Sin embargo, el flujo de agua no es un parámetro esencial a pesar de que sea manipulable, pero debe cumplir con el rango de operación de acuerdo con el fabricante para disipar suficientemente el calor.

**Tabla 2.***Condiciones de operación del equipo para cada práctica*

<b>Práctica</b>	<b>Material</b>	<b>Prueba</b>	<b>Voltaje [V]</b>
1	Latón	1	100 - 140
		2	150 - 190
2	Acero	1	60 - 90
		2	110 - 140
	Aluminio	1	90 - 120
		2	140 - 170
3	Latón Área Reducida	1	80 - 110
		2	120 - 150
4	Papel	1	50 - 80
		2	90 - 120
	Corcho	1	50 - 70
		2	80 - 100

### 3.2 Diseño de prácticas de laboratorio

#### 3.2.1 Planteamiento y desarrollo de las prácticas

A continuación, se enumeran las prácticas de laboratorio sobre transferencia de calor por conducción:

- Práctica 1: Flujo de calor unidireccional a través de un sistema homogéneo.
- Práctica 2: Determinación del coeficiente de transferencia de calor global y conductividad térmica a través de una pared compuesta.
- Práctica 3: Efecto del área de transferencia de calor en la conducción de calor.
- Práctica 4: Estudio de la conducción de calor en estado transitorio a través de materiales aislantes.

Posteriormente, se realizó el diseño de cada práctica teniendo en cuenta los rangos de operación del equipo, su procedimiento para el desarrollo de las pruebas experimentales y recopilación de datos. Esto permitirá al estudiante reforzar los temas que se han venido estudiando durante carrera profesional por medio de la aplicación.

### **3.3 Validación de las prácticas**

Cada una de las prácticas en el laboratorio de conducción de materiales fueron evaluadas y sometidas a varias pruebas experimentales, con el fin de determinar la variación de los datos experimentales con respecto a los valores teóricos.

Se tomó como base las instrucciones proporcionadas por el manual del fabricante, donde aparecen una serie de pasos a unas condiciones específicas. Sin embargo, como primera observación, se encontró que estos variaban considerablemente cuando se intentó replicar los mismos.

Una vez diseñadas las prácticas a trabajar, se tomaron muestras en tétradas para cada una de ellas y así poder estimar una desviación estándar de los mismos. Las conductividades teóricas para el latón, acero y aluminio se tomaron del manual guía del equipo (P-A-Hilton, 2011). Se entregará un documento con todos los resultados y sus respectivos análisis de cada practica diseñada a la Escuela de Ingeniería química exclusiva para personal autorizado ya que es confidencial.

Debido a la emergencia sanitaria frente al Covid-19, no se alcanzó a realizar la etapa de estandarización (normalización) de prácticas de laboratorio del equipo. Se entregará un documento con todos los resultados y sus respectivos análisis de cada práctica diseñada para el equipo a la Escuela de Ingeniería Química exclusivo para personal autorizado ya que es confidencial.

A manera de ejemplo, se presentan a continuación el análisis de los resultados obtenidos para la Práctica 1.

- ✚ Práctica 1: Flujo de calor unidireccional a través de un sistema homogéneo.
- ✚ Sección intermedia: Muestra de latón con termopares T4 y T5.

El objetivo de esta práctica es estudiar y calcular experimentalmente la conductividad térmica del material que compone las tres secciones del módulo de conducción lineal de calor.

El montaje consistió en un sistema aislado que al acoplarse queda completamente homogéneo cuyo material es latón, que estaba compuesto por tres secciones: caliente (termopares T1, T2 y T3), intermedia (termopares T4, T5) y fría (termopares T6, T7 y T8).

Luego de llevar a cabo los protocolos preliminares, se realizaron mediciones a 120 y 170 V manteniendo un flujo de agua constante alrededor de 25 g/s. El calor se transmitió a través de una resistencia térmica desde la sección caliente hasta la sección fría permitiendo que las temperaturas llegaran a su respectiva estabilización en cada condición de operación.

Los resultados experimentales obtenidos para la muestra de latón son mostrados en la Tabla 3. Cada prueba se llevó a cabo por medio de cuatro ensayos para analizar la variación de las mediciones de los datos; se calcularon los respectivos promedios y desviaciones para luego aplicar la ley de Fourier en cada sección y así hallar la conductividad térmica correspondiente del material.

**Tabla 3***Datos para muestra de latón a 120 y 170 voltios*

<b>Voltaje = 120 V</b>										
<b>Dato No.</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>V</b>	<b>I</b>
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	V	A
1	59,54	55,72	52,10	45,86	42,06	35,99	32,92	29,56	117,3	0,117
2	60,07	56,52	52,68	46,08	42,24	35,24	32,08	28,70	119,8	0,120
3	60,67	56,92	53,26	46,49	42,65	35,20	31,95	28,37	119,1	0,119
4	60,14	56,40	52,73	46,14	42,26	35,52	32,30	28,85	118,3	0,118
<b>Promedio</b>	60,10	56,39	52,69	46,14	42,30	35,48	32,31	28,87	118,6	0,119
<b>Desviación</b>	0,461	0,497	0,471	0,262	0,251	0,364	0,430	0,503	1,1	0,001

<b>Voltaje = 170 V</b>										
<b>Dato No.</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>V</b>	<b>I</b>
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	V	A
1	93,01	85,70	78,56	66,35	58,87	46,91	40,55	33,74	166,5	0,172
2	94,03	87,14	79,87	67,03	59,58	45,67	39,31	32,58	165,6	0,170
3	94,24	87,08	80,06	67,33	59,87	45,54	39,16	32,30	167,3	0,172
4	93,61	86,40	79,35	66,63	59,01	45,70	39,35	32,36	166,4	0,171
<b>Promedio</b>	93,72	86,58	79,46	66,83	59,33	45,95	39,59	32,74	166,4	0,171
<b>Desviación</b>	0,544	0,676	0,673	0,431	0,472	0,639	0,646	0,677	0,7	0,001

Se llevaron a cabo los respectivos cálculos aplicando el principio de la ley de Fourier para hallar la conductividad térmica del material de latón.

**Tabla 4***Cálculos variables ley de Fourier*

V	Q	$\Delta T_{1-3}$ caliente	$\Delta T_{4-5}$ int	$\Delta T_{6-8}$ frío	$\Delta X_{1-3}$ caliente	$\Delta X_{4-5}$ int	$\Delta X_{6-8}$ frío	K <sub>1-3</sub> caliente	K <sub>4-5</sub> int	K <sub>6-8</sub> frío
Volts	Watts	K	K	K	m	m	m	W/m*K	W/m*K	W/m*K
118,6	14,06	7,41	3,84	6,61	0,03	0,015	0,03	116,19	112,20	130,17
166,4	28,52	14,26	7,50	13,21	0,03	0,015	0,03	122,43	116,37	132,16

Con el valor teórico de la conductividad térmica del latón igual a  $k = 121 \text{ W/m} * K$ , se calcularon los errores relativos para cada sección de la barra de acuerdo con cada condición de operación.

**Tabla 5***Errores porcentuales*

Voltaje	Error K <sub>1-3</sub> caliente	Error K <sub>4-5</sub> int	Error K <sub>6-8</sub> frío
[V]	%	%	%
120	3,97	7,27	7,58
170	1,18	3,82	9,22

Para cada uno de los ensayos de esta práctica, se decidió omitir el uso de pasta térmica debido a que, en las pruebas preliminares, los errores no fueron tan altos a diferencia de otras prácticas. En ese sentido, la tabla 5 muestra los valores de los errores de las conductividades térmicas en cada sección de la barra para cada voltaje de operación determinados de acuerdo con los datos experimentales. Es de aclarar que para cada uno de los ensayos de esta práctica, se decidió

omitir el uso de pasta térmica debido a que, en las pruebas preliminares, los errores no fueron tan altos a diferencia de otras prácticas.

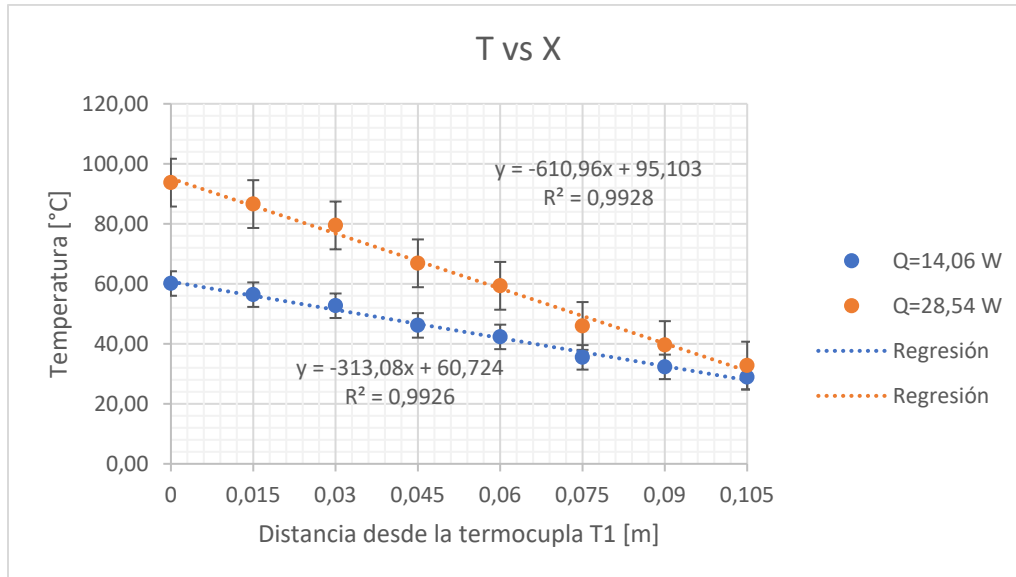
Se observó que para la prueba de voltaje de 170 voltios los errores porcentuales de conductividades térmicas son igual a 1,18% para la sección caliente y 3,82% para la sección intermedia. Los valores de los errores confirman que la variación del voltaje influye en mayor grado para la sección caliente e intermedia. En otras palabras, a medida que se aumentó el voltaje o cantidad de calor proporcionado al módulo, se presentó un menor error en el cálculo de la conductividad térmica de latón. El error más alto se obtuvo para un voltaje de 170 V en la sección fría, lo que significa que en ese punto, se presentaron mayores pérdidas de calor, puesto que hay una pequeña abertura que no permite un completo aislamiento. Igualmente, como no hay un acoplamiento perfecto de las interfases, pueden existir resistencias de contacto que se suman a las imperfecciones en el acabado de éstas y a la presencia de posibles impurezas. Este comportamiento puede ser explicado por el hecho de que en dicha sección es donde se está disipando el calor y pueden ocurrir errores en la transferencia de éste.

