

Física 2 Biólogos y Geólogos - Curso de verano 2013

SERIE 9: Segunda Ley de la Termodinámica, ciclos y máquinas térmicas

1. 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 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 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 300K, 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 $\varepsilon = \frac{W}{Q_1}$, donde Q_1 es el calor total absorbido de la fuente a 300K).

Resp. a) $W_{AB}=12.3$ atm l; $W_{BC}=W_{DA}=0$, $W_{CD}=-11.4$ atm l; b) $Q=22.3$ cal= 0.92 atm l; c) $Q^{\text{caliente}}=24.6$ atm l, $Q^{\text{fría}}=-23.7$ atm l; d) $\varepsilon=0.037$

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 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?

Resp: 200 kcal y $\varepsilon=0.6$

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

Resp: $T^{\text{caliente}}/T^{\text{fría}}=2.67$

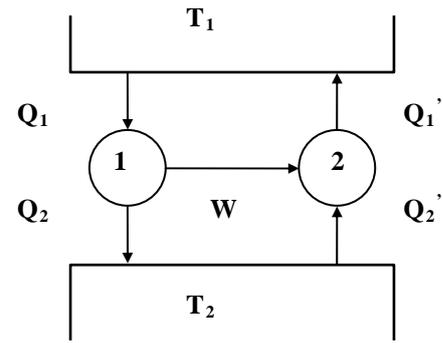
4. Supóngase tener una máquina de Carnot operando como refrigerador, entre las temperaturas de 277 K y 300 K.

a) ¿Cuánto vale su eficiencia?

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

Resp: a) 12; b) $|W|=16.6$ cal, $|Q|=216.6$ cal

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 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?

Resp: $T_2=200$ K, $\varepsilon_1=2/3$, $\varepsilon_2=1/4$, la máquina 2 no es reversible

6. 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 $V_B = 2V_A$, con $V_A = 2$ litros
- 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 $P_A = 16,2$ atm

Grafique cualitativamente el diagrama P – V correspondiente.

- Calcule 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.
- Indique si este ciclo corresponde a una máquina térmica o frigorífica. Calcular su eficiencia.

Resp: a) AB: $Q=548$ cal, $W=548$ cal; BC: $Q=0$, $W=592.5$; CD: $Q=-812.5$ cal, $W=-322$ cal; DA: $Q=1080$ cal, $W=0$; b) $W_{total}=818.4$ cal, es una máquina térmica. Recibe $Q=1628$ cal y la eficiencia es $\varepsilon=0.5$

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

Resp: $\Delta S=0$

8. Si un sistema evoluciona isotérmicamente a 27°C y la entropía varía en $4 \text{ kcal}/^\circ\text{K}$, ¿cuánto calor recibió?

9. 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.

10. Supóngase que tiene 1kg. 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 $0,5 \text{ cal}/\text{g}^\circ\text{C}$ 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.

Resp: 402 cal/K

11. 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 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 final, y la variación de entropía.

Resp: $P_f=1.5$ atm, $T_f=300$ K, $\Delta S=5.7 \cdot 10^{-4}$ atm l/K

12. Se pone en contacto 1 kg de agua a 0°C con una fuente a 100°C .

a) Calcule la variación de entropía del universo cuando el agua alcanza la temperatura de la fuente.

b) 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 esta temperatura, se la pone en contacto con la fuente de 100°C .

c) Calcule la variación de energía interna del agua y de las fuentes.

Resp: a) 44 cal/K; b) 23 cal/K; c) $\Delta U^{\text{agua}}=100$ kcal, $\Delta U^{\text{fuente}}=-100$ kcal, $\Delta U^U=0$

13. 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) ¿Cuál ha sido la variación de entropía del agua, cuál la de la fuente y cuál la 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: $C_p(\text{agua líquida}) = 1$ cal/g $^\circ\text{C}$; $C_p(\text{agua vapor}) = C_p(\text{hielo}) = 0,5$ cal/g $^\circ\text{C}$; $l_{\text{fus}}(\text{agua}) = 80$ cal/g;

$l_{\text{vap}}(\text{agua}) = 540$ cal/g

Resp: a) $\Delta S^{\text{agua}}=2.05$ kcal/K; $\Delta S^F=-1.93$ kcal/K; $\Delta S^U=120$ cal/K;

b) $\Delta S^{\text{agua}}=2.05$ kcal/K; $\Delta S^F=-1.98$ kcal/K; $\Delta S^U=70$ cal/K.

14. Una máquina térmica trabaja entre $T_1 = 400$ K y $T_2 = 200$ 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:

a) El trabajo por ciclo.

b) El calor entregado a la fuente de calor 2, por ciclo.

