

## Informe 8: Efecto Seebeck

Juana Valeria Pinzón\* and Sergio Laverde\*\*

*Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.*

(Dated: 29 de abril de 2024)

El presente informe de laboratorio se estudió el fenómeno del efecto Seebeck, el cual describe la generación de un voltaje en un conductor compuesto por diversos materiales al establecer una diferencia de temperatura en el mismo. Se investigó este efecto mediante un montaje experimental que implicaba la medición de corriente y voltaje para diferentes cambios de temperatura, así como la relación entre el voltaje y la corriente para una diferencia de temperatura constante. Los resultados obtenidos revelaron una relación lineal entre el potencial eléctrico inducido y la diferencia de temperatura, permitiendo calcular el coeficiente de Seebeck relativo del sistema para el cual se obtuvo un valor de  $4,25 \times 10^{-2} V/K$ . Además, se observó una relación lineal entre la corriente inducida y la diferencia de temperatura, lo que evidenció el comportamiento esperado del efecto Seebeck. Se determinó también la potencia eléctrica inducida y se realizó un ajuste polinomial de grado 2 para modelar los datos. Finalmente, se analizó la corriente de corto circuito para una diferencia de temperatura fija, en este caso una diferencia de temperatura de  $13K$  obteniendo un resultado de corriente de corto circuito de  $48,93A$ , para el cual se determinó la resistencia interna y el voltaje de circuito abierto del sistema. Sin embargo, debido a la alta incertidumbre en la corriente de corto circuito, no se obtuvo una precisión significativa en este resultado.

### I. INTRODUCCIÓN

El efecto Seebeck hace referencia al fenómeno de generar un voltaje en un conductor compuesto de varios materiales al imponer una diferencia de temperatura en el mismo. Este fenómeno se entiende como que los portadores de carga aumentan su energía cinética cuanto a mayor temperatura estén, y así generando una diferencia de potencial con las regiones a menor temperatura. Esta conversión de diferencia de temperatura a voltaje y campo eléctrico están dadas por las ecuaciones 1 y 2 respectivamente.

$$\varepsilon = S(T_h - T_c) \quad (1)$$

$$\vec{E}_{fem} = -S\vec{\nabla}T \quad (2)$$

Donde  $S$  es el coeficiente de Seebeck de la combinación de los materiales usados. Que en este experimento tiene un valor de:

$$S = (142)4,13 \times 10^{-4} \frac{V}{K} \quad (3)$$

### II. MONTAJE Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para el montaje experimental, se conectaron las mangueras a uno de los lados de la celda, se llenó

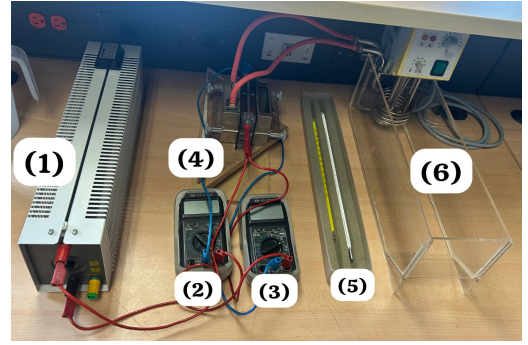


Figura 1. Montaje experimental: (1) Reóstato, (2) Multímetro, (3) Voltímetro, (4) celda, (5) dos Termómetros y (6) la bomba con su respectivo recipiente.

el recipiente con agua y se encendió la bomba para ajustarlo en una temperatura específica. Se llenó el otro lado de la celda con agua fría y se monitoreó esta de ambos extremos de la celda. Ya llenadas las cavidades con agua, se conectó el voltímetro y el amperímetro con los que se tomaron al menos 12 datos de voltaje y corriente para diferentes cambios de temperatura.

Para una nueva serie de datos se tomó un valor constante de diferencia de temperatura y se midió la relación entre el voltaje y la corriente en la celda 5 veces.

\* Correo institucional: j.pinzonr@uniandes.edu.co

\*\* Correo institucional: s.laverdeg@uniandes.edu.co

### III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### A. Coeficiente de Seebeck

Para la primera toma de datos, la cual consistió en la medición de corriente y voltaje para diferentes diferencias de temperatura  $\Delta T$ , se realizó una regresión lineal mediante el método de mínimos cuadrados VB del potencial eléctrico inducido  $\varepsilon$  con respecto a la diferencia de temperatura  $\Delta T$ .

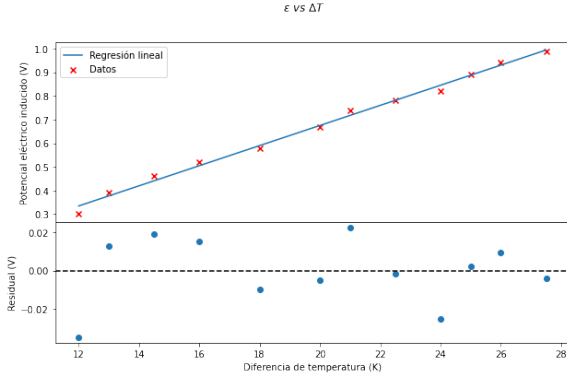


Figura 2. Gráfica de potencial eléctrico inducido en función de la diferencia de temperatura junto con su ajuste lineal correspondiente.