La disipación del calor es determinante a la hora de realizar las mediciones. Por ejemplo, si la temperatura  $T_8$  se redujera en un  $1^{\circ}\text{C}$  más en la práctica realizada a 170 voltios, el error del valor la conductividad en la sección fría se reduciría a 1,54%.

Por otra parte, es necesario observar el comportamiento de cada una de las temperaturas a lo largo de la barra; aplicando la ley de Fourier en coordenadas cartesianas para el eje  $z$ , y dado que la barra es de un material completamente homogéneo, los datos deberían ajustarse a una ecuación lineal.

**Figura 7**

*Temperatura en función de la distancia desde la termocupla 1*



La figura 7 muestra los perfiles de temperatura a lo largo de la barra determinados por ajustes que pasan a través de los puntos experimentales para cada voltaje de operación que se encuentran en la Tabla 3. Se observa que los perfiles de temperatura para el sistema homogéneo tienen un comportamiento aproximadamente lineal con coeficientes de correlación cercanos a 1 para los dos flujos de calor. Esto demuestra que el modelo matemático planteado por Fourier es válido para solucionar el problema de determinar la distribución de la temperatura a lo largo de un material.

### 3.4 Elaboración del manual:

El formato del manual de operación del equipo se elaboró de acuerdo con los lineamientos que se llevaron a cabo en el establecimiento de las condiciones de operación y el diseño de

prácticas. Se recopiló la información teórica necesaria para comprender los conceptos fundamentales involucrados en la transferencia de calor por conducción lineal a través de una pared sólida. Además, se registró la descripción del equipo y el procedimiento de las pruebas experimentales para lograr el alcance de cada práctica. El manual está adjuntado en el Anexo C.

### 3.5 Herramienta pedagógica

La herramienta pedagógica está basada en las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) que permiten el fácil aprendizaje y mejorar el proceso de enseñanza para los estudiantes.

Esta herramienta consta básicamente de un sitio web que para su creación se tuvo en cuenta la estructura de la información del diseño de prácticas para crear los contenidos en cada sección, así como información multimedia (imágenes, videos y documentos).

Los programas que se utilizaron para la construcción del sitio web son:

- **CSS:** Es el lenguaje que define la presentación mediante estilos (fuentes, colores, espaciado) a los documentos web (HTML o XML) (Bos, 2018); conocido también como hojas de estilo en cascada (del inglés Cascading Style Sheets) que está bajo las especificaciones estándares por parte del Worl Wide Web Consortium (W3C). Este tipo de lenguaje nos permite separar el contenido del diseño haciendo que los sitios web sean más fáciles de mantener como a su vez de carga rápida (Hong, 2018).
- **HTML:** Es el lenguaje de marcación de hipertexto básico que se utiliza para el desarrollo y creación de las páginas web. Sus siglas HTML, corresponden a HyperText Markup

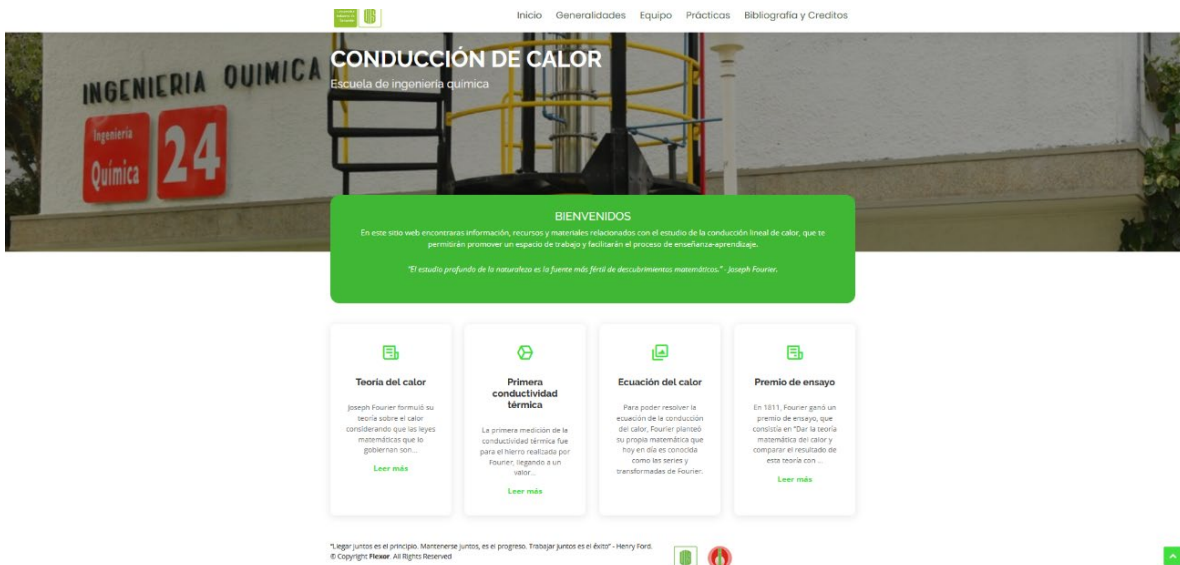
Language, es decir, Lenguaje de Marcas de Hipertexto (Franganillo, 2011). Se compone básicamente en etiquetas (marcas o tags) que nos permiten dar orden al contenido de una página web. Se trabajo con la versión HTML 5, ya que es la versión más actualizada y usada porque tiene el propósito de simplificar el trabajo de los diseñadores de webs y mejora el rendimiento de las páginas en cualquier dispositivo (Hong, 2018).

- **Bootstrap:** Es un marco de interfaz (framework) utilizado para desarrollar y diseñar aplicaciones y/o sitios web de acuerdo al estándar de sitios mobile-firts combinando HTML, CSS y JavaScript (Bhaumik, 2015). Esta herramienta proporciona interactividad, ya que ofrece una serie de componentes que facilitan la comunicación con el usuario, como menús de navegación, controles de páginas, barras de progreso y más. Además, es uno de los marcos frontales más rápidos y populares en la industria de desarrolladores web debido a que tiene enfoque de mobile-firts, diseño receptivo, soporte y manejo automático del navegador, y es fácil de adaptar y poner en marcha (Guajardo, 2020). Para el sitio web se utilizó la versión Bootstrap 4.5.
- **JavaScript:** Es un lenguaje de programación que se utiliza principalmente para crear páginas web. También es conocido como un lenguaje de scripting (secuencias de comandos) que permite mejorar la interfaz de usuario y páginas web dinámicas, basadas en prototipos para modelar el contenido logrando una interactividad. Los programas escritos por JavaScript se pueden probar directamente en cualquier navegador sin intermedios. Su estándar es ECMAScript (Jensen et al., 2009; Pérez, 2019).

El contenido del sitio web fue dividido en página principal (inicio), generalidades, equipo, prácticas, bibliografía y créditos. En las figuras 8 y 9 se puede visualizar la página principal y generalidades de esta herramienta pedagógica. En el anexo D se puede apreciar las páginas faltantes.

## Figura 8

### *Página inicio del sitio web Conducción de calor*



## Figura 9

### *Página de generalidades del sitio web Conducción de Calor*

Inicio Generalidades Equipo Prácticas Bibliografía y Credits

### GENERALIDADES

Para comprender la transferencia de calor por conducción, es necesario comprender los conceptos o principios fundamentales que intervienen en ella, así como los antecedentes y estudios que se llevaron a cabo para establecer la teoría.

**REMARQUES GÉNÉRALES sur les Températures du globe terrestre et des espaces planétaires.**  
PAR M. FOURIER.

La question des températures terrestres, l'une des plus remarquables et des plus difficiles de toute la philosophie naturelle, se compose d'éléments assez divers qui doivent être considérés sous un point de vue général. J'ai pensé qu'il serait utile de réunir dans un seul écrit les conséquences principales de cette théorie, les détails analytiques que l'on aime ici se trouver dans les ouvrages que j'ai déjà publiés. J'ai désiré surtout présenter aux physiciens, dans un tableau peu étendu, l'ex-

Jean Baptiste Joseph Fourier

- Historia → Leer más
- Conceptos → Leer más
- Teoría del calor → Leer más

"Legar juntos es el principio. Mantenerse juntos, es el progreso. Trabajar juntos es el éxito" - Henry Ford.  
© Copyright Flexor. All Rights Reserved

La herramienta pedagógica se deja a disposición de la comunidad en general en el siguiente link de acceso: <https://conduccion-de-calor-9efc3.firebaseio.com/>

## 3.6 Capacitación

### 3.6.1 Taller de prueba piloto

El taller se desarrolló para los estudiantes que cursaban la asignatura de Fenómenos de Transporte I dirigida por el docente Arlex Chaves Guerrero. Se organizaron cuatro subgrupos de estudiantes a los cuales se les asignó su respectiva práctica y documento guía (Anexo E). La prueba piloto consistió en dos jornadas presenciales y dos jornadas virtuales debido a la situación de emergencia sanitaria por el Covid-19. Cada jornada consistió en una práctica diferente, donde las

presenciales se llevaron a cabo en el laboratorio de Conductividades de Materiales de la Escuela de Ingeniería Química y las virtuales a través de recursos electrónicos como videos, soportes y documentos. En las figuras 10 y 11, se evidencian los talleres de las pruebas piloto que se desarrollaron para los subgrupos 1 y 2 en el laboratorio de conducción de materiales de la Escuela de Ingeniería química.

### **Figura 10**

*Taller con el subgrupo 1*



**Figura 11**

*Taller con el subgrupo 2*



#### 4. Conclusiones

Se identificaron y se ajustaron las condiciones de operación para cada una de las prácticas implementadas para el equipo realizando el reconocimiento y la calibración de la unidad base H112 y el módulo de conducción de calor H112A. A partir de estas etapas preliminares, se llevaron pruebas piloto para definir los rangos de operación.

Se diseñaron las prácticas a partir de un conjunto de pruebas experimentales en base a los manuales del fabricante con sus respectivos protocolos. Así mismo, se logró la elaboración del manual de operación del equipo por medio de la recopilación de información cualitativa y cuantitativa para las guías de prácticas de laboratorio. Cada practica se validó mediante una serie de ensayos y los resultados obtenidos fueron analizados, determinándose que para la práctica 1 la

mayor desviación estándar registrada en los termopares fue para el T2 con un valor de  $0,676^{\circ}\text{C}$ . Para la práctica 1 se determinó que el mayor error de conductividad térmica fue para la zona de enfriamiento del módulo de conducción de calor siendo de 7,58% a 120 V y 9,22% a 170 V.

