

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

---

# Eficiencia de una Máquina de Calor y Diferencias de Temperaturas

---

*Integrantes:* MATIAS CONTRERAS ORELLANA

FELIPE ESPINOZA ARANCIBIA

*Fecha laboratorio:* 29 de Abril, 2015

*Fecha entrega:* 5 de Mayo, 2015



# Resumen

Se calculó la eficiencia real y de Carnot de un Aparato de Eficiencia Térmica, el cual utiliza un convertidor termoeléctrico llamado *Aparato Peltier*, obteniendo valores promedio de 0.007 con una desviación estándar de  $10^{-5}$  y 0.117 con una desviación estándar de 0.002 respectivamente. Siendo la eficiencia real un 6 % de la eficiencia de Carnot.

# Objetivos

- Determinar la eficiencia actual y la eficiencia de Carnot de una máquina de calor en función de las temperaturas operantes.

# Introducción

Una máquina térmica es un dispositivo que toma energía por calor y, al funcionar en un proceso cíclico, expulsa una fracción de dicha energía mediante trabajo. Para realizar esto, se extrae calor de una depósito caliente ( $Q_h$ ), parte de este calor es usado para desarrollar un trabajo ( $W_{máq}$ ) mientras que la otra parte del calor es depositado en un depósito frío ( $Q_c$ ). Este proceso se puede apreciar en al Figura 1.

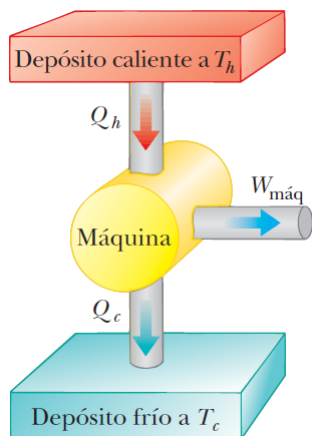


Figura 1: Máquina térmica. Imagen tomada de Serway - Física para ciencias e ingeniería.

Si aplicamos el principio de conservación de energía, obtendremos la siguiente expresión:

$$Q_h = W_{máq} + Q_c \quad (1)$$

Se define la eficiencia de una máquina térmica como:

$$e = \frac{W_{máq}}{Q_h} \quad (2)$$

Es posible notar en la fórmula (2), que si la eficiencia fuera 1 (100 %), el trabajo solo dependería del calor extraído de la fuente caliente y no se necesitaría un depósito frío. Esto se denomina *máquina perfecta*.

Nicolas Léonard Sadi Carnot demostró que no existe una máquina con mayor eficiencia que la denominada *máquina de Carnot*, siendo la eficiencia de Carnot:

$$e_{Carnot} = \frac{T_h - T_c}{T_h} \quad (3)$$

Donde las temperaturas mediadas en Kelvin utilizando:

$$K = ^\circ C + 273 \quad (4)$$

Además, es posible notar en la fórmula (3), que resulta necesario el depósito frío.

En una máquina de calor real son inevitables las pérdidas de energía causadas por fricción, conducción del calor, radiación, etc. estas pérdidas provocan una disminución de la eficiencia y dependen del mecanismo interno con el cual operan las máquinas.

A modo de simular una situación ideal, se calculará la eficiencia de un Aparato de Eficiencia Térmica (TD8564), el cual utiliza un convertidor termoeléctrico llamado *Aparato Peltier*, este convierte calor en energía eléctrica y viceversa, operando entre dos temperaturas fijas las cuales, en este caso, son dos bloques de aluminio a temperatura fría ( $T_c$ ) y temperatura caliente ( $T_h$ ). Estas temperatura serán medidas con un termistor, por lo que es necesario una tabla de conversión la cual será añadida en la sección Anexo.

Para calcular la eficiencia, se medirá la potencia de energía transferida:

$$P_h = \frac{dQ_h}{dt} \quad (5)$$

Por lo que la eficiencia de la máquina será:

$$e = \frac{P_w}{P_h} \quad (6)$$

Donde  $P_w$  es el trabajo desarrollado por el aparato Peltier dado por:

$$P_w = \frac{V_w^2}{R_0} \quad (7)$$

Siendo  $V_0$ ,  $R_0$  el voltaje y resistencia realizado por el aparato Peltier respectivamente.

