

FÍSICA 4

SEGUNDO CUATRIMESTRE DE 2023

GUÍA 2: SEGUNDO PRINCIPIO, MÁQUINAS TÉRMICAS Y FRIGORÍFICAS

1. Demostrar que:

- a) Los postulados del segundo principio de Clausius y de Kelvin son equivalentes.
- b) Ninguna máquina cíclica que funciona entre dos fuentes de temperatura puede tener mayor rendimiento que una máquina reversible que funciona entre las mismas temperaturas.
- c) Todas las máquinas reversibles que operan entre dos fuentes de temperatura tienen el mismo rendimiento.

2. **Convención gráfica.** Usando la convención gráfica según la cual una máquina simple que entrega trabajo positivo se representa como en siguiente figura:

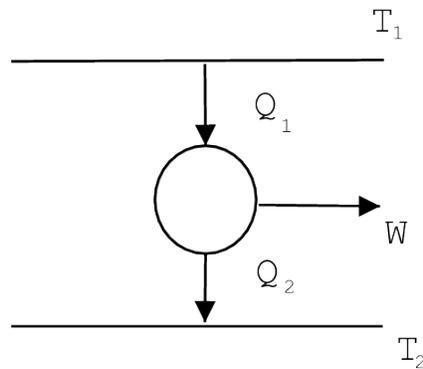


Figura 1: Convención gráfica

- a) Haga el esquema de una estufa eléctrica
- b) Haga el esquema para una heladera. Cuál es en la práctica la fuente fría y cuál la caliente?)
- c) Es posible una máquina como la indicada en la fig. 7a)? Puede ser reversible? Y una como la que se indica en la fig. 7b)?

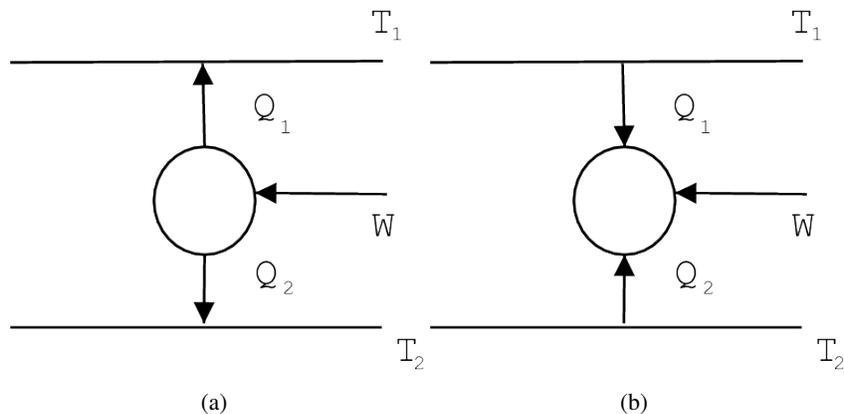


Figura 2: ¿Es posible?

3. Para enfriar un ambiente se abre la puerta de la heladera y se la hace funcionar. ¿Qué habría pasado con la temperatura del cuarto después de algún tiempo?
4. En una cocina hay una heladera y un equipo de aire acondicionado con unidad exterior. Se pretende mantener la temperatura de la cocina en un valor constante de 17°C y la del congelador en uno de -3°C . Por mala aislación el congelador absorbe de la cocina $200\text{ cal}/\text{min}$. La temperatura externa es de 27°C . Sabiendo que el refrigerador tiene una eficiencia del 60% con respecto a uno ideal y que el equipo de aire acondicionado tiene un rendimiento de 50% del ideal, calcule la potencia eléctrica consumida entre ambos artefactos.
5. **Heladera a gas.** La máquina térmica de una heladera a gas intercambia calor con las siguientes fuentes de calor: 1) una llama de gas, que se puede considerar una fuente de calor a 700K , y de la que absorbe Q_1 ; 2) una cámara frigorífica, de la que absorbe el calor Q_2 , y a la que se puede considerar como una fuente de calor a -10°C (esta temperatura se mantiene constante, porque la máquina debe absorber la misma cantidad de calor por ciclo que el que entra a la cámara en el mismo tiempo debido a la aislación imperfecta); 3) el aire de la habitación en que se halla la heladera, que constituye una fuente de calor a 20°C y al que entrega calor Q_3 . La máquina térmica no recibe ni entrega trabajo.
- a) Si la pérdida a la cámara por mala aislación vale $30\text{ cal}/\text{min}$, y la máquina térmica realiza $100\text{ ciclos}/\text{min}$, calcule cuánto debe valer Q_2/ciclo .
- b) Hallar el mínimo valor de Q_1/ciclo que debe absorber.
6. Considere las máquinas mostradas en la Fig. 3. Se sabe que la máquina 2 es reversible.
- Determine la eficiencia de la máquina 1.
 - Calcule la temperatura de la fuente superior, T_2
 - ¿Es reversible la máquina 1? Justifique.
 - Calcule la variación de entropía del universo e interprete el resultado.

