



---

# Informe de Laboratorio N°1

---

## Transmisión de Calor por Conducción

Sergio Fica

Sebastián Maggi

Francisco Quezada

6 de abril de 2011



## Índice

1. Introducción .....	3
2. Objetivos .....	4
3. Metodología .....	5
4. Memoria de cálculo. ....	8
4.1. Conductividad térmica lineal.....	8
4.2 Conductividad térmica radial.....	9
5. Resultados experimentales. ....	10
5.1. Resumen general.....	10
5.2. Detalle Experimento 1 .....	10
5.3 Detalle Experimento 2.....	11
5.4. Detalle Experimento 3.....	12
5.5. Detalle Experimento 4.....	13
6. Conclusiones .....	15



## 1. Introducción

Desde los inicios de la revolución industrial, hasta hoy en día, el estudio asociado a la conducción de calor a través de los materiales ha sido la principal inquietud de los ingenieros dedicados a la optimización del aprovechamiento de la energía en todos sus ámbitos. Desde las pérdidas de calor en la distribución eléctrica hasta el sobrecalentamiento de los motores de combustión interna en la mecánica automotriz. Si bien el estudio de estas problemáticas se centra en la refrigeración, es esta misma la que se centra en el estudio de la óptima conducción de calor a través de los materiales de los equipamientos estudiados. Se debe tener presente en términos metalúrgicos que, si bien un cierto material debe resistir los esfuerzos y presiones para los cuales fue diseñado, debe a la vez (idealmente) presentar una conducción térmica lo más alta posible para así facilitar el diseño de refrigeración. Es por esto que la elección del material base para construir equipos como intercambiadores de calor en plantas de turbinas a gas es fundamental para producir el máximo aprovechamiento energético correspondiente.

Esta experiencia se centra en el estudio de la conducción de calor lineal y radial a través de distintos tipos de materiales, de tal forma de obtener las conductividades térmicas de los materiales analizados para una cierta potencia nominal, comparando conducción teórica versus conducción práctica.



## 2. Objetivos

- Medir experimentalmente la conductividad térmica de 4 materiales y geometrías distintas indirectamente, en este caso, a través de sensores de temperatura.
- Verificar la influencia del cambio de material y de geometría en el cambio de la conductividad térmica

### 3. Metodología

Para la presente experiencia, se utilizó el equipo de ensayo WL 370 para transmisión del calor por conducción de G.U.N.T, la cual ofrece dos composiciones posibles para ensayos de conducción lineal y radial.

Durante la primera parte de la experiencia, se estudió el comportamiento de la conducción lineal a través de tres piezas distintas, las cuales fueron posicionadas entre una parte fija con calefactor y una parte móvil con refrigerador, fijando las piezas a estudiar mediante un cierre a presión.

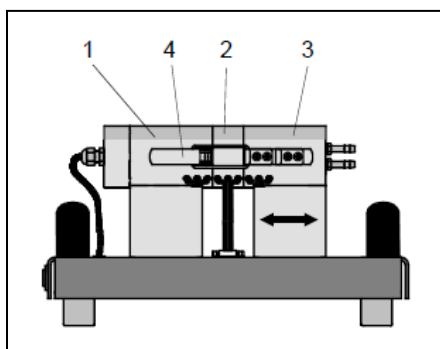


Figura 3.1 Equipo conducción lineal. (1) Calefactor. (2) Piezas de ensayo. (3) Refrigerador. (4) Cierre a presión.

Los datos de temperatura fueron registrados mediante nueve puntos de medición separados por 10 mm. Como los puntos 4, 5 y 6 se encuentran solidarios a la pieza de montaje 1, no son considerados en las mediciones de temperatura para las otras dos piezas. Todas las piezas estudiadas están recubiertas con una capa aislante.

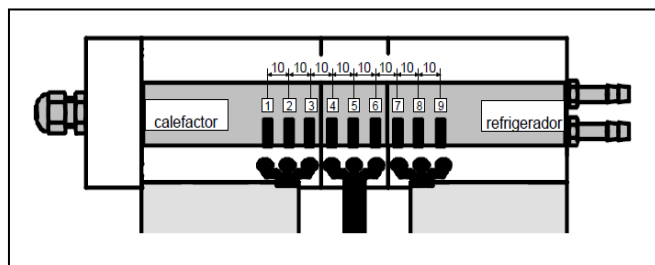


Figura 3.2 Puntos de medición, conducción lineal.