Los datos obtenidos mostraron una tendencia lineal, esto concuerda a lo esperado de acuerdo con la ecuación (1). Entonces se encontró como valor de la pendiente que corresponde al coeficiente de Seebeck un valor experimental de:

$$S = (4,2543 \pm 0,1048) \times 10^{-2} \frac{V}{K} \quad (4)$$

Se obtuvo precisión debido al considerablemente bajo valor de desviación estándar respecto al valor en cuestión. Sin embargo, no se obtuvo exactitud porque el valor obtenido es 2 órdenes de magnitud más grande que el valor esperado (3).

#### B. Corriente inducida en función de $\Delta T$

Se procedió a graficar la corriente inducida  $I$  con respecto a la diferencia de temperatura  $\Delta T$  para analizar su comportamiento. Se evidenció una tendencia lineal que resulta consistente, ya que una mayor diferencia de temperatura genera una mayor diferencia de potencial y, por consiguiente, una mayor corriente como se muestra en la figura 3

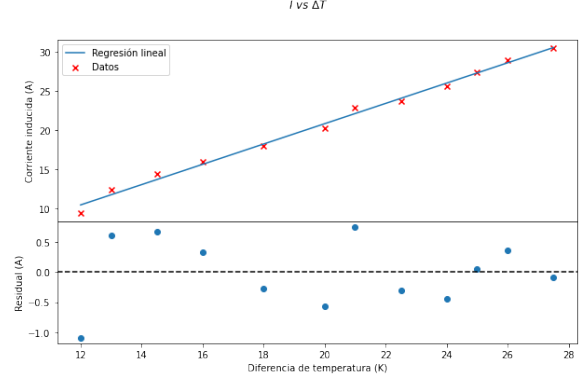


Figura 3. Gráfica de corriente inducida en función de la diferencia de temperatura junto con su ajuste lineal correspondiente.

El ajuste lineal de mínimos cuadrados resultó de la forma:

$$I(\Delta T) = (1,2963 \pm 0,0338) \frac{A}{K} (\Delta T) - (5,0656 \pm 0,6973) A$$

$$R^2 = 0,94 \quad (5)$$

Del cual se obtuvo precisión gracias a las desviaciones estándar relativamente bajas respecto a los valores a los que corresponden y al valor del factor  $R^2$ .

#### C. Potencia eléctrica

Teniendo los datos de corriente  $I$  y de potencial eléctrico  $\varepsilon$  inducidos correspondientes a un valor de diferencia de temperatura  $\Delta T$ , se calculó la potencia eléctrica  $P_e$  correspondiente a cada  $\Delta T$  mediante la ecuación  $P_e = IV$ . Para determinar el modelo más acertado que modelara los datos se realizaron pruebas de hipótesis. Se tomó como hipótesis nula un polinomio de grado cero y como hipótesis alternativa el polinomio de un grado superior, modelos generados con el método de mínimos cuadrados. Se tomó el nivel de confianza de 97.5% y de esta manera si se rechazaba la hipótesis nula, se tomaba ahora como hipótesis nula la alternativa y así sucesivamente hasta que la prueba determinara que nos encontramos en el rango de aceptación. De esta manera, el modelo que mejor representa los datos resultó ser un ajuste polinomial de grado 2 como se muestra en la figura 4.

$$P_e = (0,0529 \pm 0,0093) \frac{W}{K^2} (\Delta T)^2 - (0,3635 \pm 0,3677) \frac{W}{K} (\Delta T) + (0,2511 \pm 3,4434) W \quad (6)$$

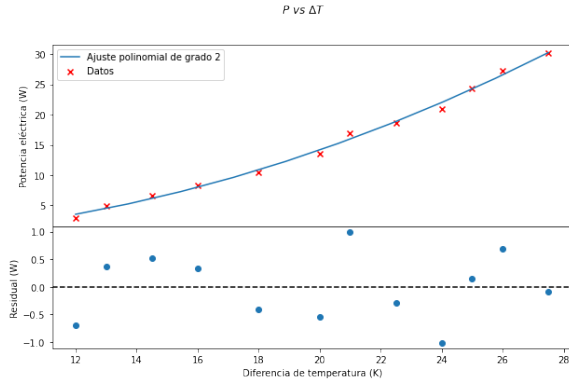


Figura 4. Gráfica de potencia eléctrica inducida en función de la diferencia de temperatura junto con su ajuste polinomial de grado 2.

Además de la justificación anterior, el ajuste polinomial de grado 2 también puede justificarse por la definición de potencia eléctrica  $P_e$ . Ya que tanto la corriente  $I$  como el potencial  $\varepsilon$  inducidos describen un comportamiento lineal respecto a la diferencia de temperatura  $\Delta T$ , entonces se espera que la multiplicación de estos dos dé como resultado un comportamiento cuadrático.