Datos: $T_1 = 800\text{K}$; $T_3 = 150\text{K}$; $T_4 = 300\text{K}$; $T_5 = 100\text{K}$; $|Q_2| = 400\text{ cal}$; $|Q_3| = 400\text{ cal}$; $|Q_4| = 100\text{ cal}$; $|Q_5| = 70\text{ cal}$; $|Q_6| = 10\text{ cal}$.

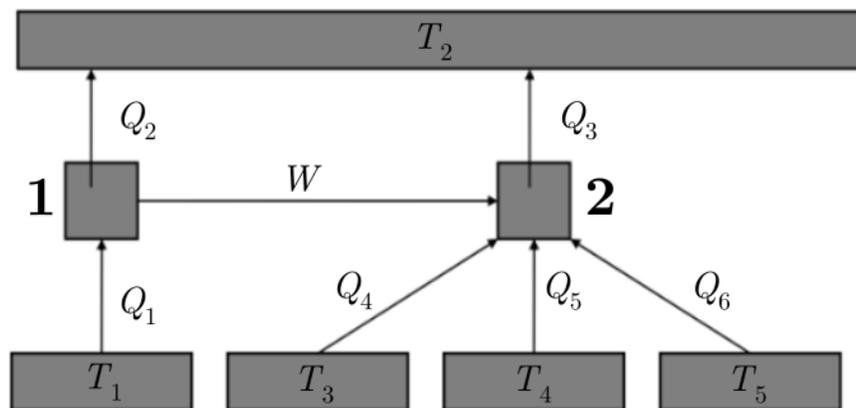


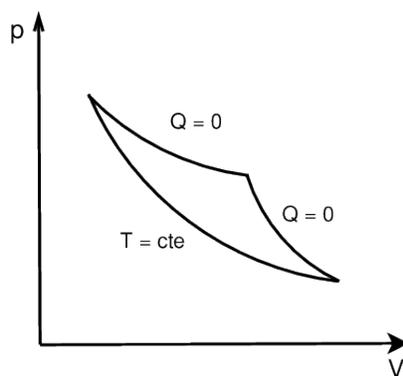
Figura 3: Máquinas

7. Calcular cómo cambia la eficiencia de una máquina reversible que opera entre dos fuentes cuando:

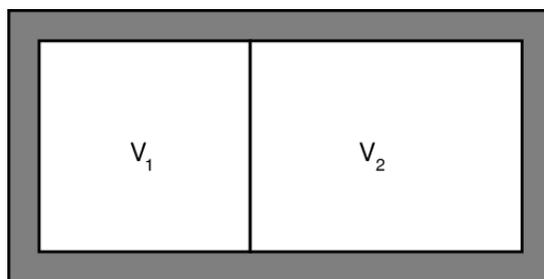
- a) Se aumenta la temperatura de la fuente superior en ΔT
- b) Se disminuye la temperatura de la fuente inferior en ΔT
- c) ¿Qué cambio produce un mayor aumento de la eficiencia?

