Difusión Térmica En Una Barra De Cobre

Emiliano Agoff, Facundo Otero Zappa & Sergio Stedile
(Grupo 2)

universidad de buenos aires - exactas
departamento de física

Laboratorio 4, 1°C. 2023 | Jue. de 8:00 a 14:00 hs.

Índice

Motivación

Mecanismos para la transferencia del calor:

Introducción

La Ley de Fourier:

La ley de Fourier es una E.D.P. lineal de primer orden de la forma:

$$\mathbf{q}(\mathbf{r}, t) = -\kappa \nabla T(\mathbf{r}, t). \tag{1}$$

- $\mathbf{q}$: Flujo de calor $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]$.
- ∇T : Gradiente de temperatura $\left[\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{m}}\right]$.
- $\kappa :=$ Conductividad térmica $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K} \cdot \mathrm{m}}\right]$.

La conductividad térmica del cobre tiene un valor de:
$\kappa_{\mathrm{Cu}} = (399 \pm 1)\,\mathrm{W}/(\mathrm{K} \cdot \mathrm{m})$.

Introducción

La Ley de Fourier:

La ley de Fourier es una E.D.P. lineal de primer orden de la forma:

$$\mathbf{q}(\mathbf{r},t) = -\kappa \nabla T(\mathbf{r},t). \tag{1}$$

- $\mathbf{q}$: Flujo de calor $\left[\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]$.
- ∇T : Gradiente de temperatura $\left[\dfrac{\mathrm{K}}{\mathrm{m}}\right]$.
- $\kappa :=$ Conductividad térmica $\left[\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}\cdot\mathrm{m}}\right]$.

La conductividad térmica del cobre tiene un valor de:
$\kappa_{\mathrm{Cu}} = (399 \pm 1)\,\mathrm{W}/(\mathrm{K}\cdot\mathrm{m})$.

Introducción

La Ley de Fourier:

La ley de Fourier es una E.D.P. lineal de primer orden de la forma:

$$\mathbf{q}(\mathbf{r},t) = -\kappa \nabla T(\mathbf{r},t). \tag{1}$$

- $\mathbf{q}$: Flujo de calor $\left[\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]$.
- ∇T : Gradiente de temperatura $\left[\dfrac{\mathrm{K}}{\mathrm{m}}\right]$.
- $\kappa :=$ Conductividad térmica $\left[\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}\cdot\mathrm{m}}\right]$.

La conductividad térmica del cobre tiene un valor de:
$\kappa_{\mathrm{Cu}} = (399 \pm 1)\,\mathrm{W}/(\mathrm{K}\cdot\mathrm{m})$.

Introducción

La Ley de Fourier:

La ley de Fourier es una E.D.P. lineal de primer orden de la forma:

$$\mathbf{q}(\mathbf{r}, t) = -\kappa \nabla T(\mathbf{r}, t). \tag{1}$$

- $\mathbf{q}$: Flujo de calor $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]$.
- ∇T : Gradiente de temperatura $\left[\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{m}}\right]$.
- $\kappa :=$ Conductividad térmica $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K} \cdot \mathrm{m}}\right]$.

La conductividad térmica del cobre tiene un valor de:
$\kappa_{\mathrm{Cu}} = (399 \pm 1)\,\mathrm{W}/(\mathrm{K} \cdot \mathrm{m})$.

Introducción

La Ley de Fourier:

La ley de Fourier es una E.D.P. lineal de primer orden de la forma:

$$\mathbf{q}(\mathbf{r},t) = -\kappa \nabla T(\mathbf{r},t). \tag{1}$$

- $\mathbf{q}$: Flujo de calor $\left[\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]$.
- ∇T : Gradiente de temperatura $\left[\dfrac{\mathrm{K}}{\mathrm{m}}\right]$.
- $\kappa :=$ Conductividad térmica $\left[\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}\cdot\mathrm{m}}\right]$.

La conductividad térmica del cobre tiene un valor de:
$\kappa_{\mathrm{Cu}} = (399 \pm 1)\,\mathrm{W}/(\mathrm{K}\cdot\mathrm{m})$.

Introducción

La Ecuación Del Calor:

Bajo aproximaciones adecuadas, de la ecuación (1) se obtiene la denominada *ecuación del calor unidimensional*, de la forma:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}. \tag{2}$$

- $\alpha :=$ Difusividad térmica $\left[\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}\right]$.

La difusividad térmica del cobre tiene un valor de $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.

Introducción

La Ecuación Del Calor:

Bajo aproximaciones adecuadas, de la ecuación (1) se obtiene la denominada *ecuación del calor unidimensional*, de la forma:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}. \tag{2}$$

- $\alpha :=$ Difusividad térmica $\left[\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}\right]$.

La difusividad térmica del cobre tiene un valor de $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.

Introducción

La Ecuación Del Calor:

Bajo aproximaciones adecuadas, de la ecuación (1) se obtiene la denominada *ecuación del calor unidimensional*, de la forma:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}. \tag{2}$$

- $\alpha :=$ Difusividad térmica $\left[\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}\right]$.

