

---

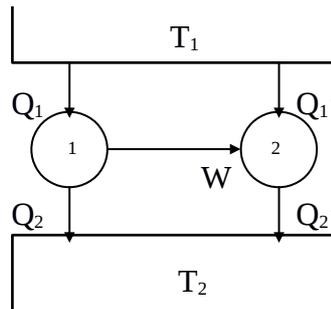
## Práctica N° 9: Máquinas térmicas y Entropía

---

- Un mol de gas ideal ( $C_v = \frac{3}{2} R$ ) realiza el siguiente ciclo:  
**AB)** Se expande contra una presión exterior constante, en contacto térmico con una fuente de calor a  $300^\circ\text{K}$ , desde  $V_A = 10$  litros hasta el volumen de equilibrio con la presión externa,  $V_B = 20$  litros.  
**BC)** Se traba el volumen en 20 litros, y se pone el gas en contacto térmico con una fuente de calor a  $200^\circ\text{K}$  hasta llegar al equilibrio.  
**CD)** Manteniéndolo en contacto térmico con esta última fuente, se lo comprime reversiblemente hasta volver al volumen inicial.  
**DE)** Trabando el volumen en 10 litros, se pone el gas en contacto térmico con la fuente a  $300^\circ\text{K}$ , 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  $\varepsilon = W/Q_1$ , donde  $Q_1$  es el calor total absorbido de la fuente a  $300^\circ\text{K}$ .
- 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 500kcal de la fuente a temperatura  $T_1$  y entrega un trabajo equivalente a 300kcal, ¿qué cantidad de calor se entrega a la fuente fría y cuánto vale la eficiencia (rendimiento) de dicha máquina?
- Si una máquina de Carnot opera entre dos fuentes, entregando un trabajo equivalente a 500kcal y devolviendo a la fuente fría 300kcal, ¿cuál es la relación entre las temperaturas absolutas de dichas fuentes?
- Supóngase una máquina de Carnot operando entre dos fuentes.  
**a)** Si se quiere obtener un trabajo con una eficiencia del 6% y se cuenta con una fuente fría cuya temperatura es de  $300^\circ\text{K}$ , ¿a qué temperatura deberá estar la fuente caliente?  
**b)** Si con la misma máquina y las mismas fuentes, se quiere obtener un trabajo equivalente de 100kcal, ¿cuánto vale el calor extraído de la fuente caliente, y cuánto vale el calor entregado a la fuente fría?
- Supóngase tener una máquina de Carnot operando como refrigerador, entre las temperaturas de  $277^\circ\text{K}$  y  $300^\circ\text{K}$ .  
**a)** ¿Cuánto vale su eficiencia?

b) Si se desean extraer 200 calorías de la fuente fría, ¿qué cantidad de trabajo habrá que entregarle y qué cantidad de calor se entrega a la fuente caliente?

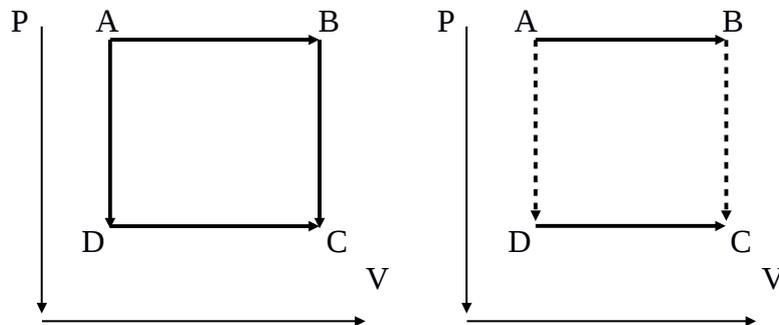
6. Dos máquinas operan tal como lo indica el gráfico. Se sabe que la temperatura de la fuente caliente es de  $600^{\circ}\text{K}$ , que la máquina 1 es reversible y absorbe 300kcal cediendo 100kcal, y la máquina 2 absorbe 50kcal de la fuente 2.
- Calcule la temperatura de la fuente fría.
  - ¿Cuál es la eficiencia de ambas máquinas?
  - ¿Es la máquina 2 reversible? ¿Por qué?