Tabla 3.1 Datos técnicos

	Material	Diámetro [mm]	Largo [mm]
Pieza de montaje1	Latón	25	30
Pieza de montaje2	Acero fino 1.4305	25	30
Pieza de montaje3	Latón	15	30

Para la segunda parte de la experiencia, se estudió la conducción radial a lo largo de un disco de latón de 110 mm de diámetro y 4 mm de espesor, incorporado con un calefactor de 12 mm de diámetro, ubicado en el centro (por debajo) del disco, y un refrigerante circula a lo largo de un tubo de cobre que se ubica en el perímetro del disco.

Los puntos de medición están numerados desde el centro hacia el exterior. La distancia entre dos puntos de medición es de 10 mm. Durante los ensayos, no se registraron las temperaturas medidas en los puntos de medición 7, 8 y 9 puesto a que éstos no poseen un registro de la temperatura radial del disco.

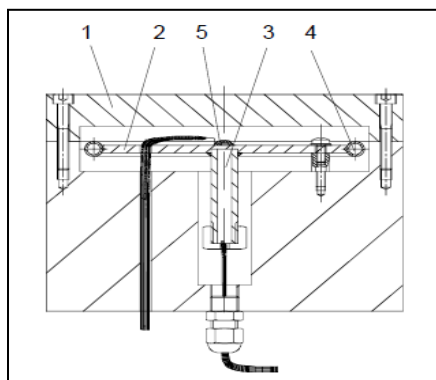


Figura 3.3 Equipo de conducción radial. (1) Tapa plástica, (2) Disco de latón, (3) Calefactor, (4) Refrigerador, (5) primer punto de medición.

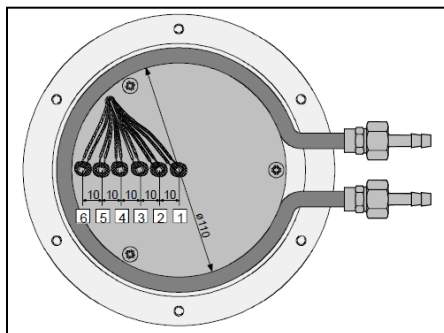


Figura 3.4 Puntos de medición en conducción radial

Los datos registrados en ambas experiencias son medidos por el equipo de manejo e indicación digital, el cual incluye un indicador de temperatura (en  $^{\circ}\text{C}$ ) y un indicador de potencia (en Watts), la cual se ajusta mediante un potenciómetro incorporado al equipo. Con motivo de obtener los resultados restantes de los materiales a prueba, es necesario interpolar linealmente la temperatura en las secciones que no poseen sensores. Para ello, mediante una interpolación al gráfico de temperaturas (ver Resultados, puntos en rojo) se consiguió tener datos experimentales del comportamiento que debería tener la temperatura dentro de las distintas secciones de cada experimento. Con dichos datos de temperatura, y mediante las fórmulas teóricas (ver Memoria de cálculo) es posible llegar a un resultado teórico de la conductividad térmica.

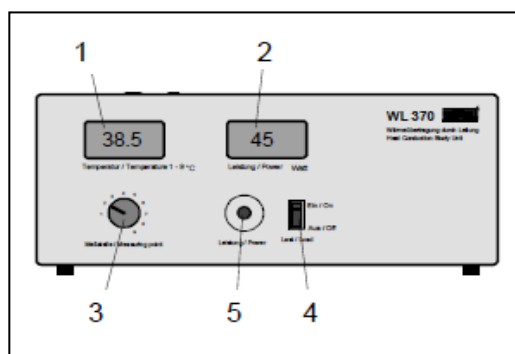


Figura 3.5 Equipo de manejo e indicación. (1) indicador de temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]. (2) indicador de potencia [W]. (3) Botón giratorio de selección de punto de medición. (4) interruptor. (5) Potenciómetro.

