Guía 12: Segunda Ley: ciclos termodinámicos y entropía

Parte I: ciclos termodinámicos

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 20 L, 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 V_A;
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 $\eta = W/Q_1$, donde Q_1 es el calor total absorbido de la fuente a 300 K.

2. 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: 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 contante;
DA: Se cierra el ciclo a volumen constante, aumentando la presión hasta P_A;
Datos: $P_A = 16.2$ atm , $V_A = 2$ L.

   (a) Grafique cualitativamente el diagrama $P - V$ correspondiente.

   (b) 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.

3. El **ciclo de Carnot** es un ciclo termodinámico **reversible** propuesto por el físico francés Sadi Carnot en 1824. Tiene la particularidad de ser el ciclo más eficiente posible que una máquina termodinámica clásica puede conseguir durante la conversión de calor en trabajo. Este ciclo abrió el camino para la formulación de la Segunda Ley de la Termodinámica.

   La secuencia de pasos del gas dentro del ciclo es: i) Expansión isotérmica a temperatura T_1 del estado inicial A al estado B. ii) Expansión adiabática desde el estado B al estado C (que se encuentra a una temperatura $T_2 < T_1$). iii) Compresión isotérmica a temperatura T_2 del estado C al estado D. iv) Compresión adiabática nuevamente al estado A.

   (a) Realice el diagrama $p - V$ del ciclo.

Un mol de gas ideal ($C_v = 3/2R$, $\gamma = 5/3$) realiza un ciclo de Carnot:
AB) Partiendo desde una presión de $P_A = 10\,\text{atm}$, se expande en contacto térmico con una fuente de calor a $T_A = 300\,\text{K}$ hasta duplicar su volumen.
BC) Se expande adiabáticamente hasta una temperatura $T_C = 200\,\text{K}$.
CD) Manteniéndolo en contacto térmico con una fuente a $T_C = 200\,\text{K}$, se comprime hasta duplicar su presión.
DA) Finalmente, se comprime adiabáticamente hasta el punto **A**, para comenzar nuevamente el ciclo.

(b) Calcule las variables termodinámicas (P, V y T) en cada uno de los estados A, B, C y D.

(c) Calcule el trabajo hecho por el sistema, el calor absorbido/expulsado y la variación de energía interna en cada uno de los procesos.

(d) Calcule el trabajo total que realizó el sistema y el calor que necesitó absorber para poder llevar a cabo el ciclo.

(e) La eficiencia de un ciclo (en general) viene definida por $\eta = W/Q_{in}$, donde W es el trabajo total que hace el sistema en un ciclo y Q_{in} es el calor que absorbe el sistema (es decir, sólo los términos Q positivos en cada uno de los procesos). A partir de lo calculado en el punto anterior, compruebe que la eficiencia η del ciclo es igual a $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ (con T_2 la temperatura de la fuente fría y T_1 la de la fuente caliente).

4 Supóngase tener una máquina de Carnot operando como refrigerador, entre las temperaturas de $277\,\text{K}$ y $300\,\text{K}$.

(a) ¿Cuánto vale su eficiencia?

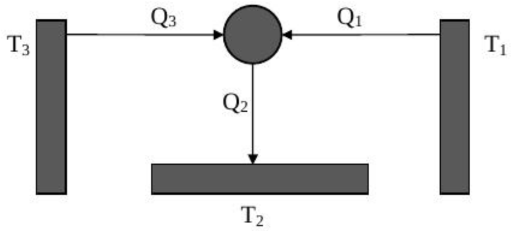
(b) Si se desean extraer 200 calorías de la fuente fría, ¿qué cantidad de trabajo habrá que entregarle y qué cantidad de calor se entrega a la fuente caliente?

