

Práctico 7: Trabajo reversible

Nota: a lo largo de todo el repartido Ud. puede asumir que dispone de stock suficiente de:

- turbinas, bombas y compresores isentrópicos capaces de operar en cualquier relación de presiones;
- máquinas térmicas y bombas de calor que pueden operar reversiblemente en cualquier relación de temperaturas de los sistemas entre los que transfieren calor.

Ejercicio 1.

Considere una planta de potencia operando en régimen entre una fuente a temperatura T_H y el ambiente a temperatura $T_L < T_H$. Las respectivas tasas de intercambio de calor, desde la perspectiva de la planta, son $\dot{Q}_H^{planta}$ y $\dot{Q}_L^{planta}$. Empleando la condición de reversibilidad se obtiene que la máxima fracción del calor disponible que puede convertirse en trabajo es $\dot{W}_{rev} = \dot{Q}_H^{planta} (1 - \frac{T_L}{T_H})$. Verifique este resultado por dos caminos:

- a partir de la ecuación general para la potencia reversible,
- aplicando las leyes de la termodinámica a la planta y utilizando que $\dot{W}_{rev} = \dot{W}_{real} + T_0 \dot{S}_{gen}$.

Ejercicio 2.

Considere una turbina con una eficiencia isentrópica del 80 %, a la cual ingresa vapor de agua a 1 MPa y 600 °C. El vapor se expande hasta una presión de 200 kPa.

- Calcule (por unidad de masa circulante) el trabajo isentrópico, el trabajo real obtenido y el trabajo reversible que podría haberse producido a partir del cambio de estado sufrido por el agua. Obtenga también la eficiencia del proceso según la segunda ley.
- Explique por qué los trabajos reversible e isentrópico son diferentes.
- Esquematice una posible implementación reversible del cambio de estado que sufre el agua.
- Calcule cada uno de los trabajos asociados a la implementación propuesta, y muestre que su suma coincide con el trabajo reversible calculado en la parte (a).

Ejercicio 3.

Al compresor de un refrigerador ingresa cierto flujo másico de R134-a a 100 kPa y -20°C , el cual es comprimido a 1 MPa y 40°C . El refrigerador se encuentra en una habitación a 20°C .

- (a) Demuestre que el compresor no puede ser adiabático.
- (b) Determine el calor por unidad de masa circulante que debe ser intercambiado con el ambiente a efectos de que el trabajo externo requerido en la etapa de compresión sea mínimo. Compare con el calor intercambiado en una situación no óptima, explicitando el sentido de ambos flujos de calor.
- (c) Calcule el valor de dicho trabajo mínimo, por unidad de masa circulante.

Ejercicio 4.

Un compresor internamente reversible toma R-12 a 1 MPa y 70°C , y lo comprime hasta 2 MPa y 80°C . Se sabe que el proceso es politrópico y que cualquier transferencia de calor se realiza con el ambiente a 20°C .

- (a) Determine el índice politrópico y el trabajo consumido, por kg de refrigerante.
- (b) Calcule el calor transferido y la eficiencia de segunda ley del proceso.
- (c) Explique qué dificultades surgen al intentar contestar las preguntas anteriores aplicando las leyes de la termodinámica al compresor y estime el calor y el trabajo intercambiados por este camino.

Ejercicio 5.

Un tanque rígido contiene 2,5 kg de aire, inicialmente 100 kPa y 60°C . Se transfiere calor desde una reserva térmica a 250°C hasta que el aire alcanza una temperatura de 170°C . Considere que durante el proceso no hay transferencia de calor al ambiente, el cual se encuentra a 5°C .

- (a) Calcule el calor transferido y la irreversibilidad total del proceso.
- (b) Calcule el trabajo reversible útil que podría obtenerse a partir del cambio de estado del sistema global (aire + fuente). Hágalo por dos caminos independientes.
- (c) Esquematice una forma de obtener el trabajo anterior, intercambiando calor con el ambiente.

Ejercicio 6.

Un sistema cilindro - pistón contiene 1 kg de vapor de agua a 500 kPa, con una calidad del 50 %. Se entrega calor desde una fuente a 700°C hasta que la temperatura del agua alcanza los 600°C . Considere que el ambiente se encuentra a 100 kPa y 20°C .