La difusividad térmica del cobre tiene un valor de $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.

Introducción

Período de Calentamiento:

Al calentar la barra, la temperatura será de la forma:

$$T(x,t) = \frac{2F_0}{\kappa_{\mathrm{Cu}}}\left[\sqrt{\frac{\alpha_{\mathrm{Cu}} t}{\pi}}\, e^{-\frac{x^2}{4\alpha_{\mathrm{Cu}} t}} - \frac{x}{2}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_{\mathrm{Cu}} t}}\right)\right]. \tag{3}$$

- F_0 : Flujo de calor por unidad de tiempo $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{s}}\right]$.

Introducción

Período de Calentamiento:

Al calentar la barra, la temperatura será de la forma:

$$T(x,t) = \frac{2F_0}{\kappa_{\mathrm{Cu}}}\left[\sqrt{\frac{\alpha_{\mathrm{Cu}}t}{\pi}}e^{-\frac{x^2}{4\alpha_{\mathrm{Cu}}t}} - \frac{x}{2}\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_{\mathrm{Cu}}t}}\right)\right]. \tag{3}$$

- F_0 : Flujo de calor por unidad de tiempo $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{s}}\right]$.

Introducción

Período Estacionario: Aproximación por el Primer Armónico

$$\Delta T(x,t) \cong \frac{T_0}{2} + Ae^{-\varepsilon x}\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]. \tag{4}$$

- T_0 : Temperatura máxima [K].
- $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$: Frecuencia angular $\left[\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}\right]$.
- τ : Período de oscilación [s].
- $\varepsilon := \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa_{\mathrm{Cu}}}}$: Coeficiente de amortiguamiento $\left[\frac{1}{\mathrm{m}}\right]$.

Introducción

Período Estacionario: Aproximación por el Primer Armónico

$$\Delta T(x,t) \cong \frac{T_0}{2} + Ae^{-\varepsilon x}\cos\Big[\omega\Big(t - \frac{x}{v}\Big)\Big]. \quad (4)$$

- T_0 : Temperatura máxima [K].
- $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$: Frecuencia angular $\left[\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}\right]$.
- τ : Período de oscilación [s].
- $\varepsilon := \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa_{\mathrm{Cu}}}}$: Coeficiente de amortiguamiento $\left[\frac{1}{\mathrm{m}}\right]$.

Introducción

Período Estacionario: Aproximación por el Primer Armónico

$$\Delta T(x,t) \cong \frac{T_0}{2} + Ae^{-\varepsilon x}\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]. \tag{4}$$

- T_0 : Temperatura máxima [K].
- $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$: Frecuencia angular $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$.
- τ : Período de oscilación [s].
- $\varepsilon := \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa_{\text{Cu}}}}$: Coeficiente de amortiguamiento $\left[\frac{1}{\text{m}}\right]$.

Introducción

Período Estacionario: Aproximación por el Primer Armónico

$$\Delta T(x,t) \cong \frac{T_0}{2} + Ae^{-\varepsilon x}\cos\Big[\omega\Big(t - \frac{x}{v}\Big)\Big]. \tag{4}$$

- T_0 : Temperatura máxima [K].
- $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$: Frecuencia angular $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$.
- τ : Período de oscilación [s].
- $\varepsilon := \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa_{\text{Cu}}}}$: Coeficiente de amortiguamiento $\left[\frac{1}{\text{m}}\right]$.

Introducción

Período Estacionario: Aproximación por el Primer Armónico

$$\Delta T(x,t) \cong \frac{T_0}{2} + Ae^{-\varepsilon x}\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]. \tag{4}$$

- T_0 : Temperatura máxima [K].
- $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$: Frecuencia angular $\left[\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}\right]$.
- τ : Período de oscilación [s].
- $\varepsilon := \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa_{\mathrm{Cu}}}}$: Coeficiente de amortiguamiento $\left[\frac{1}{\mathrm{m}}\right]$.

Introducción

La Ley de Enfriamiento de Newton: Formulación Simplificada

La *ley de enfriamiento de Newton*, establece que la pérdida de calor de un cuerpo es de la forma:

$$\frac{\mathrm{d}T(t)}{\mathrm{d}t} = \gamma[T_{\mathrm{amb}} - T(t)]. \tag{5}$$

- T_{amb} : Temperatura ambiente [K].
- γ : Coeficiente de transferencia de calor $\left[\frac{1}{\mathrm{s}}\right]$.

Introducción

La Ley de Enfriamiento de Newton: Formulación Simplificada

La *ley de enfriamiento de Newton*, establece que la pérdida de calor de un cuerpo es de la forma:

$$\frac{\mathrm{d}T(t)}{\mathrm{d}t} = \gamma[T_{\mathrm{amb}} - T(t)]. \tag{5}$$

- T_{amb} : Temperatura ambiente [K].
- γ : Coeficiente de transferencia de calor $\left[\frac{1}{\mathrm{s}}\right]$.

