

Efecto termoeléctrico

F. Alberto Cardona-Maciél
 Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
 Universidad de Guadalajara

23 de mayo de 2010

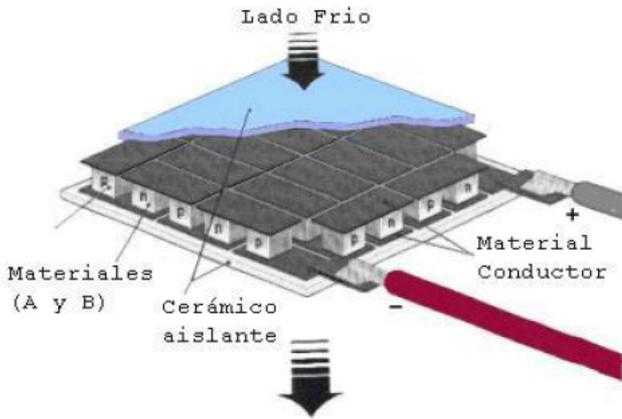


Figura 1: Esquema de un sistema termoeléctrico. Este dispositivo hace uso del efecto Peltier para mantener refrigerado algún sistema.

Resumen

Cuando un circuito formado por dos placas de metal es expuesto a una diferencia de temperatura entre ambas placas, produce como resultado una corriente eléctrica. Al invertir el proceso, es decir, al suministrarle una corriente al circuito este produce una diferencia de temperatura entre sus placas. Éstos efectos son conocidos como Seebeck y Peltier que reproduciremos en seguida.

1. Marco teórico

Para comprender bien el funcionamiento de estos efectos, es necesario introducir el concepto de semiconductor.

Semiconductor

es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de la temperatura del ambiente en el que se encuentre.

En un sistema termodinámico, como un semiconductor, existen simultáneamente un flujo

térmico, provocado por una diferencia de temperaturas, y una corriente eléctrica, dada por la fuerza electromotriz de los electrones en movimiento. Entonces, de la segunda ley de la Termodinámica encontramos que un cambio infinitesimal de la entropía está dada por

$$\frac{dS}{dt} = J_Q \frac{\Delta T}{T^2} + i \frac{\Delta \epsilon}{T},$$

donde J_Q es el flujo de calor, i es la corriente eléctrica y T es la temperatura media del sistema. En dicha expresión observamos que debe existir una relación lineal entre los flujos y las distintas fuerzas. Más aún, el flujo del calor está acoplado con el flujo de carga de tal forma que

$$J_Q = L_{11} \frac{\Delta T}{T^2} + L_{12} \frac{\Delta \epsilon}{T}$$

$$i = L_{21} \frac{\Delta T}{T^2} + L_{22} \frac{\Delta \epsilon}{T}.$$

Cuando la intensidad eléctrica tiende a cero, y existe una diferencia de temperaturas, de la última ecuación tenemos,

$$\Delta \epsilon = -\frac{L_{21}}{L_{22}} \Delta T = -\alpha \Delta T,$$

tal fenómeno es llamado *efecto Seebeck*, donde el coeficiente α mide la intensidad del efecto y se le llama potencia termoeléctrica del material.

Si a través de un sistema con capacidad termoeléctrica circula una corriente, debido al acoplamiento de flujos, aparecerá una diferencia de temperaturas. Es el efecto inverso al anterior y se denomina *efecto Peltier*. Cuando se establece la corriente, la diferencia de temperaturas va aumentando, hasta que se alcanza un estado estacionario, en el que el flujo total de calor en el sistema se hace nulo (por ello las temperaturas dejan de variar). Sustituyendo esa condición en las ecuaciones anteriores se encuentra una relación lineal entre la diferencia de temperaturas aplicada y la intensidad que recorre el sistema es

$$\Delta T = \frac{T^2}{L_{21} - \frac{L_{22}L_{11}}{L_{21}}} i = \beta i,$$

donde β es el coeficiente de Peltier asociado al sistema.

