



Medición de la conductividad térmica de materiales sólidos conductores

Leonel Lira Cortés

*Laboratorio de Propiedades Termofísicas
División Termometría, Área Eléctrica
Centro Nacional de Metrología*



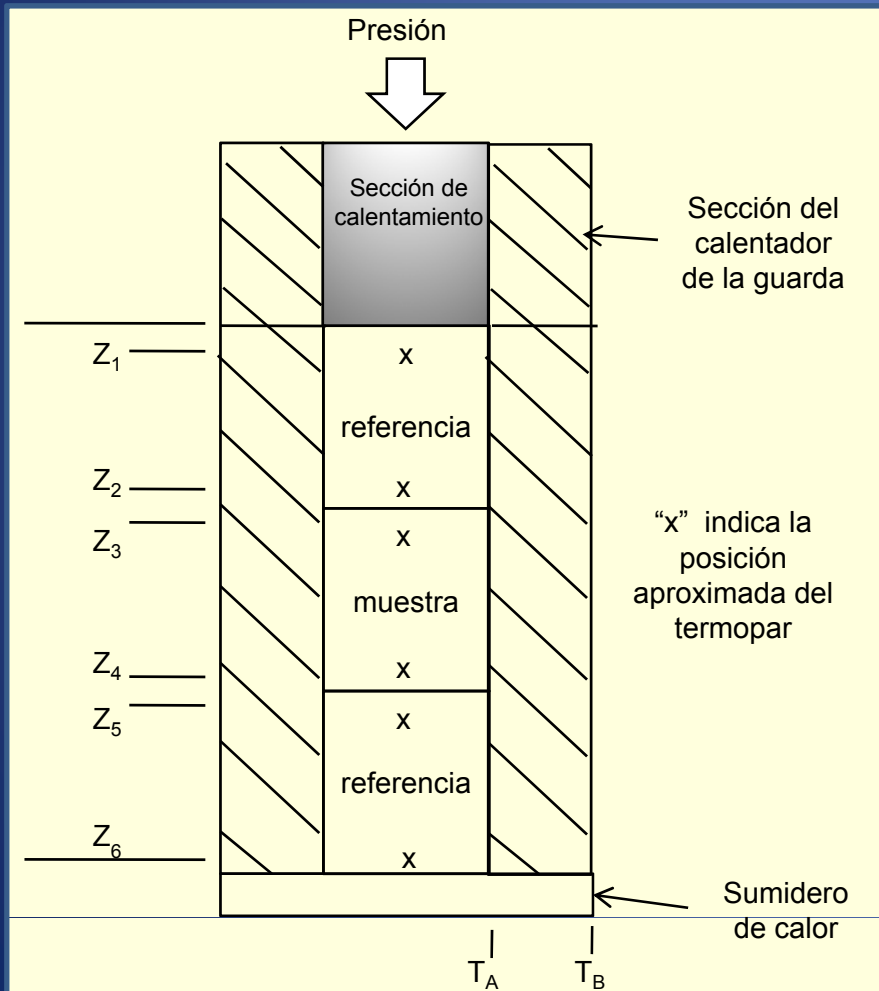
INTRODUCCION

El conocer los valores de las propiedades termofísicas es importante en todos los procesos donde ocurre intercambio de energía, en particular calor.



Para medir la conductividad térmica de metales en el Centro Nacional de Metrología se desarrolló un sistema para la medición de materiales sólidos conductores por medio de un método secundario.

PRINCIPIO DE EL METODO



Esquema del método de barras cortadas

El método consiste en medir la conductividad térmica de una muestra de material por medio de un material de referencia por una técnica de estado permanente que se conoce como el método de las barras concéntricas cortadas.



FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL SISTEMA

El análisis se inicia a partir de la ecuación diferencial de conducción

$$\nabla \cdot \vec{q}(\vec{r}, t) + g(\vec{r}, t) = \rho C_p \frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial t}$$

Si solo existe flujo uní-dimensional, se obtiene la ecuación de Fourier:

$$q = -\lambda A \frac{dT}{dZ}$$

Si esta ecuación se aplica a cada uno de las secciones que componen el sistema, se tiene:

$$q_1 = -\lambda_1 A_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta Z_1}$$

$$q_2 = -\lambda_2 A_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta Z_2}$$

$$q_3 = -\lambda_3 A_3 \frac{\Delta T_3}{\Delta Z_3}$$

Además si el área transversal de todos los materiales es la misma y el material de referencia es el mismo, entonces:

$$\lambda_M = \frac{Z_4 - Z_3}{T_4 - T_3} \left[\frac{\lambda_{R1}}{2} \left(\frac{T_2 - T_1}{Z_2 - Z_1} \right) + \frac{\lambda_{R2}}{2} \left(\frac{T_6 - T_5}{Z_6 - Z_5} \right) \right]$$

donde λ_M , es la conductividad de la muestra.

ESTUDIO PARAMETRICO

El estudio consiste en obtener la distribución de temperatura del sistema, para distintos espesores de material aislante y diferentes condiciones de operación.