Introducción

La Ley de Enfriamiento de Newton: Formulación Simplificada

La *ley de enfriamiento de Newton*, establece que la pérdida de calor de un cuerpo es de la forma:

$$\frac{\mathrm{d}T(t)}{\mathrm{d}t} = \gamma[T_{\mathrm{amb}} - T(t)]. \tag{5}$$

- T_{amb} : Temperatura ambiente [K].
- γ : Coeficiente de transferencia de calor $\left[\frac{1}{\mathrm{s}}\right]$.

Introducción

Período de Enfriamiento:

La solución de la ecuación (5), es de la forma:

$$T(t) = T_{\text{amb}} + (T_0 - T_{\text{amb}})e^{-\gamma t}. \tag{6}$$

Introducción

Métodos Para Determinar La Difusividad Térmica:

En resumen, tenemos:

1. Período de Calentamiento: Ecuación (3) (ajuste función error).
2. Período Estacionario: $\begin{cases} \alpha_{\mathrm{Cu}}^{\varepsilon} = \dfrac{\pi}{\tau \varepsilon^2} \\ \alpha_{\mathrm{Cu}}^{v} = \dfrac{\tau v^2}{4\pi} \\ \alpha_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{v}{2\varepsilon} \end{cases}$
3. Período de Enfriamiento: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{L^2}{\tau_{\mathrm{e}}}$

Introducción

Métodos Para Determinar La Difusividad Térmica:

En resumen, tenemos:

1. Período de Calentamiento: Ecuación (3) (ajuste función error).
2. Período Estacionario: $\begin{cases} \alpha_{\mathrm{Cu}}^{\varepsilon} = \dfrac{\pi}{\tau\varepsilon^2} \\ \alpha_{\mathrm{Cu}}^{v} = \dfrac{\tau v^2}{4\pi} \\ \alpha_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{v}{2\varepsilon} \end{cases}$
3. Período de Enfriamiento: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{L^2}{\tau_{\mathrm{e}}}$

Introducción

Métodos Para Determinar La Difusividad Térmica:

En resumen, tenemos:

1. Período de Calentamiento: Ecuación (3) (ajuste función error).
2. Período Estacionario: $\begin{cases} \alpha^{\varepsilon}_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{\pi}{\tau\varepsilon^2} \\ \alpha^{v}_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{\tau v^2}{4\pi} \\ \alpha_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{v}{2\varepsilon} \end{cases}$
3. Período de Enfriamiento: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{L^2}{\tau_{\mathrm{e}}}$

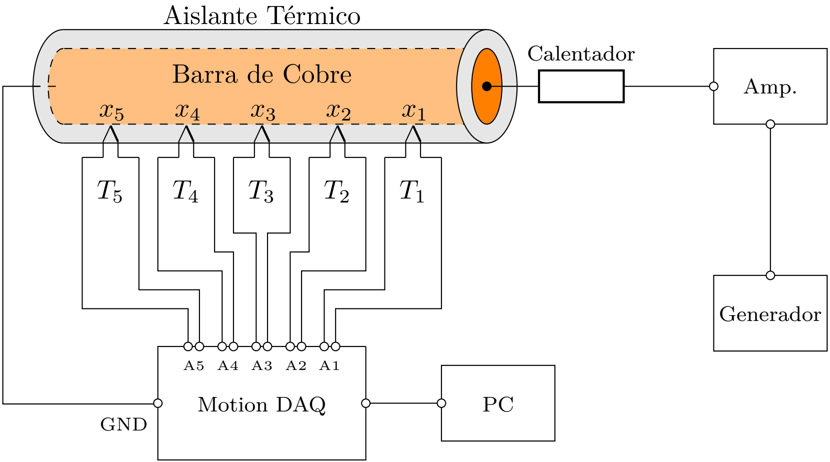
Introducción

Métodos Para Determinar La Difusividad Térmica:

En resumen, tenemos:

1. Período de Calentamiento: Ecuación (3) (ajuste función error).
2. Período Estacionario: $\begin{cases} \alpha_{\mathrm{Cu}}^{\varepsilon} = \dfrac{\pi}{\tau \varepsilon^2} \\ \alpha_{\mathrm{Cu}}^{v} = \dfrac{\tau v^2}{4\pi} \\ \alpha_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{v}{2\varepsilon} \end{cases}$
3. Período de Enfriamiento: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = \dfrac{L^2}{\tau_{\mathrm{e}}}$