El calor  $P_h$  que entra a la máquina será medido monitoreando el voltaje y la corriente de entrada al calentador que calienta el bloque de aluminio.

$$P_h = V_h \cdot I_h \quad (8)$$

Utilizando estos resultados será posible calcular la eficiencia teórica de la máquina de calor, utilizando la fórmula (3), y la eficiencia real de máquina utilizando (5). Calcularemos promedios de estas eficiencias utilizando:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (9)$$

con base en esto podemos definir la desviación estándar, la cual indica que mientras menor sea el valor de esta, mayor será la concentración de datos respecto al promedio:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

## Montaje experimental y procedimiento.

### Materiales:

- Aparato de eficiencia térmica

- Fuente de poder
- Agua-Hielo
- Óhmetro
- Amperímetro
- 2 Voltímetros
- Cables conectores

### Procedimiento:

Para llevar a cabo este experimento se comenzó por conectarlos voltímetros, el óhmetro y el amperímetro al aparato de eficiencia térmica tal como aparece en la figura siguiente.

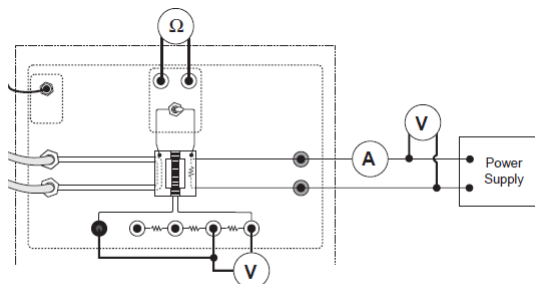


Figura 2: Conexiones Aparato de eficiencia. Imagen tomada de manual de aparato de eficiencia térmica.

Luego de tener todas las conexiones hechas, se llenó el jarro con agua y se echó un pedazo de hielo dentro de él. Una vez listo el jarro se conectó al aparato y se posicionó en altura de modo que el agua cayera mediante el tubo por efecto de la gravedad.

Acabado lo anterior se procedió a entregar un voltaje al aparato de eficiencia térmica, mientras al mismo tiempo se enfriaba por medio del jarro con agua y hielo.

La variable más controlable era el voltaje, por lo cual se variaba esta magnitud y se notó cómo cambiaban las demás producto de esto. Se realizaron nueve variaciones en total. Se comenzó con un voltaje de 2 Volt aproximadamente. Al entregar este voltaje el aparato se calentaba por

lo que se debió esperar un tiempo de aproximadamente 5 minutos hasta que su temperatura se estabilizara. Es posible saber la temperatura del aparato gracias al óhmetro, ya que este indica el valor de la resistencia de las fuentes frías y calientes en el aparato de peltier, y utilizando la tabla de conversión es posible conocer la temperatura en todo tiempo. Una vez estabilizada esta, se midieron los valores de la temperatura en la parte fría y la parte caliente, junto con medir la corriente y el voltaje del aparato de Peltier.

Se varió el voltaje en 1V repitiendo el mismo procedimiento mencionado anteriormente hasta llegar a un valor de 10Volts.

Cabe destacar que la intención fue que la temperatura fría se mantuviera aproximadamente constante, por lo que en la quinta y octava repetición se echó nuevamente un pedazo de hielo al jarro para que este no aumentara demasiado su temperatura.



Figura 3: Montaje experimental.

## Resultados y análisis

A continuación se presentan los datos obtenidos. Se utilizó la tabla de conversión y la fórmula (4) para expresar la temperatura en Kelvin. Además, se utilizaron las fórmulas (7) y (8) pa-

ra calcular  $P_w$  y  $P_h$  respectivamente, utilizando  $R_0 = 2\Omega$ .

$T_h(K)$	$T_c(K)$	$V_h(mV)$	$I_h(\Omega)$	$V_w(mV)$	$P_h$	$P_w$
283	277	1.996	0.38	0.053	0.76	0.001
287	277	3	0.58	0.09	1.74	0.004
294	278	4	0.78	0.151	3.12	0.01
304	278	5	0.98	0.237	4.9	0.03
314	278	6	1.18	0.328	7.08	0.05
322	278	7	1.38	0.407	9.66	0.08
334	279	8	1.58	0.509	12.64	0.13
347	278	9	1.78	0.633	16.02	0.2
369	278	1.98	0.794	351	19.8	0.31

Tabla 1: Datos obtenidos.