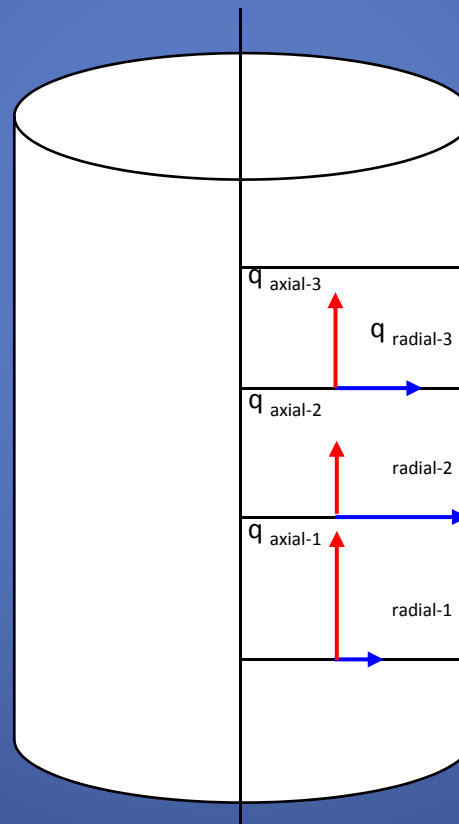
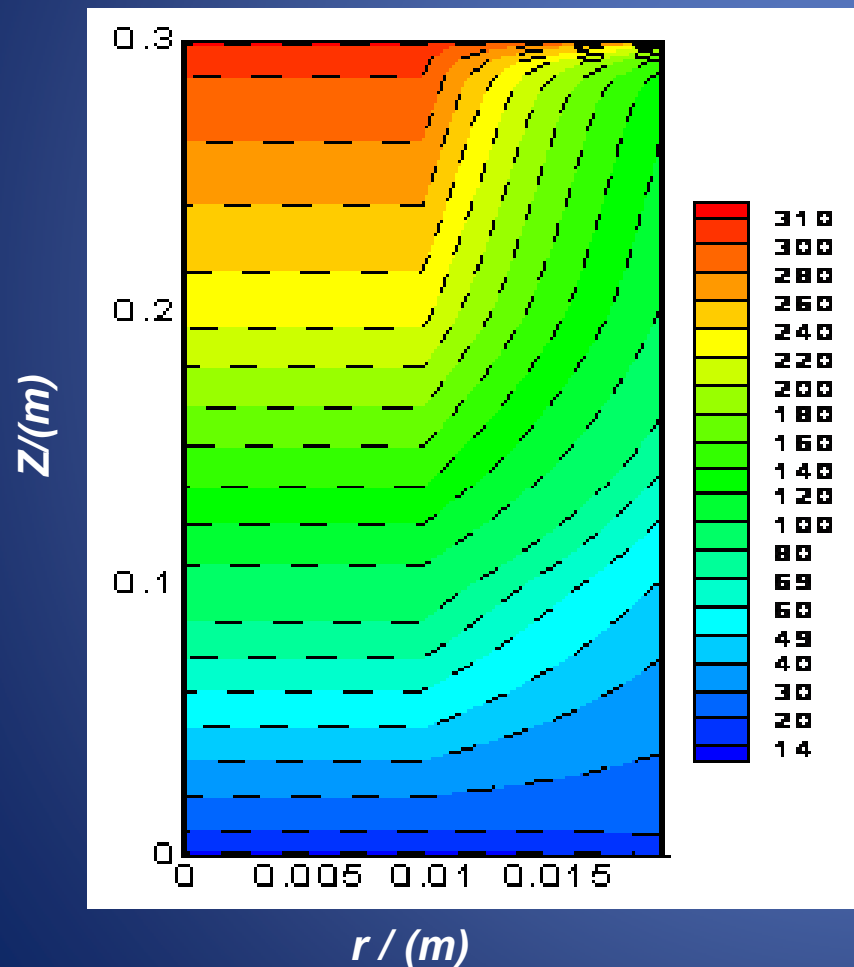


Figura. Representación de los flujos de calor

ESTUDIO PARAMETRICO



El perfil de temperatura de una barra de aluminio de 0.01 m de radio, con aislante de 0.01 m de espesor. La diferencia de temperatura es de 300°C entre la superficie caliente y fría.

Perfil de temperatura de una barra de aluminio como muestra y barras de cobre como referencia

ESTUDIO PARAMETRICO

Los resultados para el error relativo para una diferencia de temperatura de 20 °C y un espesor del aislante de 38,2 mm

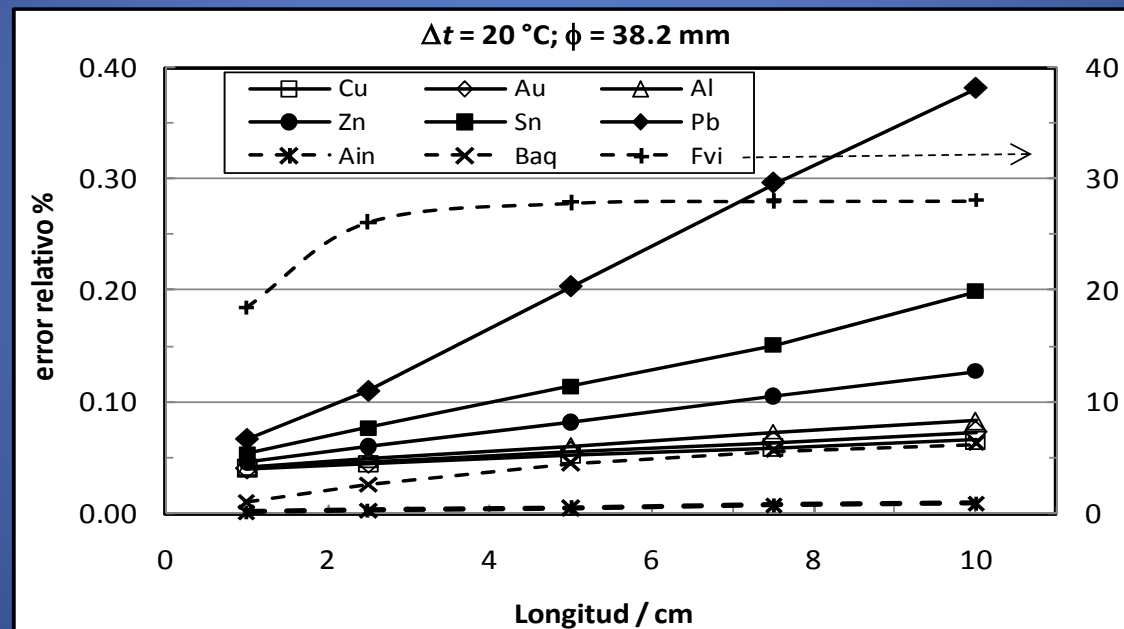
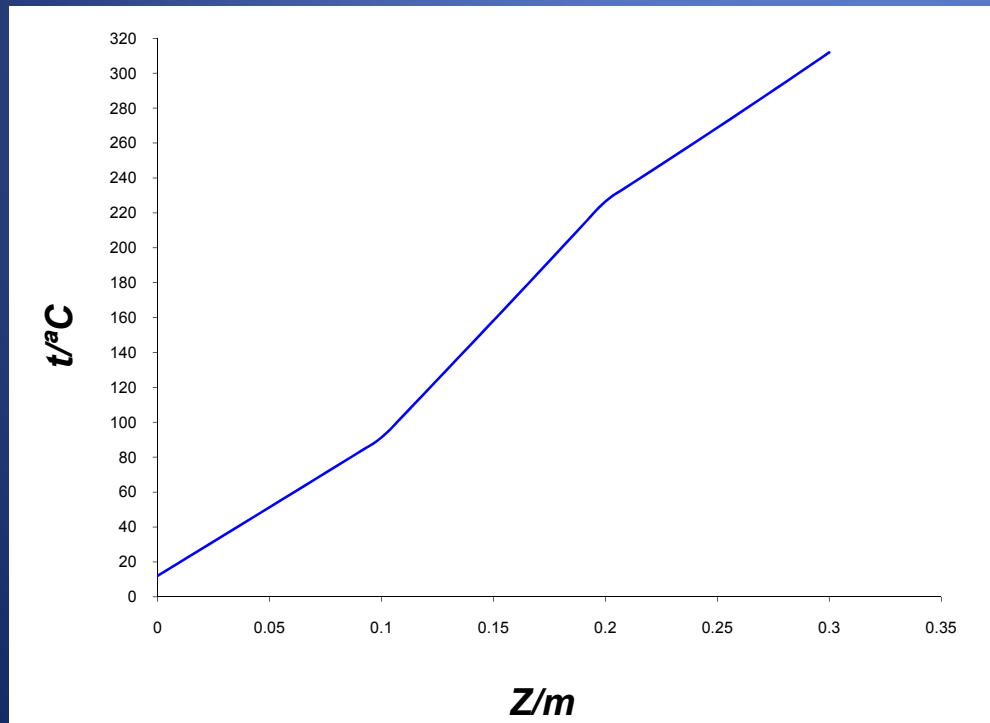


