

Motor de Stirling

Universidad Nacional de Colombia
Laboratorio de Termodinámica

Ana L. Agredo U. , Jefferson S. Arias , Rafael Hurtado C.

23 de octubre de 2017

I. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

Robert Stirling diseño y patentó un motor de aire caliente que podía convertir en trabajo parte de la energía liberada al quemar un combustible. El motor de Stirling fue útil y popular durante muchos años, pero, al desarrollarse las máquinas de vapor y los motores de combustión interna, finalmente cayó en desuso.

El motor de Stirling se puede utilizar para fines cualitativos e investigaciones cuantitativas del ciclo de Stirling, puede ser operado en tres modos diferentes: motor térmico, bomba de calor y refrigerador, en el presente laboratorio se analizó los dos primeros, motor térmico y bomba de calor.

I. Bomba de Calor

La bomba térmica o de calor es capaz de transferir una energía calorífica Q_c , a un foco caliente desde una fuente fría de la que absorbe un calor Q_f , si se realiza un determinado trabajo, W , sobre la máquina.

El rendimiento térmico η de la bomba se define así

$$\text{Rendimiento Termico} = \frac{\text{Calor transferido}}{\text{Trabajo producido}}$$

es decir:

$$\eta = \frac{|Q_c|}{|W|} \quad (1)$$

de la anterior ecuación podemos despejar y obtener la relación:

$$|Q_c| = \eta |W| \quad (2)$$

II. Motor Térmico

El motor térmico recibe un calor Q_c , de un foco o fuente caliente, efectúa un trabajo W , y debe ceder calor, Q_f , a un foco frío. Este proceso es justo el opuesto al realizado por la bomba de calor.

El rendimiento térmico η del motor se define así

$$\text{Rendimiento Termico} = \frac{\text{Trabajo producido}}{\text{Calor absorbido}}$$

es decir

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_c|} \quad (3)$$

Análogamente despejando $|W|$ obtenemos la relación:

$$|W| = \eta |Q_c| \quad (4)$$

II. ARREGLO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO

El objetivo de esta practica es poder observar la eficiencia del motor de stirling usando un montaje proporcionado por 3B Scientific, el cual cuenta con dos modos de uso para obtener datos de rendimiento. El primer modo hace referencia al motor de stirling como generador eléctrico, mientras que el segundo modo es el funcionamiento inverso como bomba de calor.

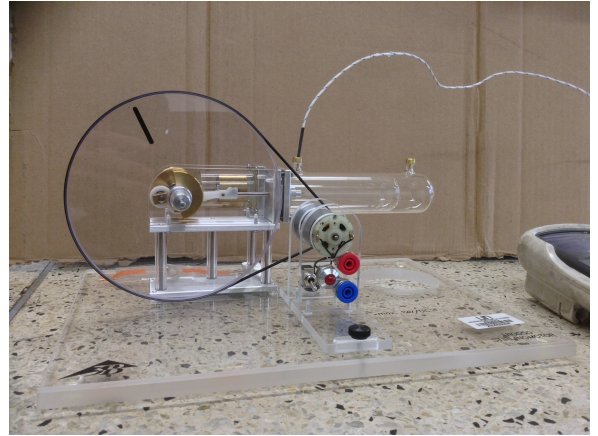


Figura 1: Vista lateral equipo 3B Scientific - stirling motor.

Como se observa en la figura el montaje cuenta con dos cilindros de vidrio donde se comprime y expende el gas, transfiriendo ese movimiento con un pistón a una polea donde mediante una banda se conecta al eje de un motor eléctrico de 12 voltios.

El montaje cuenta con dos conectores a los cilindros de vidrio para determinar la temperatura en cada extremo, también cuenta con dos conectores para suministrar energía al motor eléctrico o para obtener energía si se usa como generador. Para el modo generador eléctrico se debe suministrar una llama de fuego al cilindro de vidrio, para lo cual se usa un mechero de alcohol al cual se le puede ajustar el tamaño de la llama de fuego.

Una vez ajustado el motor se procede a conectar los correspondientes elementos de medición, en este caso se usan dos termopares conectados a los adaptadores del motor usando dos multímetros, en cuanto a los terminales del motor eléctrico de usa otro multímetro como medidor de voltaje.

