

# EFECTO PELTIER

Patterson, G. - Sobral, M.

Laboratorio 4 - Dpto. de Física - FCEyN - UBA.

(Dated: 5 de Diciembre de 2007)

En el presente trabajo se exponen los resultados del estudio del efecto Peltier manifestados en una celda fabricada con elementos de hierro y constantán. La misma fue caracterizada determinando los coeficientes netos de Seebeck ( $\alpha = (-9.35 \pm 0.62)\text{mV}/^\circ\text{K}$ ), conductividad térmica ( $K = (273 \pm 5)\text{mW}/^\circ\text{K}$ ) y resistencia ( $R = (411 \pm 1)\text{m}\Omega$ ). Luego se analizó su performance como máquina térmica en función de la potencia suministrada, obteniéndose un máximo rendimiento para  $I = (707 \pm 40)\text{mA}$ . Por último se estudió el comportamiento de un sistema de dos celdas conectadas en serie térmica; se observó un mayor rendimiento en este tipo de configuración.

## I. INTRODUCCIÓN

Para empezar a entender el efecto Peltier, hace falta primero conocer los efectos termoeléctricos de Joule, Seebeck y Thomson. La interacción entre un fenómeno eléctrico y térmico se conoce desde el siglo XIX, cuando Joule observó que la materia ofrece cierta resistencia al movimiento de los electrones, los cuales ceden energía cinética al entorno en los sucesivos choques (efecto Joule). Esta energía proporcionada por los electrones se disipa en forma de calor. Sin embargo, no es éste el único fenómeno de interacción termoeléctrica.

El efecto Peltier fue descubierto en el año 1834 por el físico francés Peltier J. C. A. Surgió sobre la base del descubrimiento del físico alemán Seebeck T. J. en 1821, quien observó que en un circuito formado por dos conductores distintos, cuyas uniones soldadas se encuentran en medios con temperaturas distintas, aparece entre ambos una diferencia de potencial. Esta diferencia de potencial es función de la naturaleza de los conductores y de la diferencia de temperaturas. Este dispositivo se conoce como termopar. La esencia del efecto Peltier, que básicamente es el contrario del efecto Seebeck, consiste en hacer pasar una corriente procedente de una fuente de energía, a través de un circuito formado por dos conductores de distinta naturaleza, obteniéndose que una de sus uniones absorbe calor y la otra lo cede. El calor que cede el foco caliente será la suma de la energía eléctrica aportada al termo elemento y el calor que absorbe el foco frío. Estos termo elementos, configurados de este modo, constituyen una máquina térmica.

El efecto Thomson, descubierto en 1857 por Thomson W., consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor eléctrico, con un gradiente de temperaturas, por el cual circula una corriente eléctrica.

## II. MARCO TEÓRICO

### Efecto Joule<sup>[1]</sup>

La más conocida interacción entre un fenómeno eléctrico, la conducción de corriente eléctrica, y su fenómeno térmico asociado, el calentamiento del conductor por el que circula la corriente, es el Efecto Joule. La materia ofrece cierta resistencia al movimiento de los electrones, los cuales ceden energía

cinética al entorno en los sucesivos choques. Esta energía proporcionada por los electrones se disipa en forma de calor.

$$Q = I^2 R t, \quad (1)$$

donde  $Q$  es la energía calorífica producida por la corriente,  $I$  es la intensidad de la corriente que circula,  $R$  es la resistencia eléctrica del conductor y  $t$  es el tiempo.

### Efecto Seebeck<sup>[2]</sup>

Thomas J. Seebeck descubrió que en un circuito formado por dos metales distintos homogéneos,  $A$  y  $B$ , con dos uniones a diferente temperatura,  $T$  y  $T+\Delta T$ , se establece un flujo de corriente eléctrica  $J$ , o bien, si se abre el circuito una fuerza termo electromotriz (*f.t.e.m.*)  $E_{AB}$  que depende de los metales utilizados en la unión y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones. En la Figura 1 se muestra el esquema de las configuraciones mencionadas.