Se diseñó la herramienta pedagógica en base al diseño del manual del equipo como apoyo para el desarrollo de las prácticas. La herramienta virtual consistió en una sitio web que tiene como propósito orientar a los estudiantes y facilitar el aprendizaje. Se añadió información sobre conceptos fundamentales para entender el comportamiento de la transferencia de calor por conducción. El montaje de la herramienta se realizó mediante los programas HTML 5, CSS, Bootstrap 4.5 y Java Script.

Se realizó la capacitación de la prueba piloto para los estudiantes que cursaban la asignatura de Fenómenos de transporte I dirigida por el docente Arlex Chaves Guerrero, dividiéndose en 4 grupos distintos a los cuales se le asignó una práctica diferente.

## **5. Recomendaciones**

Incluir un sistema de recirculación y/o baño térmico para el agua de enfriamiento ya que se generan grandes pérdidas del fluido de aproximadamente 95 L/h de práctica.

Extender las aplicaciones del equipo con otros tipos de muestras para futuros estudios investigativos teniendo en cuenta que deben tener la misma geometría y las mismas dimensiones.

Proponer el estudio del modo de simulación del software HDL como una alternativa para estudios a distancia.

### Referencias Bibliográficas

Alex, C. B. (1933). Notes on the History of the Concept of Thermal Conductivity. *Isis*, 20(1), 246-259. [www.jstor.org/stable/224889](http://www.jstor.org/stable/224889)

Bergman, T. L., DeWitt, D. P., Incropera, F., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (7ed. ed.).

Bhaumik, S. (2015). *Bootstrap Essentials*. Packt Publishing Ltd.

Bohn, M. S., Kreith, F., & Manglik, R. M. (2012). *Principios de Transferencia de Calor* (7ed. ed.) [Book].

<https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUIS.1-165467&lang=es&site=eds-live>

Bos, B. (2018). *Cascading Style Sheets*. <https://www.w3.org/Style/CSS/>

Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de Calor y Masa : Fundamentos y Aplicaciones* (4ed. ed.) [Book].

<https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUIS.8-115422&lang=es&site=eds-live> (Heat and Mass Transfer 4th ed.)

Cheng, K. (1999). Some Observations on the Historical Development of Conduction Heat Transfer. In (Vol. 533, pp. 1-22). Springer. <https://doi.org/10.1007/BFb0104167>

Dixit, U. S., Hazarika, M., & Davim, J. P. (2017). A Brief History of Mechanical Engineering. In S. I. Publishing (Ed.). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42916-8>

Fourier, J. (1878). The Analytical Theory of Heat. In *Théorie analytique de la chaleur* (pp. 1-15). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511693205>

Fourier, J. (2013). Théorie du mouvement de la chaleur dans les corps solides (suite). In J. B. J. Fourier & J. G. Darboux (Eds.), *Oeuvres de Fourier: Publiées par les soins de Gaston Darboux* (Vol. 2, pp. 1-86). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9781139568159.003>

Franganillo, J. (2011). Html5: el nuevo estándar básico de la Web. *Anuario ThinkEPI*, 5(1), 261-265.

Friedman, R. M. (1977). The Creation of a New Science: Joseph Fourier's Analytical Theory of Heat. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 8, 73-99. <https://doi.org/10.2307/27757368>

Guajardo, P. (2020). *Bootstrap: guía para principiantes de qué es, por qué y cómo usarlo*.

[https://rockcontent.com/es/blog/bootstrap/?fbclid=IwAR11-rx2SU77Ir4-tCmd7ps\\_VeSjd\\_nJUKfiGOKvI3z6JIkoS5JE6NVIrA](https://rockcontent.com/es/blog/bootstrap/?fbclid=IwAR11-rx2SU77Ir4-tCmd7ps_VeSjd_nJUKfiGOKvI3z6JIkoS5JE6NVIrA)

Hong, P. (2018). *Practical web design: Learn the fundamentals of web design with HTML5, CSS3, bootstrap, jQuery, and vue.js*. Packt Publishing Ltd.

Jensen, S., Møller, A., & Thiemann, P. (2009). *Type Analysis for JavaScript* (Vol. 5673).

[https://doi.org/10.1007/978-3-642-03237-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03237-0_17)

Narasimhan, T. (1999). Fourier's heat conduction equation: History, influence, and connections.

*Reviews of Geophysics*, 37, 151-172.

Narasimhan, T. (2010). Thermal conductivity through the nineteenth century.

P-A-Hilton. (2011). *Manual de uso y Mantenimiento Modulo de Conducción Linear de Calor optional H112A*. P-A-Hilton Ltd.

Pérez, J. E. (2019). *Introduccion a JavaScript*

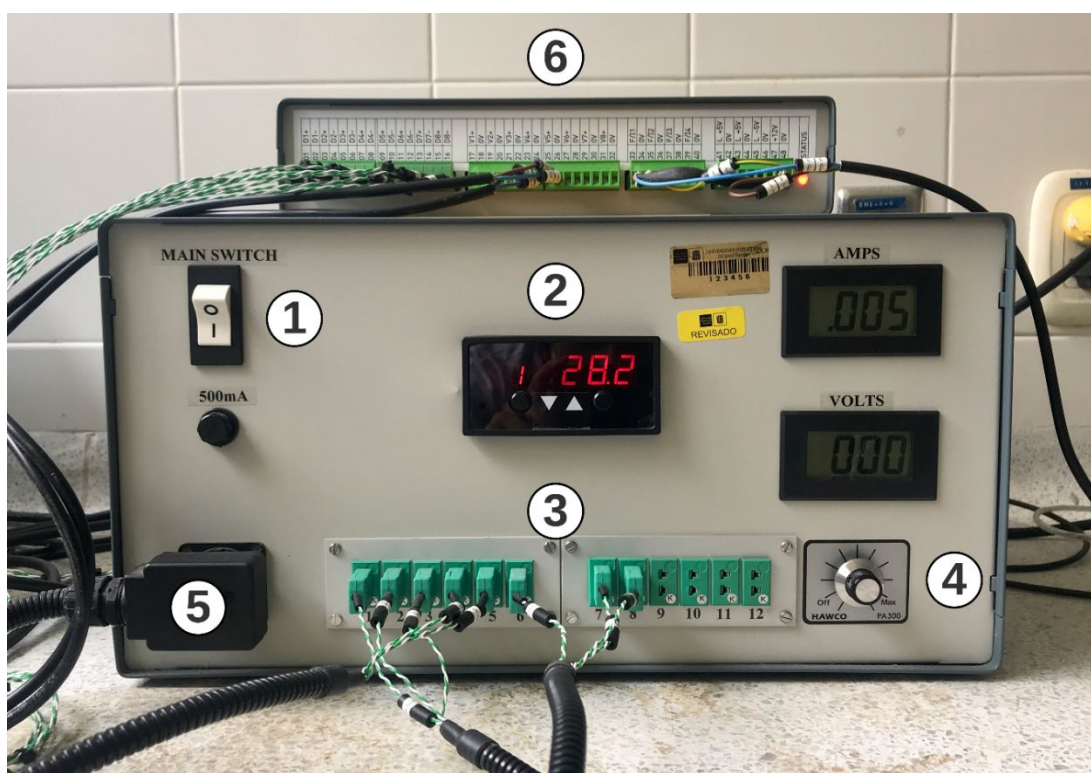
[https://www.jesusda.com/docs/ebooks/introduccion\\_javascript.pdf](https://www.jesusda.com/docs/ebooks/introduccion_javascript.pdf)

## Apéndices

### Apéndice A. Descripción del equipo

#### Figura 1.

Unidad de servicio de transferencia de calor h112



1. Interruptor de encendido/apagado
2. Indicador digital de T1 a T8
3. Entradas de las termopares
4. Control de voltaje 0-240 v
5. Potencia elemento térmico
6. Sistema de adquisición de datos

**Figura 2.**

Módulo de conducción lineal de calor h112a



1. Tornillo de tensión
2. Termocuplas T1, T2, T3
3. Termopares T4, T5
4. Termopares T6, T7, T8
5. Alimentación del agua
6. Salida del agua

**Apéndice B. Curvas de calibración de corriente y flujo**

Figura 1

Curva de calibración del canal de corriente

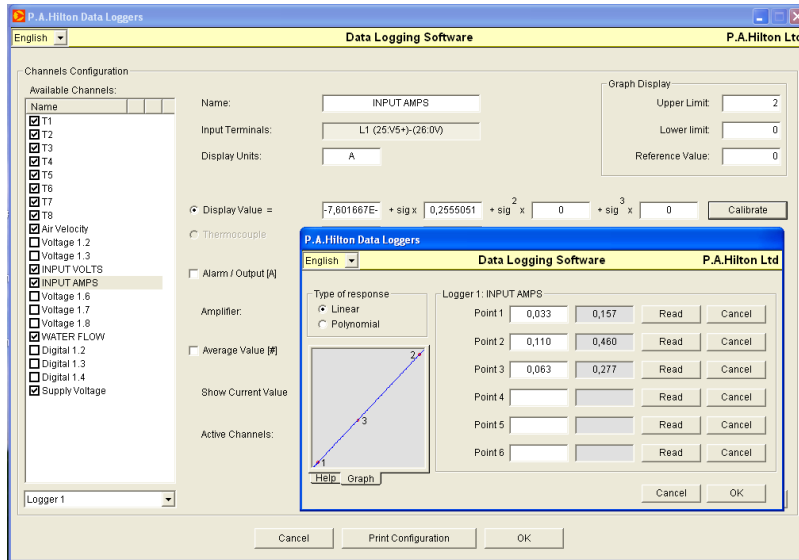
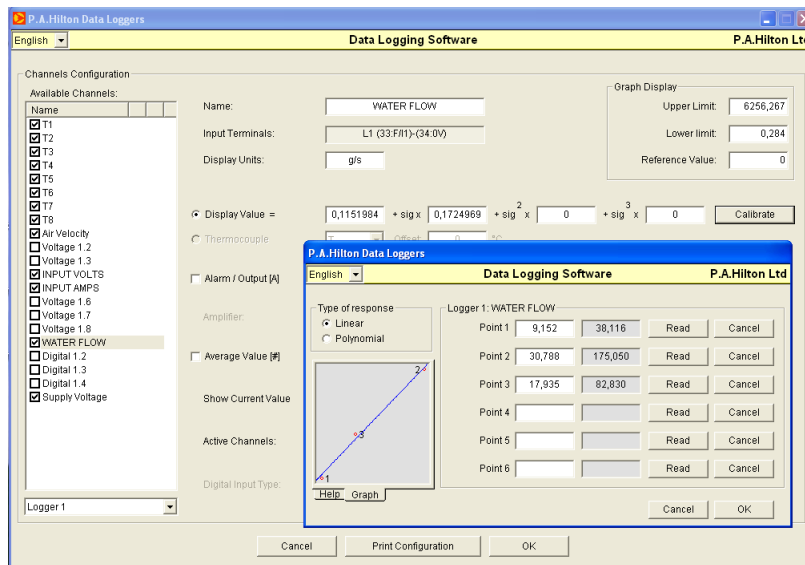


Figura 2

Curva de calibración del flujo de agua



## Apéndice C. 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 (Bohn et al., 2012).

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 (Incropera & Dewitt, 1999).

