

## Física Térmica - Edición 2025

## Práctico 5: Balance de entropía en sistemas cerrados

---

**Ejercicio 1.**

Un experto de la oficina de patentes rechazó recientemente la solicitud de un inventor que afirmaba haber construido una máquina térmica que, al recibir calor de una fuente a 500 K, produce 300 kJ de trabajo neto, transfiriendo 400 kJ de calor sobrante a un foco térmico a 290 K. El experto argumentó que, a partir de la información brindada, se deduce que la máquina tendría una eficiencia mayor a la de Carnot entre esas temperaturas, contraviniendo entonces el segundo principio. ¿Es posible establecer la imposibilidad de la máquina mediante un argumento basado en la entropía? En caso afirmativo, desarrolle detalladamente el argumento, indicando las hipótesis realizadas.

**Ejercicio 2.**

Un dispositivo cilindro-pistón sin fricción contiene 100 g de agua en estado de líquido saturado a 100 °C. El sistema es colocado en contacto con una fuente térmica a  $T_R = 120$  °C, de la que absorbe calor lentamente hasta que el agua se evapora por completo.

- (a) Determine el calor absorbido por el agua durante el proceso.
- (b) Calcule la entropía generada total por dos caminos:
  - (i) a partir de la relación  $S_{gen}^{Univ} = \Delta S^{Univ} = \sum_{X_i} \Delta S^{X_i}$  donde  $\{X_i\}$  es una partición cualquiera (elegida convenientemente) del universo;
  - (ii) aplicando el segundo principio a un único volumen de control que incluya todas las irreversibilidades. Observe la equivalencia entre ambos procedimientos.

**Ejercicio 3.**

El dispositivo cilindro-pistón mostrado en la Fig. (1) contiene agua a 100 kPa, con un volumen específico  $\nu = 0,07237 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ . El agua se calienta hasta una presión de 3 MPa por medio de una bomba de calor reversible que extrae calor de una fuente a 300 K. Se sabe que el agua pasa por el estado de vapor saturado cuando su presión es 1,5 MPa, y que el cilindro solo intercambia calor con la bomba.

- (a) Determine la temperatura final y el calor entregado por la bomba por kg de agua.
- (b) Argumente detalladamente por qué es una buena aproximación suponer que no se genera entropía en el sistema durante el proceso.
- (c) Asumiendo que la bomba estuvo operativa durante una cantidad entera de ciclos, calcule el trabajo consumido por la bomba por kilogramo de agua.

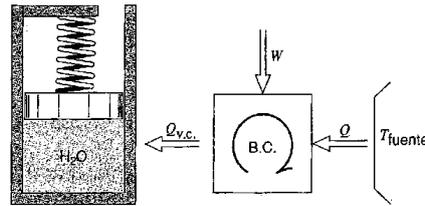


Figura 1: Problema 3.

**Ejercicio 4.**

Dos sólidos incompresibles de igual masa  $M$  y capacidad calorífica  $C$  son puestos en contacto térmico entre sí, aislados del resto del universo. Inicialmente los sólidos poseen temperaturas  $T_{1A}$  y  $T_{1B}$ .

- (a) Determine la temperatura  $T^*$  a la que los bloques alcanzan el equilibrio térmico.
- (b) Obtenga la variación de entropía del universo asociada a este proceso. A partir de ese resultado, deduzca que la media aritmética de dos números no negativos  $T_1$  y  $T_2$  es siempre mayor o igual que su media geométrica:

$$\frac{T_1 + T_2}{2} \geq \sqrt{T_1 T_2}.$$

Nota: asumiendo masas (o capacidades caloríficas) diferentes, es posible obtener la siguiente generalización:  $p_1 T_1 + p_2 T_2 \geq T_1^{p_1} T_2^{p_2}$ ,  $\forall p_1 \geq 0$  y  $p_2 \geq 0$  con  $p_1 + p_2 = 1$  (hacerlo).

- (c) Si se quita la aislación térmica, el conjunto alcanza un nuevo estado de equilibrio con el ambiente a temperatura  $T_0$ . Demuestre que la entropía generada asociada a este proceso está dada por la expresión:

$$\Delta S^{univ} = 2MC[x - 1 - \log(x)],$$

donde  $x = T^*/T_0$ . ¿Qué puede concluir sobre la relación entre las funciones reales  $f(x) = x - 1$  y  $g(x) = \log(x)$ ? Justifique y verifique el resultado gráficamente.

**Ejercicio 5.**

Considere dos tanques A y B rígidos y térmicamente aislados, de igual volumen  $V$ , conectados a través de una válvula. Inicialmente, el tanque A contiene una masa  $M$  de cierto gas perfecto a presión  $P_{1A}$  y temperatura  $T_{1A}$ , mientras que B se encuentra vacío. Se abre la válvula permitiendo que el gas fluya lentamente hacia el tanque B. El proceso culmina cuando la presión en el tanque A se reduce a la mitad de su valor inicial, momento en que se cierra la válvula.

- (a) Argumente por qué la entropía **específica** del gas **que permanece** en el tanque A se mantiene constante. Indique por qué esto no ocurre con el gas que migra hacia B.
- (b) Obtenga expresiones para las temperaturas finales en cada tanque y para la presión final en B. Expresar los resultados en términos de  $\gamma = c_P/c_V$ .