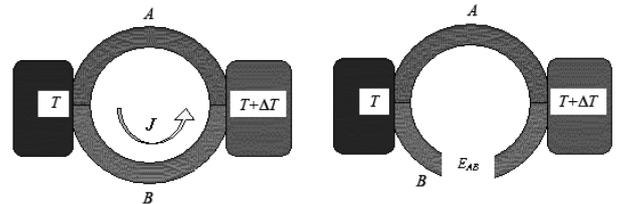


Figura 1: Esquema del efecto Seebeck.

La relación entre la *f.t.e.m.*,  $E_{AB}$ , y la diferencia de temperaturas entre las uniones  $\Delta T$ , define el coeficiente Seebeck.

$$\alpha_{AB} = \frac{\partial E_{AB}}{\partial T} = \alpha_A - \alpha_B, \quad (2)$$

donde  $\alpha_A$  y  $\alpha_B$  son respectivamente las potencias termoeléctricas absolutas de  $A$  y  $B$  y son características de cada metal. En general,  $\alpha_{AB}$  no es constante, sino que depende de la temperatura  $T$ .

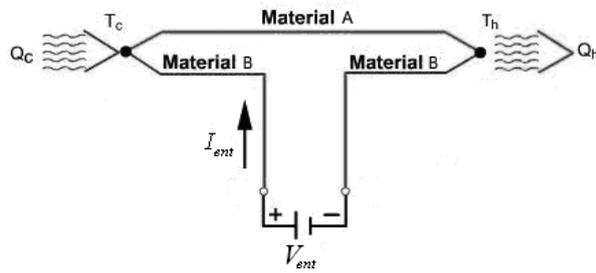


Figura 2: Esquema del efecto Peltier.

### Efecto Peltier<sup>[3]</sup>

El efecto Peltier consiste en el enfriamiento o calentamiento de una unión entre dos conductores distintos al pasar una corriente eléctrica por ella y que depende exclusivamente de la composición y temperatura de la unión. En la figura 2 se observa el esquema del circuito.

La potencia calorífica intercambiada en la unión entre  $A$  y  $B$  es

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

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,  $J$  es el flujo de corriente eléctrica,  $\Delta T$  la diferencia de temperatura absoluta entre  $A$ - $B$  y  $\alpha_{AB}$  el coeficiente Seebeck.

Por lo tanto, al conectar la celda fabricada a una fuente de alimentación de corriente continua, la potencia que se absorbe corresponde a un término debido al efecto Joule y otro debido al efecto Peltier<sup>[4]</sup>. De (1) y (3) se determina la potencia absorbida.

$$P_{ent} = I^2R + I\Delta T\alpha_{AB}, \quad (4)$$

donde  $P_{ent}$  es la potencia suministrada por la fuente.

### Conducción térmica<sup>[5]</sup>

Por último existe un trabajo interno que se debe a la conducción térmica determinada por la ley de Fourier. Establece que la tasa de transferencia de calor por conducción en una dirección dada, es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección. Como es un trabajo interno este término no ha de ser tenido en cuenta en (4). Por lo tanto el calor que fluye del foco más caliente al frío por unidad de tiempo para cada elemento es

$$\dot{Q} = \frac{kA\Delta T}{l}, \quad (5)$$

donde  $k$ <sup>[6]</sup> es el coeficiente de conductividad térmica de cada elemento por unidad de longitud a través de unidad de sección,  $A$  es la sección normal a la dirección del flujo,  $l$  la longitud de cada elemento y  $\Delta T$  la diferencia de temperatura en los

extremos del elemento. Por último se define como conductividad térmica de la celda a la suma de las contribuciones de cada elemento

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{k_i A_i}{l_i}, \quad (6)$$

donde  $n$  es el número de elementos que componen la celda.