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 (Fourier, 1878; Hahn & Özişik, 2012). 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 (Bohn et al., 2012; Fourier, 1878).

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

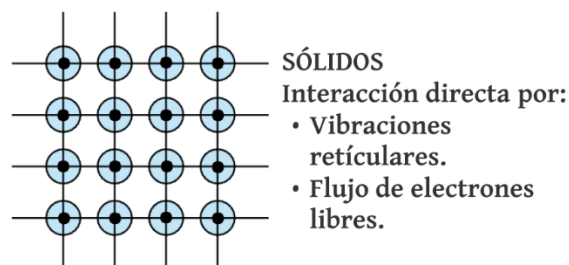
El calor puede definirse como, energía térmica en movimiento debido a una discontinuidad de la temperatura en un sólido o fluido. Desde un punto de vista molecular, el transporte conductivo de energía hace referencia al transporte de energía desde partículas (o moléculas) con mayor nivel de energía (mayor temperatura) a otras con menor nivel de energía (menor temperatura), dentro de un fluido o sólido debido a las interacciones entre estas (Bergman et al., 2011).

### 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 (Cengel & Ghajar, 2011; Thirumaleshwar, 2006).

### 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 (Dixit et al., 2017). La Ley de Fourier está dada por la siguiente expresión:

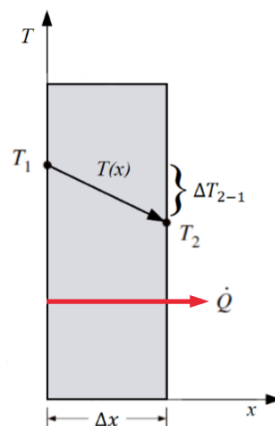
$$\vec{Q} = -kA\nabla T$$

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*



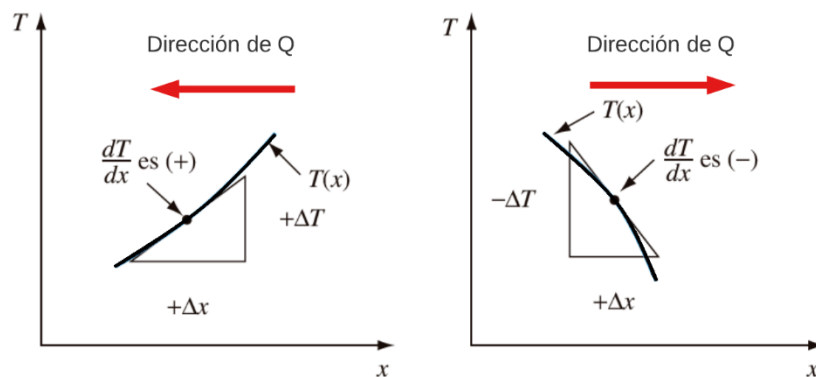
Si aplicamos la ley de Fourier a esta configuración, resulta en un flux de calor unidimensional ( $q_x$ ) en régimen estacionario, a través de una pared plana de espesor ( $\Delta x$ ) y de superficie constante ( $A$ ) mostrado en la figura 2, con una distribución de temperatura  $T(x)$  y conductividad térmica ( $k$ ), que llevado a la ecuación general se expresa como (Bohn et al., 2012),

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

El flux de calor ( $q_x$ ) es la velocidad con que 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 (Bergman et al., 2011; Gupta & Roy, 2007). Se define como,

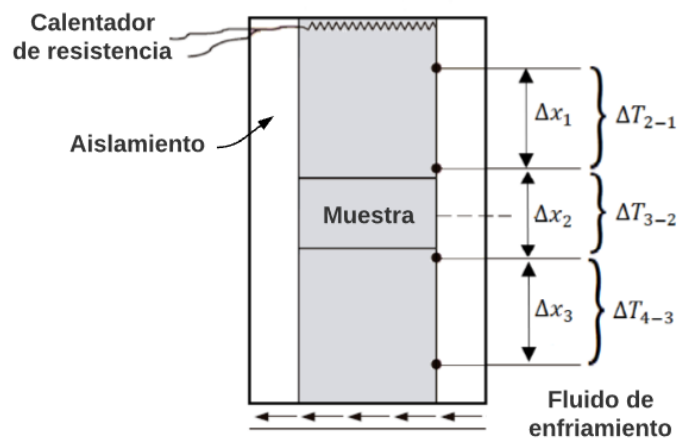
$$k = \frac{\dot{Q}/A}{|dT/dx|} \quad (\text{Ec. 2})$$

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 (Cengel & Ghajar, 2011).

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*

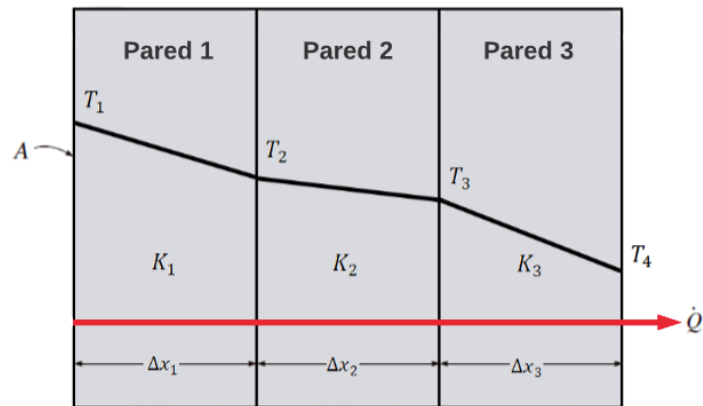


El calentador está compuesto de tres secciones: calentamiento, intermedia y enfriamiento. Desde el punto de vista geométrico, consta de varias capas de diferentes materiales, es decir, una

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

**Figura 5**

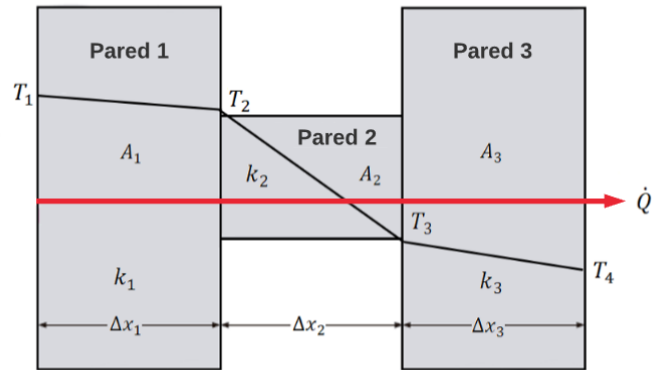
*Sistema con paredes en serie*



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 (Hilton, 2011). 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 (Hilton, 2011):

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

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 (Hilton, 2011).

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

### **Coefficiente 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 (Hilton, 2011):

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

Donde el coeficiente global puede ser representado como:

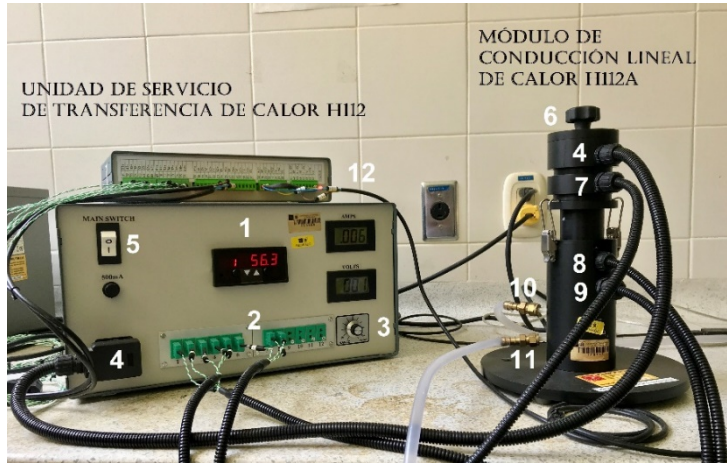
$$\frac{1}{U} = \frac{\Delta x_{12}}{k_1} + \frac{\Delta x_{23}}{k_2} + \frac{\Delta x_{34}}{k_3} \quad (\text{Ec. 7})$$

### **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.

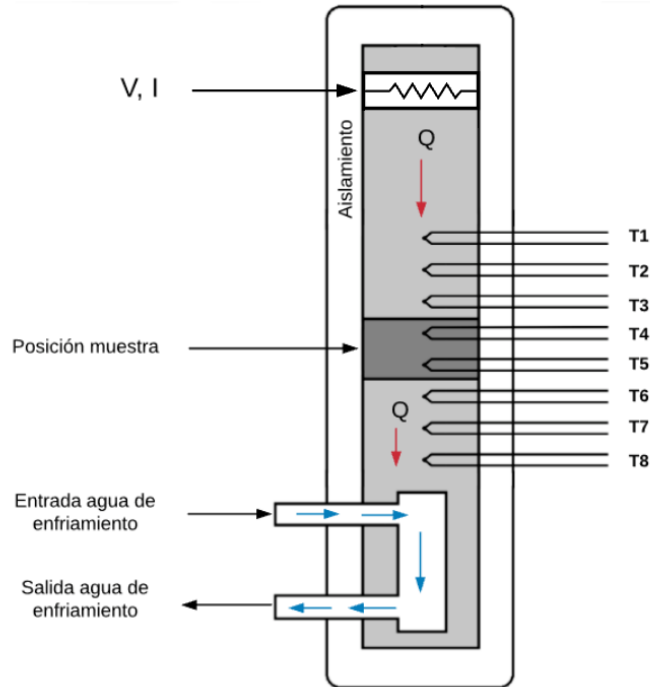
### **Descripción del equipo**

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.

