

Serie 9: Máquinas térmicas y Entropía

1. Un mol de gas ideal ($c_v = 3/2R$) realiza el siguiente ciclo:

AB Se expande contra una presión exterior constante, en contacto térmico con una fuente de calor a 300 K, desde $V_A = 10$ L hasta el volumen de equilibrio con la presión externa $V_B = 20$ L.

BC Se traba el volumen en 10 L, se pone el gas en contacto térmico con una fuente de calor 200 K hasta llegar al equilibrio.

CD Manteniéndolo en contacto térmico con esta última fuente, se lo comprime reversiblemente hasta volver a su volumen inicial.

DA Trabando el volumen en 10 L, se pone el gas en contacto térmico con la fuente a 300 K, hasta llegar al equilibrio.

- (a) Calcule el trabajo entregado por el gas en cada etapa del ciclo.
- (b) Calcule el trabajo total entregado. ¿Varió la energía interna del gas respecto del valor inicial al completarse el ciclo? En base a su respuesta, indique el calor absorbido por el gas durante el ciclo.
- (c) Calcule el calor total que entregó cada una de las fuentes. ¿Cuál perdió calor? ¿Cuál lo ganó?
- (d) Calcule la eficiencia del ciclo, definida como $\epsilon = W/Q_1$, donde Q_1 es el calor absorbido de la fuente de 300 K.

2. Se tiene una máquina térmica reversible que opera según el ciclo de Carnot entre dos fuentes de calor a temperaturas T_1 y T_2 , siendo $T_1 > T_2$. Si dicha máquina toma 550 kcal de la fuente a temperatura T_1 y entrega un trabajo equivalente a 300 kcal, ¿qué cantidad de calor se entrega a la fuente fría y cuánto vale la eficiencia (rendimiento) de dicha máquina?

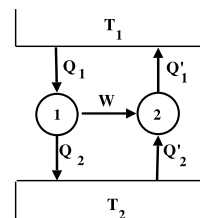
3. Si una máquina de Carnot opera entre dos fuentes de la misma naturaleza, entregando un trabajo equivalente a 500 kcal y devolviendo a la fuente fría 300 kcal, ¿cuál es la relación entre las temperaturas absolutas de dichas fuentes?

4. Supóngase tener una máquina de Carnot operando como refrigerador, entre las temperaturas de 277 K y 300 K.

- (a) ¿Cuánto vale su eficiencia?
- (b) Si se desean extraer 200 cal de la fuente fría, ¿qué cantidad de trabajo habrá que entregarle y qué cantidad de calor se entrega a la fuente caliente?

5. Dos máquinas operan tal como lo indica el gráfico. Se sabe que la temperatura de la fuente caliente es de 600 K, que la máquina 1 es reversible y absorbe 300 kcal cediendo 100 kcal, y la máquina 2 absorbe 50 kcal de la fuente 2.

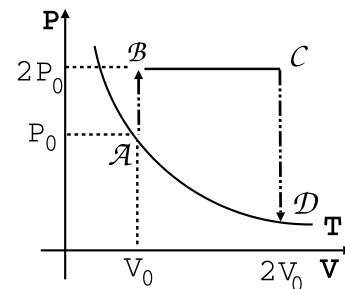
- (a) Calcule la temperatura de la fuente fría.
- (b) ¿Cuál es la eficiencia de ambas máquinas?
- (c) ¿Es reversible la máquina 2? ¿Por qué?



6. Supóngase tener un sistema que evoluciona reversiblemente, entregando 500 cal a 500 K y recibiendo 300 cal a 300 K. ¿Cuánto vale su variación de entropía?

