

Termoelectricidad

OBJETIVOS:

- Caracterizar el funcionamiento de una celda termoeléctrica
- Obtener para dicha celda los coeficientes netos de Seebeck (α), conductividad térmica (λ) y la resistencia (R).
- Analizar el rendimiento de la celda como máquina térmica y como generador de electricidad.
- Estudiar configuraciones de celdas en serie.

CONCEPTOS NECESARIOS PARA LA PRÁCTICA:

- Efectos Seebeck, Peltier y Joule
- Celdas termoeléctricas
- Mediciones de tensión y corriente eléctricos
- Transductores y determinaciones de temperatura
- Transferencia de calor

INTRODUCCIÓN BREVE

Se denominan efectos termoeléctricos a la interacción entre un fenómeno eléctrico y otro térmico. Probablemente el más conocido sea el efecto Joule: cuando una corriente eléctrica atraviesa un material de resistividad no nula, este se calienta. Los electrones que conforman la corriente eléctrica sufren choques con los núcleos del material y ceden parte de su energía cinética, la cual se disipa en forma de calor. La potencia de calor disipado $\dot{Q} = \partial Q / \partial t$ por efecto Joule está dada por la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = I^2 R$$

donde I es la intensidad de la corriente y R es la resistencia eléctrica del conductor.

El efecto Joule no es el único fenómeno de interacción termoeléctrica. El físico alemán T. J. Seebeck, observó en 1821 que en un circuito formado por dos conductores distintos (A y B, figura 1), y cuyas uniones soldadas se encuentran en medios con temperaturas distintas (ΔT), aparece entre ambas uniones una fuerza electromotriz (FEM, a veces llamada en este caso fuerza termo-electromotriz). Esta FEM es función de la naturaleza de los conductores y de la diferencia de temperaturas a través del coeficiente de Seebeck α_{AB} del par metálico:

$$V_{AB} = -\alpha_{AB} \Delta T = (\alpha_A - \alpha_B) \Delta T \quad (1)$$

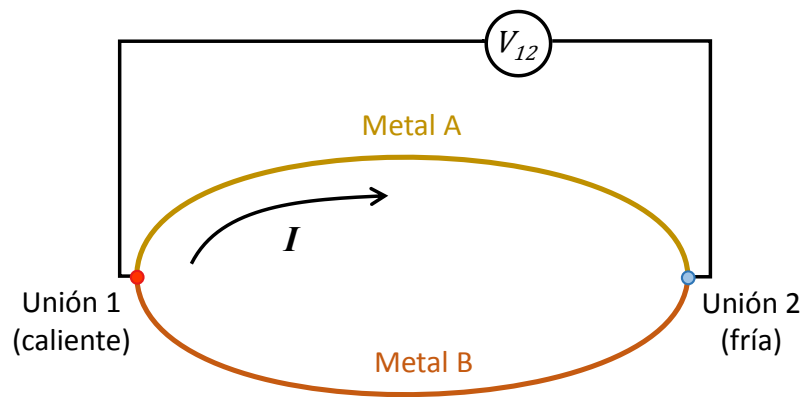


Figura 1. Esquema de la configuración descrita para ejemplificar el efecto Seebeck.

Los coeficientes α_A y α_B son las potencias termoeléctricas absolutas de los metales A y B, respectivamente y son características de cada metal. En caso de que el circuito se encuentre cerrado, se establece el consecuente flujo de corriente eléctrica. El efecto Seebeck constituye el principio de funcionamiento de las termocuplas.

La explicación microscópica del efecto Seebeck requiere entender el comportamiento de los electrones en metales. En un metal, no todos los electrones se encuentran unidos a un átomo particular, sino que algunos pueden moverse dando origen a la conductividad eléctrica de estos materiales. En general, cada metal presenta una densidad (número por unidad de volumen) diferente de estos electrones “libres”. En consecuencia, cuando se ponen dos metales en contacto, los electrones libres de cada uno difunden dentro del otro metal tendiendo a homogeneizar la densidad electrónica localmente. Debido a la diferencia de densidad electrónica, y a que cada electrón posee una carga eléctrica, los metales en la juntura se cargan opuestamente. Esta diferencia de carga produce una diferencia de potencial a través de la juntura bi-metálica. La difusión de electrones de un metal en el otro depende de la temperatura. En consecuencia, si se tiene dos uniones bi-metálicas a distintas temperaturas como en la figura 1, existirá una diferencia de potencial entre las junturas, y si el circuito se cierra fluirá una corriente. Lo mismo sucede si se usan junturas de semiconductores con distinto grado de dopaje, los cuales poseen distintas densidades de electrones disponibles en la banda de conducción.

El efecto Peltier fue descubierto en el año 1834 por el físico francés J. C. A. Peltier, y puede pensarse como la contraparte de acción-reacción del efecto Seebeck. Si se fuerza una corriente a través de un circuito formado por dos conductores de distinta naturaleza, sucede que una de sus uniones absorbe calor y la otra lo cede. La potencia calorífica intercambiada en la unión entre A y B está dada por:

$$\dot{Q} = I \Pi_{AB} \quad (2)$$

donde Π_{AB} es el coeficiente Peltier.