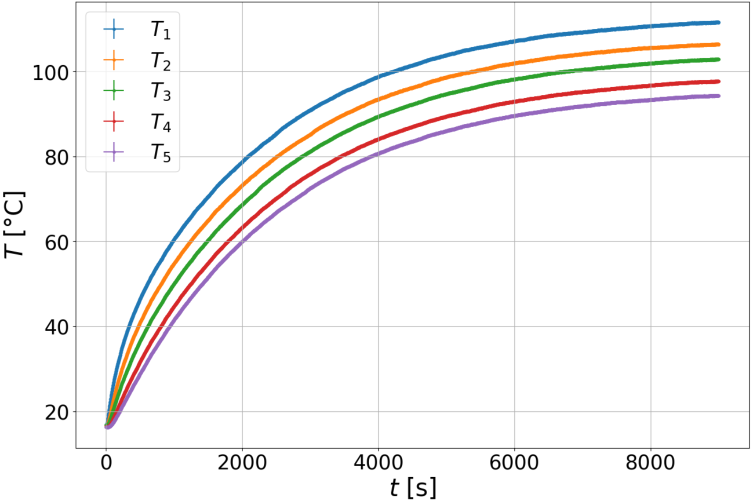
Dispositivo Experimental



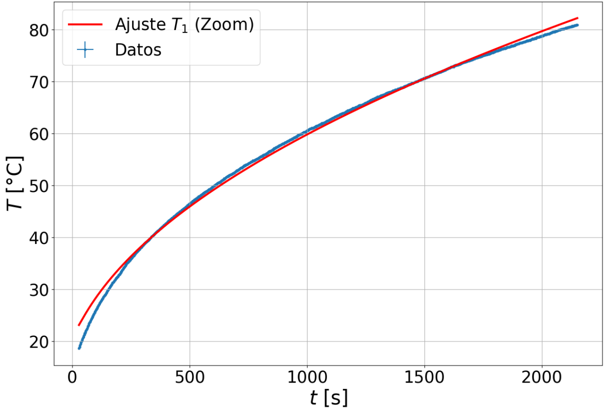
Período de Calentamiento

- $T_{\text{amb}} = (21.7 \pm 0.1)\,^\circ\text{C}$
- Pulso de tensión pico a pico $V = (5.0 \pm 0.1)\,\text{V}$,
- Un período de $\tau = (2.0 \pm 0.1)\,\text{ms}$,
- Tiempo de medición $t = (9000 \pm 1)\,\text{s}$.

Período de Calentamiento



Período de Calentamiento



$$T(x,t) = \frac{2F_0}{\kappa_{\mathrm{Cu}}}\left[\sqrt{\frac{\alpha_{\mathrm{Cu}} t}{\pi}}\, e^{-\frac{x^2}{4\alpha_{\mathrm{Cu}} t}} - \frac{x}{2}\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_{\mathrm{Cu}} t}}\right)\right]$$

Período de Calentamiento

Termocupla	Difusividad Térmica (mm^2/s)	Error Porcentual
T_1	$\alpha_1 = 95.44 \pm 0.05$	$\sigma_1^{\mathrm{r}} = 14.01\%$
T_2	$\alpha_2 = 76.83 \pm 0.03$	$\sigma_2^{\mathrm{r}} = 30.78\%$
T_3	$\alpha_3 = 70.66 \pm 0.02$	$\sigma_3^{\mathrm{r}} = 36.34\%$
T_4	$\alpha_4 = 60.44 \pm 0.02$	$\sigma_4^{\mathrm{r}} = 45.55\%$
T_5	$\alpha_5 = 51.67 \pm 0.02$	$\sigma_5^{\mathrm{r}} = 53.45\%$

- Valor tabulado: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.
- Valor promedio: $\alpha_{\mathrm{Cu}}^{\mathrm{pro}} = (71.01 \pm 0.01)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.
- Error relativo porcentual 36%.

Período de Calentamiento

Termocupla	Difusividad Térmica (mm^2/s)	Error Porcentual
T_1	$\alpha_1 = 95.44 \pm 0.05$	$\sigma_1^{\mathrm{r}} = 14.01\%$
T_2	$\alpha_2 = 76.83 \pm 0.03$	$\sigma_2^{\mathrm{r}} = 30.78\%$
T_3	$\alpha_3 = 70.66 \pm 0.02$	$\sigma_3^{\mathrm{r}} = 36.34\%$
T_4	$\alpha_4 = 60.44 \pm 0.02$	$\sigma_4^{\mathrm{r}} = 45.55\%$
T_5	$\alpha_5 = 51.67 \pm 0.02$	$\sigma_5^{\mathrm{r}} = 53.45\%$

- Valor tabulado: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.
- Valor promedio: $\alpha_{\mathrm{Cu}}^{\mathrm{pro}} = (71.01 \pm 0.01)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.
- Error relativo porcentual 36%.

Período de Calentamiento

Termocupla	Difusividad Térmica (mm^2/s)	Error Porcentual
T_1	$\alpha_1 = 95.44 \pm 0.05$	$\sigma_1^{\mathrm{r}} = 14.01\%$
T_2	$\alpha_2 = 76.83 \pm 0.03$	$\sigma_2^{\mathrm{r}} = 30.78\%$
T_3	$\alpha_3 = 70.66 \pm 0.02$	$\sigma_3^{\mathrm{r}} = 36.34\%$
T_4	$\alpha_4 = 60.44 \pm 0.02$	$\sigma_4^{\mathrm{r}} = 45.55\%$
T_5	$\alpha_5 = 51.67 \pm 0.02$	$\sigma_5^{\mathrm{r}} = 53.45\%$

