

## **ENUNCIADO EJERCICIO 07**

Una Caldera de Recuperación (C. R.) aprovecha el caudal de gases de escape de una Turbina de Gas (T.G.) para producir vapor sobrecalentado a 40 bar y 400 °C.

El vapor se expande en una Turbina de Vapor (T.V.) a contrapresión hasta 5 bar, el cual se aprovecha en un proceso productivo.

La Turbina de Vapor está unida a un Alternador, mediante un acoplamiento mecánico y un reductor de velocidades, para producir energía eléctrica.

El caudal de gases que salen de la Turbina de Gas es de 144 t/h a 500 °C. Los gases salen de la Caldera de Recuperación a 120 °C.

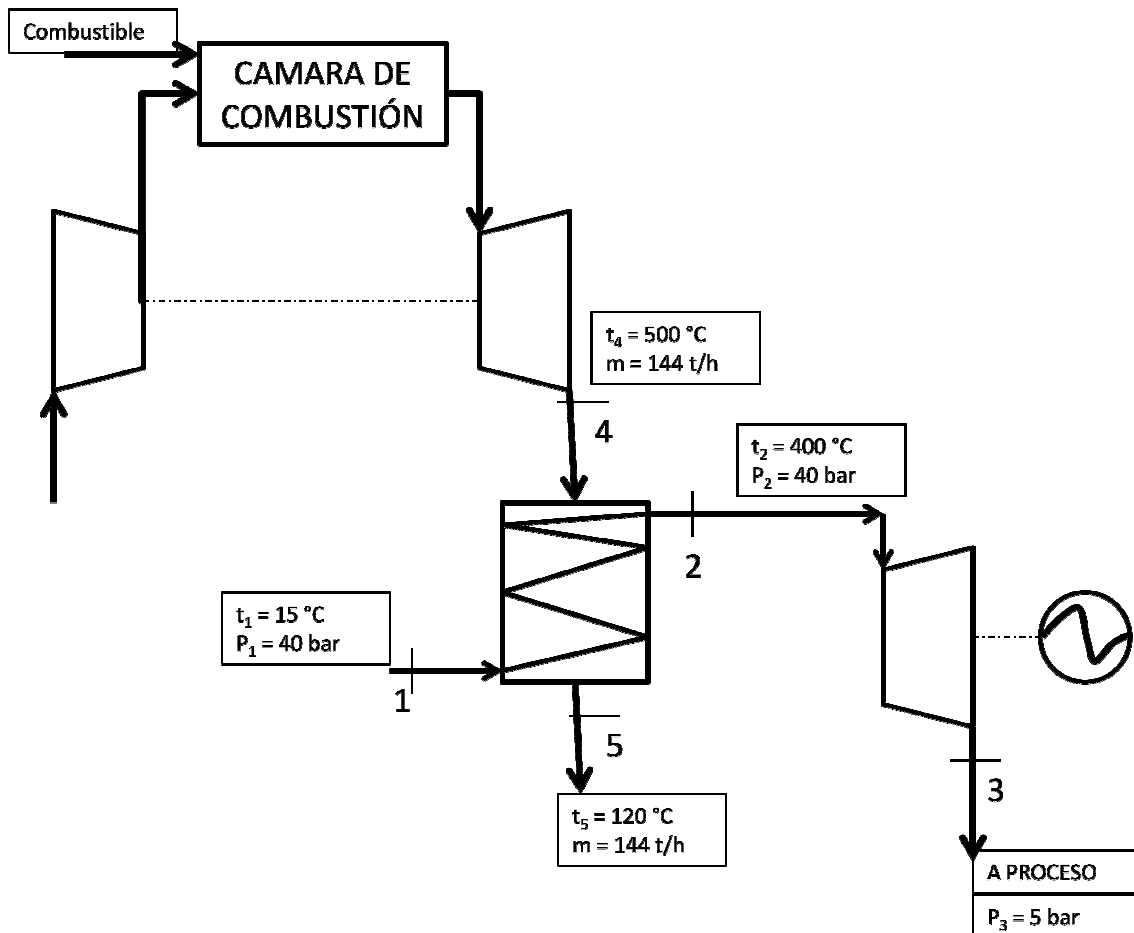
### **Calcular**

- 1) Dibujar el Esquema de la Instalación
- 2) Caudal de vapor producido en la Caldera de Recuperación
- 3) Potencia Eléctrica generada
- 4) Exergía del Vapor a 5 bar (salida de la T. V)
- 5) Exergía destruida en la Turbina de Vapor