Figura. Error relativo porcentual para 8 materiales. En el eje principal se grafican los metales y el resto de los materiales en el eje secundario (derecha)



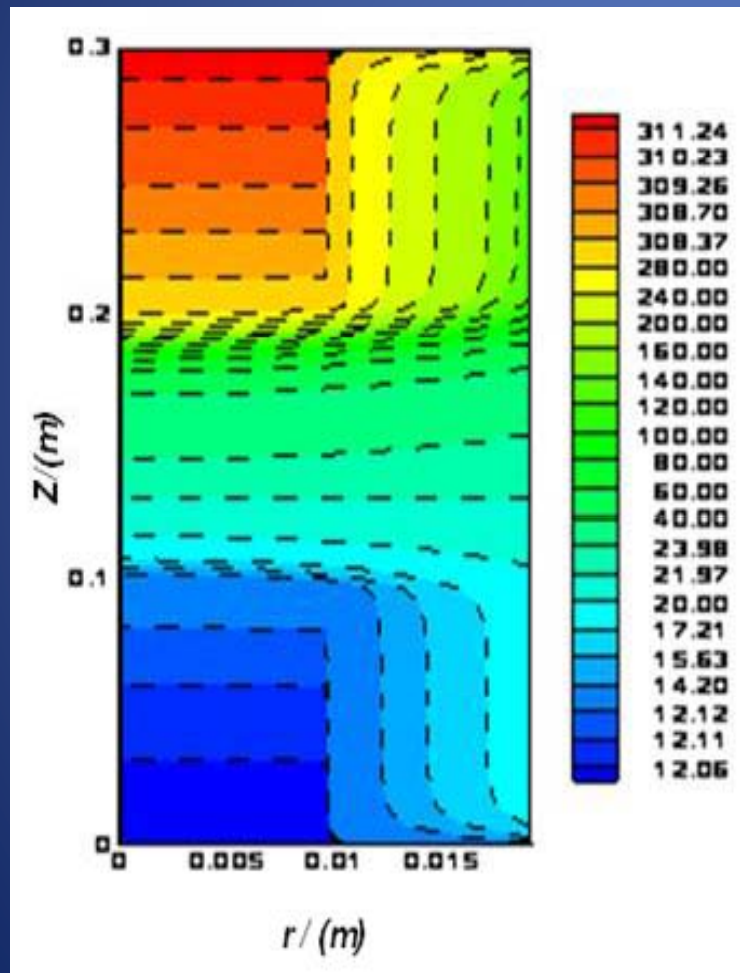
PERFILES DE TEMPERATURA

El perfil de temperatura de una barra de aluminio de 0.01 m de radio, con aislante de 0.01 m de espesor, La diferencia de temperatura es de 300°C entre la superficie caliente y fría.



Perfil de temperatura de una barra de aluminio como muestra y barras de cobre como referencia

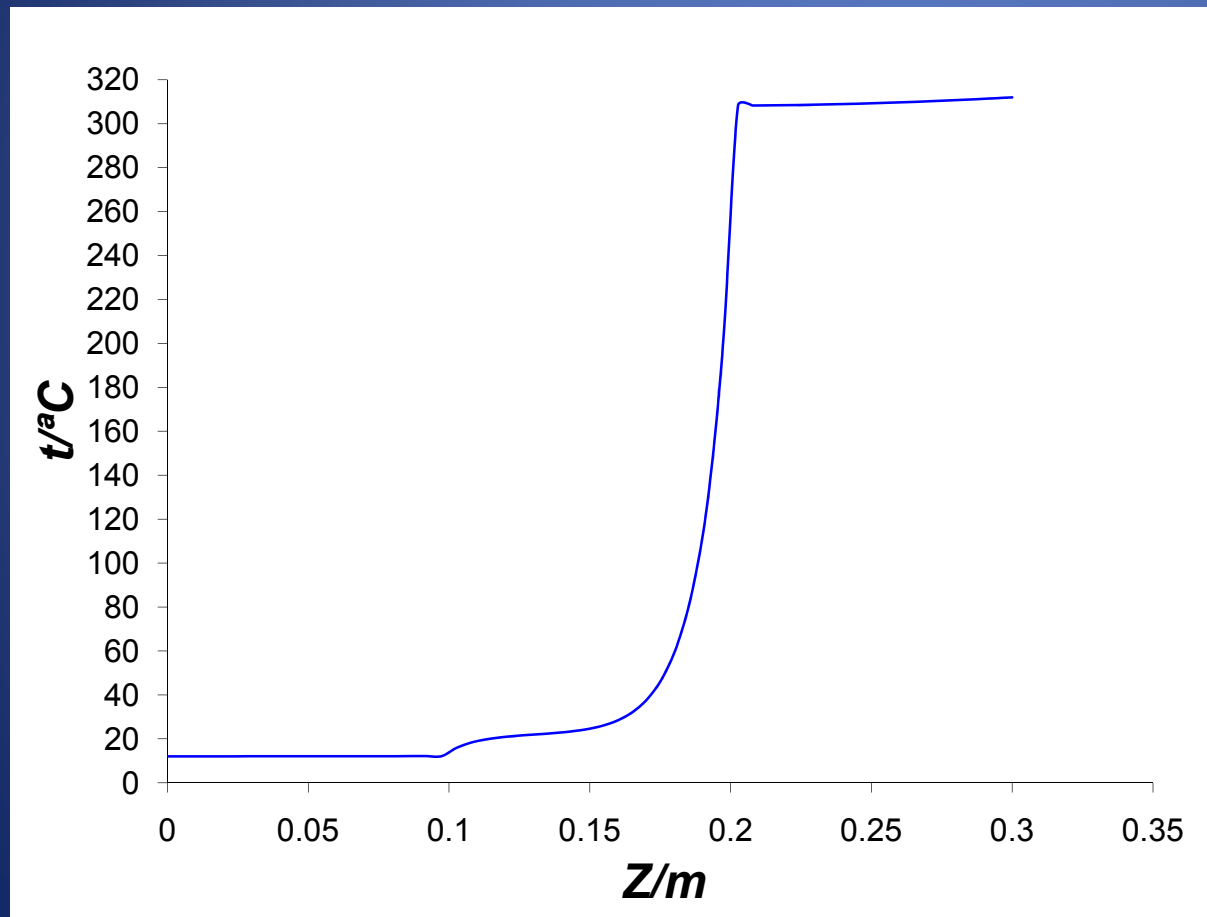
Perfil de temperatura para una muestra de fibra de vidrio



