

## ENUNCIADO EJERCICIO 06

Una Turbina de Gas de 6.000 kW de potencia útil, con efecto regenerativo, tiene los siguientes datos de diseño:

- Condiciones del aire a la entrada del Compresor: Ambientales ( $T_a = 15 \text{ °C}$  y  $P_a = 1 \text{ bar}$ )
- Relación de compresión: 10
- Rendimiento isoentrópico del Compresor: 0,75
- PCI del combustible: 37.000 kJ/Nm<sup>3</sup>
- Rendimiento isoentrópico del Expansor: 0,8
- Temperatura de los humos a la salida de la Cámara de Combustión: 980 °C
- Temperatura de los humos a la salida del Regenerador: 270 °C
- Rendimiento de la Turbina de Gas: 40 %
- Dosado:  $F = 0,012$
- $C_p$  (medio) para el aire y los humos; 1,1 kJ/kg. °C.
- Coeficiente adiabático para aire y humos:  $\gamma = 1,4$

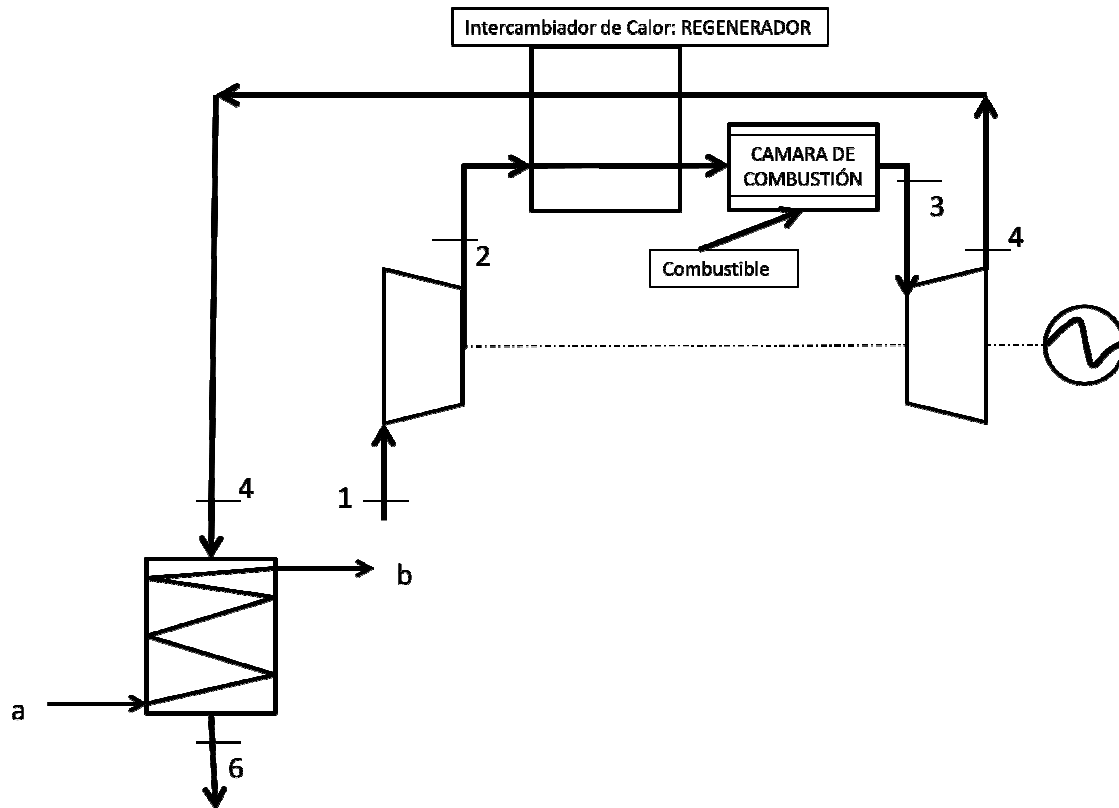
La energía de los humos a la salida del Regenerador se aprovecha para producir vapor saturado a 10 bares, en una Caldera de Recuperación (C.R.), siendo la temperatura de salida de los humos de la C.R. de 135 °C. La temperatura del agua de alimentación a la Caldera es de 80 °C.