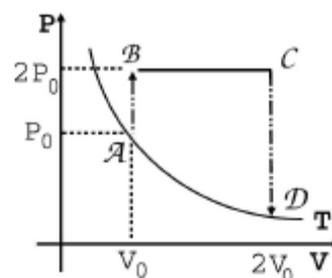
c) Las variaciones de entropía por ciclo de la sustancia que trabaja en la máquina, de la fuente 1, de la fuente 2 y del universo.

d) Idem a), b) y c), pero para la máquina que tiene la eficiencia máxima posible trabajando entre las temperaturas T_1 y T_2 .

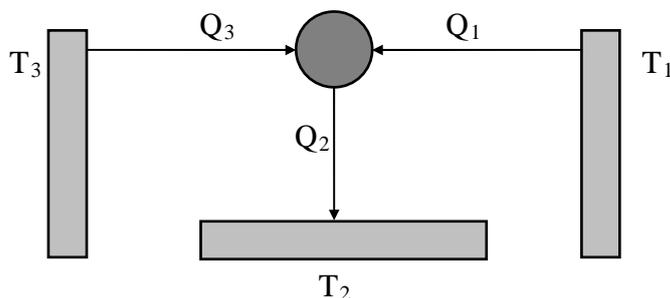
Resp: a) 2 kcal; b) 8 kcal; c) $\Delta S^{\text{sust}}=0$, $\Delta S^U=15$ cal/K

15. Una máquina funciona usando un gas ideal que realiza el ciclo representado en la figura. Para pasar de A a B se deja evolucionar poniéndolo en contacto con una fuente a temperatura T_B , mientras que para pasar de C a D se lo pone en contacto con una fuente a temperatura $T_D=T_A=T$. Los procesos B->C y D->A son reversibles, mientras que A->B y C->D no lo son.

- ¿Es una máquina calorífica o frigorífica? Calcule la eficiencia de la misma
- Cuanto vale la variación de entropía del universo en cada ciclo de la máquina?
- ¿Y si todos los procesos son reversibles? Repita a) y b) en ese caso



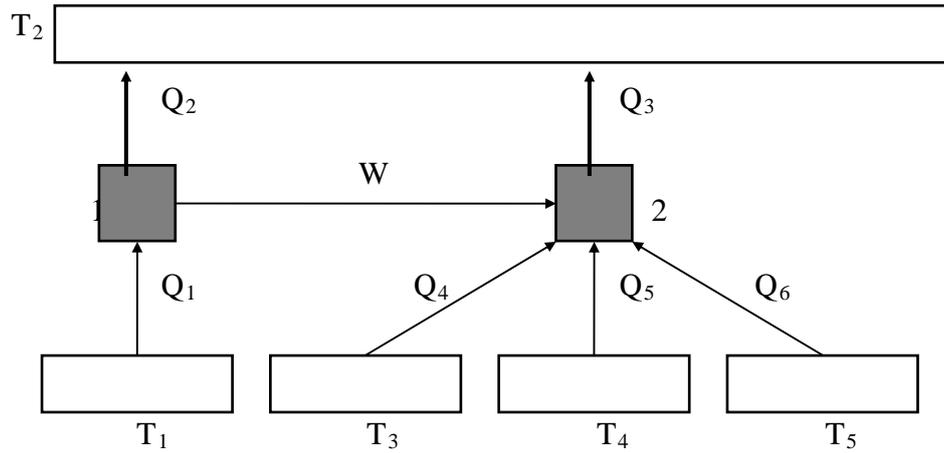
16. Una heladera “de campo” no recibe trabajo de ningún tipo, y sin embargo extrae calor de una fuente fría a T_1 (el interior de la heladera) y lo entrega al medio ambiente, que se halla a una temperatura $T_2 > T_1$. Ello es posible porque la máquina térmica trabaja entre 3 fuentes de calor (no es simple) y aunque parezca paradójico, ésta 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 siguiente:



- Recordando que $W=0$, calcule la relación que debe haber entre Q_1 , Q_2 y Q_3 .
- 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.
- A esta máquina se la puede considerar como una combinación de dos 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 entregado por la máquina es NEGATIVO.

Resp: a) $Q_1 + Q_2 + Q_3=0$; b) $Q_1=1.4$ kcal; c) $Q_1= Q_1'$; $Q_3= Q_3'$; $Q_2= Q_2' + Q_2''$

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

Resp: a) $\epsilon=0.355$; b) $T_2 = 400^\circ\text{K}$; c) no es reversible $Q_1/T_1+Q_2/T_2= -0.225 < 0$ (Clausius);
d) $\Delta S^U = \Delta S^{F2} + \Delta S^{F1} = 0.225 \text{ cal/K}$ (para la máquina 2, reversible $\Sigma\Delta S^{Fi}=0$)