En este caso se observa que existen gradientes radiales en la zona del material de referencia a causa de flujo de calor radial.



Perfil de temperatura para una muestra de fibra de vidrio

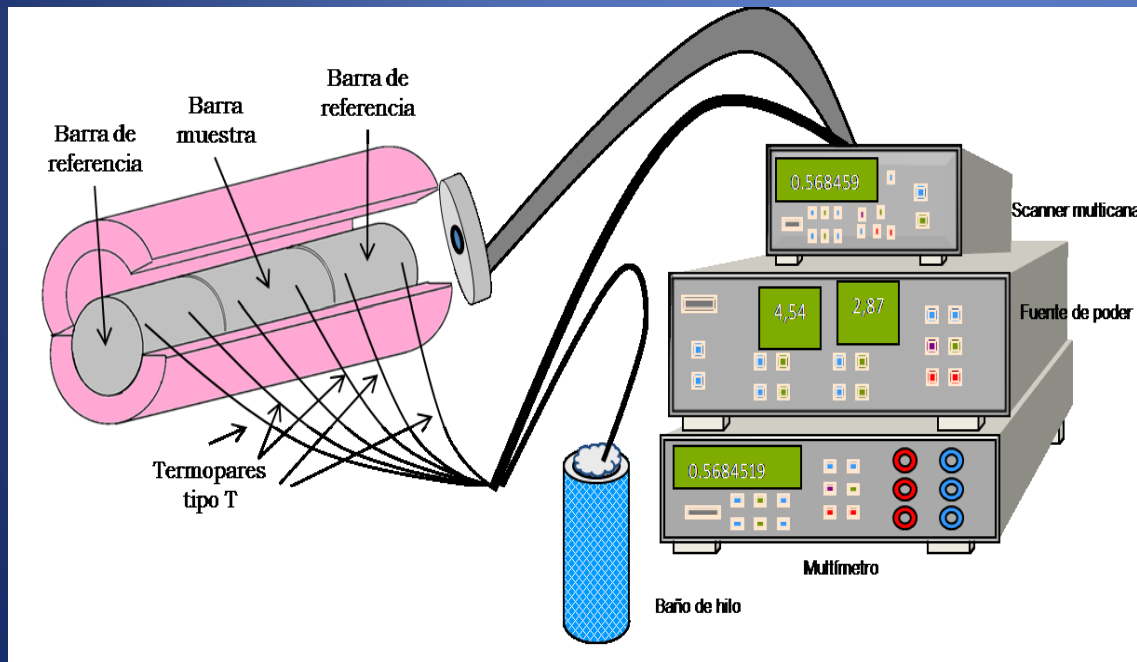


En este caso se observa que existen gradientes radiales en la zona del material de referencia a causa de flujo de calor radial.

EXPERIMENTAL

Prototipo del sistema de medición de barras cortadas

➤ En el prototipo la barra de referencia fue de aluminio de 25.4mm de diámetro y una longitud de 50 mm.



➤ Las barras se cubren con aislante de fibra de vidrio de 75 mm de espesor.

➤ Se escribió un código en LabView para registrar los datos y controlar el sistema de medición.

