

Caracterización de una celda Peltier

IGNACIO POGGI

ignaciop.3@gmail.com

CARLOS RÍOS CHÁVEZ

carlos_rios_ch@hotmail.com

Grupo 3 - Laboratorio 4, Cátedra Schmiegelow - Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

18 de marzo de 2019

Resumen

En este trabajo se realizó la caracterización de una celda Peltier midiendo el coeficiente de Seebeck α , resistencia R y conductividad térmica K ; a través de los datos obtenidos de la diferencia de temperatura, voltaje y corriente circundante entre sus dos caras. Finalmente se obtuvo el rendimiento de la celda y se comparó con el de otras máquinas térmicas.

1. Introducción

Se denomina termoelectricidad a un conjunto de efectos o fenómenos físicos que relacionan a la termodinámica con la electricidad. En equilibrio termodinámico, los portadores de carga en un conductor pueden generar un flujo de calor, pudiendo transformar energía mecánica en energía térmica y viceversa. Entre estos fenómenos, podemos destacar el efecto Seebeck, Peltier y Joule.

1.1. Efecto Seebeck

Si se tiene un circuito formado por dos metales distintos, A y B , con dos uniones a diferente temperatura, T y $T + \Delta T$, se establece un flujo de corriente eléctrica debido a que los portadores de carga difunden en contra del gradiente de temperatura. Esto produce acumulación de carga en el extremo frío y un vaciamiento del extremo caliente del termopar. Este desbalance de portadores genera un campo eléctrico, que a su vez origina una fuerza termoelectromotriz ϵ_{AB} , que depende de los metales utilizados en la unión y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones.

Se puede definir al coeficiente Seebeck α_{AB} como la relación entre ϵ_{AB} y T , de la siguiente manera [1]:

$$\alpha_{AB} = \frac{d\epsilon_{AB}}{dT} \quad (1)$$

La ecuación (1) puede definirse en términos de la diferencia de potencial ΔV como:

$$\alpha_{AB} = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2)$$

donde ΔV y ΔT son las diferencia de potencial neta y temperatura entre los metales A y B , respectivamente.

1.2. Efecto Peltier

Recíprocamente al efecto Seebeck, al circular una corriente eléctrica I por la unión entre distintos materiales, se produce una transferencia de calor, como se esquematiza en la Figura 1. La potencia calorífica intercambiada en la unión entre los puntos A y B es [2]:

$$\dot{Q} = J\Delta T\alpha_{AB} = J\pi_{AB} \quad (3)$$

siendo π_{AB} el coeficiente Peltier (calor intercambiado en la unión por unidad de tiempo y de corriente que circula por la misma), J el flujo de corriente eléctrica, ΔT la diferencia de temperatura entre los puntos A y B , y α_{AB} el coeficiente Seebeck.

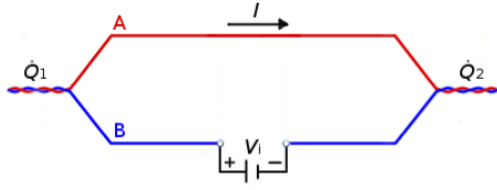


Figura 1: Esquema de un circuito formado por los materiales A y B con dos uniones. La circulación de corriente origina un flujo de calor, produciendo el efecto Peltier.

1.3. Efecto Joule

Para una caracterización completa de la celda, se deben tener en cuenta la difusión de calor a través de la misma debido al gradiente de temperatura, y la disipación por efecto Joule.

La difusión de calor del lado más caliente al frío por unidad de tiempo para cada elemento está dado por la ley de Fourier [3]:

$$\dot{Q}_{Fourier} = -k \frac{A}{L} \Delta T \quad (4)$$

donde k es el coeficiente de conductividad térmica de cada elemento por unidad de longitud, A el área, L la longitud de cada elemento y ΔT la diferencia de temperatura en los extremos (el signo negativo indica que el calor fluye en contra del gradiente de temperatura).

El efecto Joule está representado por la transformación de trabajo eléctrico en calor, debido a la resistencia R del circuito. La pérdida de energía asociada es [4]:

$$\dot{Q}_{Joule} = I^2 R = I^2 \rho \frac{L}{A} \quad (5)$$

donde ρ es la resistividad eléctrica del conductor respectivamente.

1.4. Celdas termoelectricas

Una celda Peltier está compuesta por un cierto número de termopares (pares de semiconductores de tipo N y P), conectados en serie con las uniones ubicadas alternadamente sobre las dos caras. Dichas caras están recubiertas de un material cerámico, para mejorar

la disipación del calor, como muestra la Figura 2.