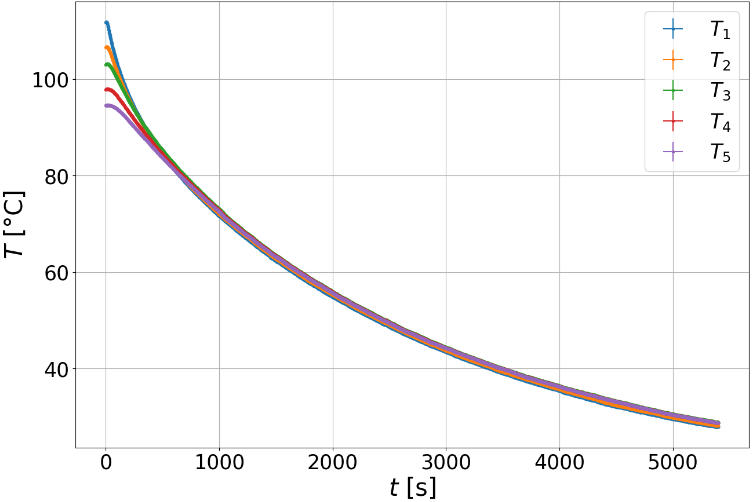
- Valor tabulado: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.
- Valor promedio: $\alpha_{\mathrm{Cu}}^{\mathrm{pro}} = (71.01 \pm 0.01)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.
- Error relativo porcentual 36%.

Período de Calentamiento

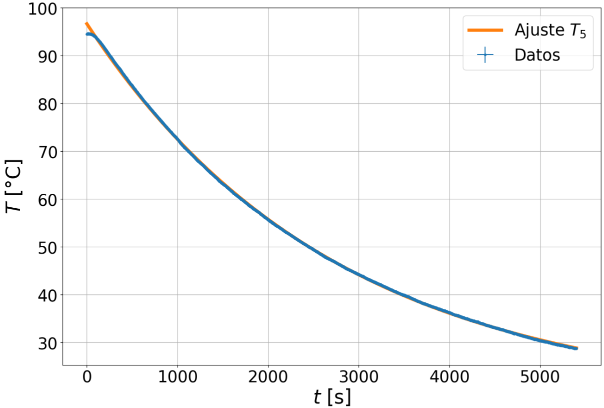
Termocupla	Difusividad Térmica $(\mathrm{mm}^2/\mathrm{s})$	Error Porcentual
T_1	$\alpha_1 = 95.44 \pm 0.05$	$\sigma_1^{\mathrm{r}} = 14.01\%$
T_2	$\alpha_2 = 76.83 \pm 0.03$	$\sigma_2^{\mathrm{r}} = 30.78\%$
T_3	$\alpha_3 = 70.66 \pm 0.02$	$\sigma_3^{\mathrm{r}} = 36.34\%$
T_4	$\alpha_4 = 60.44 \pm 0.02$	$\sigma_4^{\mathrm{r}} = 45.55\%$
T_5	$\alpha_5 = 51.67 \pm 0.02$	$\sigma_5^{\mathrm{r}} = 53.45\%$

- Valor tabulado: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.
- Valor promedio: $\alpha_{\mathrm{Cu}}^{\mathrm{pro}} = (71.01 \pm 0.01)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$.
- Error relativo porcentual 36%.

Período de Enfriamiento y Velocidad de Propagación



Período de Enfriamiento



$$T(t) = T_{\text{amb}} + (T_0 - T_{\text{amb}})e^{-\gamma t}$$

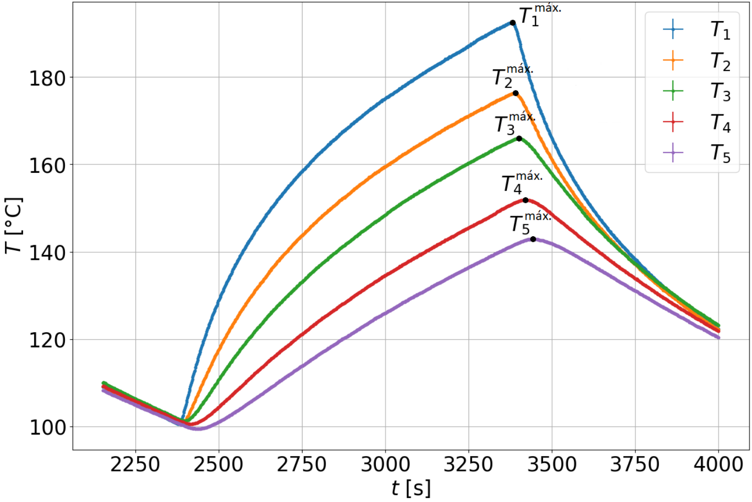
Período de Enfriamiento

- $T_{\text{amb}} = (21.7 \pm 0.1)\,^{\circ}\text{C}$
- $\gamma_{\text{pro}} = (418.44 \pm 0.02)\,\mu\text{s}$,
- $\tau_{\text{e}} = (2389.8 \pm 0.1)\,\text{s}$,
- $\alpha_{\text{Cu}} = \dfrac{\text{L}^2}{\tau_{\text{e}}}$,
- Longitud de la barra $\text{L} = (500.0 \pm 0.1)\,\text{mm}$.