EXPERIMENTAL

Prototipo del sistema de medición de barras cortadas

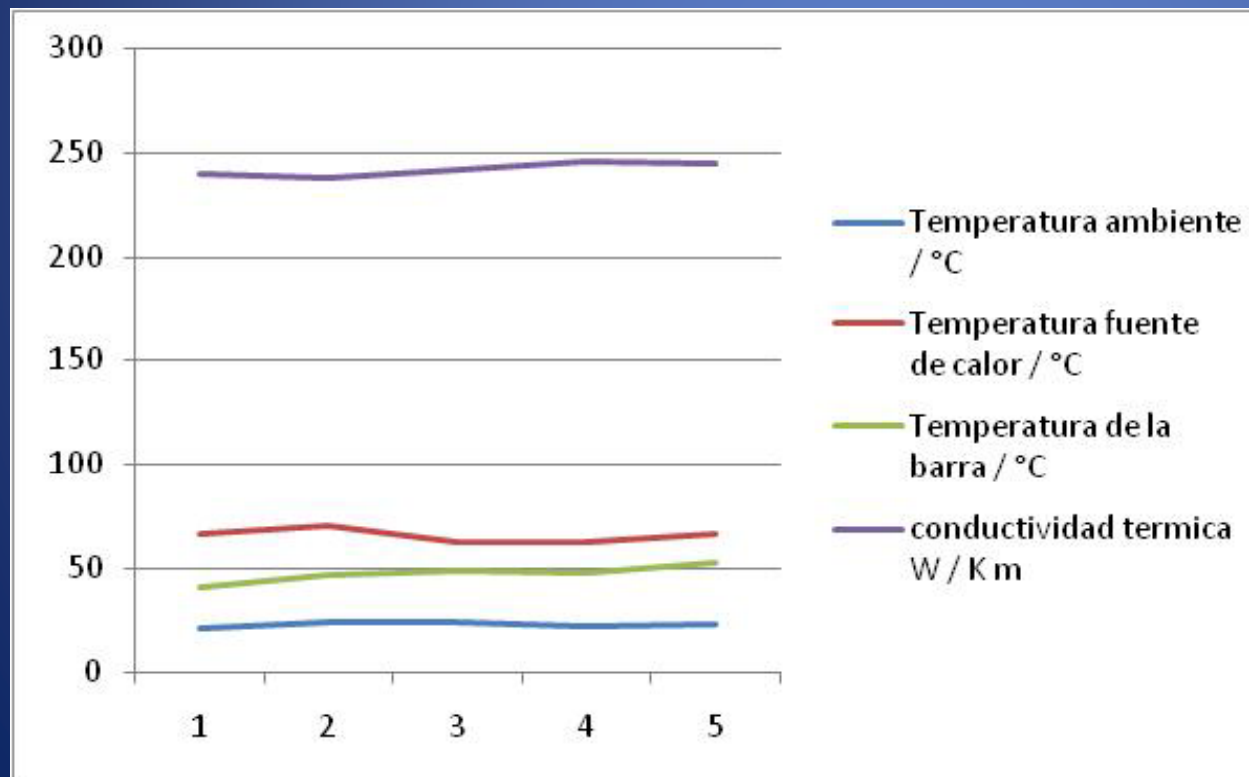


- El sistema de medición de temperatura consiste de siete termopares.
- Como fuente de calor se colocó un calefactor plano de 25,4 mm de diámetro y resistencia nominal de 3,7 Ω .



RESULTADOS

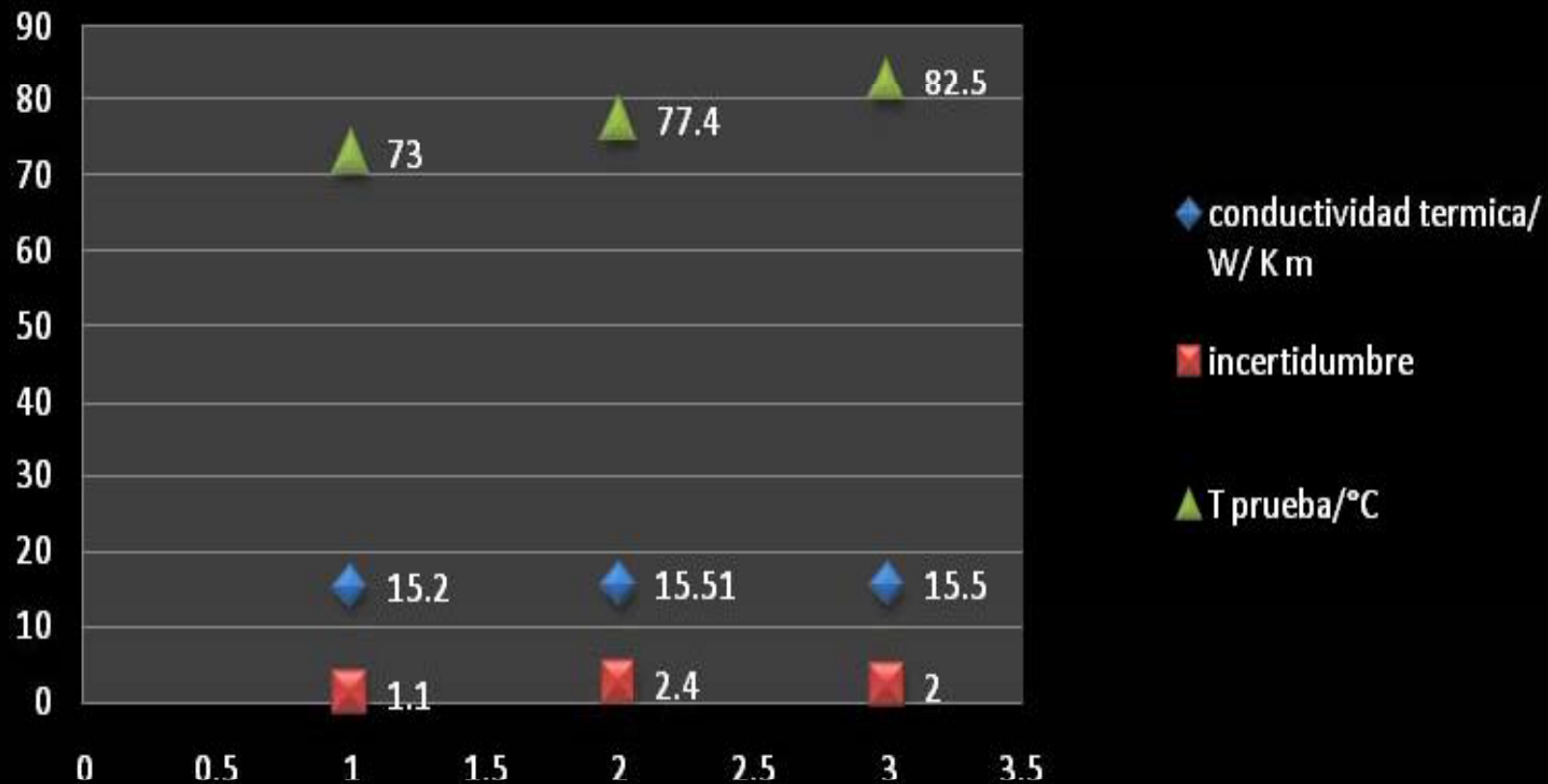
Al usar como referencia una barra de aluminio con conductividad térmica de 209 W/m K a 20 °C, se realizaron cerca de 50 mediciones, el la figura se presentan algunos resultados.



Los resultados muestran un error del 15% con respecto al valor de la literatura, y una incertidumbre estimada del 5%.