Figura 2: Esquema de una celda Peltier. Se observan los componentes semiconductores en el interior de la misma y las caras cerámicas a distinta temperatura.

Si ambas caras de la celda se encuentran en contacto con reservorios a distintas temperaturas, se manifiesta el efecto Seebeck, por lo tanto puede ser utilizada como generador de electricidad. Análogamente, al hacer pasar una corriente I por la misma, las uniones sobre una de las caras absorberán y las contrarias liberarán calor (efecto Peltier), operando como una máquina frigorífica o una fuente de calor.

Por último, para calcular el rendimiento de la celda como máquina térmica, utilizando las ecuaciones (3) y (5) se obtiene que el calor intercambiado en cada una de las caras (en régimen estacionario) es [5]:

$$\dot{Q}_i = \pm I \alpha T_i - K(T_i - T_j) + \frac{I^2 R}{2} \quad (6)$$

donde α y K contienen la contribución de todos los elementos conductores al efecto Peltier y a la difusión de calor, y $i = \{1, 2\}$. De la misma forma, la potencia eléctrica aplicada está dada por la siguiente ecuación [6]:

$$\dot{W} = VI = I \alpha \Delta T + I^2 R \quad (7)$$

Mediante las ecuaciones (6) y (7), se puede obtener la eficiencia y el rendimiento de la celda como máquina térmica con las siguientes expresiones:

$$\eta = \frac{-\dot{W}}{-\dot{Q}_c} \quad (8)$$

$$COP = \frac{-\dot{Q}_f}{+\dot{W}} \quad (9)$$

siendo \dot{Q}_f y \dot{Q}_c el calor intercambiado por la cara fría y caliente, respectivamente.

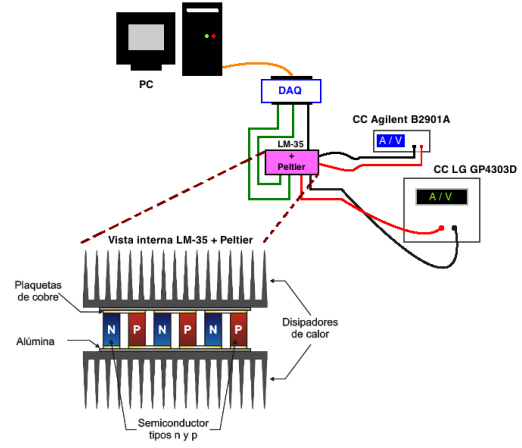


Figura 3: Esquema del primer dispositivo experimental utilizado. Se puede apreciar el detalle del armado interno donde se encuentra ubicada la celda Peltier.

2. Dispositivo experimental

El primer armado experimental consistió en una celda Peltier; en cada una de sus caras se ubicaron dos sensores de temperatura LM-35 alimentados con 7,5 V mediante un generador de corriente continua LG GP4303D. Estos estaban dentro de un hueco en dos cubos de aluminio que actuaban como disipador de calor. La celda fue alimentada con el generador de corriente continua Agilent B2901A, el cual también permitió la obtención del voltaje y corriente circulando por el circuito compuesto por la celda.

A su vez, se tomaron las mediciones de los sensores LM-35 a través de la placa de adquisición de datos National Instruments NI-USB 6120 hacia una PC con MATLAB; lo que permitió determinar la temperatura de cada sensor. La relación entre voltaje de salida y temperatura medida en cada uno de ellos es de 10 mV/°C, su rango de medición es de -55 °C (-550 mV) a 150 °C (1500 mV) y la precisión a temperatura ambiente es de 0,5 °C. En la siguiente figura se muestra un esquema del dispositivo utilizado:

Los datos obtenidos en esta primera parte (voltaje, corriente y temperaturas) permitieron obtener la evolución de la temperatura en función del tiempo y el coeficiente de Seebeck α .