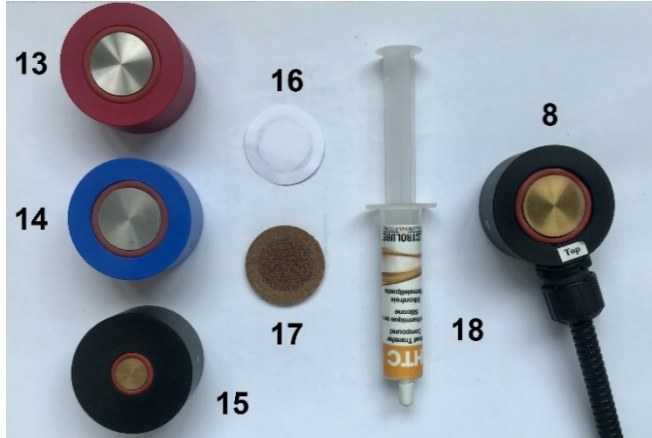
**Figura 7***Equipo de conducción lineal de calor*

1	Indicador digital de T1 a T12
2	Entrada al termopar T1 a T12
3	Control de Voltaje de 0 – 240V (2A)
4	Potencia elemento térmico
5	Interruptor de encendido/apagado
6	Tornillo de tensión
7	Termopares T1, T2, T3
8	Termopares T4, T5
9	Termopares T6, T7, T8
10	Alimentación de agua
11	Salida del agua
12	Sistema de adquisición de datos

El diagrama instrumental del módulo de conducción lineal de calor lineal H112A se muestra en la figura 8, 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 9). 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.

**Figura 9***Accesorios del equipo*

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

### Procedimiento

#### Calibración del equipo

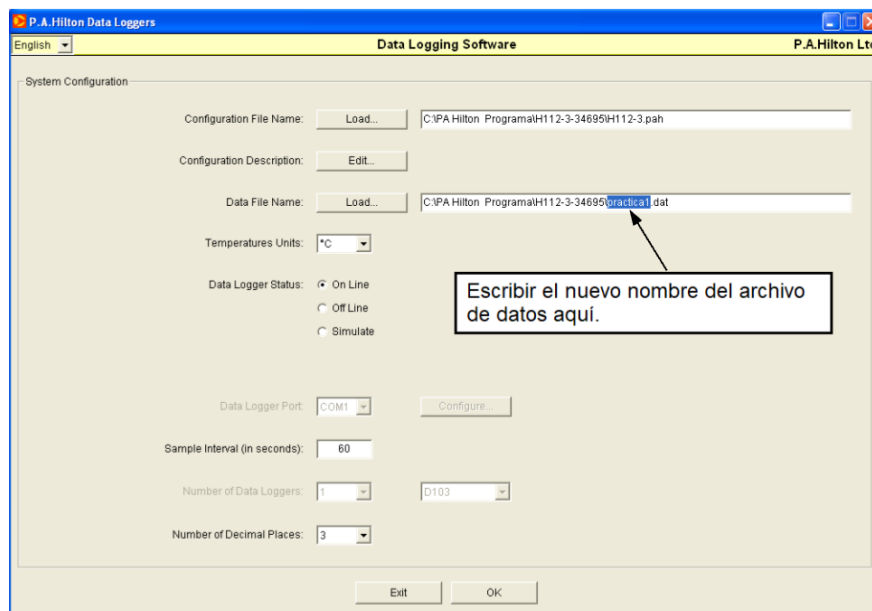
El proceso de la calibración del equipo consta de la configuración de los canales de temperaturas, voltaje de entrada, canal de corriente del calentador y el flujo del agua. El proceso de calibración de las tres últimas mencionadas anteriormente es similar.

- 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.

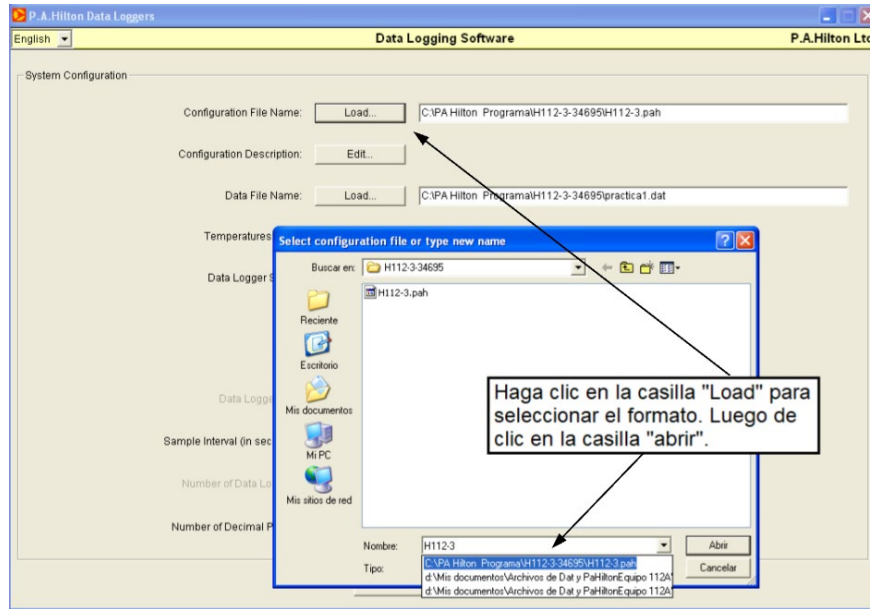
- Ejecute el programa P. A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
- Cargar los archivos preconfigurados en *Configuration File Name* como se muestra en la figura 10.

**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 empieza 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 a cabo 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 empieza 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 enfrié 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 empieza 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 H1 12.
- 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.

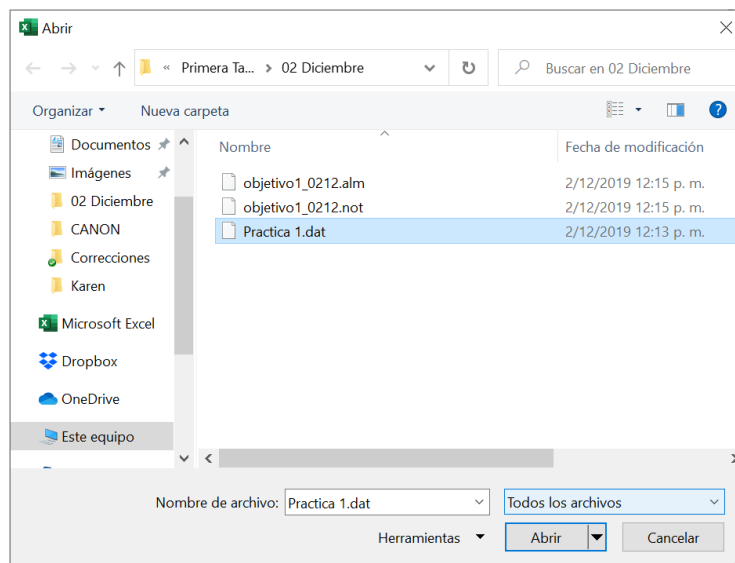
- Desenchufe el sistema de adquisición de datos y la unidad de servicio de transferencia de calor H112 cuando T1 se encuentre por debajo de 35°C.

### Extracción de la toma de datos a hoja de Excel

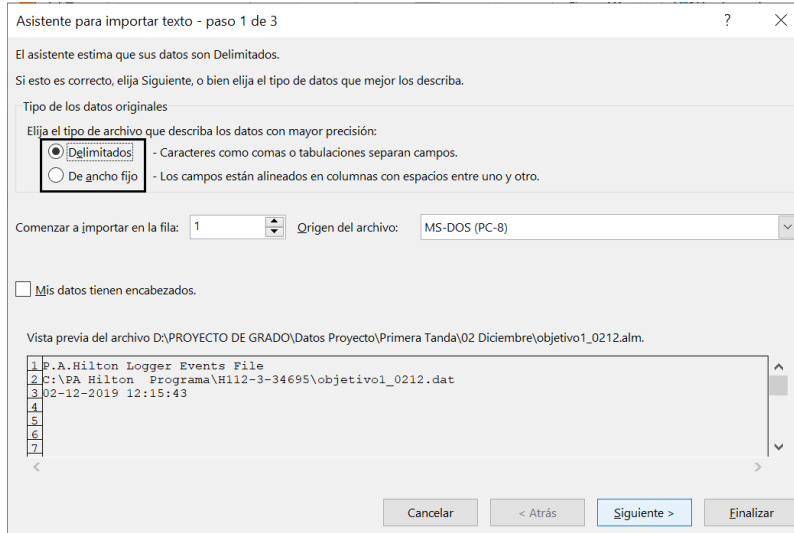
- Ejecute el programa Excel y enseguida seleccione libro en blanco.
- Ubicarse en la parte superior izquierda en archivo y luego seleccione abrir.
- Haga clic en examinar. Verifique la selección de todos los archivos.
- Busque el archivo (formato Data) que se guardó con el nombre asignado y haga clic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

### Figura 12

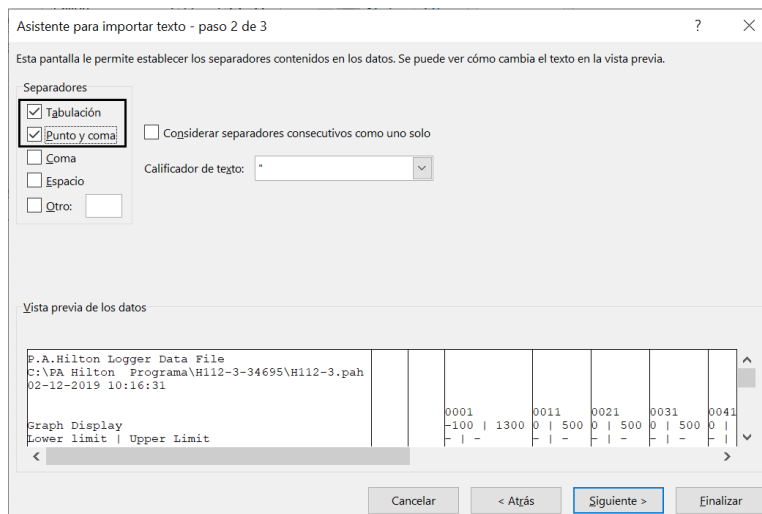
*Archivo preconfigurado data*



- 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 intermediarias.
- 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  $T_1$ .

### 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  $T_1$ .

### Para la práctica 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  $T_1$ .

### Para la práctica 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	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°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 de protección.
- 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 bibliográficas

- Bergman, T. L., DeWitt, D. P., Incropera, F., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (7ed. ed.).
- Bohn, M. S., Kreith, F., & Manglik, R. M. (2012). *Principios de Transferencia de Calor* (7ed. ed.) [Book].  
<https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUIS.1-165467&lang=es&site=eds-live>
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de Calor y Masa : Fundamentos y Aplicaciones* (4ed. ed.) [Book].  
<https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUIS.8-115422&lang=es&site=eds-live> (Heat and Mass Transfer 4th ed.)
- Dixit, U. S., Hazarika, M., & Davim, J. P. (2017). A Brief History of Mechanical Engineering. In S. I. Publishing (Ed.). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42916-8>
- Fourier, J. (1878). The Analytical Theory of Heat. In *Théorie analytique de la chaleur* (pp. 1-15). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511693205>
- Gupta, H. K., & Roy, S. (2007). *Geothermal Energy : An Alternative Resource for the 21st Century* (Vol. 1st ed) [Book]. Elsevier Science.  
<https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=182242&lang=es&site=eds-live>
- Hahn, D. W., & Özişik, M. N. (2012). *Heat Conduction* (Third Edition ed.) [Book]. John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118411285>
- Hilton, P. A. (2011). *Manual de uso y Mantenimiento Modulo de Conducción Linear de Calor optional H112A*. P.A. Hilton Ltd.
- Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4ed. ed.) [Book].  
<https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat00066a&AN=BUIS.1-110806&lang=es&site=eds-live> (Fundamentals of heat and mass transfer, 4th ed. c1996)
- Thirumaleshwar, M. (2006). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Dorling Kindersley/Pearson.