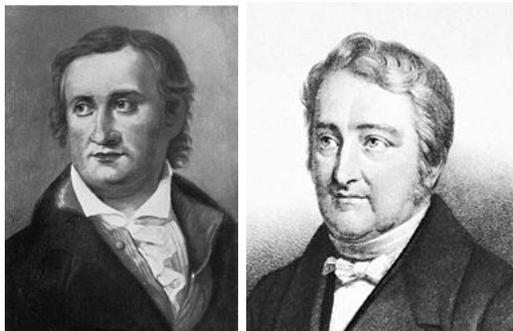


Figura 2: Thomas Johan Seebeck y Jean Peltier.

1.1. Antecedentes históricos

En 1821 el científico alemán Thomas Johann Seebeck (1770 - 1831) encontró que un circuito conformado por la unión de dos metales distintos deflectaba la aguja de una brújula al colocar a distintas temperaturas las soldaduras entre los dos metales. Para 1822 sus resultados experimentales fueron publicados en los Proceedings de la academia prusiana de ciencias bajo el título Polarización magnética de metales y Ores por diferencia de temperatura. Sólo dos años antes Hans Christian Oersted (1777-1851) había descubierto que la circulación de una corriente a través de un conductor tenía efectos similares sobre la aguja de una brújula. Este hecho, sumado a los estudios posteriores por Ampère, Biot, Savart y Laplace entre otros, sobre la interacción entre una corriente eléctrica y el campo magnético, llevó a Oersted a rebautizar el fenómeno, originalmente denominado termomagnetismo por Seebeck, como *termoelectricidad*.

Oersted comprendió que era una diferencia de potencial eléctrico lo que la diferencia de temperaturas inducía sobre el circuito. Más aún, la relación entre el voltaje generado y la diferencia de temperatura se demostró lineal, caracterizada por el denominado coeficiente Seebeck o poder termoelectrico ϵ .

Jean Charles Thanese Peltier (1785-1845), un relojero y meteorólogo francés encontró en 1834 que la circulación de corriente a través de un circuito formado por dos metales distintos puede emitir o absorber calor en la junta de los mismos, dependiendo de la dirección de la corriente. La cantidad de calor absorbida o emitida en la junta resulta proporcional a la corriente eléctrica mediante el *coeficiente Peltier* π . Al igual que Seebeck, la interpretación original de Peltier fue errónea, aumentando la invalidez del efecto Joule a bajas corrientes. La correcta interpretación del fenómeno llegaría recién en 1838, en un trabajo por parte de Emily Lenz.

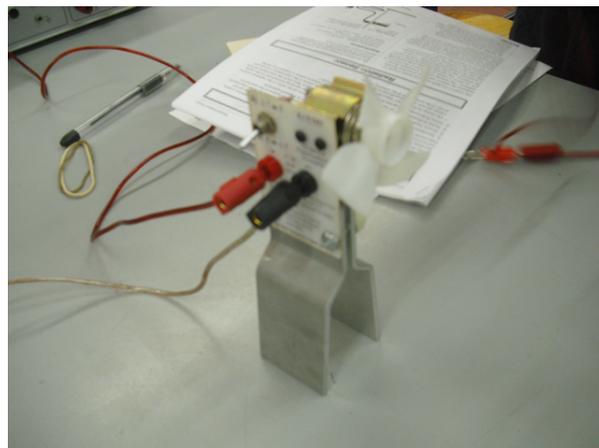


Figura 3: Convertidor termoelectrico TD-8550A.

1.2. Datos esperados

Previamente leída la práctica, uno espera

1. registrar una corriente provocada por la diferencia de temperatura.
2. registrar una diferencia de temperaturas al pasar una corriente en el semiconductor.

2. Bitácora de laboratorio

El experimento se realizó con éxito durante 94 minutos en el laboratorio de electromagnetismo. Con ayuda del profesor en las explicaciones y la creatividad de los integrantes del equipo pudimos reproducir los efectos Seebeck y Peltier.