Finalmente, para obtener el rendimiento como máquina frigorífica, la conductividad térmica K y la resistencia R de la celda Peltier, se calculó la potencia entregada a la misma y la absorbida por la cara fría. La primera se obtuvo como la corriente circulante por la tensión entre las placas (la cara caliente de la celda se ubicó sobre un bloque de hierro para que esté a temperatura constante) y para la segunda se colocó un disipador de aluminio con un sensor de temperatura LM-35 sobre la cara fría (todo el conjunto encerrado en un termo de aluminio), pudiendo obtener el cambio de temperatura en el tiempo de la misma a través de la placa de adquisición. En la siguiente figura se esquematiza el armado experimental para esta parte del trabajo:

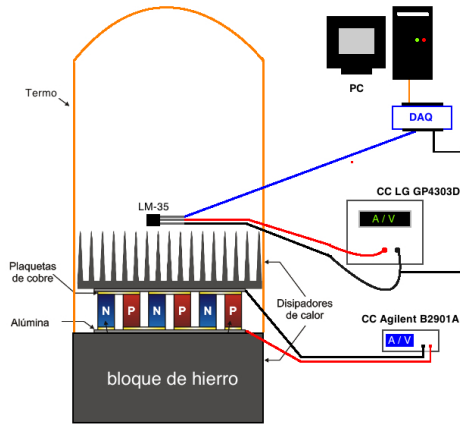


Figura 4: Esquema del segundo dispositivo experimental utilizado.

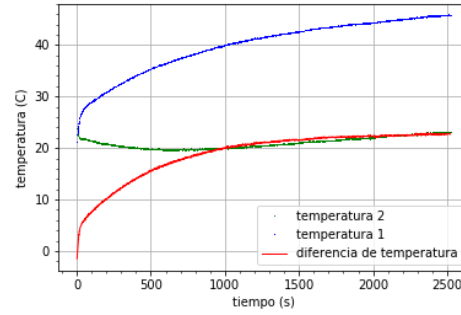


Figura 5: Medición de la temperatura mientras ocurre el efecto Peltier. La curva azul es la temperatura de la cara caliente de la celda, mientras que la curva verde es la temperatura de la cara fría y la curva roja es la diferencia de temperatura.

Cuando las caras de la celda llegaron una diferencia de temperatura de $\Delta T \approx 22,7^\circ\text{C}$, se quitó la fuente de corriente y se observó el efecto Seebeck. El gráfico 6 muestra los datos obtenidos de la variación del voltaje con respecto a la variación de la diferencia de temperatura entre las caras. Este comportamiento lineal es justamente lo que predijo la aproximación de la ecuación (2), en el que la pendiente es el coeficiente de Seebeck. Se realizó un ajuste lineal obteniendo que dicho coeficiente es $\alpha = (6134 \pm 9) \cdot 10^{-6} \frac{\text{V}}{\text{K}}$.

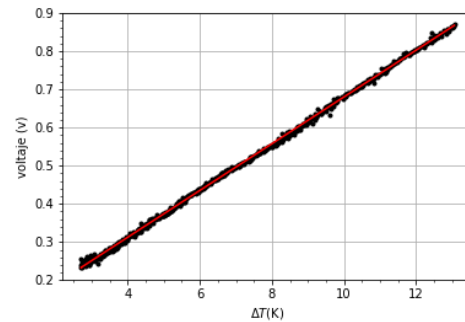


Figura 6: Ajuste lineal de la variación de la diferencia de potencial con respecto a la variación de la diferencia de temperaturas en el efecto Seebeck.

3. Resultados y análisis

Lo primero que se pudo observar de forma intuitiva fue que efectivamente, al pasar una corriente por la celda Peltier se producía una diferencia de temperatura en sus caras, así que se tomó registro de dichas temperaturas. En la Figura 5 se puede observar ese registro de y además, la diferencia de temperaturas en color rojo. Cabe destacar que, como sólo nos interesaba observar este fenómeno cualitativamente, el gráfico se encuentra en grados Celsius mientras que el resto de los resultados los presentaremos en grados Kelvin. Esto se debe a que se puede observar más fácilmente que a $\Delta T \approx 22,7^\circ\text{C}$ (mismo valor para $^\circ\text{K}$), es predominante el efecto Joule y ambas caras de la celda comienzan a calentarse, manteniendo así una diferencia de temperatura constante.

En la medición del rendimiento detallada en la sección de Dispositivo Experimental se registró la variación de la diferencia de temperatura con respecto al tiempo, la cual se puede

observar en la Figura 7. La potencia de la cara fría P_F está dada por la siguiente ecuación, donde $m_{Al} = (0,025 \pm 0,001)$ g es la masa del disipador de aluminio utilizado y $c_{Al} = 0,89 \frac{J}{g^\circ K}$ es su calor específico.

$$P_F = m_{Al} c_{Al} \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (10)$$

Mediante los datos obtenidos para α de la Figura 6, teniendo en cuenta el área de la celda $A = 0,0004 \text{ m}^2$ y la distancia entre las caras $d = 0,003 \text{ m}$; y basándonos en la ecuación (10), se realizó un ajuste lineal en el cual se obtuvo la potencia absorbida por la cara fría, si además comparamos esta potencia con la potencia entregada a la celda obtenemos, mediante la ecuación (9), un coeficiente de rendimiento como máquina frigorífica de $COP = 2,795$. Al comparar este valor con el $COP_{ideal} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$, obtenemos un rendimiento del 9,34 % con respecto al rendimiento ideal como máquina frigorífica.