## Apéndice D. Visualización de la herramienta pedagógica

A continuación, se encuentra las vistas previas de las páginas de generalidades (conceptos), equipo y prácticas.

### Figura 1

#### Ventana de conceptos

**Conceptos**

**Transferencia de calor:**  
En la teoría analítica del calor, obra maestra de Joseph Fourier donde define y establece matemáticamente el comportamiento del calor y en la que incluye todo su trabajo no publicado años atrás, omite todos los resultados experimentales restringiéndola únicamente a las matemáticas.

**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 está hecho.

**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. 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.

**Conductividad térmica:**

Para comprender la transferencia de calor, así como los principios fundamentales que intervienen en la teoría.

Historia

Conceptos

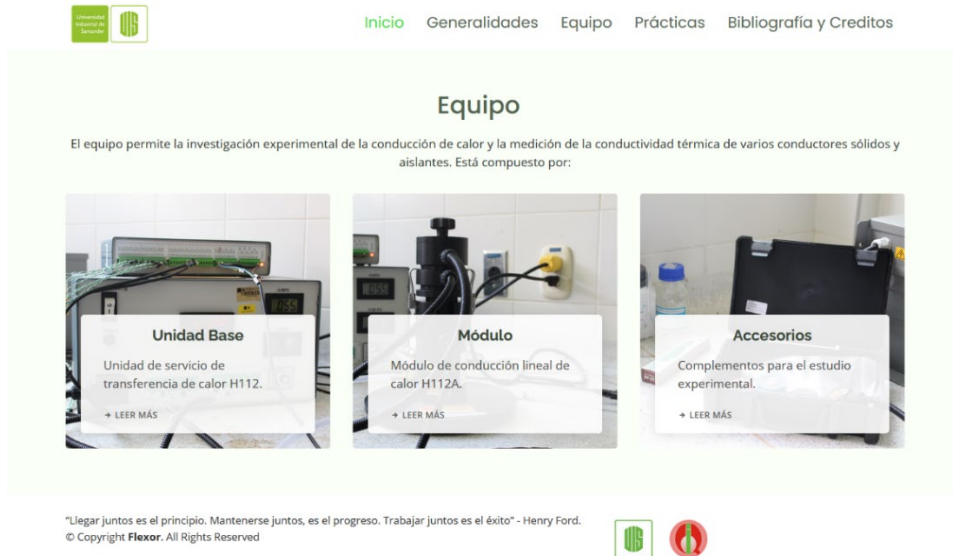
Teoría del calor

Jean Baptiste Joseph Fourier

\*Llegar juntos es el principio. Mantenerse juntos es el amor.  
© Copyright Flexor. All Rights Reserved

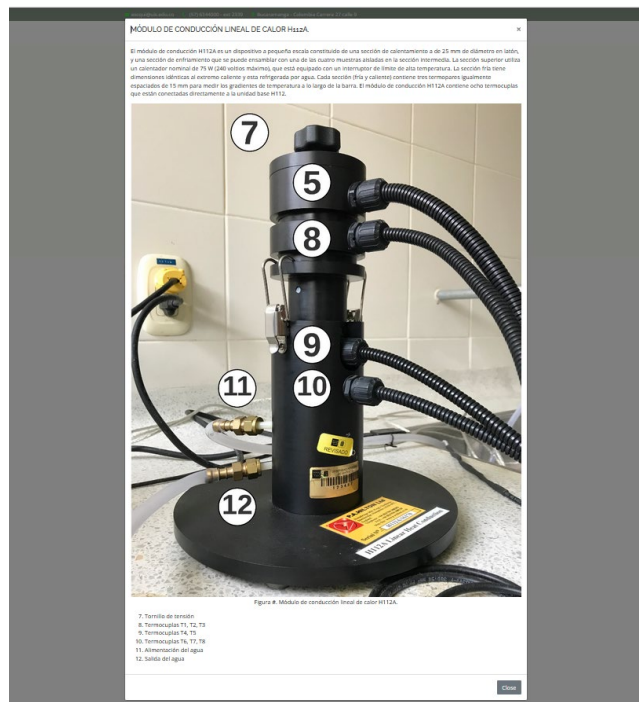
**Figura 2**

*Página de Equipo del Sitio Web*



**Figura 3**

*Ventana del modulo H112A*



**Figura 4***Página de prácticas del Sitio Web*

Universidad  
Autónoma  
Santander

[Inicio](#) [Generalidades](#) [Equipo](#) [Prácticas](#) [Bibliografía y Credits](#)

## Practicas

A continuación, se encuentra el set de prácticas experimentales del equipo de conducción de calor. Cada práctica consta de una base teórica la cual sustenta el experimento a realizar y el modo de trabajo.  
[Manual de operación del equipo de conducción de calor](#)  
[Clic aquí](#)

  
**PRÁCTICA 1**  
Flujo de calor unidireccional a través de un sistema homogéneo.  
[→ Leer más](#)

  
**PRÁCTICA 2**  
Determinación del coeficiente de transferencia de calor global y conductividad térmica a través de una combinación de diferentes materiales.  
[→ Leer más](#)

  
**PRÁCTICA 3**  
Efecto del gradiente de temperatura a través de un material intermedio con área reducida  
[→ Leer más](#)

  
**PRÁCTICA 4**  
Estudio del estado transitorio en la conducción de calor a través de materiales aislantes.  
[→ Leer más](#)

## Apéndice E. Guías para taller prueba piloto

### Práctica 1: Flujo de calor unidireccional a través de tres secciones de un mismo material

#### Introducción

La conducción es uno de los tres modos de transferencia de calor, se presenta al existir un gradiente de temperatura en la zona de estudio, transportándose energía desde la región de mayor temperatura a la región de menor temperatura. Para un sólido el mecanismo físico ocurre a nivel atómico debido a las vibraciones reticulares y/o al movimiento traslacional de los electrones libres a lo largo del mismo dependiendo si su naturaleza eléctrica es o no conductora, su comportamiento se rige por medio de la ley fundamental de la conducción mejor conocida como Ley de Fourier [1].

#### Teoría

Si las superficies frías y calientes están bien alineadas y con un buen contacto térmico, entonces las dos secciones se pueden considerar como un sistema homogéneo continuo de una sección uniforme y de material.

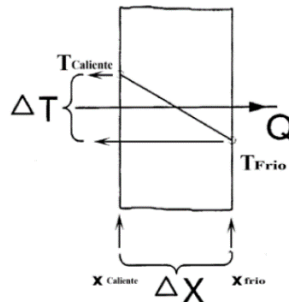


Figura 1. Conducción de Calor a lo largo de una pared plana [2].

La ley de Fourier establece que para la conducción térmica:

Si una sección plana de espesor  $\Delta X$  y de superficie constante  $A$  mantiene una diferencia de temperatura  $\Delta T$  entonces la tasa de transferencia de calor por unidad de tiempo  $\dot{Q}$  por medio de la conducción a través de la pared es:

$$Q \propto A \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

Donde  $\Delta X = (X_{caliente} - X_{frio})$  y  $\Delta T = (T_{caliente} - T_{frio})$

Si el material de la pared es homogéneo y tiene una conductividad térmica  $K$ , entonces

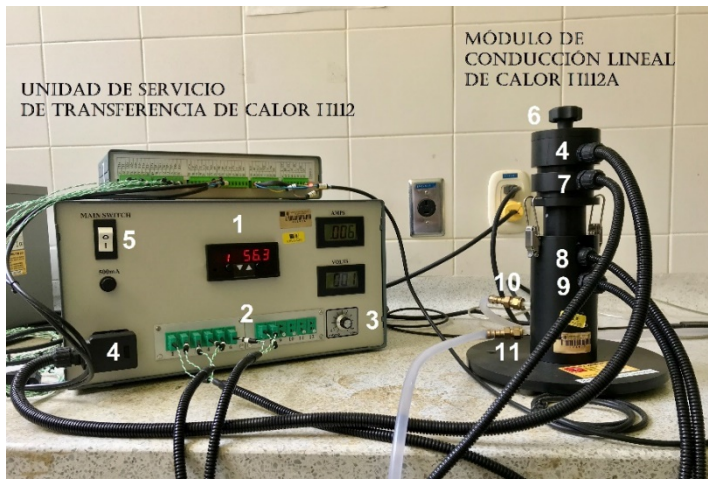
$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

El signo negativo sigue la convención termodinámica en la cual la transferencia de calor es normalmente considerada positiva en la dirección de la caída de la temperatura [12].

**Temas de consulta:**

- Ley de Fourier
- Conductividad térmica
- Conducción de calor a través de una pared plana
- Ecuación diferencial de la conducción de calor en coordenadas cartesianas

## Equipo



1	Indicador digital de T1 a T12
2	Entrada al termopar T1 a T12
3	Control de Voltaje de 0 – 240V (2A)
4	Potencia elemento térmico
5	Interruptor de encendido/apagado
6	Tornillo de tensión
7	T1, T2, T3
8	T4, T5
9	T6, T7, T8
10	Alimentación de agua
11	Salida del agua

## Procedimiento

1. Enchufe la fuente de alimentación Data Logger y la unidad de servicio de transferencia de calor H112.
2. Encienda el equipo por medio del interruptor principal ubicado en la unidad base H112 y verifique que la pantalla digital este encendida.
3. Ponga 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.
4. Ejecute el programa P.A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
5. Cargar los archivos preconfigurados y editar el nombre del archivo con el fin de crear uno nuevo.

6. Configure los canales de temperatura en el menú System Configuration por medio de la función “Offset” a través del Valor mostrado (Show Current Value) y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.
7. Gire el potenciómetro en el sentido opuesto a las agujas del reloj para fijar la tensión en 120 voltios.
8. Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de agua de aproximadamente 25 mL/s. Este flujo se verifica en el canal de Water Flow en el Data Loggers.
9. Permita que el sistema se estabilice y empieza a tomar medidas. En el menú principal de clic en collect Data y seguidamente Numeric Display.
10. Monitorear las temperaturas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 hasta que estabilicen.
11. La recogida de datos empieza a correr en el momento en que oprima en el botón Start Recording.
12. Aumente la tensión del elemento térmico a 170 voltios y repita el paso 10. Finalice dando clic en Stop Recording
13. Al terminar, ubique el potenciómetro en el nivel mínimo (0 voltios) y espere a que el sistema se enfríe por medio del flujo de agua.