8. **Principio del aumento de entropía.**

a) Explique si el siguiente ciclo es posible o no. Justifique su respuesta.



b) Sean dos gases puestos en contacto térmico a través de una pared diatérmica. Ambos están encerrados en un recipiente de paredes adiabáticas.



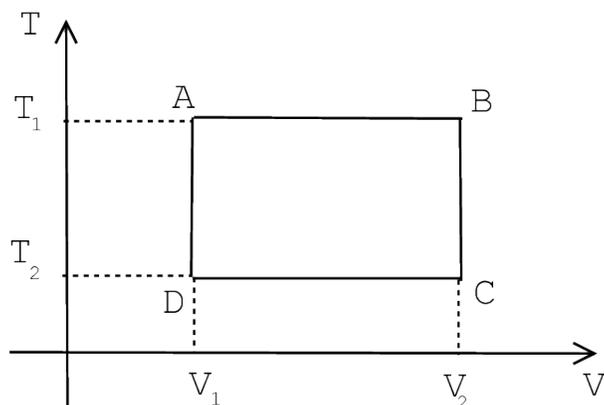
- 1) ¿Se conserva la energía del sistema?
- 2) ¿Cómo evolucionará la entropía del sistema? Escriba el diferencial de entropía, dS , para cada gas, considerando $S = S(E, V)$.
- 3) A partir del punto anterior, demuestre que, en el equilibrio, ambos gases alcanzan la misma temperatura.

9. ¿Qué puede decir sobre la magnitud $\int_A^B \delta Q/T$ en los siguientes casos?

- a) Un proceso reversible.
- b) Un proceso irreversible.
- c) Un proceso adiabático.

10. Se tiene 1 kg de hielo a -20°C al que se le entrega calor hasta llevarlo a agua líquida a 20°C . Calcule la variación de entropía de esta transformación.

11. Un mol de gas ideal diatómico realiza el siguiente ciclo reversible:

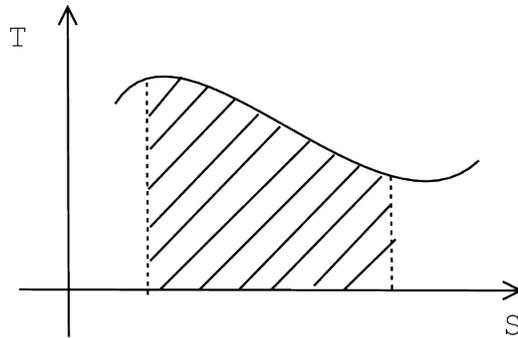


Ciclo reversible

- Calcule $\int \delta Q_R/T$ para los tramos AB, BC, CD y DA , y compruebe que su suma es nula.
 - ¿Cuánto vale $S(C) - S(A)$?
 - ¿Se puede pasar en forma adiabática de A a C si $T_1 = 500\text{K}$, $V_1 = 5\text{l}$ y $T_2 = 300\text{K}$, $V_2 = 30\text{l}$?
12. Un mol de gas ideal diatómico se halla en un recipiente adiabático provisto de un pistón en el estado A ($V_A = 2\text{l}$, $T_A = 300\text{K}$). Se saca la traba que retiene el pistón y el gas se expande contra la presión exterior constante de 1atm , hasta el volumen V_B , donde se encuentra una segunda traba para el pistón. La entropía del gas vale:
- $$S(T, V) = S(300\text{K}, 2\text{l}) + R \ln\left(\frac{V}{2\text{l}}\right) + C_V \ln\left(\frac{T}{300\text{K}}\right).$$
- Calcular:
- W_{AB} .
 - ΔU_{AB} .
 - $T_B = f(V_B)$.
 - $S_B - S_A$.
 - El valor $V_B = V_B^{(m)}$ que hace máxima la entropía total.
 - Hallar la presión termodinámica del gas cuando $V_B = V_B^{(m)}$.
 - Si en lugar de retirar una traba se quitaran ambas, ¿qué puede deducir respecto al volumen final que alcanzaría el gas en el equilibrio?