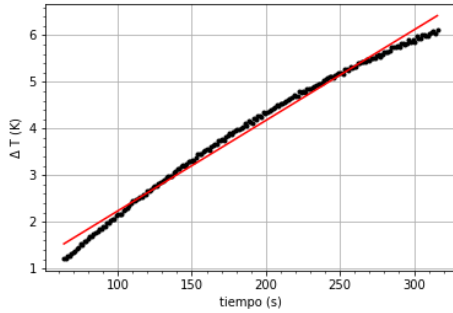


Figura 7: Ajuste lineal de la variación de temperatura con respecto al tiempo en la medición del rendimiento como máquina frigorífica.

Para encontrar la resistencia de la placa se utilizó la ecuación (7), obteniendo $R = (2,546 \pm 0,081) \Omega$. Finalmente, una vez obtenidos α , R , P_F y además utilizando las medidas características de la celda Peltier, se obtuvo mediante las ecuaciones (5) y (6) un valor para la conductividad térmica de $K = (0,494 \pm 0,110) \frac{W}{m^2 K}$. Por último, la Figura 8 muestra de forma cualitativa del rendimiento en función de la variación de la temperatura.

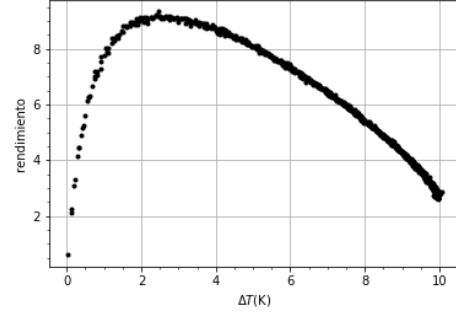


Figura 8: Rendimiento de la celda con respecto a la diferencia de temperatura entre sus caras. Se observa que hay un máximo aproximadamente en 9 %.

4. Conclusiones

En este trabajo se realizó la caracterización una celda Peltier utilizando dos armados experimentales, el primero para el cálculo de su coeficiente de Seebeck α mediante la evolución de la temperatura en el tiempo, y el segundo para obtener la resistencia R , conductividad térmica K y el rendimiento de la celda como máquina frigorífica.

Durante la evolución de la temperatura, la cara caliente aumenta su temperatura de manera continua, mientras que la cara fría, en un primer momento disminuye su valor hasta llegar a un valor mínimo para luego aumentar, evidenciando el efecto Joule. Al alcanzar las caras una $\Delta T \approx 22,7^\circ C$, se quitó la fuente de corriente y se observó el efecto Seebeck; para el cual se realizó un ajuste lineal a los datos recolectados (ΔV en función de ΔT), obteniendo $\alpha = (6134 \pm 9) * 10^{-6} \frac{V}{^\circ K}$. Si bien el coeficiente Seebeck depende de la temperatura; en el intervalo de tiempo trabajado ($\approx 16 \text{ min}$) se comporta de manera constante.

Para la medición del rendimiento se registró la variación de la diferencia de temperatura con respecto al tiempo. Se obtuvo además la potencia de la cara fría P_F en función de estos parámetros y la potencia de la celda como el producto entre la corriente y el voltaje entregado por el generador de corriente continua, obteniendo un coeficiente

de rendimiento como máquina frigorífica de $COP = 2,795$, es decir, un 9,34 % del rendimiento de una máquina ideal como máquina frigorífica.

Por último, con los datos obtenidos y utilizando la ecuación (7) se obtuvo la resistencia de la celda $R = (2,546 \pm 0,081) \Omega$. Utilizando este valor y los hallados para α , P_F y las medidas de la celda (área A y distancia entre caras d), se encontró el valor para la conductividad térmica de $K = (0,494 \pm 0,110) \frac{W}{m^2 K}$, resultando un poco más baja que la del agua; comparable con materiales como ladrillo refractario o mica.

5. Bibliografía

[1] – [6] http://materias.df.uba.ar/lab04Ba2016c1/files/2016/03/Guia_L4_Peltier.pdf