7. Si un sistema evoluciona isotérmicamente a 27°C y la entropía varía en 4 kcal/K , ¿cuánto calor recibió?
8. Dado un gas ideal en condiciones de P, V y T que sufre una transformación cualquiera quedando en condiciones P_2, V_2, T_2 , calcular la variación de entropía usando como variables:
- P y T .
 - P y V .
 - V y T .
9. Suponga que tiene un kilo de hielo a -20°C al que se le entrega calor hasta llevarlo a agua líquida a 20°C . Si la capacidad calorífica específica del hielo en esas condiciones es $0.5\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$, la del agua es $1\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ y el calor latente de fusión del hielo es 80 cal/g . Calcule la variación de entropía del proceso.
10. Un cilindro térmicamente aislado cerrado por ambos extremos está provisto de un pistón sin rozamiento, conductor de calor y que divide en dos partes. Inicialmente se sujeta al pistón en el centro, quedando a un lado 1 litro de gas ideal a 300 K y 2 atm de presión, y al otro lado 1 litro de gas ideal a 300 K y 1 atm de presión. Se libera el pistón, alcanzando el equilibrio de presión y temperatura en una nueva posición. Halle la presión y temperatura finales y la variación de entropía.
11. Una máquina térmica trabaja entre $T_1 = 400\text{ K}$ y $T_2 = 200\text{ K}$, extrayendo en cada ciclo 10 kcal de la fuente 1. La eficiencia de la máquina es un 40% de la máxima posible para dicho par de temperaturas. Calcule:
- El trabajo por ciclo.
 - El calor entregado a la fuente de calor 2, por ciclo.
 - Las variaciones de entropía por ciclo de la sustancia que trabaja en la máquina, de la fuente 1, de la fuente 2 y del Universo.
 - Idem a), b) y c), pero para la máquina que tiene la eficiencia máxima posible trabajando entre las temperaturas T_1 y T_2 .

12. Una máquina funciona usando un gas ideal según el ciclo de la figura. Calcule:



- La eficiencia de la máquina.
- ΔS_U .

Datos: $P_B = P_C$; $V_A = V_B$; $V_C = V_D$; $c_v = 3/2R$; $T_A = 200\text{ K}$; $P_0 = 1\text{ atm}$; $V_0 = 10\text{ L}$

13. 1 kilogramo de agua a 0°C se pone en contacto con una fuente a 100°C .
- Calcule la variación de entropía del Universo cuando el agua alcanza la temperatura de la fuente.
 - Calcule la variación de entropía del Universo si el agua se pone primero en contacto con una fuente a 50°C , y luego de alcanzada esa temperatura, se la pone en contacto con la fuente de 100°C .
 - Calcule la variación de energía interna del agua y de las fuentes.
14. Una máquina reversible lleva un mol de gas ideal monoatómico ($c_v = 3/2R$, $\gamma = 5/3$) a través del ciclo ABCDA, con las siguientes características en cada una de las etapas:

AB: Expansión isotérmica hasta duplicar el volumen tal que $V_B = 2V_A$.

BC: Es una expansión adiabática hasta disminuir la temperatura hasta la mitad $T_C = T_B/2$.

CD: Compresión hasta $V_D = V_A$ a presión constante.

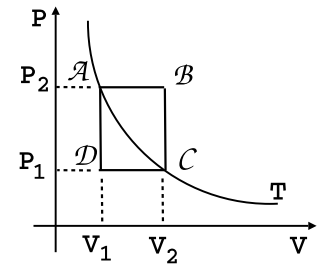
DA: Se cierra el ciclo a volumen constante, aumentando la presión hasta P_A .

- Calcular el trabajo, el calor entregado y la variación de energía en cada etapa del ciclo.
- Calcular la variación de entropía del sistema y del Universo en un ciclo.
- Calcular el rendimiento.

Datos: $P_A = 16.2 \text{ atm}$, $V_A = 2 \text{ L}$

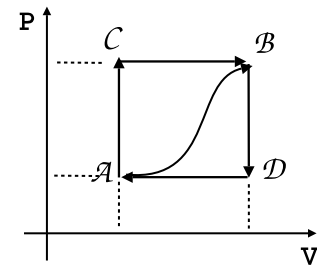
15. La figura representa cinco transformaciones, $a-b$, $b-c$, $c-d$, $d-a$ y $a-c$, trazadas en el plano $P-V$, correspondientes a un gas ideal en un sistema cerrado. Representar los mismos procesos:

- en el plano $P-T$
- en el plano $T-V$
- Sean $P_2 = 10 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $P_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $V_1 = 2.5 \text{ m}^3$. Determinar:
 - la temperatura T .
 - el volumen V_2 .
 - las temperaturas en los puntos b y d .
 - el volumen real V en el punto (i) si el sistema consiste en 4 kilomoles de hidrógeno.
 - la masa del hidrógeno.



16. Cuando el sistema pasa del estado a al estado b , a lo largo de la trayectoria $a-c-b$, recibe un flujo de calor 80 J y el sistema realiza un trabajo de 30 J .