## 4. Memoria de cálculo.

### 4.1. Conductividad térmica lineal

Para calcular la conductividad térmica en cada trayecto, se utiliza la fórmula entregada en el manual del ensayo

$$\dot{Q} = \frac{\lambda_1}{s_1} \cdot A_1 \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

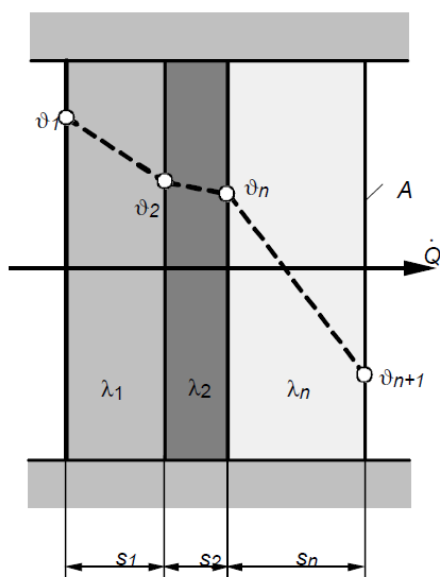
donde  $\dot{Q}$  es la potencia del calefactor,  $\lambda_1$  es la conductividad térmica del material,  $s_1$  es la distancia entre los sensores 1 y 2, y  $\theta_1$  y  $\theta_2$  corresponden a las temperaturas medidas en ambos sensores.

De la ecuación se obtienen los valores experimentales de  $\lambda_1$

$$\lambda_1 = \frac{\dot{Q} \cdot s_1}{A_1 \cdot (\theta_1 - \theta_2)}$$

Cuando se procede a medir la conductividad entre materiales distintos, la fórmula es

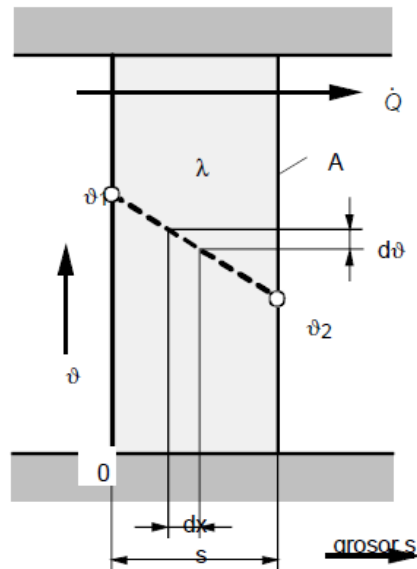
$$\dot{Q} = \frac{A_1 \cdot (\theta_1 - \theta_n)}{\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}}$$



Donde  $s_1$  y  $\lambda_1$  corresponden al largo y conductividad para el primer segmento, y  $s_2$  y  $\lambda_2$  corresponden al segundo segmento.

De la ecuación se obtienen los valores experimentales de  $\lambda_i$  para varios segmentos

$$\lambda_n = s_n \left( \frac{A_1 \cdot (\theta_1 - \theta_n)}{\dot{Q}} - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{s_i}{\lambda_i} \right)^{-1}$$





## 4.2 Conductividad térmica radial

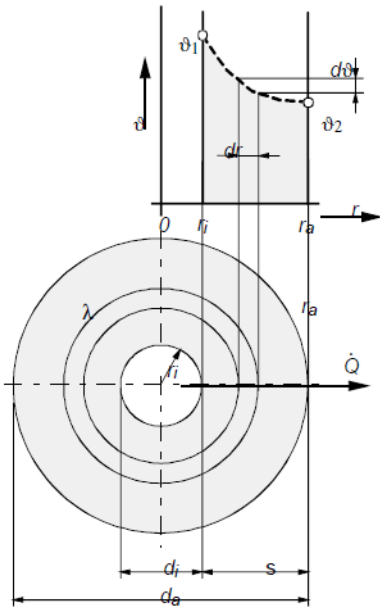
Para el caso de conductividad térmica radial, la fórmula fue la siguiente

$$\dot{Q} = \lambda \cdot \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)} \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

Donde  $\dot{Q}$  es la potencia del calefactor,  $\lambda$  es la conductividad térmica del material,  $r_a$  es el radio exterior,  $r_i$  es el radio interior, y  $\theta_1$  y  $\theta_2$  las temperaturas medidas del sensores.