7. Supóngase tener un sistema que evoluciona reversiblemente, entregando 500cal a  $500^{\circ}\text{K}$  y recibiendo 300cal a  $300^{\circ}\text{K}$ . ¿Cuánto vale su variación de entropía?
8. Si un sistema evoluciona isotérmicamente a  $27^{\circ}\text{C}$  y la entropía varía en  $4 \text{ kcal}/^{\circ}\text{K}$ , ¿cuánto calor recibió?
9.
  - ¿Cuánto vale la variación de entropía en un sistema que evoluciona en forma adiabática y reversible? ¿Por qué?
  - ¿Cómo es la variación de entropía en un proceso que es adiabático e irreversible, siendo diferentes los estados inicial y final? Demuestre por qué.
10. Dado un gas ideal en condiciones  $p_1, V_1, T_1$  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  $T$ .
11. Supóngase tener 1kg. de hielo a  $-20^{\circ}\text{C}$  al que se le entrega calor hasta llevarlo a agua líquida a  $20^{\circ}\text{C}$ . Si la capacidad calorífica específica del hielo en esas condiciones es  $0,5 \text{ cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$  y la del agua es  $1 \text{ cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$  y el calor latente de fusión del hielo es  $80 \text{ cal}/\text{g}$ , calcule la variación de entropía del proceso.
12. Un cilindro térmicamente aislado cerrado por ambos extremos está provisto de un pistón sin rozamiento, conductor de calor y que divide al cilindro en dos partes. Inicialmente se sujeta al pistón en el centro, quedando a un lado 1 litro de gas ideal a  $300^{\circ}\text{K}$  y 2 atm. de presión, y al otro lado 1 litro de gas ideal a  $300^{\circ}\text{K}$  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.

13. Una máquina térmica trabaja entre  $T_1 = 400^\circ\text{K}$  y  $T_2 = 200^\circ\text{K}$ , extrayendo en cada ciclo 10kcal 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  $T_2$ .
14. 1 kg. de agua a  $0^\circ\text{C}$  se pone en contacto con una fuente a  $100^\circ\text{C}$ .
- 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  $50^\circ\text{C}$ , y luego de alcanzada esta temperatura, se pone en contacto con la fuente de  $100^\circ\text{C}$ .
  - Calcule la variación de energía interna del agua y de las fuentes.
15. Para los problemas 2a) y 3) de la serie 8 (“Calorimetría”), calcule la variación de entropía de la sustancia.
16. Para el problema 4 de la serie 10 (“Trabajo, Calor, Energía interna y Entalpía”), 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.
17. Una máquina reversible lleva 1 mol de gas ideal monoatómico ( $C_v = 3R/2$ ,  $\gamma = 5/3$ ) a través del ciclo ABCDA, con las siguientes características en cada una de las etapas:
- AB: Es una expansión isotérmica hasta duplicar el volumen  $V_B = 2V_A$   
 BC: Es una expansión adiabática hasta disminuir la temperatura a la mitad  $T_C = T_B/2$   
 CD: Es una compresión hasta  $V_D = V_A$  a presión constante.  
 DA: Se cierra el ciclo a volumen constante, aumentando la presión hasta  $P_A$
- DATOS:  $P_A = 16,2 \text{ atm}$ ,  $V_A = 2 \text{ litros}$
- Graficar cualitativamente el diagrama P – V correspondiente.
  - Calcular el calor absorbido por el gas, el cambio de energía interna y el trabajo efectuado por el gas en cada uno de los procesos y en el ciclo completo.
  - Indicar si este ciclo corresponde a una máquina térmica o frigorífica. Calcular su eficiencia.
18. Se tiene un mol de gas de Van der Waals:  $(P + a / V^2) (V - b) = RT$ , (para el cual  $U = C_v T - a/V + \text{cte}$ ) que se expande de  $V_o$  a  $2V_o$  contra  $P_{\text{ext}} = P_o = \text{cte}$  en un baño térmico de temperatura  $T_o$ . Calcular las variaciones de entropía del gas, la fuente y el universo indicando en cada caso si son positivas, nulas o negativas. Comparar con un gas ideal.

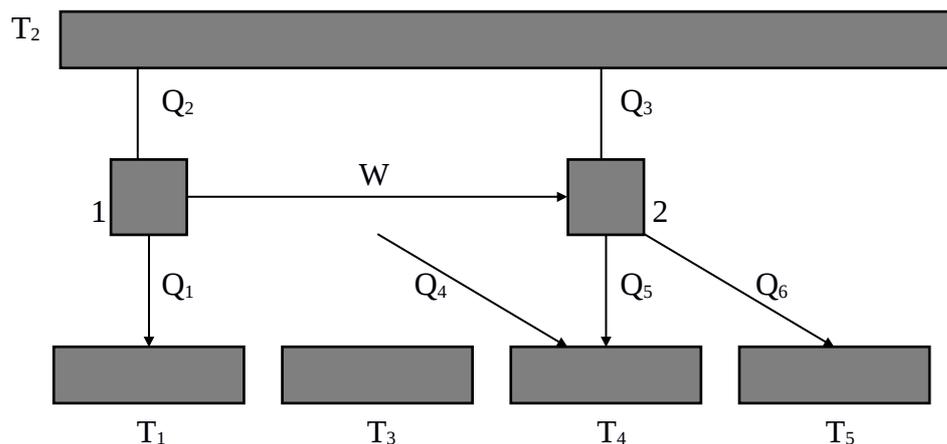
19. Dos máquinas funcionan usando 1 mol de gas ideal ( $C_V = \frac{5}{2} R$ ) según los ciclos que se muestran en los diagramas P-V.
- Calcule la eficiencia de ambas máquinas.
  - Calcule la eficiencia de una máquina de Carnot que funciona entre ambas temperaturas extremas. Compararla con las eficiencias calculadas en el ítem a).
- Datos:  $P_A = P_B = 2 \text{ atm.}$  ;  $P_C = P_D = 1 \text{ atm.}$  ;  $V_A = V_D = 1 \text{ litro}$  ;  $V_B = V_C = 2 \text{ litros.}$