2.1. Material

- Convertidor termoelectrico by PASCO modelo TD-8550A.
- Contenedores de hielo seco.
- Medio litro de agua hirviendo y medio litro de agua con hielo.
- Dos termómetros.
- Un voltímetro.
- Una fuente de poder.
- Cables de conexión (bananas).

Comentamos algunas características del convertidor termoelectrico para entender el funcionamiento. El convertidor termoelectrico usa una serie de celdas termoelectricas para

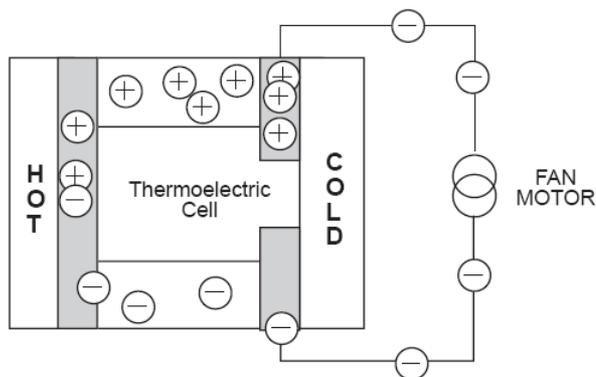


Figura 4: Diagrama de una celda semiconductor.

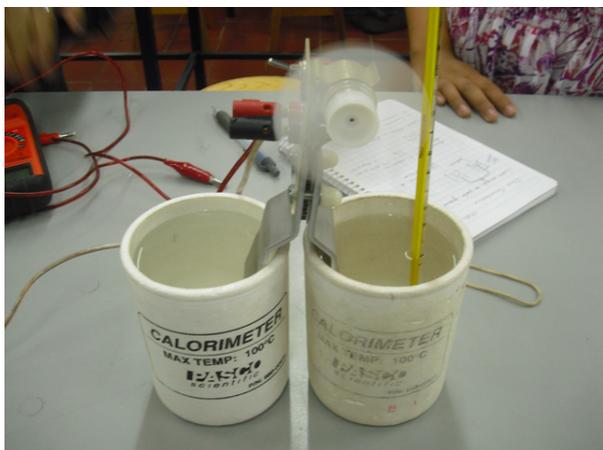


Figura 5: Instalación y funcionamiento del convertidor termoelectrico para efecto Seebeck.

convertir energía térmica en energía eléctrica que será representada por el movimiento del ventilador. Cada celda es un dispositivo semiconductor. Un diagrama simplificado de una celda es mostrado en la figura 4. Durante el efecto Seebeck, el calor que entra a la celda incrementa el nivel de energía de los electrones. En el nivel más alto de energía, los electrones no permanecen estáticos en la frontera del metal y por ello se mueven hacia la capa de enfrente. Al moverse, queda vacante un lugar que los electrones de energía menor ocupan. Dando así paso a la corriente eléctrica.

2.2. Instalación y Procedimiento

2.2.1. Efecto Seebeck

1. Desempacamos cuidadosamente el convertidor termoelectrico.
2. Colocamos sobre la mesa los contenedores de hielo seco y en uno vertimos el agua caliente y en otro el agua con

Cuadro 1: Datos registrados para la corriente a varias temperaturas.

T_{fria} ($^{\circ}C$)	T_{cal} ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)	i (mA)
0.5	76.5	76.0	147.0
0.5	68.6	68.1	130
5.2	54	48.8	114

hielo y registramos sus temperaturas.

3. Nos aseguramos de que el motor del convertidor termoelectrico esté apagado.
4. colocamos los contenedores juntos de manera tal que los electrodos puedan insertarse en cada contenedor, como se ilustra en la figura 4. Debemos observar que el ventilador comienza a girar.
5. Apagamos el ventilador y conectamos los cables en las entradas del convertidor termoelectrico al amperímetro seleccionando el rango de mA.
6. Encendemos de nuevo el ventilador para ver el amperímetro que registra cierta corriente. Registramos la corriente para distintos tiempos.