De la ecuación se obtienen los valor experimental de  $\lambda$

$$\lambda = \frac{\dot{Q} \cdot \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}{2\pi L \cdot (\theta_1 - \theta_2)}$$





## 5. Resultados experimentales.

Los resultados obtenidos para cada experiencia fueron:

### 5.1. Resumen general

Experiencia		1	2	3	4
Conducción		Lineal	Lineal	Lineal	Radial
Tipo de material		Latón	Latón	Acero inox.	-
Radio [mm]		25	15	25	-
Potencia [W]		<b>40</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>50</b>
Temperatura medida [°C]	Sensor 1	72,2	85	75,2	52,7
	Sensor 2	69,4	84,2	74,3	45
	Sensor 3	67,2	84,8	74,6	37,4
	Sensor 4	68,5	-	-	31
	Sensor 5	63,5	-	-	26
	Sensor 6	58,4	-	-	22,6
	Sensor 7	41,8	29,4	26,7	-
	Sensor 8	32,9	25,7	25	-
	Sensor 9	30,7	23,8	23	-

### 5.2. Detalle Experimento 1

Material: Latón de 25 mm

Punto de medición	Distancia s en mm	Temperatura en °C	Diferencia de Temperatura en K	Conductividad térmica en W/(mK)
1	-	72,2	-	-
2	10	69,4	2,8	
3	20	67,2	5	325,949
4	30	65,35	6,85	
5	40	63,5	8,7	
6	50	58,4	13,8	185,198
7	60	41,8	30,4	
8	70	32,9	39,3	
9	80	30,7	41,5	58,836

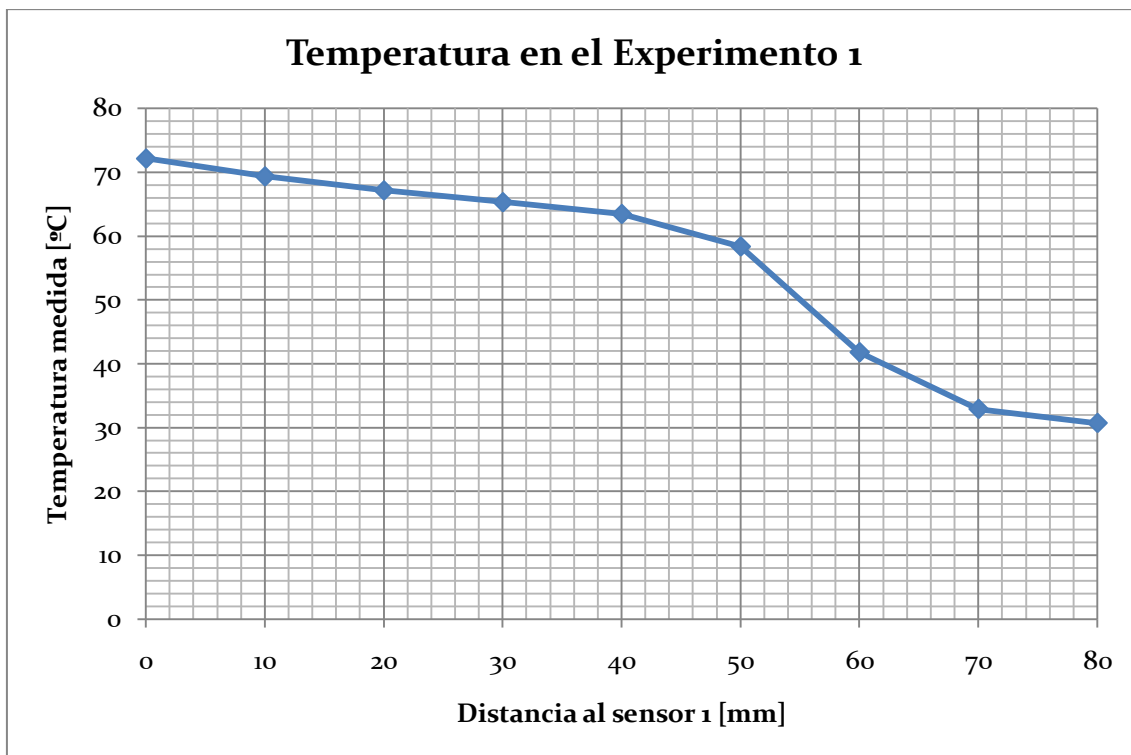


Gráfico 1. Temperaturas en el Experimento 1

### 5.3 Detalle Experimento 2

Material: Latón de 15 mm

Punto de medición	Distancia s en mm	Temperatura en °C	Diferencia de Temperatura en K	Conductividad térmica en W/(mK)
1	0	85	-	
2	10	84,2	0,8	
3	20	82	2,2	1433,57
4	30	72	10	
5	40	57	15	
6	50	43	14	370,75
7	60	29,4	13,6	
8	70	25,7	3,7	
9	80	23,8	1,9	3071,94