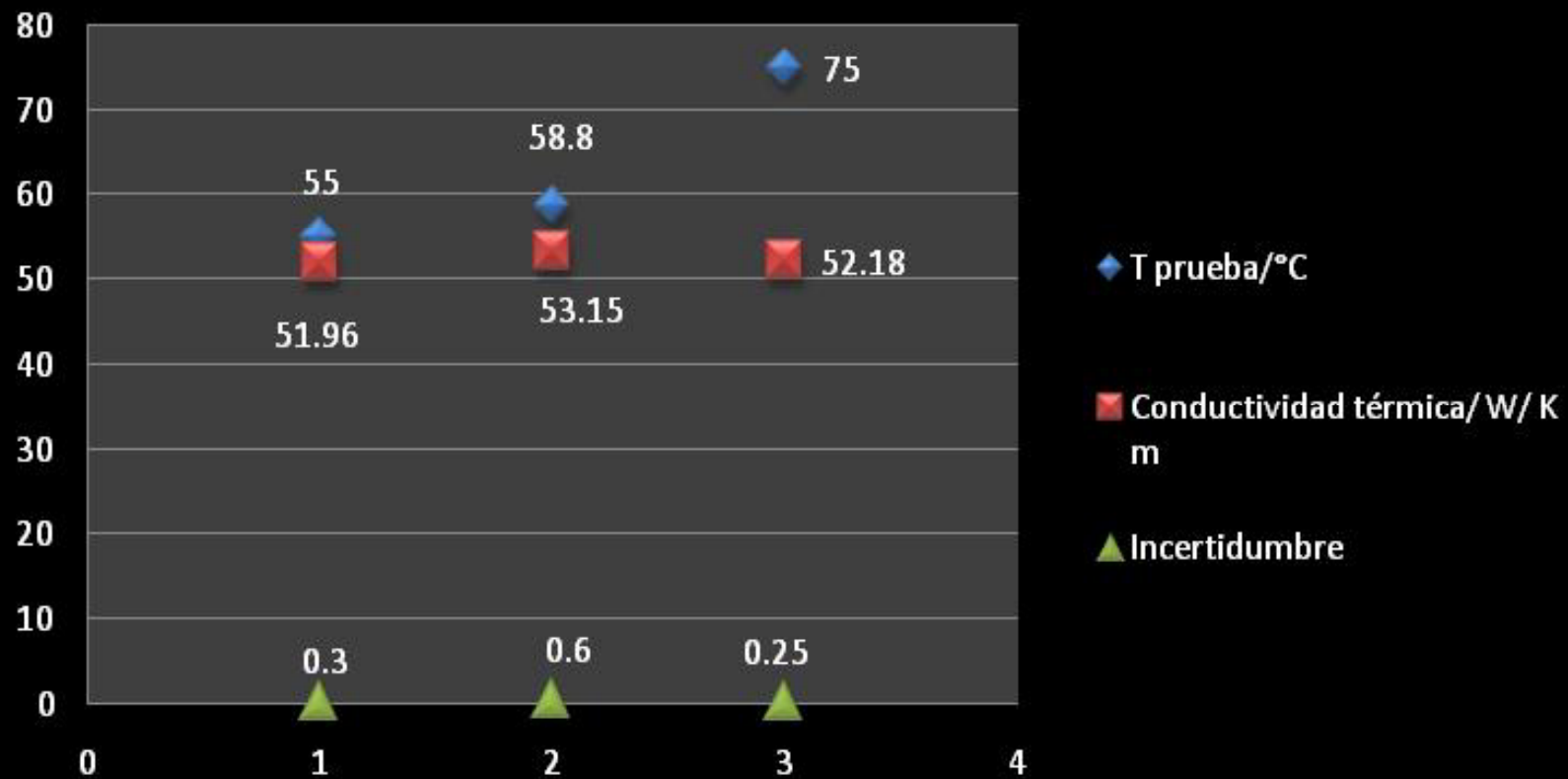


Conductividad térmica barra de acero (15 W/ K m)



