

# INGENIERÍA TÉRMICA

## 2. Problema. SOLUCIÓN

16 de enero de 2020

(45 puntos)

Tiempo: 45 minutos

Un caudal de 0,1 kg/s de vapor saturado de agua a 1,5 bar, procedente del subsuelo a 400 m de profundidad, entra a un compresor a través de un conducto de 300 cm<sup>2</sup> de sección y sale, al nivel del suelo, a 320°C, 3 bar y 60 m/s. Durante el proceso, se producen pérdidas de calor del compresor hacia el entorno del 10% de su potencia consumida. La temperatura de la superficie del compresor es de 20°C. Datos:  $g=9,8 \text{ m/s}^2$

Determinar:

Cálculo de propiedades

Tabla A-3:

$P_1 = 1,5 \text{ bar}$ ;  $x_1 = 100\% \rightarrow T_1 = 111,4^\circ\text{C}$ ;  $v_1 = 1,159 \text{ m}^3/\text{kg}$ ;  $h_1 = 2.693,6 \text{ kJ/kg}$ ;  $s_1 = 7,2233 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

Tabla A-4:

$P_2 = 3 \text{ bar}$ ;  $T_2 = 320^\circ\text{C} \rightarrow h_2 = 3.110,1 \text{ kJ/kg}$ ;  $s_2 = 7,7722 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

### 1. Velocidad (m/s) y caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s) en la entrada

(5 puntos)

Tabla A-3:  $P_1 = 1,5 \text{ bar}$ ;  $x_1 = 100\% \rightarrow v_1 = 1,159 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$\dot{m} = \frac{A \cdot C_1}{v_1}; \quad C_1 = \frac{\dot{m} \cdot v_1}{A} = \frac{0,1 \cdot 1,159}{0,03} = \boxed{3,86 \text{ m/s}}$$
$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v_1 = 0,1 \cdot 1,159 = \boxed{0,1159 \text{ m}^3/\text{s}}$$

### 2. Potencia consumida por el compresor

(10 puntos)

$$0 = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m} \cdot \left[ (h_1 - h_2) + \left( \frac{C_1^2 - C_2^2}{2} \right) + g(z_1 - z_2) \right]$$

$$0 = 0,1 \cdot \dot{W} - \dot{W} + 0,1 \cdot \left[ (2693,6 - 3110,1) + \left( \frac{3,86^2 - 60^2}{2} \right) \cdot \frac{1}{10^3} + 9,8 \cdot (-400 - 0) \cdot \frac{1}{10^3} \right]$$

$$\boxed{\dot{W} = -46,91 \text{ kW}}$$

### 3. Entropía generada en el proceso

(5 puntos)

$$0 = \dot{m} \cdot (s_1 - s_2) + \frac{\dot{Q}}{T_s} + \dot{\sigma}$$

$$\dot{\sigma} = \dot{m} \cdot (s_2 - s_1) - \frac{\dot{Q}}{T_s}$$

$$\dot{\sigma} = 0,1 \cdot (7,7722 - 7,2233) - \frac{0,1 \cdot (-46,91)}{20 + 273} = 0,1 \cdot 0,5489 + 0,0160 = \boxed{0,0709 \text{ kW/K}}$$

A continuación, se introduce el flujo de agua a través de una tobera adiabática, saliendo a una presión de 1,5 bar y 426 m/s. Calcular:

4. Generación de entropía en la tobera

(5 puntos)

$$0 = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m} \cdot \left[ (h_1 - h_2) + \left( \frac{C_1^2 - C_2^2}{2} \right) + g(z_1 - z_2) \right]$$

$$0 = (h_2 - h_3) + \left( \frac{C_2^2 - C_3^2}{2} \right)$$

$$h_3 = 3110,1 + \left( \frac{60^2 - 426^2}{2} \right) \cdot \frac{1}{10^3} = 3021,1 \text{ kJ/kg}$$

$h_3 > h_f(1,5 \text{ bar}) \rightarrow$  vapor sobrecalentado  $\rightarrow$  Interpolación en tabla A-4:

$$s_3 = 7,9335 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}; \quad T_3 = 274,16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{\sigma} = \dot{m} \cdot (s_3 - s_2) - \frac{\dot{Q}}{T_s} = 0,1 \cdot (7,9335 - 7,7722) = 0,1 \cdot 0,1613 = \mathbf{0,01613 \text{ kW/K}}$$

5. Rendimiento isoentrópico de la tobera

(10 puntos)

$$\frac{C_3^2}{2} = \frac{426^2}{2} \cdot \frac{1}{10^3} = 90,74 \text{ kJ/kg}$$

Cálculo de  $h_{3s}$  ( $p_3=1,5 \text{ bar}$ ;  $s_2=7,7722 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ). Interpolando en la tabla A-4:  $h_{3s}=2936,4 \text{ kJ/kg}$

$$0 = (h_2 - h_{3s}) + \left( \frac{C_2^2 - C_{3s}^2}{2} \right)$$

$$\frac{C_{3s}^2}{2} = (h_2 - h_{3s}) + \frac{C_2^2}{2} = 3110,1 - 2936,4 + \frac{60^2}{2} \cdot \frac{1}{10^3} = 175,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{C_3^2/2}{C_{3s}^2/2} = \frac{90,74}{175,5} = \mathbf{0,517 \text{ (51,7\%)}}$$

6. Velocidad máxima posible que se puede obtener con una tobera

operando entre los estados 2 y 3.

(5 puntos)

$$\frac{C_{3s}^2}{2} = 175,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 175,5 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}; \rightarrow \mathbf{C_{3s} = 592,4 \text{ m/s}}$$

7. Representar los procesos en un diagrama T-s

(5 puntos)

