

INGENIERÍA TÉRMICA

Problema 1-SOLUCIÓN (40 puntos)

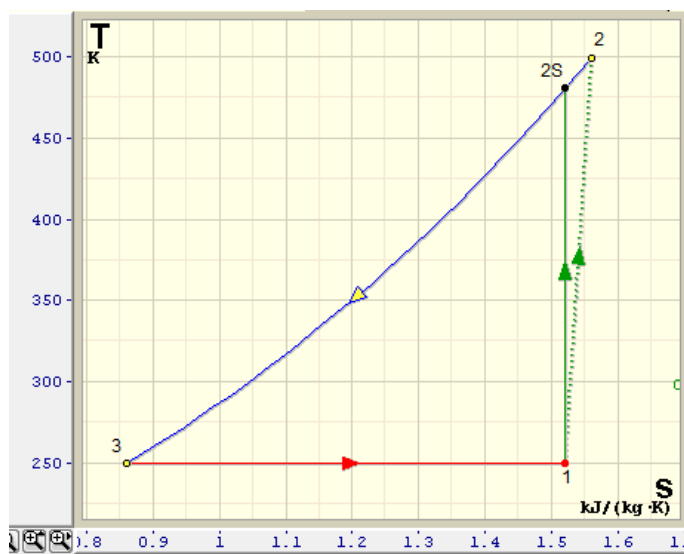
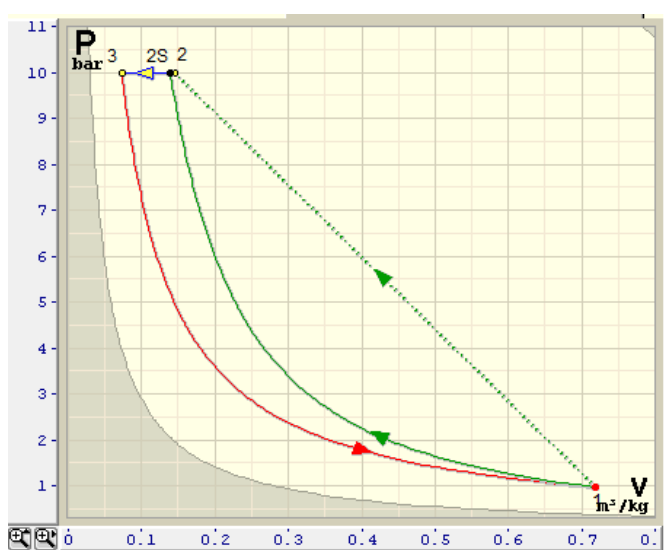
16 de enero de 2020
Tiempo: 50 minutos

Una masa de 1 kg de aire que se encuentra en las condiciones $p_1 = 1$ bar y $T_1 = 250$ K describe un ciclo formado por los procesos:

- **1-2:** compresión adiabática hasta el estado de $p_2 = 10$ bar y $T_2 = 500$ K.
- **2-3:** compresión a presión constante hasta la temperatura inicial.
- **3-1:** expansión isoterma hasta la presión inicial.

Considerando el aire como un gas ideal de $R_{air} = 0,287$ kJ/kg·K, se pide:

1. Representar los estados del aire y los procesos en los diagramas **p-v** y **T-s**. (6 puntos)



2. Calor y trabajo intercambiados en cada uno de los procesos (kJ). (10 puntos)

- **1-2:** compresión adiabática.

$$Q_{12} = 0 \text{ kJ}$$

$$W_{12} = -\Delta U_{12} = U_1 - U_2 = 1 \text{ kg} \cdot (178,28 - 359,49) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -181,21 \text{ kJ}$$

- **2-3:** compresión a presión constante.

$$\Delta U_{23} = U_3 - U_2 = 1 \text{ kg} \cdot (178,28 - 359,49) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -181,21 \text{ kJ}$$

$$W_{23} = \int_{V_2}^{V_3} p \cdot dV = p \cdot \Delta V_{23} = m \cdot R_{air1} \cdot (T_3 - T_2) = 1 \text{ kg} \cdot 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (250 - 500) \text{ K} = -71,75 \text{ kJ}$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + W_{23} = -252,92 \text{ kJ}$$

- **3-1:** expansión isoterma. $\Delta U_{31} = 0$

$$Q_{31} = W_{31} = \int_{V_3}^{V_1} \frac{m R T}{V} \cdot dV = m R T_1 \ln \frac{V_1}{V_3} = m R T_1 \ln \frac{p_3}{p_1} = 0,287 \cdot 250 \cdot \ln \frac{10}{1} = 165,21 \text{ kJ}$$

3. Justificar si se trata de un ciclo de potencia o de refrigeración. (3 puntos)

Es un **ciclo de refrigeración** puesto que el trabajo neto del mismo es negativo.

$$W_c = \sum W_{ij} = -87,75 \text{ kJ}$$

4. El rendimiento térmico o el COP de refrigeración correspondiente al ciclo. (3 puntos)

$$COP_{ref} = \beta = \frac{Q_{in}}{W_c} = \frac{Q_{31}}{W_c} = 1,88$$

5. Variación de entropía del aire en cada uno de los procesos (kJ/K). (6 puntos)

$$\Delta S_{ij} = s^0(T_j) - s^0(T_i) - R \cdot \ln \frac{p_j}{p_i}$$

$$\Delta S_{12} = 1 \text{ kg} \cdot \left(2,21952 - 1,51917 - 0,287 \cdot \ln \frac{10}{1} \right) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 0,0395 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{23} = 1 \text{ kg} \cdot (1,51917 - 2,21952 - 0) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = -0,70035 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{31} = 1 \text{ kg} \cdot \left(-0,287 \cdot \ln \frac{1}{10} \right) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 0,6608 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

6. ¿El proceso 1-2 es reversible? Justifícalo. (6 puntos)

El balance de entropía en el proceso 12 (adiabático) nos da una creación de entropía positiva, luego se trata de un **proceso irreversible**.

$$\Delta S_{12} = \sum \frac{Q_i}{T_i} + \sigma_{12} = \sigma_{12} \rightarrow \sigma_{12} = 0,0395 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} > 0$$

7. Entropía generada en el ciclo (kJ/K). Supóngase las temperaturas de frontera en los procesos con intercambio de calor son $T_{m23} = 325 \text{ K}$ y $T_{m31} = 275 \text{ K}$. (6 puntos)

$$\sigma_c = \Delta S_c - \sum \frac{Q_i}{T_i} = 0 - \left(\frac{Q_{23}}{T_{m23}} + \frac{Q_{31}}{T_{m31}} \right) = - \left(\frac{-252,92}{325} + \frac{165,21}{275} \right) \frac{\text{kJ}}{\text{K}} = 0,1775 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$