- ¿Cuánto calor fluye en el sistema a lo largo de $a-d-b$ si el trabajo realizado es 10 J .
- ¿El sistema vuelve del estado b al estado a a lo largo de la trayectoria curva. El trabajo realizado sobre el sistema es 20 J . ¿Cuánto calor absorbe o cede el sistema, si es que lo absorbe o lo cede?
- Si $U_a = 0$ y $U_d = 40 \text{ J}$, determinar el calor absorbido en los procesos $a-d$ y $d-b$. Calcular el rendimiento o coeficiente de eficiencia según corresponda.

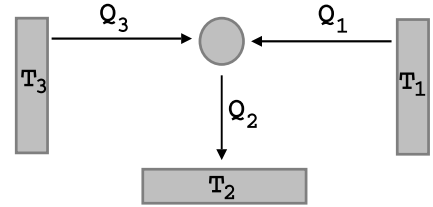


17. Para el problema 4 de la serie 9, halle la variación de entropía del gas, de la fuente de calor, y del Universo para los casos en que:

- La expansión es irreversible.
- La expansión es reversible.

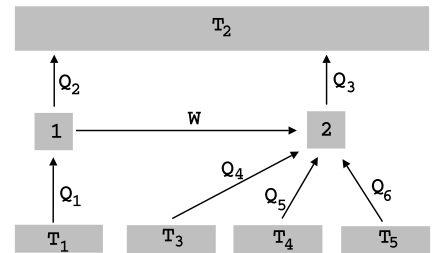
18. Una heladera “de campo” no recibe trabajo de ningún tipo, y sin embargo, extrae calor de una fuente fría a T_1 (el interior de la heladera) y lo entrega al medio ambiente, que se halla a una temperatura $T_2 > T_1$. Esto es posible porque la máquina térmica trabaja entre tres fuentes de calor (no es simple) y aunque parezca paradójico, esta tercera fuente, que en la práctica es cualquier sustancia en combustión, se halla a una temperatura $T_3 > T_2$. El esquema de la máquina es el que se muestra en la figura.

- (a) Recordando que $W = 0$, calcule la relación que debe haber entre Q_1 , Q_2 y Q_3 .
- (b) Haciendo la aproximación *grosera* de que la máquina es reversible, utilice la igualdad de Clausius para hallar Q_1 sabiendo que $Q_3 = 1000$ cal y conociendo las temperaturas $T_1 = 200$ K, $T_2 = 300$ K y $T_3 = 1000$ K.



19. A la máquina del problema anterior se la puede considerar como una combinación de dos máquinas reversibles: M_1 que trabaja como máquina térmica entre T_3 y T_2 , absorbiendo Q_3 y entregando Q'_2 a T_2 y un trabajo W que se utiliza para arrastrar a otra máquina M_2 (frigorífica reversible) que trabaja entre T_2 y T_1 , extrayendo Q'_1 de T_1 y entregando Q''_2 a T_2 . Compare Q_1 con Q'_1 , y Q_2 con $Q'_2 + Q''_2$, respetando la convención de signos: el calor absorbido por la máquina es POSITIVO y el calor entregado por la máquina es NEGATIVO.
20. Sean las máquinas de la figura. Se sabe que la máquina 2 es reversible. **Datos:** $T_1 = 800$ K; $T_3 = 150$ K; $T_4 = 300$ K; $T_5 = 100$ K; $|Q_2| = 400$ cal; $|Q_3| = 400$ cal; $|Q_4| = 100$ cal; $|Q_5| = 70$ cal; $|Q_6| = 10$ cal.

- (a) Halle la eficiencia de la máquina 1.
- (b) Calcule la temperatura de la fuente 2.
- (c) ¿Es reversible la máquina 1? Justifique.
- (d) Calcule la variación de la entropía del Universo.



21. Un recipiente de 10 litros se encuentra dividido por un pistón móvil que separa 1 mol de gas ideal monoatómico de un mol de gas de Van der Waals, cuya ecuación de estado es $PV + a/V = RT$ y la energía $U = c_v T - a/V + \text{cte}$ ($dU = c_v dT - aV^{-2}dV$, $a = 1\text{L}^2 \text{atm}$). El sistema se pone en contacto con una fuente de temperatura $T_0 = 243.9$ K.
- (a) ¿Qué volumen ocupa cada gas?
- (b) Si se destraba el pistón superior realizándose una expansión contra presión externa $P_{\text{ext}} = 1$ atm. ¿Cuáles son los nuevos volúmenes de equilibrio?
- (c) Calcular la variación de entropía de cada gas y del universo.