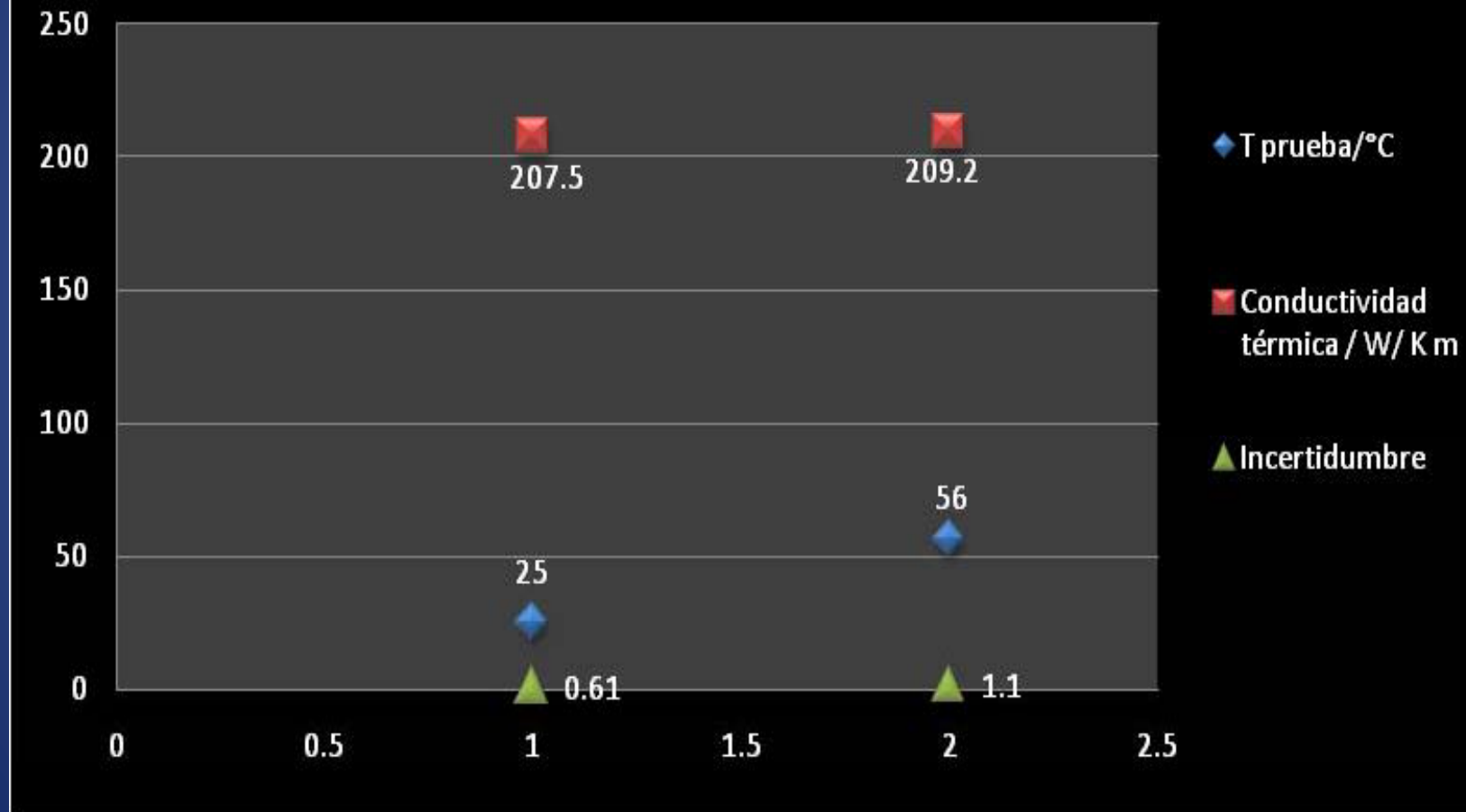


Conductividad térmica barra de bronce (52 W/ K m)



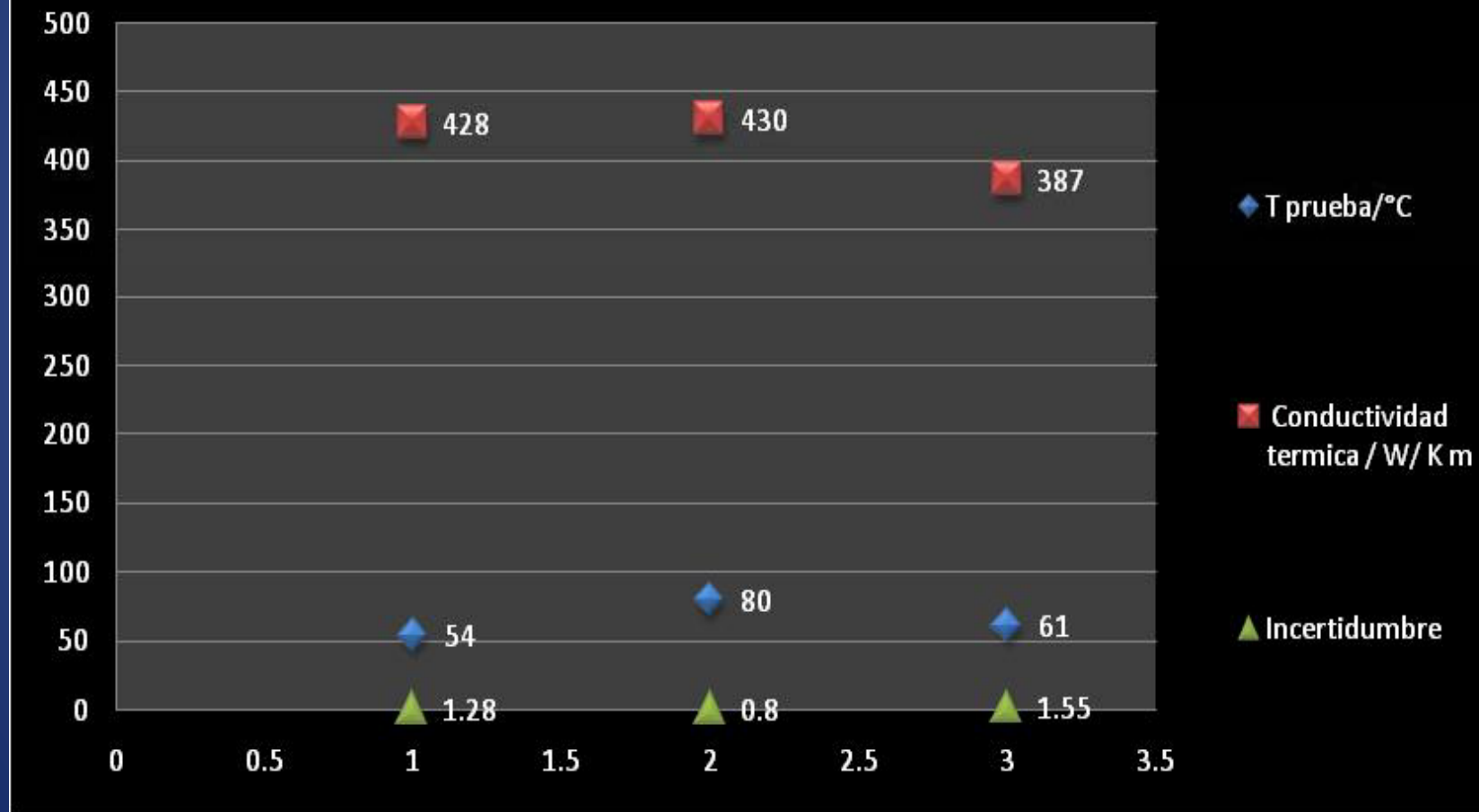


Conductividad térmica para barra de aluminio (209 W/Km)





Conductividad térmica barra de cobre (401 y 386 W/ K m)