20. Sean las máquinas de la figura. Se sabe que la máquina 2 es reversible.
- Halle la eficiencia de la máquina 1.
  - Calcule la temperatura de la fuente 2.
  - ¿Es reversible la máquina 1? Justifique.
  - Calcule la variación de entropía del universo.

Datos:  $T_1 = 800^\circ\text{K}$  ;  $T_3 = 150^\circ\text{K}$  ;  $T_4 = 300^\circ\text{K}$  ;  $T_5 = 100^\circ\text{K}$ .

$|Q_2| = 400 \text{ cal}$  ;  $|Q_3| = 400 \text{ cal}$  ;  $|Q_4| = 100 \text{ cal}$  ;  $|Q_5| = 70 \text{ cal}$  ;  $|Q_6| = 10 \text{ cal}$



21. Se tienen  $n$  moles de un gas que se expanden adiabáticamente desde un estado inicial (2 atm., 1 litro, 300°K) hasta un estado final ( $P_f$ ,  $V_f$ ,  $T_f$ ).
- a) Si el gas es ideal ( $C_v = \frac{5}{2} R$ ) y en el estado final se fija la presión  $P_f = 1$  atm., halle  $V_f$  y  $T_f$  en los siguientes casos:
- I) la evolución es reversible.
  - II) la evolución es irreversible y  $P_{ext} = 1$  atm.
  - III) la evolución es irreversible y  $P_{ext} = 0,5$  atm.
  - IV) la evolución es irreversible y  $P_{ext} = 0$  atm.
- b) Si el gas es ideal y en el estado final se fija el volumen  $V_f = 2$  litros, halle  $P_f$  y  $T_f$  en los cuatro casos planteados en el ítem a).
- c) Halle la variación de entropía del gas y del universo en cada una de las evoluciones anteriores.
- d) Halle la variación de energía interna y de entalpía del gas en cada evolución.
- e) Si el gas es de Van der Waals, ¿es  $\Delta T = 0$  en el caso a-IV)?

22. Un recipiente de tapa y paredes adiabáticas que contiene una masa de 1 kg de hielo a 0°C se pone en contacto a través de su base, diatérmica, con una fuente térmica de 100°C hasta que toda el agua se ha convertido en vapor a 100°C.
- a) ¿Cuánto vale la variación de entropía del agua, de la fuente y del universo?
- b) Si usando el mismo recipiente, la masa de hielo anterior se hubiese calentado desde 0°C hasta convertirlo completamente en vapor a 100°C pero poniéndolo en contacto con una fuente a 50°C y luego con la fuente de 100°C, ¿cambia alguna de las tres respuestas anteriores? En caso negativo, justificar la respuesta; en caso afirmativo, calcular los nuevos valores.

DATOS:  $C_{p(\text{agua líquida})} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$  ,  $C_{p(\text{agua vapor})} = C_{p(\text{hielo})} = 0,5 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$   
 $I_{fus(\text{agua})} = 80 \text{ cal/g}$  ,  $I_{vap(\text{agua})} = 540 \text{ cal/g}$

23. Un recipiente de 10 litros se encuentra dividido por un pistón móvil (ver figura) que separa 1 mol de gas ideal monoatómico de 1 mol de gas de Van der Waals cuya ecuación de estado es  $PV + a/V = RT$  ( $U = c_v T - a/V + \text{cte}$ ,  $dU = c_v dT + aV^{-2} dV$ ,  $a = 1 \text{ litro}^2 \text{ atm}$ ).
- El sistema se pone en contacto con una fuente de temperatura  $T_o = 243,9^\circ\text{K}$ .

- a) Qué volumen ocupa cada gas?

Se destraba el pistón superior realizándose una expansión contra una presión externa

$P_{ext} = 1 \text{ atm}$ .

- b) ¿Cuáles son los nuevos volúmenes de equilibrio?
- c) Calcular la variación de entropía de cada gas y del universo.