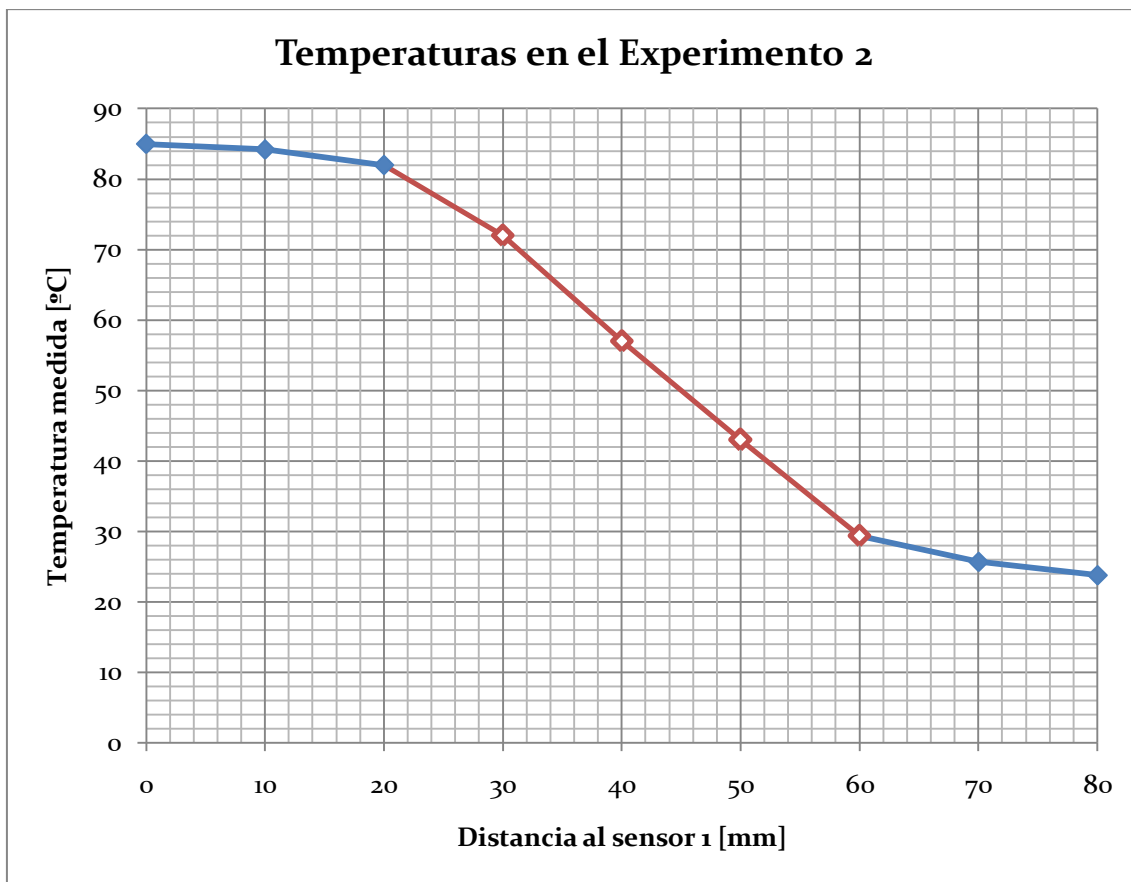


Gráfico 2. Temperaturas en el Experimento 2

#### 5.4. Detalle Experimento 3

Material: Acero inoxidable de 25 mm

Punto de medición	Distancia s en mm	Temperatura en °C	Diferencia de Temperatura en K	Conductividad térmica en W/(mK)
1	0	75,2	-	
2	10	74,3	0,9	
3	20	74,6	0,6	2376,714
4	30	63	12,2	
5	40	50	25,2	
6	50	38	37,2	57,041
7	60	26,7	48,5	
8	70	25	50,2	
9	80	23	52,2	385,413