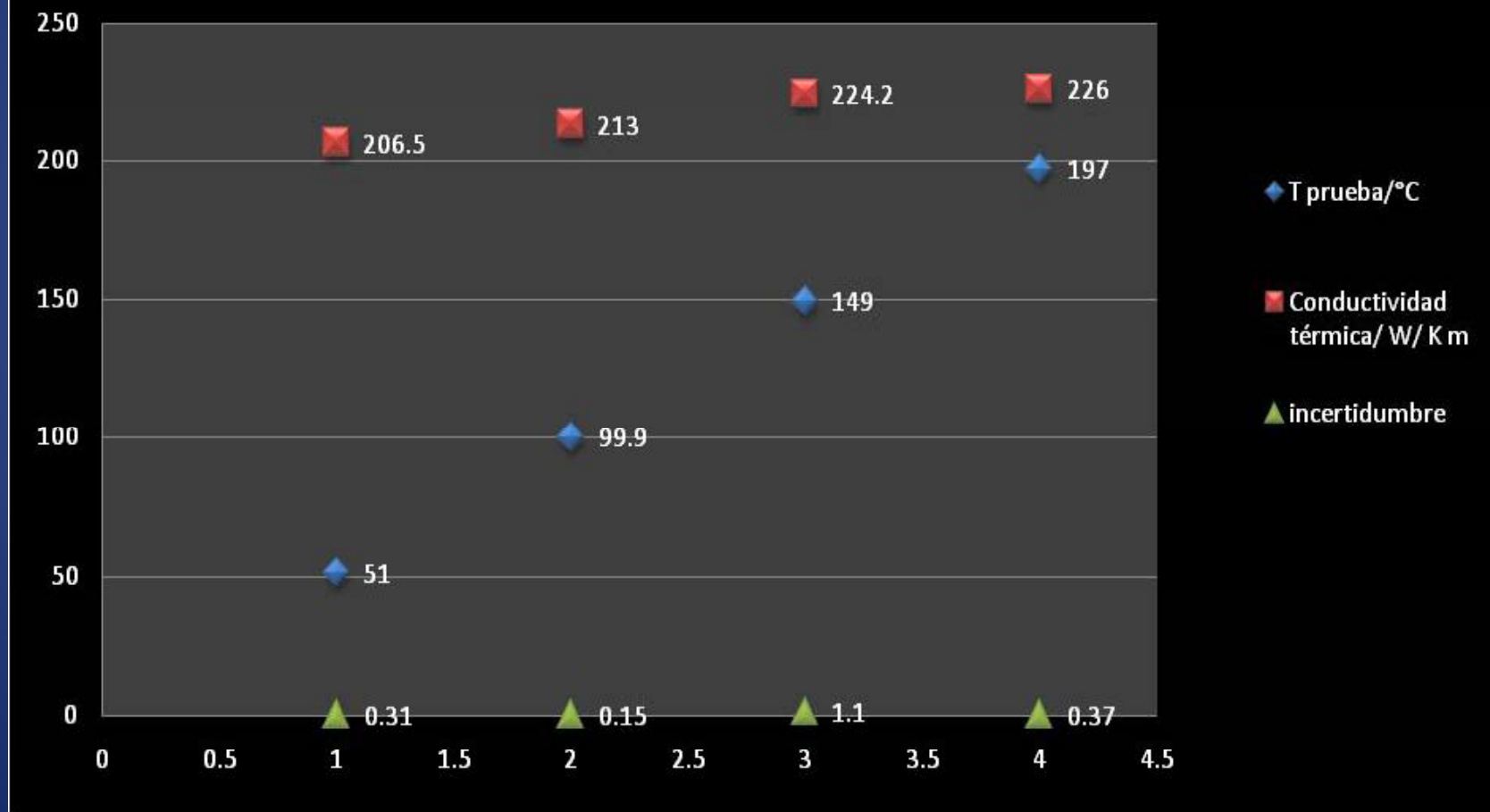


Conductividad térmica barra de latón (111 W/ K m)





Conductividad Térmica barra de aluminio (209 W/Km)





RESULTADOS

El sistema de referencia actual tiene las siguientes características:

- La fuente caliente es un calefactor hecho con una barra de aluminio de 40 mm de longitud
- Un alambre de inconel se enrolla, este tiene una longitud de 1,6 m y una resistencia de 2,4 ohm.
- El sistema de barras se cubre con un tubo de PVC de 10 cm de diámetro y su interior se encuentra lleno de material aislante de fibra de vidrio.
- El lado frío usa un plato de cobre con un anillo del mismo material con un diámetro de 10 cm, por donde circula un flujo constante



SISTEMA DE REFERENCIA PARA LA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES SÓLIDOS CONDUCTORES

- El sistema emplea un método secundario de medición. El método secundario se desarrollo para barras concéntricas y consiste de un protocolo de medición, caracterizaciones y estudios que permiten evaluar la incertidumbre en términos de unidades del Sistema Internacional
- El método de barras es una disposición de barras concéntricas de referencia en contacto con la muestra, la parte inferior se encuentra en contacto con una fuente caliente y la superior con una fuente fría a temperatura constante.
- La conductividad térmica del material se determina a partir de los valores de temperatura en las distintas barras, la posición de los termopares y el valor de conductividad del material de referencia.



El valor de conductividad se calcula vía la ecuación:

$$\lambda_M = \frac{Z_4 - Z_3}{T_4 - T_3} \left[\frac{\lambda_{R1}}{2} \left(\frac{T_2 - T_1}{Z_2 - Z_1} \right) + \frac{\lambda_{R2}}{2} \left(\frac{T_6 - T_5}{Z_6 - Z_5} \right) \right]$$

El sistema de referencia permite: a) medir materiales conductores b) Verificar materiales de referencia c) la selección de materiales de la industria metalúrgica y procesos industriales en los cuales, la transferencia de calor intervenga significativamente.



- **Magnitud** : Conductividad Térmica
- **Unidad** : watt por metro kelvin $W m^{-1} K^{-1}$
- **Alcance**: 20 a 440 $W m^{-1} K^{-1}$, en muestras cilíndricas de 19.1 mm de diámetro y longitudes de 2 a 10 cm
- De 30 a 250 °C en temperatura
- **Incertidumbre expandida (k=2)**: entre 3 y 10 % y un nivel de confianza de al menos 95 %



TRABAJO FUTURO

- Mantenimiento al sistema de referencia actual
 1. Mejorar la fuente de calor
 2. Mejorar la fuente fría
 3. Diseñar la guarda y sus aislamientos
 4. Medir la presión sobre las muestras

- Extender el alcance hasta 500 °C requiere:
 1. Selección del material de referencia
 2. Diseñar una nueva fuente de calor
 3. Diseñar una nueva fuente fría
 4. Diseñar la guarda y aislamientos adicionales
 5. Selección de materiales del instrumento para evitar la degradación
 6. Desarrollo de técnica para reducir la oxidación de las muestras



Laboratorio de Propiedades Termofísicas

➤ Colaboradores:

- Saúl García Duarte
- Oscar Jesús González Rodríguez
- Edgar Méndez Lango



**Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009**
18-20 de noviembre

- Electromagnetismo
- Temperatura y Propiedades Termofísicas
- Tiempo y Frecuencia



Gracias
por su
Atención