## III. DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL

Para armar la celda termoelectrica se utilizaron dos metales: hierro y constantán. Ambos consistían en alambres de  $(1.48 \pm 0.01)$ mm. de diámetro y  $(16.06 \pm 0.01)$ mm. de longitud. Dichos elementos fueron montados eléctricamente en serie y en paralelo térmico. En la figura 3 se puede observar las disposiciones de los elementos, las conexiones entre ellos, el sentido de circulación de la corriente y el de flujo de calor. El elemento denominado  $B$  en nuestro caso fue el constantán, mientras que el  $A$  fue hierro. La celda constaba de 25 elementos de constantán y 24 de hierro. El conductor eléctrico que unía eléctricamente los elementos fue estaño. Por último como aislante eléctrico se utilizó mica, debido a que esta tiene buenas propiedades de conducción térmica. Para realizar mediciones

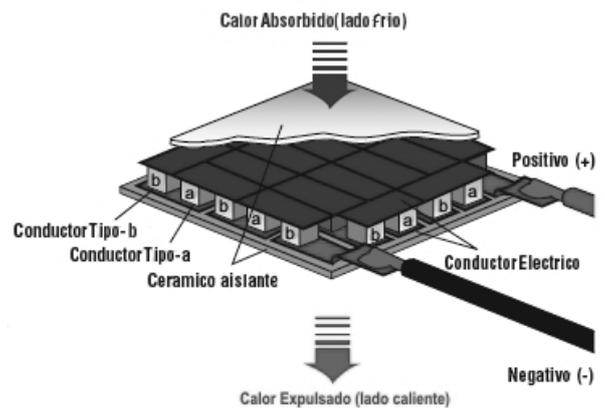


Figura 3: Diagrama experimental de la celda.

simultáneas se montaron dos sensores de temperatura, uno en cada foco térmico. Los sensores utilizados fueron LM-35<sup>[7]</sup>; un circuito integrado el cual responde linealmente ante variaciones de temperatura. La relación entre voltaje de salida y temperatura medida es de  $10mV/^\circ C$  con un error de la temperatura medida de  $0,25^\circ C$  a temperatura ambiente. Ambos sensores se alimentaron a través de la placa de adquisición MPLI. Las mediciones se llevaron a cabo ubicando la celda dentro de un envase de telgopor para evitar perturbaciones del ambiente en la misma. La fuente de alimentación utilizada fue GW GPR-3060, mientras que la corriente y la caída de potencial se midieron utilizando multímetros Protek 506<sup>[8]</sup>.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar se realizaron mediciones cualitativas de las temperaturas de los focos mientras circulaba una corriente fija. Se observó que el foco frío lograba bajar su temperatura por debajo de la de ambiente, mientras que el foco caliente aumentaba por encima de esta. Luego se observó que ambos focos aumentaban su temperatura, no obstante la diferencia de estos seguía en aumento hasta llegar a un equilibrio. Por último ambas temperaturas de los focos llegaban a un punto estacionario y quedaban constantes manteniendo el  $\Delta T$  logrado hasta ese momento. Las figuras (4) y (5) muestran las mediciones anteriormente mencionadas.

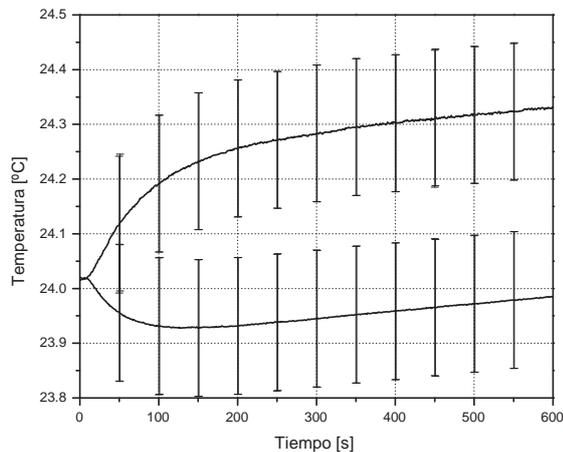


Figura 4: Temperatura en función del tiempo de los focos de la celda a  $I = 199\text{mA}$ .