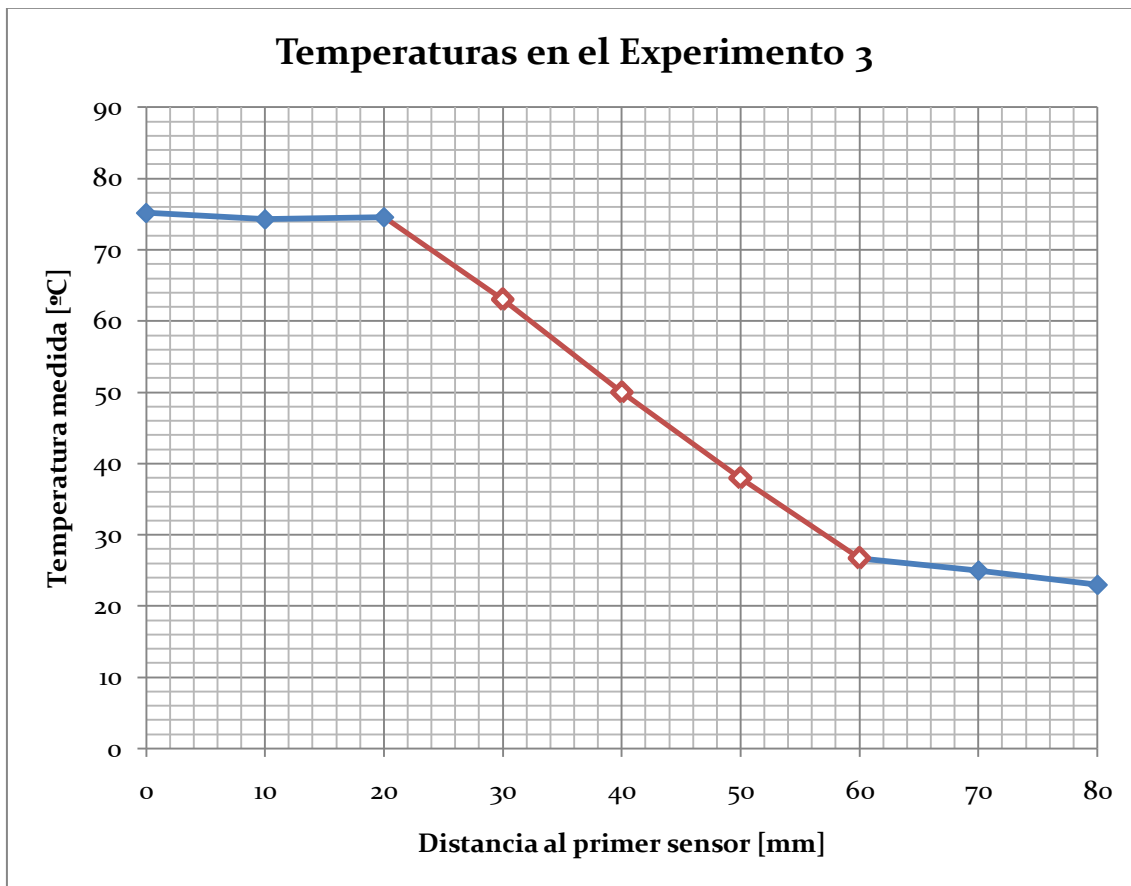


Gráfico 3. Temperaturas en el Experimento 3

## 5.5. Detalle Experimento 4

Conducción radial

Punto de medición	Distancia s en mm	Temperatura en °C	Diferencia de Temperatura en K	Conductividad térmica en W/(mK)
1	0	52,7	-	-
2	10	45	7,7	-
3	20	37,4	15,3	89,228
4	30	31	21,7	99,713
5	40	26	26,7	102,261
6	50	22,6	30,1	105,311