Valor tabulado: $\alpha_{\text{Cu}} = (104.61 \pm 0.04)\,\text{mm}^2/\text{s}$

Un error relativo porcentual 5.76 %

Velocidad de Propagación



Velocidad de Propagación

Tramo	**Velocidad** (mm/s)	**Difusividad Térmica** ($\mathrm{mm^2/s}$)	**Error Porcentual**
De T_1 **a** T_2	4.8 ± 0.2	$\alpha_1 = 3600 \pm 300$	$\sigma_1^{\mathrm{r}} = 3143\%$
De T_2 **a** T_3	3.1 ± 0.1	$\alpha_2 = 1500 \pm 100$	$\sigma_2^{\mathrm{r}} = 1250\%$
De T_3 **a** T_4	2.7 ± 0.2	$\alpha_3 = 1190 \pm 70$	$\sigma_3^{\mathrm{r}} = 972\%$
De T_4 **a** T_5	1.3 ± 0.1	$\alpha_4 = 270 \pm 20$	$\sigma_4^{\mathrm{r}} = 143\%$

- Valor tabulado: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm^2/s}$
- Valor promedio: $\alpha_{\mathrm{Cu}}^{\mathrm{pro}} = (1640 \pm 80)\,\mathrm{mm^2/s}$

Velocidad de Propagación

Tramo	**Velocidad** (mm/s)	**Difusividad Térmica** (mm^2/s)	**Error Porcentual**
De T_1 **a** T_2	4.8 ± 0.2	$\alpha_1 = 3600 \pm 300$	$\sigma_1^{\mathrm{r}} = 3143\%$
De T_2 **a** T_3	3.1 ± 0.1	$\alpha_2 = 1500 \pm 100$	$\sigma_2^{\mathrm{r}} = 1250\%$
De T_3 **a** T_4	2.7 ± 0.2	$\alpha_3 = 1190 \pm 70$	$\sigma_3^{\mathrm{r}} = 972\%$
De T_4 **a** T_5	1.3 ± 0.1	$\alpha_4 = 270 \pm 20$	$\sigma_4^{\mathrm{r}} = 143\%$

- Valor tabulado: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$
- Valor promedio: $\alpha_{\mathrm{Cu}}^{\mathrm{pro}} = (1640 \pm 80)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$

Velocidad de Propagación

Tramo	Velocidad (mm/s)	Difusividad Térmica (mm^2/s)	Error Porcentual
De T_1 a T_2	4.8 ± 0.2	$\alpha_1 = 3600 \pm 300$	$\sigma_1^{\mathrm{r}} = 3143\%$
De T_2 a T_3	3.1 ± 0.1	$\alpha_2 = 1500 \pm 100$	$\sigma_2^{\mathrm{r}} = 1250\%$
De T_3 a T_4	2.7 ± 0.2	$\alpha_3 = 1190 \pm 70$	$\sigma_3^{\mathrm{r}} = 972\%$
De T_4 a T_5	1.3 ± 0.1	$\alpha_4 = 270 \pm 20$	$\sigma_4^{\mathrm{r}} = 143\%$

- Valor tabulado: $\alpha_{\mathrm{Cu}} = (111 \pm 1)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$
- Valor promedio: $\alpha_{\mathrm{Cu}}^{\mathrm{pro}} = (1640 \pm 80)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$

Análisis del estado estacionario de la barra

El modelo que utilizamos para realizar esta experiencia es

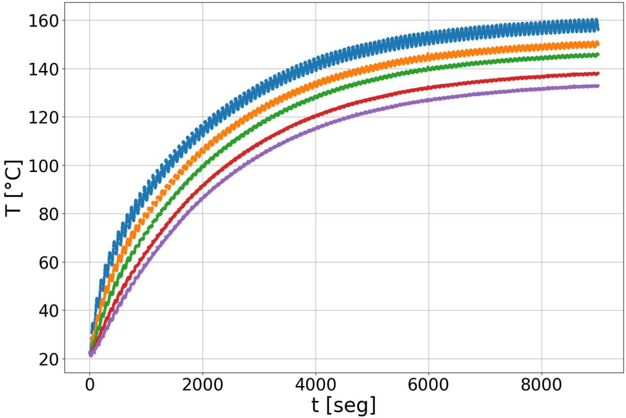
$$\Delta T(x,t) \cong \frac{T_0}{2} + Ae^{-\varepsilon x}\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right],$$

donde $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$.

¿Qué es lo que hicimos?

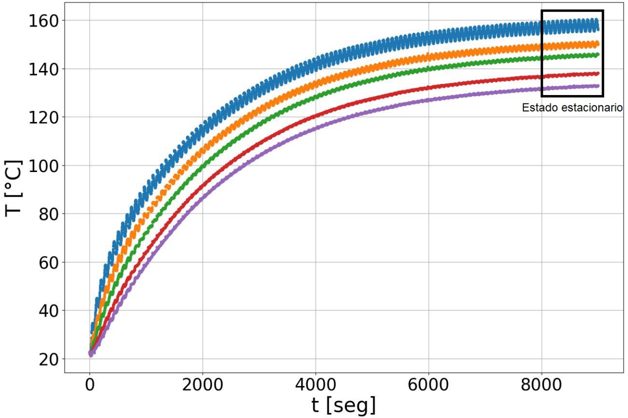
Análisis del estado estacionario de la barra

¿Qué miden las termocuplas?