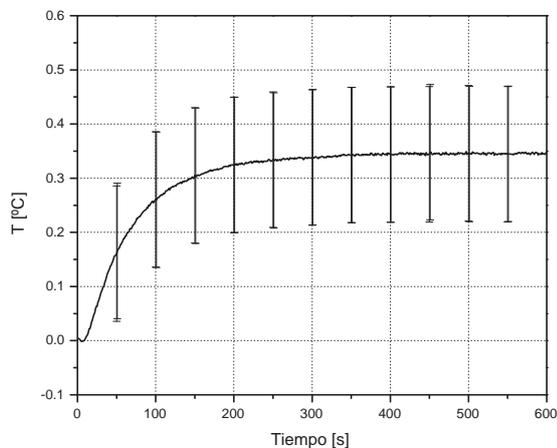


Figura 5: Variación de temperatura de los focos en función del tiempo a  $I = 199\text{mA}$ .

Luego se definió  $\Delta T_P$ , este parámetro representa la diferencia de temperatura entre los dos focos cuando la temperatura del foco frío es mínima. Este parámetro se introduce para medir el rendimiento de Peltier de la celda. Una observación importante a tener en cuenta es que  $\Delta T_P$  depende de la temperatura ambiente, ya que entre la celda y el ambiente existe flujo de calor. Por esta razón se definió como rendimiento de la celda al cociente entre  $\Delta T_P(I)$  y  $\Delta T_{P-max}$ . En la siguiente figura se exponen los valores de rendimiento en función de la corriente.

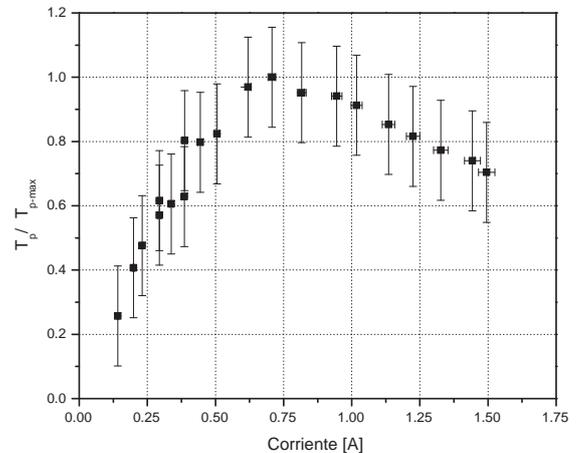


Figura 6: Rendimiento de la celda en función de la corriente.

Se puede observar de la figura (6) que existe un rango de corriente de alimentación a la cual el rendimiento se encuentra entre 80-100% de eficacia. Dicho intervalo se encuentra comprendido entre 444mA y 1225mA. Mientras que el máximo valor de rendimiento es cuando  $I = (707 \pm 40)\text{mA}$ .

Una vez que se encontró un valor de rendimiento óptimo, para terminar de caracterizar la celda se tenían que determinar los valores  $R$ ,  $\alpha$  y  $K$ . Para hallar los dos primeros, variando la potencia entregada por la fuente, se hicieron mediciones simultáneas de la corriente que circulaba por la celda, la caída de potencial en la misma y  $\Delta T$  estacionario. De la ecuación (4) se sabe que existe una relación entre estos parámetros. En la figura (7) se observan los valores medidos.

Como se observa, existe una relación lineal entre los datos, por lo que por medio de un ajuste por cuadrados mínimos y el método de Monte Carlo se determinan los coeficientes  $R = (411 \pm 1)\text{m}\Omega$  y  $\alpha = (-9.35 \pm 0.62)\text{mV}/^\circ\text{K}$ .

El coeficiente de conductividad térmica de la celda se halló individualmente para cada elemento y luego se sumaron según (6). El valor determinado fue  $K = (273 \pm 5)\text{mW}/^\circ\text{K}$ .

Por último se conectó en serie térmica una celda de 41 elementos de constantán y 40 de hierro. A ambas celdas se les hizo circular la misma corriente y se midió la temperatura en las caras externas del dispositivo serie. La figura (8) muestra dichas mediciones.

