

## Termoelectricidad

### OBJETIVOS:

- Observar y caracterizar una celda termoeléctrica
- Obtener para dicha celda los coeficientes netos de Seebeck ( $\alpha$ ), conductividad térmica ( $\lambda$ ) 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:

- Efecto Seebeck
- Efecto Peltier
- Efecto Joule
- Celdas termoeléctricas
- Mediciones de tensión y corriente eléctricos
- Transductores y determinaciones de temperatura

### 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, este se calienta. Este fenómeno se comprende en términos de la resistencia que ofrece la materia al movimiento electrónico. Al moverse, los electrones sufren choques con los núcleos del material y ceden parte de su energía cinética que se disipa en forma de calor. La potencia de calor disipado  $Q = \dot{Q}/\partial t$  por efecto Joule está dada por la siguiente expresión:

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

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

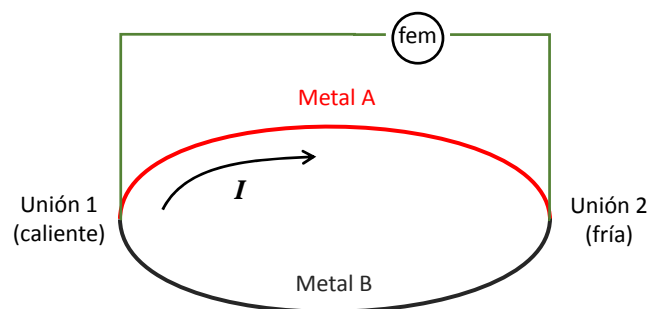


Figura 1. Esquema de la configuración descrita para ejemplificar el efecto Seebeck.

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 ( $T$  y  $T+\Delta T$ ), aparece entre ambas uniones una fuerza electromotriz (fem, a veces llamada en este caso fuerza termo-electromotriz). En caso de que el circuito se encuentre cerrado, se establece el consecuente flujo de corriente eléctrica. Esta fem es función de la naturaleza de los conductores y de la diferencia de temperaturas a través del coeficiente de Seebeck  $\alpha_{AB}$  del par metálico:

$$fem = -\alpha_{AB}\Delta T = (\alpha_A - \alpha_B)\Delta T$$

$\alpha_A$  y  $\alpha_B$  son las potencias termoeléctricas absolutas de los metales A y B, respectivamente y son características de cada metal. Esta expresión está simplificada dado que en general  $\alpha_{AB}$  no es constante sino que depende de la temperatura. De modo más general se define

$$\alpha_{AB} = \frac{\partial fem}{\partial T}$$

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 juntas, y si el circuito se cierra fluirá una corriente. Lo mismo sucede si se usan juntas 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:

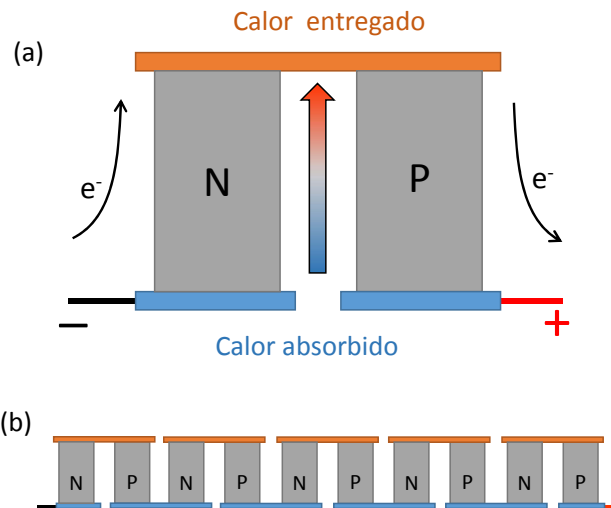
$$\dot{Q} = I\Pi_{AB}$$

donde  $\Pi_{AB}$  es el coeficiente Peltier, que se define como el calor intercambiado en la unión por unidad de tiempo y de corriente que circula a través de la misma.

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

$$\Pi_{AB} = \Delta T\alpha_{AB}$$

Para esta práctica nos mantendremos dentro del marco de la explicación dada arriba. Sin embargo es conveniente notar que dicha descripción es correcta solo en casos simples. Por ejemplo en muchos materiales el coeficiente de Seebeck no es una constante, sino que depende marcadamente de la temperatura. En consecuencia, un gradiente de temperatura resultará en un gradiente del coeficiente de Seebeck, y el efecto debe tratarse de modo diferencial.



**Figura 2.** Celda termoeléctrica Peltier. (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  $\alpha$ , y cuando circula una corriente  $I$  a través de él con una diferencia de temperaturas entre las caras caliente y fría igual a  $\Delta T$ . La potencia térmica que entra en el dispositivo por la cara fría es:

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

Donde  $\lambda$  es el coeficiente de conductividad térmica,  $A$  el área de las caras fría y caliente del dispositivo, y  $d$  el espesor.

La potencia térmica que sale del dispositivo por la cara caliente está dada por:

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

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

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

La eficiencia de un dispositivo termoeléctrico como enfriador puede definirse entonces como:

$$\eta_E = \frac{P_F}{P_E} = \frac{\alpha I T_F - \frac{I^2 R}{2} - \frac{\lambda A}{d} \Delta T}{\alpha I \Delta T + I^2 R}$$

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  $R=0$ ), el rendimiento alcanzaría el de una máquina térmica ideal  $\frac{T_F}{T_C - T_F}$ .

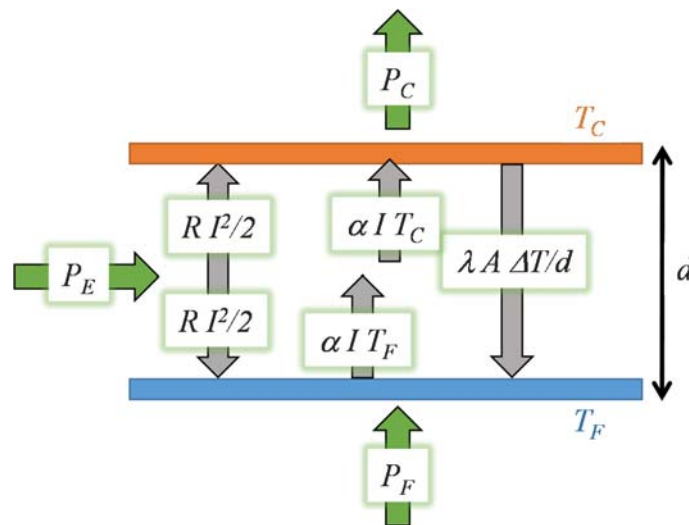


Figura 3. Balance de energía en un dispositivo termoeléctrico.

#### DISPOSITIVO y DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para este trabajo se utilizará una celda Peltier comercial, la cual utiliza semiconductores dopados y cerámica como placas contenedoras y 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) En primer realice mediciones cualitativas de las temperaturas de los focos mientras circula una corriente fija.
- 2) Fije la temperatura de una de las caras de la celda Peltier 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, mida su temperatura antes y después de cada medición.
- 3) 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.
- 4) Repita mediciones con más de una celda Peltier en serie térmicamente.

#### **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?
- Obtenga los parámetros de la celda, resistencia, coeficiente de Seebeck, coeficiente de conductividad térmica.
- 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? Uniones bimetálicas en serie. 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- Donde encuentran utilidad los dispositivos termoeléctricos? Por qué?
- 7- Pueden usarse dispositivos termoeléctricos para generar electricidad? Cómo es su eficiencia?