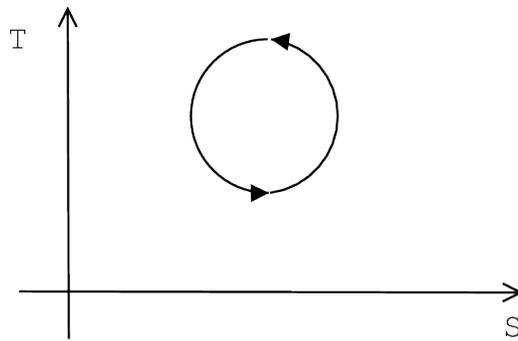
13. Diagramas $T - S$.

- ¿Qué se obtiene calculando el área bajo la curva, en un diagrama $T - S$?



¿Qué información aporta el área bajo la curva?

b) Si se realiza el siguiente ciclo: ¿cuánto vale la variación de energía interna?

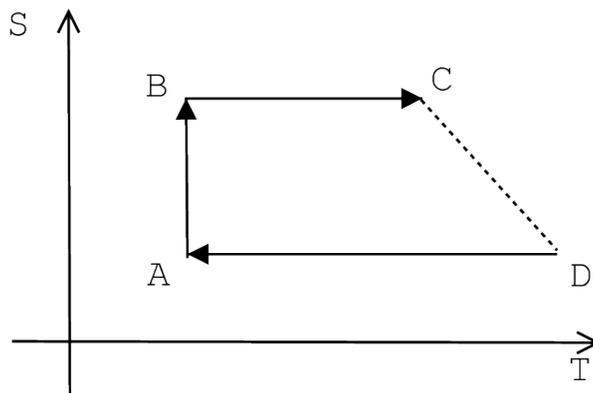


¿ ΔU ?

c) ¿Cómo es el gráfico en el diagrama $T - S$ de un proceso adiabático? ¿y uno isotérmico?

d) Dado el siguiente diagrama, con la rama CD irreversible, ¿cuál es la variación de entropía ΔS_{CD} ? (Suponga conocida ΔS_{AB} .)

¿Cómo se comparan con ΔS_{AB} las variaciones de entropía de las fuentes en los tramos AB y CD del ciclo?



¿ ΔS_{CD} ?

14. **Gas de Van der Waals.** Considere un mol de un gas de Van der Waals.
- Encuentre la expresión de la energía interna del gas, $U(T, V)$, a menos de una constante.
 - Encuentre la expresión de la entropía del gas, $S(T, V)$, a menos de una constante.
 - Considere un recipiente rígido y adiabático dividido en dos compartimientos separados por una válvula, inicialmente cerrada. Uno de los compartimientos de volumen V_1 , contiene un gas de Van der Waals a temperatura T_1 . El otro compartimiento de volumen V_2 , se encuentra vacío. En un momento dado, se abre la válvula, pudiendo entonces expandirse el gas. Suponga que la capacidad calorífica del gas a volumen constante, C_V , y la del recipiente, C , son constantes para temperaturas en un entorno considerable de T_1 .
 - ¿Qué función de estado se conserva? Justifique.
 - Encuentre la temperatura final del gas (tenga en cuenta al recipiente en el proceso).
15. **Expansión isobárica de un gas real.** Un mol de gas de Van der Waals se expande reversible e isobáricamente desde V_A hasta V_B . Tomando a P_A, V_A, T_A y V_B como datos, hallar:
- La temperatura final.
 - La variación de energía interna en el proceso.
 - El calor absorbido.
 - La variación de entropía.
16. **Fuentes térmicas no ideales.** Dos cuerpos idénticos, con capacidad calorífica a presión constante C_p independiente de la temperatura, se utilizan como fuentes de calor para una máquina térmica. Los cuerpos se mantienen a presión constante, e inicialmente sus temperaturas son $T_1 > T_2$. Finalmente, como resultado del funcionamiento de la máquina térmica, los cuerpos llegan a una temperatura final T_f .
- Calcule la cantidad total de trabajo W realizado por la máquina en función de c_p, T_2 y T_f .
 - Deduzca cuál es la temperatura T_f mínima a la que pueden llegar ambos cuerpos. Justifique.
 - Para temperaturas iniciales T_1 y T_2 , ¿cuál es el máximo trabajo que puede dar la máquina operando entre esos dos cuerpos?
17. **Gas de fotones.** Considere un gas a temperatura T para el cual vale la relación $P = u/3$, siendo u la energía interna por unidad de volumen y P la presión del gas. Considere que u depende solamente de la temperatura. Un gas con esta características se llama “gas de fotones”.
- Demuestre que $u = \sigma T^4$, con σ una constante. ¿Cuál es la ecuación de las adiabáticas?
 - Reobtener el resultado pero usando que la entropía es una función de estado y considerando un ciclo de Carnot adecuado.
18. **Ciclo de Stirling.** El ciclo de Stirling se realiza mediante dos procesos isotérmicos y dos isocoros. Para un gas ideal, según el gráfico