2.2.2. Efecto Peltier

1. Colocamos la fuente de poder en la mesa.
2. Conectamos la fuente de poder mediante las cables (bananas) al convertidor termoelectrico.
3. Nos aseguramos que las perillas que regulan el voltaje y corriente de salida está en el mínimo nivel, esto para que a la hora de pender la fuente, no dañe al convertidor termoelectrico con los picos de voltaje.
4. Checado lo anterior, aplicamos al convertidor termoelectrico una intensidad de corriente de 5 A y una voltaje de 5 V. Registramos con el termómetro la temperatura que se adquirió en la placa de aluminio.

2.3. Recolección e interpretación de datos observados

2.3.1. Efecto Seebeck

Realizando el procedimiento para el efecto Seebeck, obtuvimos las mediciones del cuadro 1. Donde observamos que se registró una mayor intensidad de corriente cuando hubo una mayor diferencia en las temperaturas. El efecto Seebeck es aquel en el que surge una corriente debido a una diferencia de temperatura en un circuito formado por dos por dos placas de metal. Analizando los datos presentados

en el cuadro 1, se observa que a mayor diferencia de temperatura es más grande la corriente, dicho comportamiento experimental se ajusta bien a lo predicho por la ecuación que describe el efecto Seebeck

$$\Delta \epsilon = -\frac{L_{21}}{L_{22}T} \Delta T = -\alpha \Delta T.$$

La fuerza electro motriz es capaz de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado, por consiguiente una corriente puede producir una fuerza electro motriz, entonces la fuerza electromotriz es directamente proporcional a la diferencia de temperatura.

2.3.2. Efecto Peltier

Registramos que la temperatura inicial de las placas de aluminio es de 23.6 °C. Al suministrar la corriente, medimos que la temperatura de las placas es de 17 °C y 41.1 °C. Y de acuerdo con el efecto Peltier, las diferencias de temperaturas están dadas por

$$\Delta T_1 = (23,6 - 17)^\circ C = 6,6^\circ C,$$

$$\Delta T_2 = (42,1 - 23,6)^\circ C = 17,5^\circ C.$$

De modo que

$$\Delta T = (41,1 - 17)^\circ C = 24,1^\circ C.$$

El efecto Peltier es lo contrario al efecto de Seebeck, se administra una corriente al circuito formado por dos placas de metal y ambas placas cambian de temperatura en sentido contrario, esto es, en una se incrementa la temperatura y simultáneamente en la otra la temperatura decrece. Los datos experimentales muestran este comportamiento, ya que en una de las placas se dio un decremento de temperatura de 6.6 °C, mientras en la otra aumento a 17.5 °C. Según la ecuación que rige el efecto Peltier

$$\Delta T = \frac{T^2}{L_{21} - \frac{L_{22}L_{11}}{L_{22}}} i = \beta i$$

la diferencia de temperatura en ambas placas es directamente proporcional a la corriente suministrada. Podemos conocer el valor de β dado que conocemos la corriente suministrada y la temperatura por medio de la expresión

$$\beta = \frac{\Delta T}{i} = \frac{24,1^\circ C}{3A} = 8,03 \frac{^\circ C}{A}.$$

2.4. Contraste con los datos esperados

Efectivamente, logramos registrar una intensidad de corriente en caso del efecto Seebeck y una diferencia de temperaturas en las placas para el efecto Peltier.



Figura 6: The working team and me.

3. Conclusiones

1. Pudimos reproducir exitosamente los efectos Seebeck y Peltier arrojando los datos esperados, encunto a registrar una corriente y diferencia de temperaturas.
2. La corriente registrada concuerda con la ecuación que describe el efecto Seebeck.
3. Cuando colocamos el convertidor termoelectrico en ambos contenedores, pudimos observar que la intensidad de corriente era muy variable, puesto que pudimos registrar la intensidad de corriente promedio.
4. Este tipo de experimentos llevan son característicos de la física moderna, que ilustran toda la técnica y teorías de muchos años atrás. Como se mencionó en los antecedentes, estos efectos fueron apreciados en el siglo XIX y que aún en día son vigentes y base de mucha tecnología actual.