- (a) Determine la eficiencia según la segunda ley para este proceso.
- (b) Esquematice cómo podría obtenerse el trabajo reversible útil asociado al proceso global.
- (c) Muestre que la propuesta anterior efectivamente produce el trabajo reversible útil.

Ejercicio 7.

Considere la planta desalinizadora mostrada en la Fig. (1), basada en la evaporación y posterior condensación de un flujo de $150 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ de agua salada extraída del condensador de una central eléctrica grande (estado 1). El agua se regula hasta la presión de saturación en el evaporador instantáneo, y el vapor (estado 2) se condensa por enfriamiento con agua de mar. Como la evaporación se lleva a cabo a una presión inferior a la atmosférica, la bomba debe restituir la presión del agua líquida al valor P_0 . Se supone que el agua salada tiene las mismas propiedades que el agua pura, que el ambiente está a 20°C y que no hay transferencias de calor externas. Se adjunta una tabla de temperaturas correspondientes a algunos estados del proceso.

- (a) Calcule la irreversibilidad por unidad de tiempo producida en la válvula de obturación y en el condensador.
- (b) Si las bombas son internamente reversibles, calcule la potencia reversible asociada al proceso global, por dos caminos independientes.

Estado	1	2	3	4	5	6	7	8
T($^\circ\text{C}$)	30	25	25	-	23	-	17	20

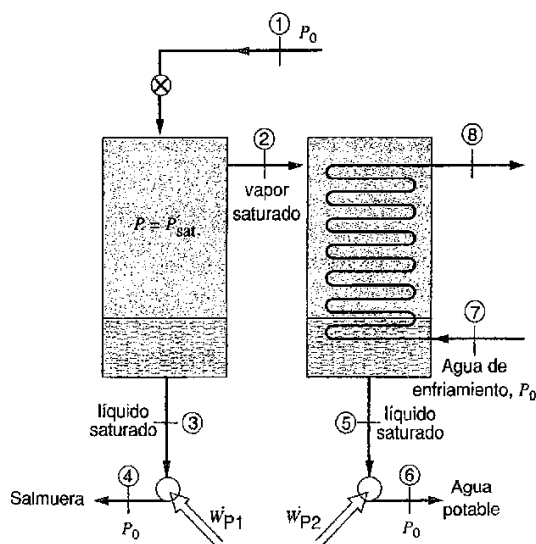


Figura 1: Ejercicio 7.

Ejercicio 8.

El volumen de control de la Fig. (2) opera en régimen permanente y posee dos entradas y una salida de aire, con las propiedades que se indican. En la cámara de mezcla, el aire recibe calor de una reserva térmica y entrega calor al ambiente, que se encuentra a 100 kPa y 25 °C. Los flujos de calor indicados en la figura están expresados por kilogramo de aire circulante. Se asume que durante todo el proceso el aire se comporta como un gas ideal.

- Determine las relaciones de flujos másicos entrantes $\dot{m}_1/\dot{m}$ y $\dot{m}_2/\dot{m}$.
- Calcule la variación de entropía específica del aire al atravesar la válvula y la irreversibilidad producida en la misma.
- Indique cómo podría implementarse la reducción de presión en la válvula de forma reversible, y calcule el trabajo que podría obtenerse por medio de dicha implementación.
- Calcule la irreversibilidad producida en la cámara de mezcla (incluya la irreversibilidad por transferencia de calor).
- Especifique cómo podría eliminarse la irreversibilidad anterior, intercambiando calor con el ambiente. Calcule el trabajo reversible que podría obtenerse de este modo.
- Para el volumen de control delimitado por la línea a trazos de la figura, calcule el trabajo reversible que podría obtenerse y la variación de entropía del entorno.

Nota: los resultados deben expresarse por unidad de masa circulante.