#### D. Corriente de corto circuito

Con la segunda toma de datos, la cual consistió en mediciones de corriente  $I$  y potencial eléctrico  $\varepsilon$  inducidos para una diferencia de temperatura  $\Delta T$  fija de 13K. Se procedió a graficar potencial eléctrico inducido  $\varepsilon$  respecto a la corriente inducida  $I$  y realizar un ajuste del tipo  $\varepsilon = bI + a$  como se muestra en la figura 5.

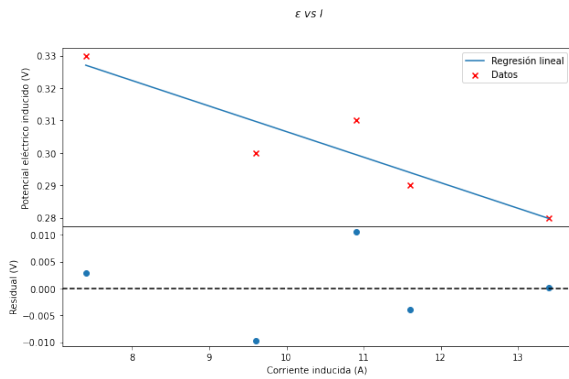


Figura 5. Gráfica de potencial eléctrico inducido en función de la corriente inducida para una diferencia de temperatura fija de 13K junto con su ajuste lineal correspondiente.

$$\varepsilon = bI + a$$

$$= -(7,8739 \pm 1,9482) \times 10^{-3} \frac{V}{A} I + (3,8531 \pm 0,2098) \times 10^{-1} V \quad (7)$$

En donde el valor de  $|b|$  indica la resistencia interna  $R_i$  y el valor de  $a$  da el voltaje de circuito abierto  $V_0$ . Además, se calculó la corriente de corto circuito  $I_{cc}$  usando la ley de Ohm:

$$\begin{aligned} R_i &= (7,8739 \pm 1,9482) \times 10^{-3} \frac{V}{A} \\ V_0 &= (3,8531 \pm 0,2098) \times 10^{-1} V \\ I_{cc} &= \frac{V_0}{R_i} = (48,9347 \pm 12,3971) A \quad (12) \end{aligned} \quad (8)$$

Valor de corriente de corto circuito correspondiente a una diferencia de temperatura de 13K. Debido a la alta desviación estándar de este valor no se obtuvo precisión.

#### IV. CONCLUSIONES

En conclusión, el valor experimental del coeficiente de Seebeck obtenido de  $4,25 \times 10^{-2} V/K$  muestra una precisión considerable, dada la baja desviación estándar. Sin embargo, la exactitud no se logra ya que el valor es significativamente mayor que el esperado. Para la corriente inducida en función de ( $\Delta T$ ): La relación lineal observada entre la corriente inducida y la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) es consistente con la teoría. El alto valor de ( $R^2 = 0,94$ ) indica un ajuste preciso de los datos al modelo lineal. En el caso de la potencia eléctrica, el ajuste polinomial de segundo grado para la potencia eléctrica en función de ( $\Delta T$ ) es justificado por las pruebas de hipótesis como por la definición de potencia eléctrica, ya que la corriente y el potencial inducido tienen comportamientos lineales en función de ( $\Delta T$ ), resultando en una relación cuadrática para la potencia. Finalmente, para la corriente de corto circuito, con un valor obtenido de 48,93A, el análisis mostró una falta de precisión debido a la alta desviación estándar. Esto pudo deberse a variaciones en el experimento o errores en la medición.

- 
- [1] D. de Física de la Universidad de los Andes. Experimentos rotativos - guías. 2022.  
 [2] M. A. Segura Delgado. *Métodos Computacionales*. 2023.

## V. ANEXOS

### A. Criterios

- Precisión:  $\frac{\sigma}{X_{exp}} \leq 0,1$
- *Exactitud*  $:= |X_{real} - X_{exp}| \leq 2,5 \cdot \sigma$

### B. Apéndice de cálculo

- Ajuste lineal por mínimos cuadrados[2]:

$$\begin{aligned} \mathbb{A}^T \mathbb{A} \vec{x}^* &= \mathbb{A}^T \vec{b} \\ \text{Proy}_{C(\mathbb{A})} \vec{b} &:= \mathbb{A} \vec{x}^* \end{aligned} \quad (9)$$

- Incertidumbre de mínimos cuadrados[2]:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}^2 &= \frac{1}{n-p} (\vec{b} - \mathbb{A} \vec{x}^*)^T (\vec{b} - \mathbb{A} \vec{x}^*) \\ \text{Cov}(\vec{x}^*) &= \hat{\sigma}^2 (\mathbb{A}^T \mathbb{A})^{-1} \\ R^2 &= \frac{\text{Cov}(m, b)^2}{\text{Var}(m) \text{Var}(b)} \\ \Delta x_i &= \sigma_{x_i} = \sqrt{\text{Var}(x_i)} \end{aligned} \quad (10)$$

- Propagación de errores:

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_i^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma x_i \right)^2} \quad (11)$$

- Desviación de la corriente de corto circuito:

$$\sigma_{I_{cc}} = \frac{1}{R_i} \sqrt{\sigma_{V_o}^2 + \left( \frac{\sigma_{R_i} V_0}{R_i} \right)^2} \quad (12)$$