Se pide:

1. Dibujar el esquema de la instalación, indicando los puntos principales.
2. Consumo de combustible
3. Caudal de humos en kg/seg
4. Temperatura real de los humos a la salida del Expansor
5. Caudal de vapor producido en la Caldera
6. Exergía de los humos a la salida del Regenerador

**Datos:**

1) Esquema completo de la instalación



2) Consumo de Combustible

Potencia útil de la instalación

$$N_e = 6000 \text{ [kW]}$$

Rendimiento de la Instalación

$$\eta_{GT} = 0,4$$

Poder Calórico Inferior del combustible

$$H_p = 37000 \text{ [kJ/Nm}^3\text{]}$$

3) Caudal de gases

Dosado

$$F = 0,012$$

Calculamos los puntos de la instalación

Entrada al compresor

$$t_1 = 15 \text{ [C]}$$

$$P_1 = 1 \text{ [bar]}$$

Relación de compresión

$$\rho = 10$$

$$\gamma = 1,4$$

$$T_{1;k} = \text{ConvertTemp} ( C ; K ; t_1 )$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \rho$$

$$P_{2;s} = P_2$$

$$\frac{T_{2s;k}}{T_{1;k}} = \left[ \frac{P_{2;s}}{P_1} \right]^{\left[ \frac{\gamma - 1}{\gamma} \right]}$$

$$t_{2s} = \text{ConvertTemp} ( K ; C ; T_{2;k} )$$

Rendimiento interno del compresor

$$\eta_k = 0,75$$

$$c_p = 1,1 \text{ [kJ/kg-C]}$$

$$h_1 = c_p \cdot t_1$$

$$h_{2s} = c_p \cdot t_{2s}$$

$$\eta_k = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

$$h_2 = c_p \cdot t_2$$

$$T_{2;k} = \text{ConvertTemp} ( C ; K ; t_2 )$$

$$t_3 = 980 \text{ [C]}$$

$$T_{3;k} = \text{ConvertTemp} ( C ; K ; t_3 )$$

$$P_3 = P_2$$

$$P_{4s} = P_1$$

$$\frac{T_{3;k}}{T_{4s;k}} = \left[ \frac{P_3}{P_{4s}} \right]^{\left[ \frac{\gamma - 1}{\gamma} \right]}$$

$$t_{4s} = \text{ConvertTemp} ( K ; C ; T_{4s;k} )$$

$$h_3 = c_p \cdot t_3$$

$$h_{4s} = c_p \cdot t_{4s}$$

Rendimiento interno del expansor

$$\eta_t = 0,8$$

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$$

$$h_4 = c_p \cdot t_4$$

$$T_{4;k} = \text{ConvertTemp} ( C ; K ; t_4 )$$

$$W_t = h_3 - h_4$$

$$W_k = h_2 - h_1$$

Con la siguiente ecuación se calcula el caudal másico de aire

$$N_e = \dot{m}_a \cdot ( (1 + F) \cdot W_t - W_k )$$

$$F = \frac{\dot{m}_{f;mas}}{\dot{m}_a}$$

$$\dot{m}_{gas} = \dot{m}_{f;mas} + \dot{m}_a$$

4) Temperatura real de los humos a la salida del expansor

$$t_{gas} = t_4$$

### 5) Vapor generado en caldera de recuperación

$$t_5 = 270 \text{ [C]}$$

$$t_6 = 135 \text{ [C]}$$

$$h_5 = c_p \cdot t_5$$

$$h_6 = c_p \cdot t_6$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{gas}} \cdot (h_5 - h_6)$$

#### Entrada a caldera de recuperación

$$P_{\text{H}_2\text{O};a} = 1 \text{ [bar]}$$

$$t_{\text{H}_2\text{O};a} = 80 \text{ [C]}$$

$$h_{\text{H}_2\text{O};a} = h(\text{water}; T=t_{\text{H}_2\text{O};a}; P=P_{\text{H}_2\text{O};a})$$

#### Salida de caldera de recuperación

Vapor saturado

Titulo  $x = 1$

$$P_{\text{H}_2\text{O};b} = 10 \text{ [bar]}$$

$$h_{\text{H}_2\text{O};b} = h(\text{water}; x=1; P=P_{\text{H}_2\text{O};b})$$

$$t_{\text{sat};\text{H}_2\text{O};b} = T_{\text{sat}}(\text{water}; P=P_{\text{H}_2\text{O};b})$$