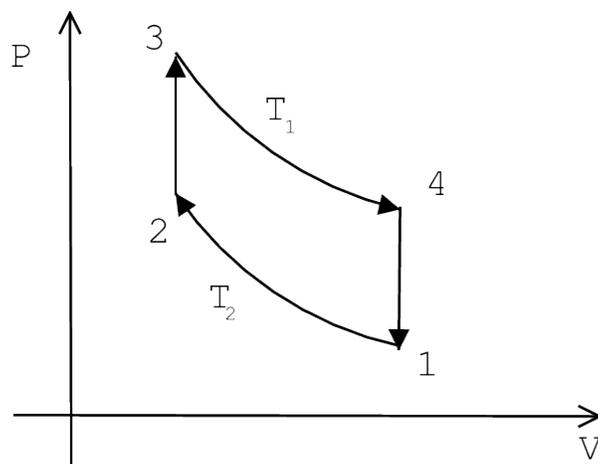


Figura 4: Ciclo de Stirling

- Dibujar el ciclo en el plano $T - S$, suponiendo que la sustancia es un gas ideal.
- Demostrar que $Q_{23} = -Q_{41}$
- Hallar la eficiencia.

19. **Ciclo de Stirling irreversible.** Un mol de gas ideal monoatómico realiza el siguiente ciclo:

- *AB*: Se expande contra una presión exterior constante en contacto térmico con una fuente de calor a 300K desde $V_A = 10l$ hasta alcanzar el equilibrio con la presión externa, donde el volumen es $V_B = 20l$.
- *BC*: Se traba el volumen y se pone al gas en contacto térmico con una fuente a 200 K hasta alcanzar el equilibrio.
- *CD*: Manteniendo el contacto térmico con esta fuente, se lo comprime reversiblemente hasta el volumen inicial.
- *DA*: Trabando el volumen nuevamente, se pone el gas en contacto con la fuente a 300K hasta llegar al equilibrio.

- Halle el trabajo en cada parte del ciclo, indicando si el gas entrega o recibe trabajo. Grafique el ciclo en un diagrama P-V explicitando qué tramos son reversibles y cuáles no lo son.
- Calcule la variación de energía interna, el calor intercambiado y la variación de entropía en el ciclo y en cada tramo del mismo. ¿Cuánto calor absorbe/cede el gas?
- ¿Se tiene una máquina térmica o frigorífica? Determine la eficiencia de la misma.
- Justifique lo respondido en el primer inciso a partir del principio de aumento de entropía, esto es, calculando la variación de entropía del universo.

20. **Paradoja de Gibbs.** Se tienen dos gases ideales diferentes en un recipiente aislado, a la misma p y T , pero separados por una pared diatérmica; ambos están entonces en equilibrio termodinámico. Se quita la pared. Si n_1, n_2 es el número de moles de cada gas, calcule la variación total de entropía como función de los n_i y de R . ¿Es éste un proceso reversible? ¿Qué pasa si el mismo gas se encuentra a ambos lados del tabique?