- (c) Calcule la entropía generada durante el proceso, por dos caminos:
- a partir de la relación  $S_{gen}^{Univ} = \Delta S^{Univ}$  y notando que, en este caso, el universo es simplemente la unión de ambos tanques;
  - realizando una partición **de la masa total** en masas de control convenientes y sumando sus correspondientes variaciones de entropía. Indique cómo se generalizaría este procedimiento si el tanque  $B$  no se encontrara vacío en el instante inicial.
- (d) Verifique explícitamente que la entropía producida es una cantidad positiva e indique los fenómenos irreversibles subyacentes a su producción (puede asumir que, para todo gas, se satisface que  $\gamma > 1$ ).

### Ejercicio 6.

Considere dos tanques  $A$  y  $B$ , de paredes rígidas, conectados a través de una válvula inicialmente cerrada. El tanque  $A$  se encuentra asilado, tiene un volumen 600 L y contiene vapor de agua a 1,4 MPa y 300 °C. El tanque  $B$ , de volumen 300 L, posee paredes diatermas y contiene vapor de agua a 200 °C y 200 kPa. Se abre la válvula lentamente hasta que la temperatura en  $A$  alcanza los 250 °C, instante en que se vuelve a cerrar. Durante el proceso, se regula el intercambio de calor entre  $B$  y el ambiente a 25 °C de forma tal que la temperatura del vapor en dicho tanque permanezca constante. Determinar:

- la presión final en cada tanque.
- la masa final en el tanque  $B$ .
- la entropía generada total, verificando luego el resultado por un camino alternativo. ¿Cuáles son las razones físicas de la generación de entropía?

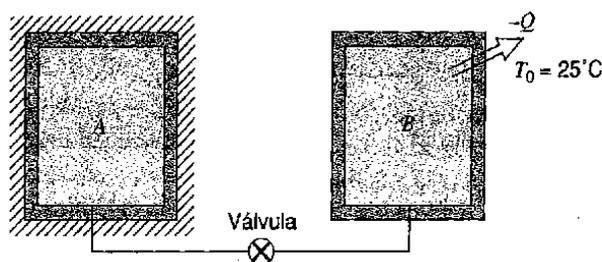


Figura 2: Problema 6.

### Ejercicio 7.

Considere un tanque cilíndrico térmicamente aislado excepto en una de sus bases. El tanque se divide en dos compartimentos  $A$  y  $B$  mediante un tabique móvil, también aislado y libre de fricción. Inicialmente el compartimento  $A$  contiene 100 L de aire a 40 °C, mientras que  $B$  contiene 100 L de agua saturada a 90 °C con una calidad del 10 %, encontrándose el tabique bajo la condición de equilibrio mecánico en ese instante. Se transfiere calor lentamente al agua colocando la cara diaterma del tanque en contacto con una fuente térmica a 500 °C, hasta que alcanza el estado de vapor saturado.

- (a) Determine la presión final del sistema y el calor transferido al agua.
- (b) Calcule la entropía generada total por dos caminos:
  - (i) realizando una partición adecuada del universo y empleando la relación  $S_{gen}^{univ} = \Delta S^{univ}$ ;
  - (ii) aplicando el segundo principio a un volumen de control más simple que incluya todas las irreversibilidades.
- (c) Repita las partes anteriores si el aire, en lugar de estar aislado, permanece en contacto con una reserva térmica a  $40^\circ\text{C}$  mientras se entrega calor al agua. ¿Es necesario calcular el calor intercambiado por el aire para hallar la entropía generada total? Justifique.

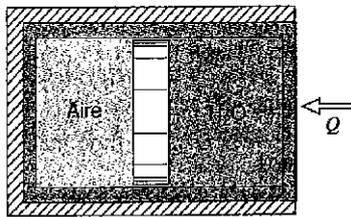


Figura 3: Problema 7.

**Ejercicio 8.**

Un tanque rígido (A) y un dispositivo cilindro-pistón (B) térmicamente aislados del ambiente se conectan a través de una válvula como muestra la Fig. (4). El tanque tiene un volumen de 300 L e inicialmente contiene aire a 700 kPa y  $40^\circ\text{C}$ . El pistón, de sección  $0,065\text{ m}^2$  y masa 40 kg, inicialmente descansa en el fondo del recipiente y está sometido a la acción de un resorte lineal de constante  $17,5\frac{\text{kN}}{\text{m}}$  que, en la configuración inicial, se encuentra relajado. Se abre la válvula permitiendo que el aire fluya lentamente hacia el cilindro. Una vez alcanzado el equilibrio de presiones, la válvula es cerrada inmediatamente.

- (a) Calcule la presión final del sistema y la temperatura final en el cilindro B.
- (b) Obtenga la entropía generada durante el proceso.

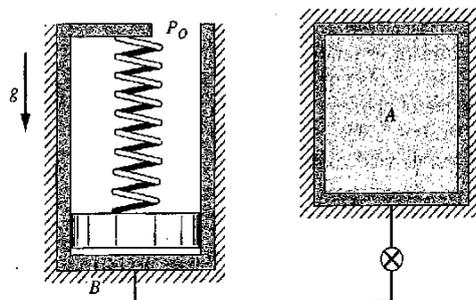


Figura 4: Problema 8.