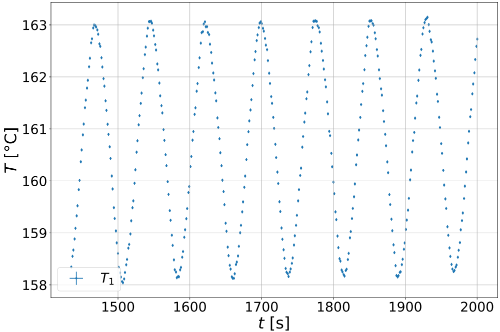
Análisis del estado estacionario de la barra

¿Qué miden las termocuplas?



Análisis del estado estacionario de la barra

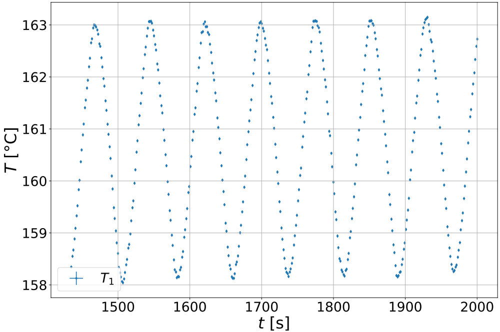
Para la termocupla 1 tenemos los siguientes datos medidos:



$$\Delta T(x,t) \cong \frac{T_0}{2} + Ae^{-\varepsilon x}\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]$$

Análisis del estado estacionario de la barra

Para la termocupla 1 tenemos los siguientes datos medidos:



$$\Delta T(x,t) \cong \frac{T_0}{2} + Ae^{-\varepsilon x}\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]$$

Ajuste de armónicos

Los datos tomados por cada termocupla se ajustaron por:

$$T(x_j, t) = A + B \cos\left[2\pi \cdot 13\,\mathrm{mHz}\left(t - \frac{x_j}{v}\right)\right],$$

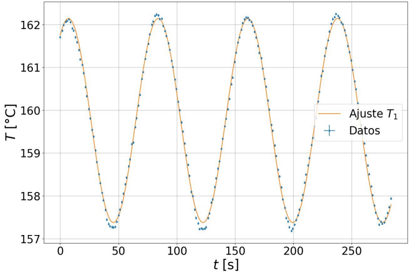
donde x_j es la posición de cada termocupla j para $j = 1, \ldots, 5$.

Ajuste de armónicos

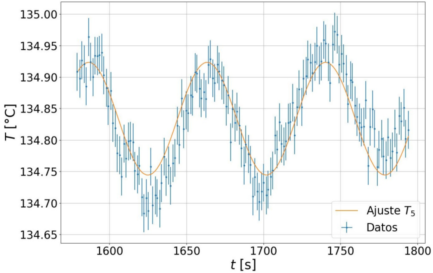
Los datos tomados por cada termocupla se ajustaron por:

$$T(x_j, t) = A + B\cos\left[2\pi \cdot 13\,\mathrm{mHz}\left(t - \frac{x_j}{v}\right)\right],$$

donde x_j es la posición de cada termocupla j para $j = 1, \ldots, 5$.



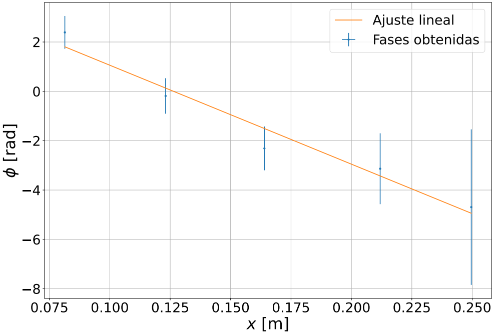
Termocupla 1



Termocupla 5

Ajuste de fases en función de la posición

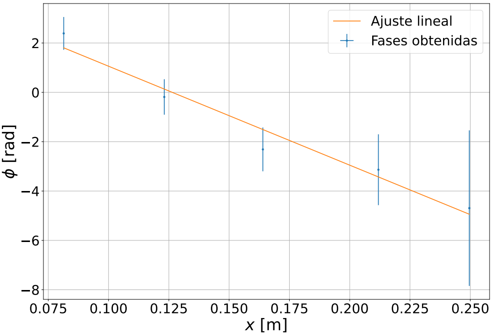
Para las fases obtenidas, en función de las posiciones de las termocuplas, se realiza el siguiente ajuste lineal:



De este ajuste obtenemos $v = (24.9 \pm 0.3)\,\mathrm{mm/s}$, la velocidad de propagación de la onda.