### **Cálculos y resultados**

- Calcular la conductividad térmica K en cada una de las secciones de la barra
- Graficar T vs distancia desde la termocupla T1

### **Recogidas de datos**

- Conductividad de las secciones caliente y fría en latón = 121 W/mK

- Diámetro de cada sección = 25 mm
- Longitud de la muestra de aluminio = 30 mm
- Distancia entre Termocuplas = 15 mm

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

Tabla 1. Tabla para toma de datos

### **Bibliografía**

- [1] T. L. Bergman, D. P. DeWitt, F. Incropera, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7ed. ed. 2011, p. 997.
- [2] 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.

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

### Introducción

La conducción es uno de los tres modos de transferencia de calor, se presenta al existir un gradiente de temperatura en la zona de estudio, transportándose energía desde la región de mayor temperatura a la región de menor temperatura. Para un sólido el mecanismo físico ocurre a nivel atómico debido a las vibraciones reticulares y/o al movimiento traslacional de los electrones libres a lo largo del mismo dependiendo si su naturaleza eléctrica es o no conductora, su comportamiento se rige por medio de la ley fundamental de la conducción mejor conocida como Ley de Fourier [1].

### Teoría

Si las superficies calientes y frías están perfectamente amarradas entonces forman un buen contacto térmico con la sección intermediaria de aluminio, una barra de composito la forma similar a la descrito más abajo, se formará.

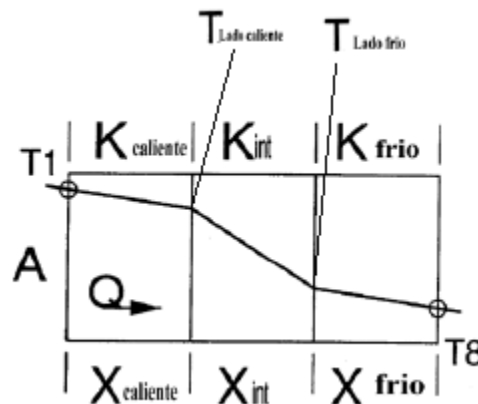


Figura 1. Conducción de calor a lo largo de una pared plana con distintos materiales [2].

Asumiendo que la energía de entrada en la extremidad calentada es conducida sin pérdida a los alrededores hasta la extremidad enfriada, el flujo de calor entre cada sección debe ser igual [12].

Entonces la ley de Fourier en cada sección (Ec. 1) será:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = k_{frío} \frac{\Delta T_{frío}}{\Delta x_{frío}} = k_{int} \frac{\Delta T_{int}}{\Delta x_{int}} = k_{caliente} \frac{\Delta T_{caliente}}{\Delta x_{caliente}} \quad (Ec. 1)$$

Por medio de procedimientos algebraicos encontramos que:

$$\frac{T1 - T8}{\frac{\Delta x_{caliente}}{k_{caliente}} + \frac{\Delta x_{int}}{k_{int}} + \frac{\Delta x_{frío}}{k_{frío}}} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (Ec. 2)$$

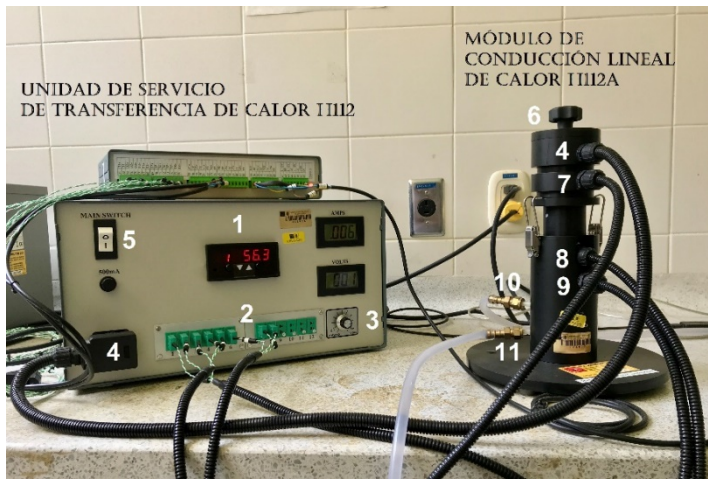
Donde en consecuencia se define la resistencia térmica del material compositor en (Ec. 3) que corresponde al inverso del coeficiente de transferencia de calor global:

$$R = \frac{\Delta x_{caliente}}{k_{caliente}} + \frac{\Delta x_{int}}{k_{int}} + \frac{\Delta x_{frío}}{k_{frío}} = \frac{1}{U} \quad (Ec. 3)$$

### Temas de consulta

- Ley de Fourier
- Conductividad térmica
- Coeficiente de transferencia de calor global
- Conducción de calor a través de una pared plana con distintos materiales
- Ecuación diferencial de la conducción de calor en coordenadas cartesianas

## Equipo



1	Indicador digital de T1 a T12
2	Entrada al termopar T1 a T12
3	Control de Voltaje de 0 – 240V (2A)
4	Potencia elemento térmico
5	Interruptor de encendido/apagado
6	Tornillo de tensión
7	T1, T2, T3
8	T4, T5
9	T6, T7, T8
10	Alimentación de agua
11	Salida del agua

## Procedimiento

1. Enchufe la fuente de alimentación Data Logger y la unidad de servicio de transferencia de calor H112.
2. Encienda el equipo por medio del interruptor principal ubicado en la unidad base H112 y verifique que la pantalla digital este encendida.
3. Unten las superficies de las secciones frías y calientes con una pasta térmica, luego ponga la muestra de Aluminio en la sección intermedia del módulo de conducción lineal de calor H112A, y ajuste las abrazaderas de palanca con la sección caliente.
4. Ejecute el programa P.A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
5. Cargar los archivos preconfigurados y editar el nombre del archivo con el fin de crear uno nuevo.

6. Configure los canales de temperatura en el menú System Configuration por medio de la función “Offset” a través del Valor mostrado (Show Current Value) y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.
7. Gire el potenciómetro en el sentido opuesto a las agujas del reloj para fijar la tensión en 90 voltios.
8. Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de agua de aproximadamente 25 g/s. Este flujo se verifica en el canal de Water Flow en el Data Loggers.
9. Permita que el sistema se estabilice y empieza a tomar medidas. En el menú principal de clic en Collect Data y seguidamente Numeric Display.
10. Monitorear las temperaturas T1, T2, T3, T6, T7, T8 hasta que estabilicen.
11. La recogida de datos empieza a correr en el momento en que oprima en el botón Start Recording.
12. Aumente la tensión del elemento térmico a 140 voltios y repita el paso 10. Finalice dando clic en Stop Recording.
13. Al terminar, ubique el potenciómetro en el nivel mínimo (0 voltios) y espere a que el sistema se enfríe por medio del flujo de agua.

### **Cálculos y resultados**

- Calcular la conductividad térmica K en la sección intermedia de Aluminio
- Determinar el coeficiente de calor global a lo largo del material
- Graficar T vs distancia desde la termocupla T1

**Recogidas de datos**

- Conductividad de las secciones caliente y fría en latón = 121 W/mK
- Conductividad de la muestra de aluminio = 180 W/mK
- Diámetro de cada sección = 25 mm
- Longitud de la muestra de aluminio = 30 mm
- Distancia entre Termocuplas = 15 mm

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

Tabla 1. Tabla para toma de datos

**Bibliografía**

- [1] T. L. Bergman, D. P. DeWitt, F. Incropera, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7ed. ed. 2011, p. 997.
- [2] 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.

### Práctica 3: Efecto del gradiente de temperatura a través de un material con área reducida

#### Introducción

La conducción es uno de los tres modos de transferencia de calor, se presenta al existir un gradiente de temperatura en la zona de estudio, transportándose energía desde la región de mayor temperatura a la región de menor temperatura. Para un sólido el mecanismo físico ocurre a nivel atómico debido a las vibraciones reticulares y/o al movimiento traslacional de los electrones libres a lo largo del mismo dependiendo si su naturaleza eléctrica es o no conductora, su comportamiento se rige por medio de la ley fundamental de la conducción mejor conocida como Ley de Fourier [1].

#### Teoría

Si las secciones calientes y frías están perfectamente ensambladas, entonces forman un buen contacto térmico con la muestra intermedia de latón con diámetro reducido. El sistema tiene forma similar a una barra a la descrita en la figura 1.

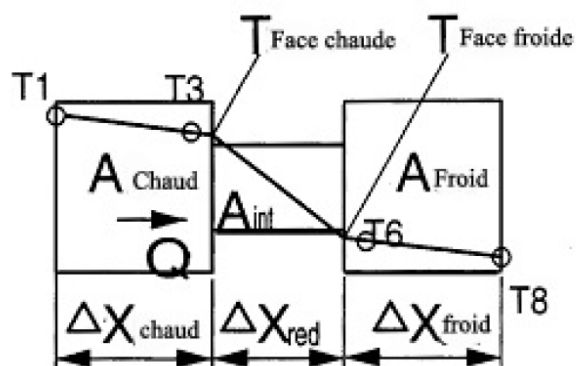


Figura 1. Conducción de calor a lo largo de una pared plana con un material de área variable [2]

Asumiendo que la energía de entrada en la extremidad calentada es conducida sin pérdida a los alrededores hasta la extremidad enfriada, el flujo de calor entre cada sección debe ser igual.

Entonces la Ley de Fourier en cada sección sin tener en cuenta el signo se define:

$$\dot{Q} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Donde,

$$\Delta T = \left(\frac{1}{A}\right) \frac{Q \Delta x}{k}$$

Para la sección calentada, reorganizando la ecuación queda:

$$\frac{\Delta T_{\text{caliente}}}{\Delta x_{\text{caliente}}} = \frac{\dot{Q}}{k_{\text{caliente}} A_{\text{caliente}}}$$

Para la sección intermedia,

$$\frac{\Delta T_{\text{Interm}}}{\Delta x_{\text{Interm}}} = \frac{\dot{Q}}{k_{\text{Interm}} A_{\text{Interm}}}$$

Para la sección enfriada,

$$\frac{\Delta T_{\text{Fría}}}{\Delta x_{\text{Fría}}} = \frac{\dot{Q}}{k_{\text{Fría}} A_{\text{Fría}}}$$

Si la conductividad térmica  $k$  de las secciones calientes, intermedia y frías son todas iguales (mismo material) entonces para un  $\dot{Q}$  constante, el único parámetro que afectará el gradiente de temperatura a lo largo del ensamblaje será la superficie  $A$ .