Cabe destacar que con esta configuración se logra obtener

## V. CONCLUSIONES

Se observó el efecto Peltier en las mediciones, también que los efectos Joule y de conducción térmica ganan relevancia a tiempos posteriores a los que el efecto Peltier predomina. En la situación de conectar las celdas en serie, se manifestó un incremento del efecto Peltier.

Cuantitativamente se pudo determinar la existencia de un valor máximo de corriente de alimentación para el cual el rendimiento es óptimo. También se observó que hay un rango de valores de corriente amplio en el cual el rendimiento de la celda se mantiene por encima del 80% del valor máximo. Se corroboró la correlación entre  $\Delta U$ ,  $I$  y  $\Delta T$  determinado los coeficientes  $\alpha$  y  $R$ .

## VI. PERSPECTIVAS

Estudiar el efecto Peltier utilizando materiales tales que el coeficiente neto de Seebeck sea mayor que el estudiado. De esta manera se esperaría lograr temperaturas más bajas. Poder determinar el coeficiente de conducción térmica midiendo los flujos de calor en los focos. Realizar análisis cuantitativos de montajes de celdas en serie. Realizar mediciones en vacío, de esta forma disminuir el flujo de calor entre la celda y el ambiente.

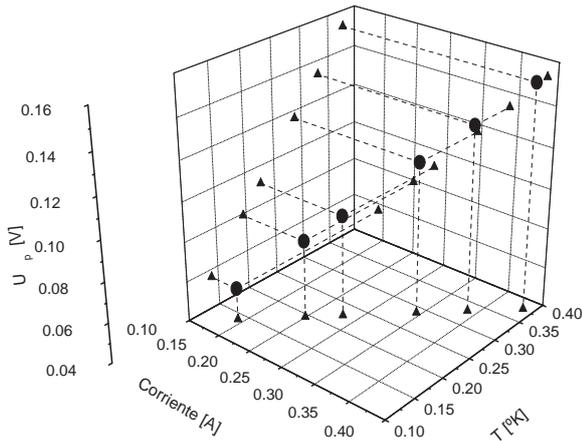


Figura 7:  $\Delta U$  en función de  $I$  y  $\Delta T$ .

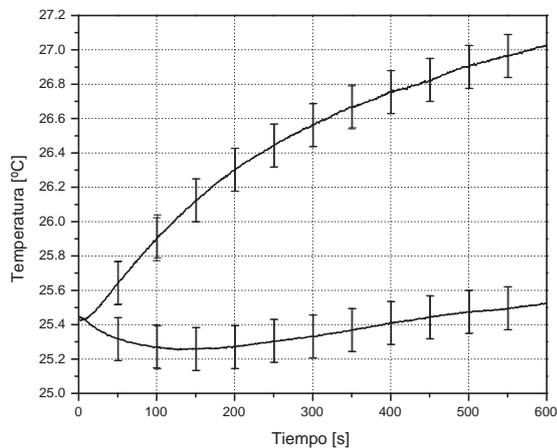


Figura 8:  $T$  en función del tiempo. Celdas en serie aplicando una corriente de 440mA.

un  $\Delta T_P$  mayor ( $\Delta T_P = (0.777 \pm 0.125)^\circ\text{K}$ ), circulando la misma corriente, que en la experiencia anterior con una sola celda ( $\Delta T_P = (0.317 \pm 0.125)^\circ\text{K}$ ).

- [1] Y. M. Galperin, *Introduction to modern solid state physics*, Oslo, pg:107 (2001).  
 [2] Ver ref. 1, pg:107(2001).  
 [3] Ver ref. 1, pg:107(2001).  
 [4] Melcor, *Thermoelectric handbook*, pg:10 (2000).  
 [5] Ver ref. 1, pg:107(2001).

- [6] Ver ref. 4, pg:12 (2000).  
 [7] <http://www.ortodoxism.ro/datasheets/nationalsemiconductor/DS005516.PDF>  
 [8] Se pueden encontrar las especificaciones para el multímetro en el manual de Protek 506.