Ajuste de fases en función de la posición

Para las fases obtenidas, en función de las posiciones de las termocuplas, se realiza el siguiente ajuste lineal:

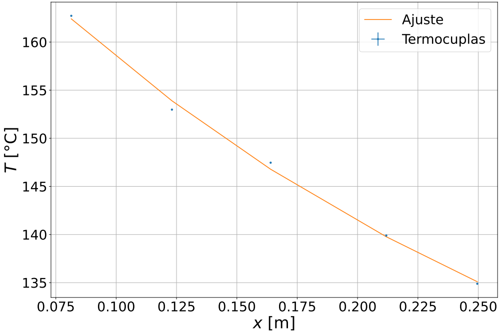


De este ajuste obtenemos $v = (24.9 \pm 0.3)\,\mathrm{mm/s}$, la velocidad de propagación de la onda.

Decaimiento de la temperatura en función de la posición

Se ajusta los datos de temperatura en función de la posición con el modelo

$$T(x, t0) = A + Be^{-\varepsilon x}$$

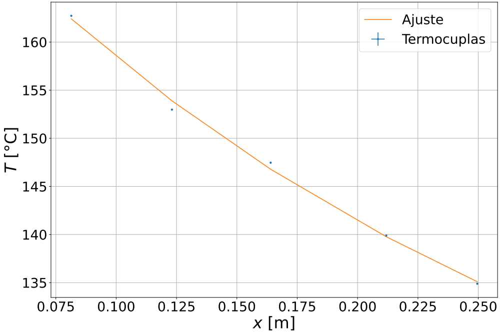


a partir de este ajuste se obtiene un valor para ε de $(3.88 \pm 0.06)\,\mathrm{m}^{-1}$

Decaimiento de la temperatura en función de la posición

Se ajusta los datos de temperatura en función de la posición con el modelo

$$T(x,t0) = A + Be^{-\varepsilon x}$$



a partir de este ajuste se obtiene un valor para ε de $(3.88 \pm 0.06)\,\mathrm{m}^{-1}$

Calculo de difusividad térmica

Para los valores de $v = (0.0249 \pm 0.0003)\,\mathrm{m/s}$, $\varepsilon = (3.88 \pm 0.06)\,\mathrm{m}^{-1}$ y $\tau = (76.9 \pm 0.01)\,\mathrm{s}$ se pueden calcular las constantes de difusividad térmica de 3 maneras distintas:

$$\alpha^{\varepsilon}_{\mathrm{Cu}} = \frac{\pi}{\tau\varepsilon^2} = (2710 \pm 80)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$$

$$\alpha^{v}_{\mathrm{Cu}} = \frac{\tau v^2}{4\pi} = (3810 \pm 10)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$$

$$\alpha_{\mathrm{Cu}} = \frac{v}{2\varepsilon} = (3210 \pm 50)\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$$

Calculo de difusividad térmica

Para los valores de $v = (0.0249 \pm 0.0003)\,\mathrm{m/s}$, $\varepsilon = (3.88 \pm 0.06)\,\mathrm{m}^{-1}$ y $\tau = (76.9 \pm 0.01)\,\mathrm{s}$ se pueden calcular las constantes de difusividad térmica de 3 maneras distintas:

$$\alpha_{\mathrm{Cu}}^{\varepsilon} = \frac{\pi}{\tau\varepsilon^2} = (2710 \pm 80)\,\mathrm{mm^2/s}$$

$$\alpha_{\mathrm{Cu}}^{v} = \frac{\tau v^2}{4\pi} = (3810 \pm 10)\,\mathrm{mm^2/s}$$

$$\alpha_{\mathrm{Cu}} = \frac{v}{2\varepsilon} = (3210 \pm 50)\,\mathrm{mm^2/s}$$

Conclusiones

- Mediante la realización de algunas de las experiencias obtenemos valores de difusividad térmica con errores porcentuales bajos respecto del valor tabulado.
- En los casos donde esto no ocurrió consideramos que la discrepancia se debe a que la barra utilizada no es de cobre puro, hay pérdidas de calor y además el valor tabulado está calculado a una temperatura de 25 °C.
- Destacamos que en todas las experiencias encontramos, a partir de promedios o ajustes, un valor único del coeficiente de difusividad térmica.

Conclusiones

- Mediante la realización de algunas de las experiencias obtenemos valores de difusividad térmica con errores porcentuales bajos respecto del valor tabulado.
- En los casos donde esto no ocurrió consideramos que la discrepancia se debe a que la barra utilizada no es de cobre puro, hay pérdidas de calor y además el valor tabulado está calculado a una temperatura de 25 °C.
- Destacamos que en todas las experiencias encontramos, a partir de promedios o ajustes, un valor único del coeficiente de difusividad térmica.

Conclusiones

- Mediante la realización de algunas de las experiencias obtenemos valores de difusividad térmica con errores porcentuales bajos respecto del valor tabulado.
- En los casos donde esto no ocurrió consideramos que la discrepancia se debe a que la barra utilizada no es de cobre puro, hay pérdidas de calor y además el valor tabulado está calculado a una temperatura de 25 °C.
- Destacamos que en todas las experiencias encontramos, a partir de promedios o ajustes, un valor único del coeficiente de difusividad térmica.

Fin

¿Preguntas?