Dispuestos todos los instrumentos de medición se procede

a obtener datos. En un primer caso obtenemos los datos del motor de stirling como bomba de calor añadiendo una diferencia de potencial fija con una fuente de voltaje durante 6 minutos, al finalizar el tiempo se tomaron los datos de temperatura finales con cada termopar, este procedimiento se repitió cada 1 voltio desde 2,5V hasta 9,5V. En esta parte se procuro que las condiciones iniciales fuesen la misma en cada medición dado a que los conectores se calientan y toman un tiempo en retomar la temperatura inicial.

Para el generador de electricidad se dispuso la llama mínima a partir de la cual la polea del motor comenzara a moverse venciendo la inercia del motor eléctrico, en cuanto a la toma de datos (temperaturas y voltaje) se tomaron para diferentes graduaciones de la llama dado a que es muy difícil obtener valores de temperatura particulares variando la llama de fuego.

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

I. Bomba de Calor

Al operar el motor se Stirling como bomba de calor según el procedimiento descrito anteriormente se obtuvo para cada valor de voltaje suministrado los valores de temperatura que se presentan en la figura 2 donde se observa la dependencia directa entre la temperatura que puede alcanzar el equipo a un voltaje dado.

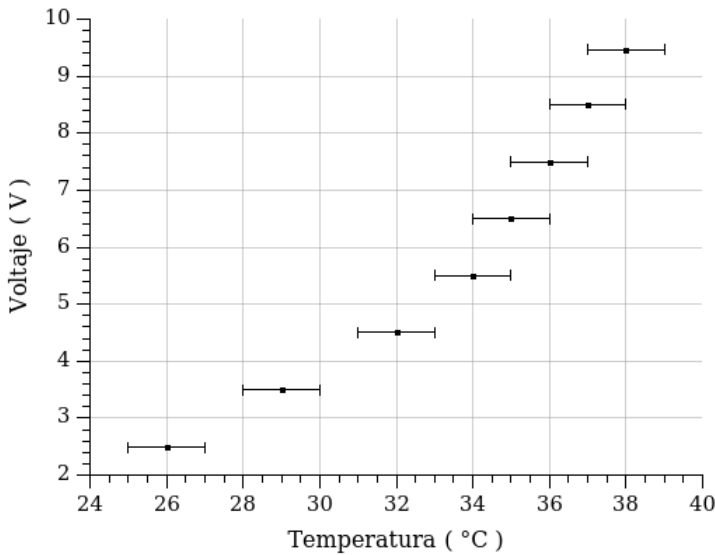


Figura 2: Temperaturas obtenidas al suministrar cada voltaje

el trabajo realizado por la bomba de calor, para producir un aumento en la temperatura a partir de una diferencia de potencial, esta dado por la diferencia entre el calor transferido Q_C y el calor absorbido Q_H . Reemplazando en (1) se obtiene:

$$\eta = \frac{|Q_C|}{|Q_C| - |Q_H|}$$

Asumiendo que los procesos en los que el sistema realiza trabajo, es decir la expansión y compresión del gas, son isotérmicos y se dan a temperaturas T_1 y T_2 respectivamente, del teorema de Clausius podemos escribir la ecuación anterior como:

$$\eta = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (5)$$

La figura 3 muestra las coeficientes de rendimiento obtenidos, se observa que el motor es mas eficiente a voltajes pequeños pero su incertidumbre es mas alta. Al aumentar el voltaje el coeficiente tiende a un valor $COP \approx 20$ de eficiencia como bomba de calor.

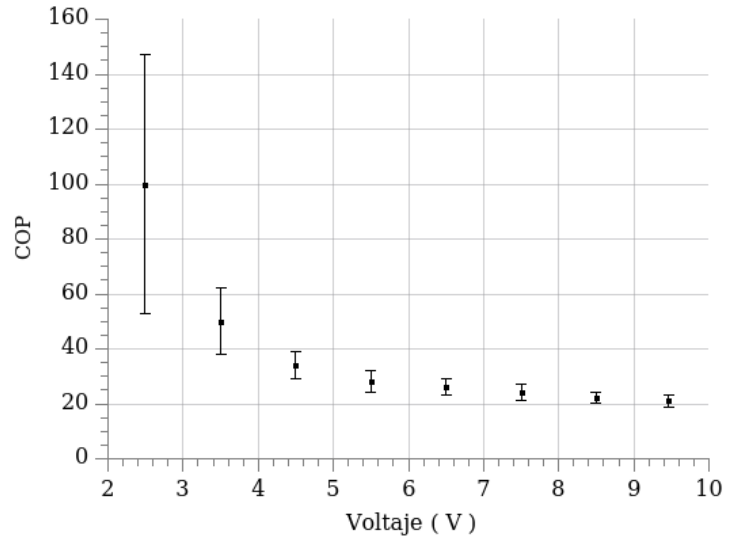


Figura 3: Eficiencia del motor de Stirling como bomba de calor

II. Motor Térmico

Cuando se operó el motor de Stirling como generador eléctrico el motor se demoró en ponerse en funcionamiento y solo lo hizo al alcanzar temperaturas muy elevadas, los datos obtenidos se pueden observar en la figura 4 donde es clara la variabilidad en los valores de voltaje obtenidos.