#### Caudal de vapor generado

$$\dot{Q} = \dot{m}_v \cdot (h_{\text{H}_2\text{O};b} - h_{\text{H}_2\text{O};a})$$

### 6) Exergía

$$t_a = 15 \text{ [C]}$$

$$T_{a;K} = \text{ConvertTemp}(C; K; t_a)$$

$$T_{5;K} = \text{ConvertTemp}(C; K; t_5)$$

$$h_a = c_p \cdot t_a$$

$$B_{t;5} = \dot{m}_{\text{gas}} \cdot \left[ h_5 - h_a - T_{a;K} \cdot c_p \cdot \ln \left( \frac{T_{5;K}}{T_{a;K}} \right) \right]$$

## RESOLUCIÓN EN EES

"1) Esquema de la instalación"

"2) Consumo de Combustible"

$$N_e = 6000 \text{ [kW]}$$

$$\eta_{GT} = 0,4$$

$$H_p = 37000 \text{ [kJ/Nm}^3\text{]} \\ \text{combustible}"$$

"Potencia útil de la instalación"

"Rendimiento de la Instalación"

" Poder Calorífico Inferior del

$$\eta_{GT} = N_e / (m_{dot_f} * H_p)$$

"3) Caudal de gases"

$$F = 0,012$$

"Dosado"

"Calculamos los puntos de la instalación"

"Entrada al compresor"

$$t_1 = 15 \text{ [C]}$$

$$P_1 = 1 \text{ [bar]}$$

$$\rho = 10$$

$$\gamma = 1,4$$

"Relación de compresión"

$$T_{1_k} = \text{ConvertTemp}(c;K;t_1)$$

$$P_2 / P_1 = \rho$$

$$P_{2s} = P_2$$

$$T_{2s_k} / T_{1_k} = (P_{2s}/P_1)^{((\gamma-1)/(\gamma))}$$

$$t_{2s} = \text{ConvertTemp}(K;c;T_{2s_k})$$

$$\eta_k = 0,75$$

"Rendimiento interno del compresor"

$$c_p = 1,1 \text{ [kJ/kg-C]}$$

$$h_1 = c_p * t_1$$

$$h_{2s} = c_p * t_{2s}$$

$$\eta_k = (h_{2s} - h_1) / (h_2 - h_1)$$

$$h_2 = c_p * t_2$$

$$T_{2_k} = \text{ConvertTemp}(c;K;t_2)$$

$$t_3 = 980 \text{ [C]}$$

$$T_{3_k} = \text{ConvertTemp}(c;K;t_3)$$

$$P_3 = P_2$$

$$P_{4s} = P_1$$

$$T_{3_k} / T_{4s_k} = (P_3 / P_{4s})^{((\gamma-1)/(\gamma))}$$

$$t_{4s} = \text{ConvertTemp}(K;c;T_{4s_k})$$

$$h_3 = c_p * t_3$$

$$h_{4s} = c_p * t_{4s}$$

$$\eta_{t} = 0,8$$

"Rendimiento interno del expansor"

$$\eta_{t} = (h_{3} - h_{4}) / (h_{3} - h_{4s})$$

$$h_{4} = c_{p} * t_{4}$$

$$T_{4\_K} = \text{ConvertTemp}(c;K;t_{4})$$

$$W_{t} = h_{3} - h_{4}$$

$$W_{k} = h_{2} - h_{1}$$

"Con la siguiente ecuación se calcula el caudal másico de aire"

$$N_{e} = m_{\text{dot}}_{a} * ((1 + F) * W_{t} - W_{k})$$

$$F = m_{\text{dot}}_{f\_mas} / m_{\text{dot}}_{a}$$

$$m_{\text{dot}}_{gas} = m_{\text{dot}}_{f\_mas} + m_{\text{dot}}_{a}$$

"4) Temperatura real de los humos a la salida del expansor"

$$t_{gas} = t_{4}$$

"5) Vapor generado en caldera de recuperación"

$$t_{5} = 270 \text{ [C]}$$

$$t_{6} = 135 \text{ [C]}$$

$$h_{5} = c_{p} * t_{5}$$

$$h_{6} = c_{p} * t_{6}$$

$$Q_{\text{dot}} = m_{\text{dot}}_{gas} * (h_{5} - h_{6})$$

$$P_{H2O\_a} = 1 \text{ [bar]}$$

"Entrada a caldera de recuperación"

$$t_{H2O\_a} = 80 \text{ [C]}$$

$$h_{H2O\_a} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T = t_{H2O\_a}; P = P_{H2O\_a}) \text{ "Tablas"}$$