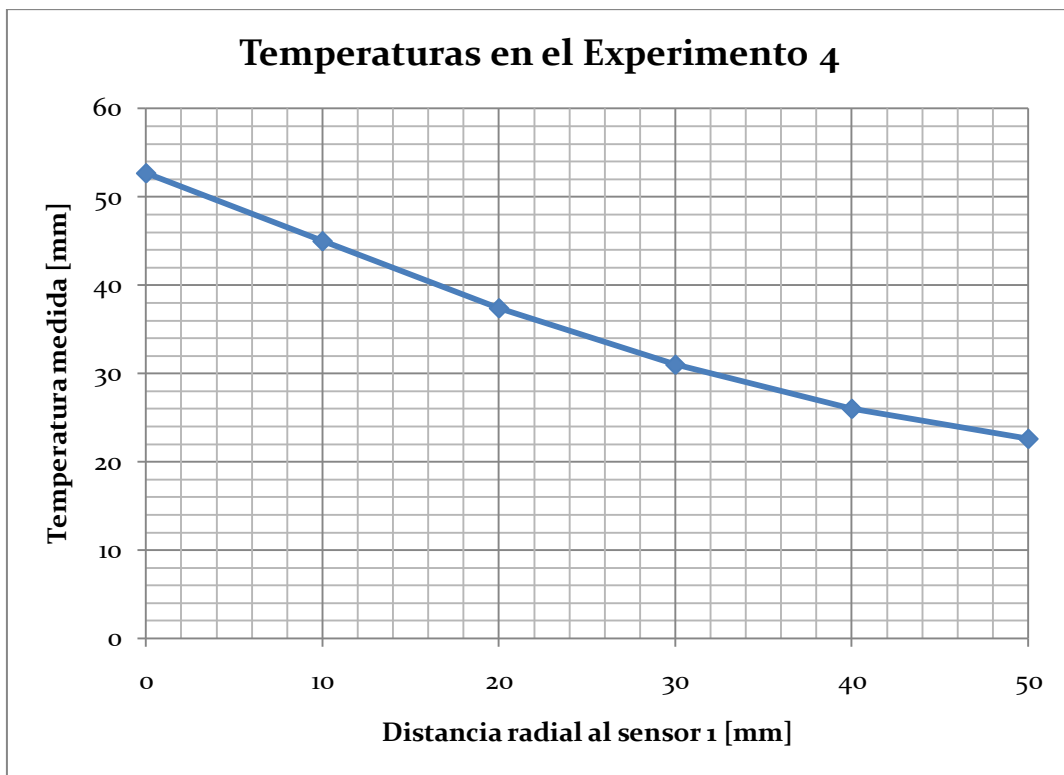


Gráfico 4. Temperaturas en el Experimento 4



## 6. Conclusiones

- Podemos ver que los valores de la conductividad térmica en los montajes no se condicen con aquellos que se podrían esperar en teoría, sin embargo existen diversos factores que alejan el experimento de un análisis teórico: por una parte el resultado del flujo de calor está planteado para un flujo unidireccional, es decir sin flujo de calor en las direcciones  $\hat{j}$  y  $\hat{k}$ , sin embargo observamos que en la práctica existen pérdidas a lo largo de la superficie, lo que incrementa la conductividad, por otra parte si bien se supone es un experimento en el que se mide la conducción de un material, en la parte final existe una parte de convección, dada por la circulación de agua por una manguera al final del tubo de ensayos, lo cual agrega otra componente para el flujo de calor, lo que hará que la conductividad resulte mayor, en esta zona.
- Como fuentes de error podemos mencionar, aparte de los ya mencionados (pérdidas por los costados, uso del refrigerante), a los sensores, los cuales si se observa en los gráficos de la temperatura versus la distancia, se puede evidenciar que no miden la temperatura de forma correcta, obteniendo por ejemplo que entre dos puntos sucesivos la temperatura no sólo disminuye, sino que aumenta.
- Sin embargo, también cabe destacar que en general la experiencia funciona para estudiar el comportamiento del fenómeno de conducción lineal, a través de distintos medios, pudiendo compararse el efecto de distintos materiales o de distintas secciones, además de poder comparar esto con el fenómeno de conducción radial.
- Se concluye además que el acero tiene menor conductividad que el latón y que el material de 15 mm de diámetro tiene mayor conductividad que el de 25 mm debido a que el área es menor.



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

ME4302  
TRANSFERENCIA DE CALOR

---