Entonces,

$$\frac{\left(\frac{\Delta T_{\text{Interm}}}{\Delta x_{\text{Interm}}}\right)}{\left(\frac{\Delta T_{\text{caliente}}}{\Delta x_{\text{caliente}}}\right)} = \frac{\left(\frac{\dot{Q}}{k_{\text{Interm}} A_{\text{Interm}}}\right)}{\left(\frac{\dot{Q}}{k_{\text{caliente}} A_{\text{caliente}}}\right)}$$

Si  $\dot{Q}$  y  $k$  son constantes a lo largo de la barra,

$$\frac{\left(\frac{\Delta T_{Interm}}{\Delta x_{Interm}}\right)}{\left(\frac{\Delta T_{Caliente}}{\Delta x_{Caliente}}\right)} = \frac{A_{Caliente}}{A_{Interm}}$$

Una ecuación similar puede ser derivada para la sección de enfriamiento de la barra. La distribución de la temperatura es lineal.

### Temas de consulta

- Ley de Fourier
- Conductividad térmica
- Conducción de calor a través de una pared plana
- Ecuación diferencial de la conducción de calor en coordenadas cartesianas

### EQUIPO:



1	Indicador digital de T1 a T12
2	Entrada al termopar T1 a T12
3	Control de Voltaje de 0 – 240V (2A)
4	Potencia elemento térmico
5	Interruptor de encendido/apagado
6	Tornillo de tensión
7	T1, T2, T3
8	T4, T5
9	T6, T7, T8
10	Alimentación de agua
11	Salida del agua

### Procedimiento

1. Enchufe la fuente de alimentación Data Logger y la unidad de servicio de transferencia de calor H112.

2. Encienda el equipo por medio del interruptor principal ubicado en la unidad base H112 y verifique que la pantalla digital este encendida.
3. Unten las superficies de las secciones frías y calientes con una pasta térmica, luego ponga la muestra de Latón de área reducida en la sección intermedia del módulo de conducción lineal de calor H112A, y ajuste las abrazaderas de palanca con la sección caliente.
4. Ejecute el programa P.A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
5. Cargar los archivos preconfigurados y editar el nombre del archivo con el fin de crear uno nuevo.
6. Configure los canales de temperatura por medio de la función “Offset” a través del Valor mostrado (Show Current Value) y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.
7. Gire el potenciómetro en el sentido opuesto a las agujas del reloj para fijar la tensión en 90 voltios.
8. Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de agua de aproximadamente 25 ml/s. Este flujo se verifica en el canal de Water Flow en el Data Loggers.
9. Permita que el sistema se estabilice y empieza a tomar medidas. De clic en collect Datay seguiamente Numeric Display.
10. Monitorear las temperaturas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 hasta que estabilicen.
11. La recogida de datos empieza a correr en el momento en que oprima en el botón Start Recording.
12. Aumente la tensión del elemento térmico a 120 voltios y espere a que el sistema estabilice. Finalice dando clic en Stop Recording

13. Al terminar, ubique el potenciómetro en el nivel mínimo (0 voltios) y espere a que el sistema se enfríe por medio del flujo de agua.

### Cálculos y resultados

- 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  $T1$ .

### Recogida de datos

- Diámetro intermedio = 13 mm
- Diámetro de cada sección = 25 mm
- Conductividad térmica de latón = 121 W/mK

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

Tabla 1. Tabla para toma de datos

### Bibliografía

- [1] T. L. Bergman, D. P. DeWitt, F. Incropera, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7ed. ed. 2011, p. 997.
- [2] 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.

#### Práctica 4: Estudio del estado transitorio en la conducción de calor a través de aislantes

##### Introducción

La conducción es uno de los tres modos de transferencia de calor, se presenta al existir un gradiente de temperatura en la zona de estudio, transportándose energía desde la región de mayor temperatura a la región de menor temperatura. Para un sólido el mecanismo físico ocurre a nivel atómico debido a las vibraciones reticulares y/o al movimiento traslacional de los electrones libres a lo largo del mismo dependiendo si su naturaleza eléctrica es o no conductora, su comportamiento se rige por medio de la ley fundamental de la conducción mejor conocida como Ley de Fourier [1].

##### Teoría

Los aislantes térmicos tienen una baja conductividad térmica comparándolos con los metales, esto significa que una pequeña porción de calor pasara a través del material, aun cuando exista una alta diferencia de temperatura. Una de las finalidades de estos materiales es reducir las pérdidas (o ganancias) de calor hacía, o desde un cuerpo hacia su alrededor.

Si se coloca una delgada porción de material aislante entre las superficies calientes y frías, entonces se obtendrá un perfil de temperatura de la siguiente manera

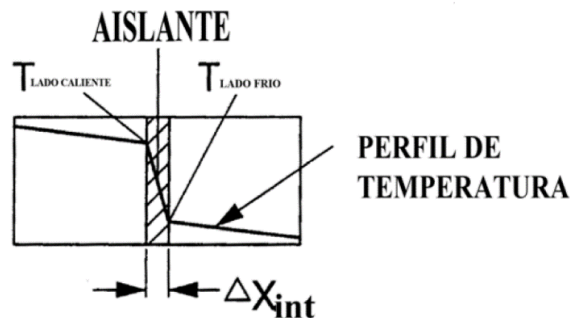


Figura 1. Perfil de temperatura a través de un aislante en la sección intermedia [2]

El calor es introducido a una extremidad de un cuerpo sólido con un flujo constante  $\dot{Q}$  y se transfiere a lo largo de la barra y la temperatura empezará a subir hasta alcanzar un estado estable, cuando todas las temperaturas intermedias estén constantes, es decir, el sistema estará en equilibrio.

Asumiendo que la energía entrando en la sección calentada es conducida sin pérdida en el alrededor hacia el lado enfriado, entonces el flujo de calor en cada sección con superficie  $A$  constante debe ser igual:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{k_{frio} \Delta T_{frio}}{\Delta x_{frio}} = \frac{k_{interm} \Delta T_{interm}}{\Delta x_{interm}} = \frac{k_{caliente} \Delta T_{caliente}}{\Delta x_{caliente}}$$

Entonces,

$$k_{interm} = \frac{\dot{Q}}{A} \left( \frac{\Delta x_{interm}}{\Delta T_{interm}} \right)$$

Con

$$\Delta T_{interm} = T_{lado\ caliente} - T_{lado\ frio}$$

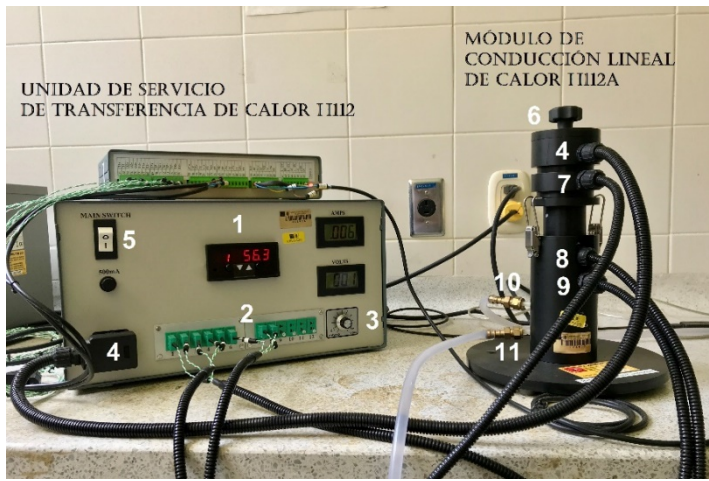
Por lo tanto, reescribiendo la ecuación:

$$k_{interm} = \frac{\dot{Q}}{A} \left( \frac{\Delta x_{interm}}{T_{lado\ caliente} - T_{frio}} \right)$$

### Temas de consulta

- Ley de Fourier
- Conductividad térmica
- Conducción de calor a través de una pared plana
- Ecuación diferencial de la conducción de calor en coordenadas cartesianas

## Equipo



1	Indicador digital de T1 a T12
2	Entrada al termopar T1 a T12
3	Control de Voltaje de 0 – 240V (2A)
4	Potencia elemento térmico
5	Interruptor de encendido/apagado
6	Tornillo de tensión
7	T1, T2, T3
8	T4, T5
9	T6, T7, T8
10	Alimentación de agua
11	Salida del agua

## Procedimiento

1. Enchufe la fuente de alimentación Data Logger y la unidad de servicio de transferencia de calor H112.
2. Encienda el equipo por medio del interruptor principal ubicado en la unidad base H112 y verifique que la pantalla digital este encendida.
3. Ponga la muestra corcho en la sección intermedia del módulo de conducción lineal de calor H112A y ajuste las abrazaderas de palanca con la sección caliente.
4. Ejecute el programa P.A. Hilton Data Loggers y verifique que el cable USB del registrador esté conectado a la computadora.
5. Cargar los archivos preconfigurados y editar el nombre del archivo con el fin de crear uno nuevo.
6. Configure los canales de temperatura por medio de la función “Offset” a través del Valor mostrado (Show Current Value) y el indicador digital de las temperaturas que se ubica en la unidad base H112.

7. Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de agua de aproximadamente 25 ml/s. Este flujo se verifica en el canal de Water Flow en el Data Loggers.
8. Gire el potenciómetro en el sentido opuesto a las agujas del reloj para fijar la tensión en 60 voltios.
9. De clic en collect Datay y después en Numeric Display.
10. La recogida de datos empieza a correr en el momento en que oprima en el botón Start Recording.
11. Monitorear las temperaturas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 hasta que se cumpla un tiempo de 100 minutos.
12. Luego aumente la tensión del elemento térmico a 90 voltios y espere a que el sistema estabilice. Finalice dando clic en Stop Recording
13. Al terminar, ubique el potenciómetro en el nivel mínimo (0 voltios) y espere a que el sistema se enfríe por medio del flujo de agua.

### **Cálculos y resultados**

- Calcular la conductividad térmica  $K$  en la sección intermedia del material aislante.
- Hallar el error porcentual para la conductividad del aislante.
- Graficar  $T_1$  vs tiempo, realizar su respectiva regresión y hallar la temperatura de estabilización realizando el límite cuando  $t \rightarrow \infty$ .

### **Recogida de datos**

- Espesor del corcho = 2,82 mm
- Diámetro de cada sección = 25 mm
- Conductividad térmica del corcho = 0,65 W/mK

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

Tabla 1. Tabla para toma de datos primera parte

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

Tabla 2. Tabla para toma de datos

### Bibliografía

- [1] T. L. Bergman, D. P. DeWitt, F. Incropera, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7ed. ed. 2011, p. 997.
- [2] 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.