"Salida de caldera de recuperación"

"Vapor saturado"

"Titulo x = 1"

$$P_{H2O\_b} = 10 \text{ [bar]}$$

$$h_{H2O\_b} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; x = 1; P = P_{H2O\_b})$$

$$t_{\text{sat}}_{H2O\_b} = T_{\text{sat}}(\text{Water}; P = P_{H2O\_b})$$

"Caudal de vapor generado"

$$Q_{\text{dot}} = m_{\text{dot}}_{v} * (h_{H2O\_b} - h_{H2O\_a})$$

"6) Exergía"

$$t_{a} = 15 \text{ [C]}$$

$$T_{a\_K} = \text{ConvertTemp}(c;K;t_{a})$$

$$T_{5\_K} = \text{ConvertTemp}(c;K;t_{5})$$

$$h_{a} = c_{p} * t_{a}$$

$$B_{t\_5} = m_{\text{dot}}_{gas} * ((h_{5} - h_{a}) - T_{a\_K} * c_{p} * \ln(T_{5\_K} / T_{a\_K}))$$

## SOLUCION

$B_t = 898,1$  [kW]  
 $c_p = 1,1$  [kJ/kg-C]  
 $\eta_{GT} = 0,4$   
 $\eta_k = 0,75$   
 $\eta_t = 0,8$   
 $F = 0,012$   
 $h_1 = 16,5$  [kJ/kg]  
 $h_2 = 16,5$  [kJ/kg]  
 $h_{2s} = 16,5$  [kJ/kg]  
 $h_3 = 1078$  [kJ/kg]  
 $h_4 = 546,4$  [kJ/kg]  
 $h_{4s} = 413,5$  [kJ/kg]  
 $h_5 = 297$  [kJ/kg]  
 $h_6 = 148,5$  [kJ/kg]  
 $h_a = 16,5$  [kJ/kg]  
 $h_{H_2O_a} = 335$  [kJ/kg]  
 $h_{H_2O_b} = 2778$  [kJ/kg]  
 $H_p = 37000$  [kJ/Nm<sup>3</sup>]  
 $\dot{m}_a = 11,15$  [kg/s]  
 $\dot{m}_f = 0,4054$  [Nm<sup>3</sup>/sec]  
 $\dot{m}_{f_{mas}} = 0,1338$  [kg/sec]  
 $\dot{m}_{gas} = 11,29$  [kg/sec]  
 $\dot{m}_v = 0,6862$  [kg/sec]  
 $N_e = 6000$  [kW]  
 $P_1 = 1$  [bar]  
 $P_2 = 10$  [bar]  
 $P_{2s} = 10$  [bar]  
 $P_3 = 10$  [bar]  
 $P_{4s} = 1$  [bar]  
 $P_{H_2O_a} = 1$  [bar]  
 $P_{H_2O_b} = 10$  [bar]  
 $\dot{Q} = 1676$  [kW]  
 $\rho = 10$   
 $t_1 = 15$  [C]  
 $T_{1k} = 288,2$  [K]  
 $t_2 = 15$  [C]  
 $t_{2s} = 15$  [C]  
 $T_{2sk} = 556,3$  [K]  
 $T_{2k} = 288,2$  [K]  
 $t_3 = 980$  [C]  
 $T_{3k} = 1253$  [K]  
 $t_4 = 496,7$  [C]  
 $t_{4s} = 375,9$  [C]  
 $T_{4sk} = 649,1$  [K]  
 $T_{4k} = 769,9$  [K]  
 $t_5 = 270$  [C]  
 $T_{5K} = 543,2$  [K]  
 $t_6 = 135$  [C]  
 $t_a = 15$  [C]  
 $T_{aK} = 288,2$  [K]  
 $t_{gas} = 496,7$  [C]  
 $t_{H_2O_a} = 80$  [C]  
 $t_{sat_{H_2O_b}} = 179,9$  [C]  
 $W_k = 1,388E-17$  [kJ/kg]  
 $W_t = 531,6$  [kJ/kg]