5 El **ciclo de Otto** es un modelo idealizado de los procesos termodinámicos en un motor de gasolina. En el punto **A**, la mezcla aire-gasolina (que se puede considerar como un gas ideal) entra en el cilindro, se comprime adiabática y reversiblemente mente hasta el punto **B** y se enciende. Al quemarse, la gasolina agrega calor Q_H al sistema, el cual aumenta su presión a volumen constante hasta llegar al punto **C**. El ciclo prosigue con una expansión adiabática reversible hasta llegar al punto **D**. Finalmente, el gas se enfría a la temperatura del aire exterior manteniendo su volumen constante, expulsando calor Q_c y llegando al punto inicial del ciclo *(en la práctica, este gas sale del motor como escape y no vuelve a entrar en él pero, dado que entra una cantidad de aire y gasolina equivalente, se puede considerar que el proceso es cíclico).*

(a) Realice el diagrama $p - V$ del ciclo.

(b) calcule Q, W y ΔU en cada etapa del ciclo.

6 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:



(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 $Q_3 = 1000\,\text{cal}$ y conociendo las temperaturas $T_1 = 200\,\text{K}$, $T_2 = 300\,\text{K}$ y $T_3 = 1000\,\text{K}$.

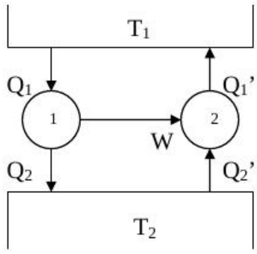
(c) A esta máquina se la puede considerar como una combinación de dos reversibles: M_1 que trabaja como máquina térmica entre T_3 y T_2, absorbiendo Q_3 y entregando Q_2' a T_2 y un trabajo W que se utiliza para arrastrar a otra máquina M_2 (frigorífica reversible) que trabaja entre T_2 y T_1, extrayendo 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**.

7 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 la máquina 2 reversible? ¿Por qué?



Parte II: variación de la entropía

8 (a) Considere un sistema que evoluciona reversiblemente, entregando 500 cal a 500 K y recibiendo 300 cal a 300 K. ¿Cuánto vale su variación de entropía?

(b) Si un sistema evoluciona isotérmicamente a 27°C y la entropía varía en 4 kcal/K, ¿cuánto calor recibió?

(c) ¿Cuánto vale la variación de entropía en un sistema que evoluciona en forma adiabática y reversible? ¿Por qué?

9 Suponga que tiene 1 kg 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 cal/g°C y la del agua es 1 cal/g°C y el calor latente de fusión del hielo es 80 cal/g, calcule la variación de entropía del proceso.

10 Un gas ideal cuyas condiciones iniciales son $\{p_1, V_1, T_1\}$ sufre una transformación cualquiera quedando en las condiciones finales $\{p_2, V_2, T_2\}$. Calcule la variación de entropía usando como variables: (i) p y T; (ii) p y V; (iii) V y T.

Optativos

11 Un motor de ciclo de Otto de seis cilindros con razón de compresión $r = 10.6$. El diámetro de cada cilindro es de 82.5 mm. La distancia que el pistón se mueve durante la compresión es de 86.4 mm. La presión inicial de la mezcla aire-combustible es de 8.5×10^4Pa, y la temperatura inicial es de 300 K (la del aire exterior). Suponga que, en cada ciclo, se agregan 200 J de calor a cada cilindro al quemarse el combustible y que el gas tiene $C_V = 20.5$ J/(mol K) y $\gamma = 1.4$.

(a) Calcule el trabajo total que realiza cada cilindro del motor en un ciclo y el calor que se desprende cuando el gas se enfría a la temperatura del aire exterior.

(b) Calcule el volumen de la mezcla aire-combustible en el punto **A** del ciclo.

(c) Calcule la presión, el volumen y la temperatura del gas en los puntos **B**, **C** y **D** del ciclo. Dibuje un diagrama $p - V$ que muestre los valores numéricos de p, V y T para cada uno de los cuatro estados.

(d) Compare la eficiencia de este motor con la de una máquina de Carnot que opera entre las mismas temperaturas máxima y mínima.

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 un litro de gas ideal a 300 K y 2 atm de presión, y al otro lado un 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.