

Cuestionario de autoevaluación

Balance de energía en sistemas abiertos

1. Indica 2 formas de definir el trabajo de flujo en un sistema abierto.

- a. Es el trabajo del volumen de control, también denominado trabajo técnico o trabajo en el eje.
- b. Es el trabajo necesario para reducir la transferencia de calor al volumen de control.
- c. Es el trabajo necesario para hacer que una sustancia circule a través del volumen de control.
- d. Es el trabajo necesario para empujar la masa hacia dentro o hacia fuera del volumen de control.

SOLUCIÓN: c, d

- a. El trabajo del volumen de control, también denominado trabajo técnico o trabajo en el eje es la diferencia entre el trabajo total y el trabajo de flujo.
- b. No tiene sentido.
- c. OK.
- d. OK.

2. Una turbina de vapor desarrolla una potencia de 70 MW. El vapor de agua entra con una entalpía de 3200kJ/kg y sale con una entalpía de 2500kJ/kg. Despreciando las variaciones en la energía cinética y potencial, y suponiendo que la turbina es adiabática y se encuentra en estado estacionario, calcular el flujo másico que atraviesa la turbina.

- a. 1 kg/s.
- b. 10 kg/s.
- c. 100 kg/s.
- d. 1000 kg/s.

SOLUCIÓN: c

En la expresión general del balance de energía, se anulan la variación de energía del volumen de control con respecto al tiempo, el calor por unidad de tiempo y las variaciones de energía cinética y potencial. Por el balance de masa, se cumple que el flujo másico que entra es igual al flujo másico que sale de la turbina.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W} + \sum_e \dot{m}_e \cdot \left(h + \frac{c^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \cdot \left(h + \frac{c^2}{2} + gz \right)_s$$

$$0 = 0 - \dot{W} + \dot{m} \cdot (h_e - h_s)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{(h_e - h_s)}$$

$$\text{Flujo másico} = 70000 \text{ kW} / (3200 - 2500) \text{ kJ/kg} = 100 \text{ kg/s}$$

3. En un compresor entra 1 kg/s de aire a 1 bar y 300K, saliendo del compresor a 8 bar y 700K. La potencia consumida por el compresor es de 420 kW. Despreciando las variaciones en la energía cinética y potencial, asumiendo que el aire se comporta como un gas ideal y suponiendo que el compresor se encuentra en estado estacionario, calcular la transferencia de calor por unidad de tiempo (kW) del compresor hacia el entorno.

- a. +6.92 kW
- b. -6.92 kW
- c. -833.08 kW
- d. +833.08 kW

SOLUCIÓN: b

En la expresión general del balance de energía, se anulan la variación de energía del volumen de control con respecto al tiempo y las variaciones de energía cinética y potencial. Por el balance de masa, se cumple que el flujo másico que entra es igual al flujo másico que sale del compresor.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W} + \sum_e \dot{m}_e \cdot \left(h + \frac{c^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \cdot \left(h + \frac{c^2}{2} + gz \right)_s$$

$$0 = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m} \cdot (h_e - h_s)$$

Entrando a la Tabla A.22 del aire como gas ideal con $T_e=300K$ y $T_s=700K$ se obtienen $h_e=300.19kJ/kg$ y $h_s=713.27kJ/kg$. El trabajo por unidad de tiempo consumido por el compresor deberá llevar signo negativo, por lo que será igual a -420kW.

Transferencia de calor por unidad de tiempo = $-420 + 1 \cdot (713.27 - 300.19) = -6.92kW$. El signo negativo indica que el calor se transfiere del compresor al entorno.

4. En una turbina entra vapor de agua a una velocidad de 20 m/s con una entalpía de 3200kJ/kg y sale a una velocidad de 60 m/s con una entalpía de 2500kJ/kg. El flujo másico que atraviesa la turbina es de 10 kg/s. Despreciando la variación en la energía potencial, suponiendo que la turbina es adiabática y que se encuentra en estado estacionario, calcular desarrolla la potencia desarrollada por la turbina.

- a. 70 MW
- b. 7000 kJ
- c. 6984 kW
- d. 7000 kW

SOLUCIÓN: c

En la expresión general del balance de energía, se anulan la variación de energía del volumen de control con respecto al tiempo, el calor por unidad de tiempo y la variación de energía potencial. Por el balance de masa, se cumple que el flujo másico que entra es igual al flujo másico que sale de la turbina.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W} + \sum_e \dot{m}_e \cdot \left(h + \frac{c^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \cdot \left(h + \frac{c^2}{2} + gz \right)_s$$

$$0 = 0 - \dot{W} + \dot{m} \cdot \left(h_e - h_s + \frac{c_e^2}{2} - \frac{c_s^2}{2} \right)$$

Transferencia de trabajo por unidad de tiempo=Potencia desarrollada=10kg/s·(3200-2500 kJ/kg + 20²/2000 – 60²/2000 kJ/kg)=10kg/s·(700 kJ/kg – 1.6 kJ/kg)=6984 kW

5. En una caldera de carbón entra agua líquida subenfriada a 50 bar y 60°C. El agua absorbe el calor generado en la combustión de modo que a la salida de la caldera se tiene vapor de agua sobrecalentado a 50 bar y 400°C. Despreciando las variaciones en la energía cinética y potencial, y suponiendo que la caldera se encuentra en estado estacionario, calcular el calor (kJ/kg) absorbido por el agua en la caldera.

- a. 2940 kJ/kg
- b. 3160 kJ/kg
- c. 3310 kJ/kg
- d. 3570 kJ/kg

SOLUCIÓN: a

En la expresión general del balance de energía, se anulan la variación de energía del volumen de control con respecto al tiempo, el trabajo por unidad de tiempo (en una caldera no hay transferencia de energía mediante trabajo) y las variaciones de energía cinética y potencial. Por el balance de masa, se cumple que el flujo másico que entra es igual al flujo másico que sale de la turbina.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W} + \sum_e \dot{m}_e \cdot \left(h + \frac{c^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \cdot \left(h + \frac{c^2}{2} + gz \right)_s$$

$$0 = \dot{Q} - 0 + \dot{m} \cdot (h_e - h_s)$$

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = (h_s - h_e)$$

Entrando a la Tabla A.5 del agua líquida subenfriada con P=50bar e interpolando entre 40°C y 80°C se obtiene $h_e=255.41\text{kJ/kg}$ para T=60°C.

Entrando en la Tabla A.4 del vapor de agua sobrecalentado con T=400°C e interpolando entre P=40bar y P=60bar se obtiene $h_s=3195.4\text{kJ/kg}$ para P=50bar.

Calor absorbido por el agua = $h_s - h_e = 3195.4 \text{ kJ/kg} - 255.41 \text{ kJ/kg} = 2939.99 \text{ kJ/kg} \approx 2940 \text{ kJ/kg}$.