Se graficará la eficiencia real junto con la eficiencia de Carnot, calculadas con las fórmulas (3) y (6), respecto a  $1/T_h (K^{-1})$ .

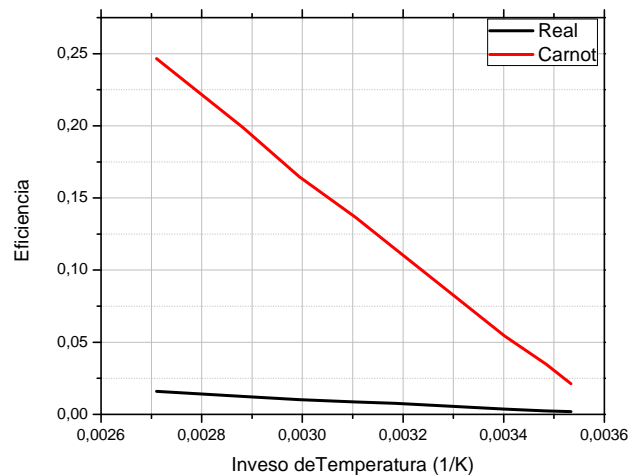


Figura 4: Gráfico de eficiencias vs inverso de temperatura.

Es claro notar en la Figura 2, que la eficiencia real es siempre menor que la eficiencia de Carnot, además ambas disminuyen a medida que la temperatura de la fuente caliente disminuye (recordando que se graficó respecto al inverso de la temperatura), teniendo en cuenta que se mantuvo la temperatura de la fuente fría constante en la medida de lo posible.

Calculado un valor promedio de ambas eficiencias mediante la fórmula (9), tenemos que la

eficiencia de Carnot alcanza un valor promedio de 0.117 con una desviación estándar (calculada utilizando la formula (10)) de 0.002, mientras que la eficiencia real alcanza un valor promedio de 0.007 con una desviación estándar de  $10^{-5}$ . Con estos valores, se calculó que la eficiencia real es un 6 % de la eficiencia de Carnot, lo cual es un resultado esperado dado que la eficiencia de un aparato de Peltier ronda en este porcentaje de eficiencia respecto a una máquina ideal. En general, como principales fuentes de error se consideró la variación de temperatura de la fuente fría, dado que esta tendía a aumentar rápidamente por lo que exigía depositar más hielo lo cual no permitió mantener la temperatura fría constante a pesar de que se logró que solo variara 3 grados.

que se entregaba voltaje y producto de que el jarro estaba en contacto con el ambiente.

Otra fuente de error es que al momento de medir los datos de la resistencia (o temperatura en su defecto), estos variaban rápidamente, a pesar de que se esperó un tiempo razonable para que ambas temperaturas se estabilizaran, esto nunca ocurrió en su totalidad.

Sumado a esto también se tiene que por motivos que se desconocen, a veces la fuente no entregaba un valor de la corriente y debía ser desconectada y encendida nuevamente.

Con base en todo lo mencionado anteriormente, se cumplió el objetivo propuesto en el comienzo de este informe.

## Conclusión

En este experimento se quería obtener la eficiencia real del aparato de peltier versus el caso en donde la eficiencia es máxima, que sería una máquina de Carnot.

Al observar los datos se logró comprobar que efectivamente la eficiencia real está muy por debajo respecto a la de una máquina de Carnot. Esto ya que, calculando un valor promedio se obtuvo que la eficiencia de Carnot es de 0.117 con una desviación estándar de 0.002, mientras que la eficiencia real tiene un valor promedio de 0.007 con una desviación estándar de  $10^{-5}$ , lo que significa que la eficiencia real es un 6 % de la eficiencia de una máquina de Carnot. Con estos datos se pudo concluir que si queremos transformar calor en trabajo, esta máquina no sería de las más útiles.

También se pudo ver que ambas eficiencias disminuían a medida que la temperatura de la fuente caliente disminuía, esto a temperatura de la fuente fría constante.

Como principales fuentes de error se tiene que la fuente de temperatura fría no podía ser del todo constante, ya que esta se calentaba a medida