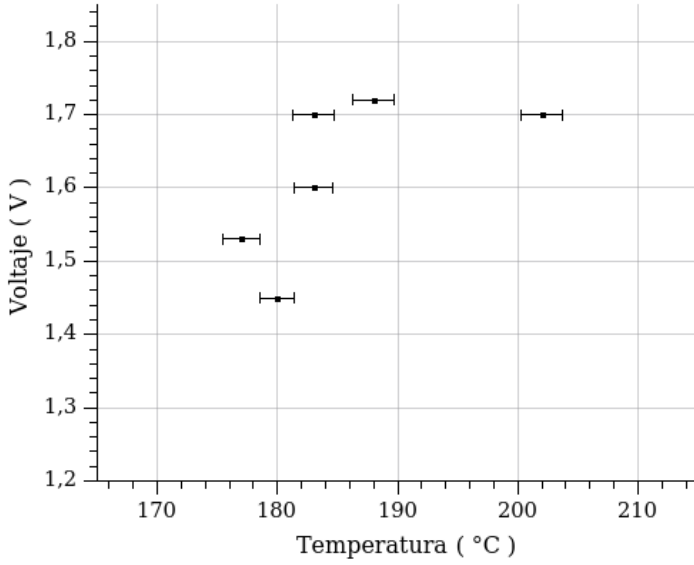


Figura 4: –

Nuevamente el trabajo realizado por el motor corresponde a la diferencia entre Q_C y Q_H y la ecuación (3) se puede escribir como:

$$\eta = \frac{|Q_C| - |Q_H|}{|Q_C|}$$

Análogo al caso anterior, el rendimiento del motor está dado por

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (6)$$

Según (6) se calculó las eficiencias correspondientes a cada valor de voltaje que se muestran en la figura 5.

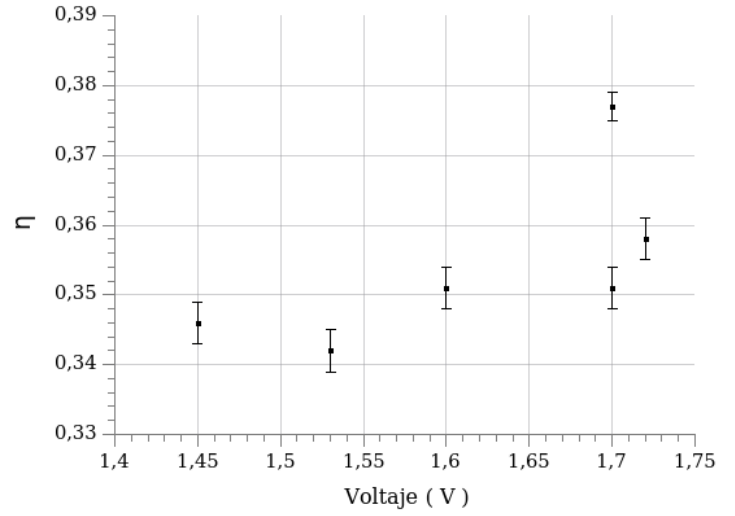


Figura 5: Eficiencia del motor de Stirling como generador eléctrico

Se encontró que el motor de Stirling, al utilizarse como generador eléctrico tiene en promedio una eficiencia $\eta = 0,35 \pm 0,01$.

IV. CONCLUSIONES

- De este reporte se obtuvo que el motor de Stirling funciona como generador eléctrico con una eficiencia $\eta = 0,35 \pm 0,01$ y que bomba de calor $COP \approx 20$ al aplicar voltajes mayores a 5V.
- Cabe anotar que en el análisis no se tuvieron en cuenta perdidas de trabajo o calor por vibración, lo cual se observó cuando se trabajó el motor como generador eléctrico.

REFERENCES

- [1] Stirling engine guide. LEP 3.6.04. PHYWE