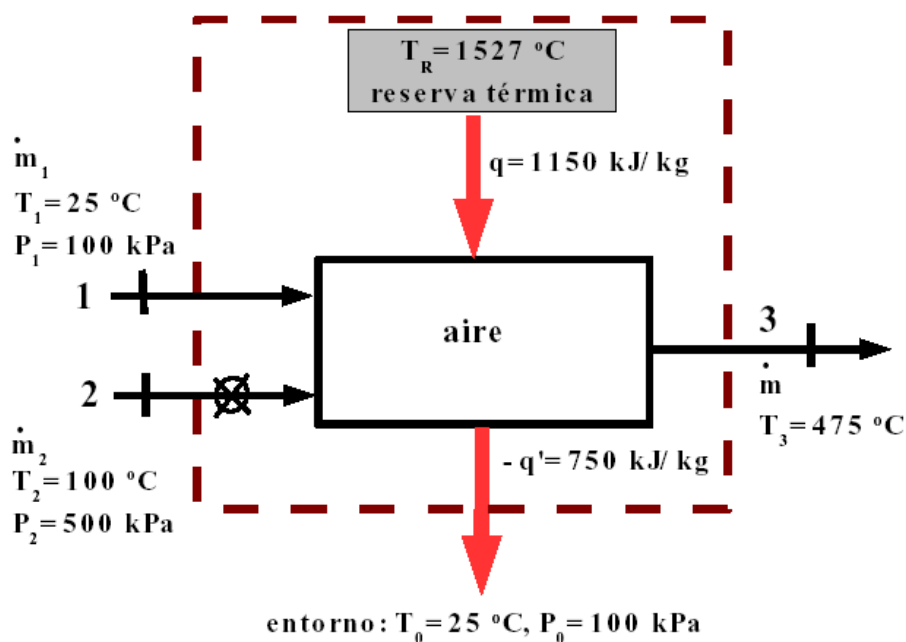


Figura 2: Ejercicio 8.

Ejercicio 9.

Un compresor extrae aire de una línea de suministro a $P_A = 150 \text{ kPa}$ y $T_A = 0^\circ\text{C}$ y lo envía a dispositivo cilindro-pistón aislado e inicialmente vacío. La masa del pistón es 10 ton , y el cilindro posee una sección de $0,49 \text{ m}^2$. El compresor tiene una eficiencia isentrópica del 70% y descarga el aire a 375 kPa . La válvula está ajustada de forma tal que el proceso de llenado es cuasiestático. El proceso se detiene cuando ingresaron 5 kg de aire al recipiente.

- (a) Determine la temperatura en el punto B.
- (b) Obtenga la temperatura final en el interior del tanque.
- (c) Calcule el trabajo neto útil realizado por el sistema.
- (d) Calcule la variación de entropía del universo asociada a este proceso. Explícite dónde se está generando la entropía.
- (e) Calcule el trabajo reversible útil que podría obtenerse a partir del proceso global.
- (f) ¿Cómo podría implementarse la etapa de compresión (entre los estados A y B) de forma reversible? Esquematice una solución.
- (g) Muestre que efectivamente la configuración planteada en la parte anterior permite obtener el trabajo reversible.

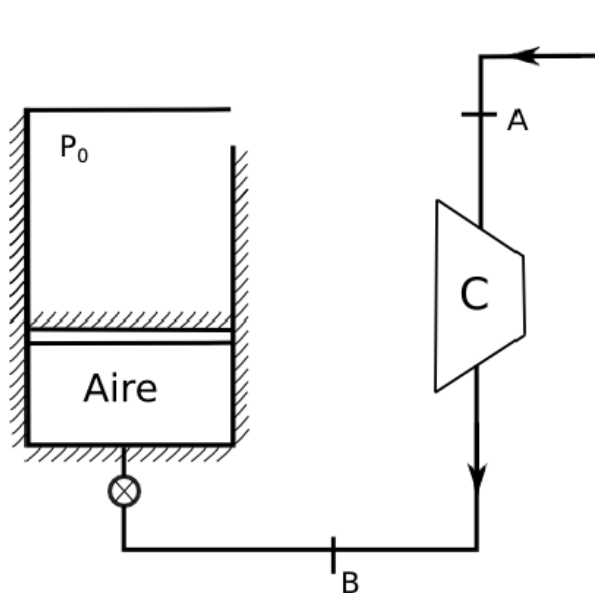


Figura 3: Ejercicio 9.