En 1854, Lord Kelvin demostró que los efectos Seebeck y Peltier son manifestaciones de un mismo fenómeno, expresando:

$$\Pi_{AB} = \Delta T \alpha_{AB} \quad (3)$$

Para esta práctica nos mantendremos dentro del marco de la explicación simplificada dada arriba. En muchos materiales el coeficiente de Seebeck no es constante, sino que depende marcadamente de la temperatura. En consecuencia, un gradiente de temperatura resultará en un gradiente del coeficiente de Seebeck el efecto debe tratarse de modo diferencial.

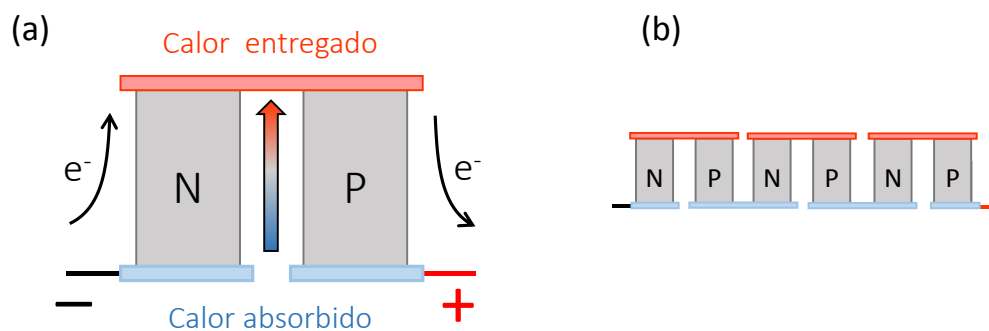


Figura 2. Celda termoeléctrica Peltier basada en semiconductores dopados. (a) Esquema de un elemento formado por semiconductores dopados N y P. (b) Esquema de la celda con elementos en serie.

Una celda Peltier es un dispositivo termoeléctrico que permite enfriar mediante la aplicación de una corriente eléctrica, o generar corriente a partir de una diferencia de temperaturas. La figura 2 muestra un esquema básico de una celda Peltier fabricada con semiconductores dopados N y P.

La figura 3 muestra esquemáticamente las componentes de potencia que entran y salen de un dispositivo termoeléctrico con coeficiente de Seebeck α , cuando circula una corriente I . La potencia térmica que entra en el dispositivo por la cara fría es:

$$P_F = \alpha I T_F - \frac{I^2 R}{2} - \frac{\lambda A}{d} \Delta T \quad (4)$$

Donde λ es la conductividad térmica de la celda, A el área de las caras fría y caliente del dispositivo, d el espesor y R la resistencia. La potencia térmica que sale del dispositivo por la cara caliente está dada por:

$$P_C = \alpha I T_C + \frac{I^2 R}{2} - \frac{\lambda A}{d} \Delta T \quad (5)$$

Una vez alcanzado el estado estacionario, la potencia eléctrica entrando en el dispositivo puede evaluarse como:

$$P_E = VI = P_C - P_F = \alpha I \Delta T + I^2 R \quad (6)$$

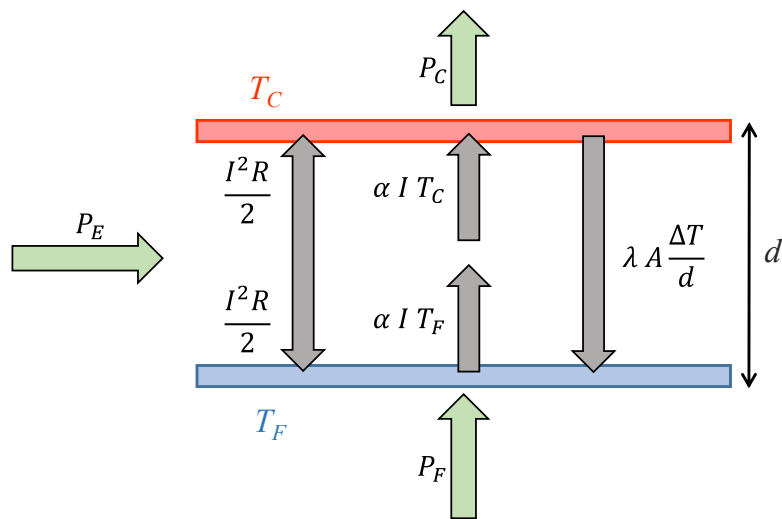


Figura 3. Balance de energía en un dispositivo termoeléctrico.

La eficiencia de la celda Peltier en refrigeración puede caracterizarse por el coeficiente de desempeño (en inglés coefficient of performance):

$$\eta = \frac{P_F}{P_E} = \frac{\alpha I T_F - \frac{I^2 R}{2} - \frac{\lambda A}{d} \Delta T}{\alpha I \Delta T + I^2 R} \quad (7)$$

Se puede ver claramente de esta última expresión que hay dos factores reduciendo la eficiencia del dispositivo como enfriador: i) el calentamiento por efecto Joule, y ii) la conducción térmica que transmite calor desde la cara caliente a la fría. Si estos factores pudiesen eliminarse ($\lambda=0$ y $R=0$), se obtiene el coeficiente de desempeño de un refrigerador ideal $\frac{T_F}{T_C - T_F}$.

DISPOSITIVO y DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para este trabajo se utilizará una celda Peltier comercial, la cual utiliza semiconductores dopados como elementos termoeléctricos y placas cerámicas como difusoras de calor. En primer lugar, procedan conectar el dispositivo termoeléctrico de modo de alimentarlo y registrar tanto la tensión aplicada como la corriente circulante. Además será necesario monitorear las temperaturas de ambas caras del dispositivo. Para ello se sugiere poner respectivos termistores en buen contacto térmico con las placas cerámicas mediante grasa siliconada o similar. Las lecturas de tensión, corriente y temperatura deben registrarse en función del tiempo.

- 1) Realice mediciones de la evolución temporal de las temperaturas de ambas caras para distintos valores de corriente fija. Monitoree la diferencia de potencial durante las mediciones ¿Se alcanza un estado estacionario? Obtenga la resistencia de la celda Peltier en función de la temperatura media.

- 2) Luego de cada medición (1), abra el circuito y monitoree la diferencia de potencial en la celda en función de ΔT . Determine α .
- 3) Fije la temperatura de una de las caras y monitoree los cambios de temperatura en la otra cara al circular corriente (p.e. primero fije la temperatura de la cara fría y monitoree la cara caliente, y luego al revés). Se sugiere utilizar como reservorio térmico a una pieza metálica de suficiente masa como para que la inercia térmica permita considerar constante la temperatura de la cara en contacto con ella. Coloque la pieza metálica maciza en un baño térmico de hielo y agua, dejando fuera una cara donde se pueda apoyar una de las placas de la celda Peltier en buen contacto térmico. Para verificar que la temperatura de dicha cara no varía, monitoree su temperatura.
- 4) Caracterice el dispositivo como generador de electricidad a partir de una diferencia de temperaturas entre sus caras. Determine la tensión generada y la corriente de corto-circuito.
- 5) Repita mediciones con más de una celda Peltier en serie térmicamente.
- 6) Caracterice la celda Peltier como refrigerador. Para obtener la conductividad térmica realice una medición comparativa con un elemento de conductividad conocida, como se muestra esquemáticamente en la figura 4.

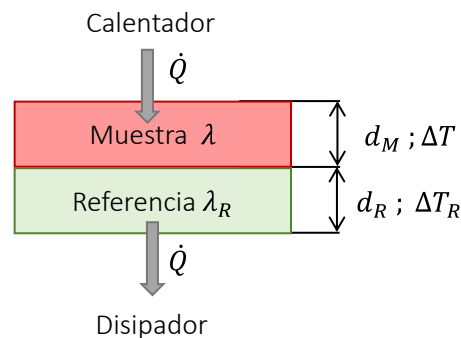


Figura 4. Arreglo experimental para la determinación comparativa de la conductividad térmica.

La conductividad térmica se define como $\lambda = \frac{\dot{Q}d}{A \Delta T}$. En consecuencia, si se establece un flujo de calor de estado estacionario a través de la celda Peltier en serie con una pieza de material de conductividad térmica conocida, como en la figura 4(a), la conductividad térmica de la celda puede obtenerse como:

$$\lambda = \lambda_R \frac{d}{\Delta T} \frac{\Delta T_R}{d_R} \quad (8)$$

En la ecuación (8) se ha considerado que la celda y la referencia tiene el mismo área λ , y perfecto contacto térmico.

PREGUNTAS A RESPONDER DURANTE LA PRÁCTICA E INCLUIR EN EL INFORME

- ¿Cómo varían las temperaturas de las placas al aplicar una corriente constante? ¿Por qué?
- ¿Qué tipo de corriente debe aplicarse a un dispositivo termoeléctrico CC o CA? ¿Por qué?
- ¿Es posible alcanzar temperaturas bajo cero con el dispositivo?
- ¿Puede estimar la eficiencia del dispositivo termoeléctrico como refrigerador? ¿Y como generador de electricidad?
- Simule en una PC las variaciones de T en función del tiempo. Varíe parámetros.

PREGUNTAS PARA EL MINI EXAMEN PREVIO A LA PRÁCTICA:

- 1- Explique a qué se debe el efecto termoeléctrico en juntas bimetálicas.
- 2- Explique cómo funciona un dispositivo termoeléctrico. ¿Cómo funcionan las uniones bimetálicas en serie? ¿Y las celdas termoeléctricas en serie?
- 3- ¿Cuáles son los factores que limitan la eficiencia de un dispositivo termoeléctrico?
- 4- ¿Existe una corriente máxima que se puede forzar a través de un dispositivo termoeléctrico? ¿Por qué?
- 5- ¿Cómo se compara la eficiencia de un enfriador termoeléctrico contra un refrigerador tradicional?
- 6- ¿Dónde encuentran utilidad los dispositivos termoeléctricos? ¿Por qué?
- 7- ¿Pueden usarse dispositivos termoeléctricos para generar electricidad? ¿Cómo es su eficiencia?