### **Datos**

Tomar un valor medio para el  $C_p$  de los gases = 1,1 kJ/kg. °C  
Rendimiento Isoentrópico de la T. V. = 70 %  
Rendimiento mecánico del acoplamiento y reductor = 90 %  
Rendimiento eléctrico del Alternador = 95 %  
Agua de Alimentación a la Caldera: Temperatura = 15 °C y  
Presión = 40 bar.  
Condiciones Ambientales:  $P_a = 1$  bar y  $T_a = 15$  °C

1) Esquema completo de la instalación



**Datos:**

Calor específico medio de los gases de escape

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

Rendimiento isoentrópico TV

$$\eta_{\text{iso;TV}} = 0,7$$

Rend. mecánico acoplamiento TV-alternador

$$\eta_{\text{mec}} = 0,9$$

Rend. eléctrico alternador

$$\eta_{\text{elec}} = 0,95$$

Temperatura de agua de entrada a caldera

$$T_1 = 15 \text{ [C]}$$

Presión de entrada de agua a caldera

$$P_1 = 40 \text{ [bar]}$$

Presión ambiente

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

Temperatura ambiente

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

Temperatura de salida de agua de caldera

$$T_2 = 400 \text{ [C]}$$

Presión de salida de la caldera

$$P_2 = P_1$$

Presión de salida de TV

$$P_3 = 5 \text{ [bar]}$$

Caudal de gases de escape

$$\dot{m}_{\text{gas}} = 144 \text{ [tonne/h]}$$

Temperatura de gas entrada de caldera

$$T_4 = 500 \text{ [C]}$$

Temperatura de gas salida de caldera

$$T_5 = 120 \text{ [C]}$$

2) Caudal de vapor producido en la Caldera de Recuperación

Entalpía gas entrada caldera

$$h_4 = C_p \cdot T_4$$

Entalpía gas salida caldera

$$h_5 = C_p \cdot T_5$$

Entalpía agua entrada caldera

$$h_1 = h \text{ [water ; } P=P_1 ; T=T_1 \text{]}$$

Entalpía agua salida caldera

$$h_2 = h \text{ [water ; } P=P_2 ; T=T_2 \text{]}$$

Se conserva la energía en la caldera

$$\dot{m}_{\text{gas}} \cdot \left| 0,2778 \cdot \frac{\text{kg/s}}{\text{tonne/h}} \right| \cdot [h_4 - h_5] = \dot{m}_{\text{vapor}} \cdot [h_2 - h_1]$$

3) Potencia Eléctrica generada

Entropía de entrada a TV

$$s_2 = s[\text{water}; P=P_2; T=T_2]$$

Isoentrópico de salida de TV

$$s_6 = s_2$$

Presión de salida de TV

$$P_6 = P_3$$

Entalpía de isoentrópico salida TV

$$h_6 = h[\text{water}; P=P_6; s=s_6]$$

Título de vapor salida-iso TV

$$x_6 = x[\text{water}; P=P_6; h=h_6]$$

$$\eta_{\text{iso;TV}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_6}$$

Temperatura vapor salida TV

$$T_3 = T[\text{water}; P=P_3; h=h_3]$$

Título de vapor salida TV

$$x_3 = x[\text{water}; P=P_3; h=h_3]$$

$$\dot{N}_{\text{elec}} = \eta_{\text{mec}} \cdot \eta_{\text{elec}} \cdot \dot{m}_{\text{vapor}} \cdot [h_2 - h_3]$$

4) Exergía del Vapor a 5 bar (salida de la T. V)

Entropía de entrada a TV

$$s_3 = s[\text{water}; P=P_3; T=T_3]$$

Entalpía agua ambiente

$$h_a = h[\text{water}; P=P_a; T=t_a]$$

Entropía agua ambiente

$$s_a = s[\text{water}; P=P_a; T=t_a]$$

$$T_{a;k} = \text{ConvertTemp}[C; K; t_a]$$

$$B_{t;3} = \dot{m}_{\text{vapor}} \cdot [h_3 - h_a - T_{a;k} \cdot (s_3 - s_a)]$$

5) Exergía destruida en la Turbina de Vapor

Aplicamos Gouy-Stodola

$$\dot{i} = \dot{m}_{\text{vapor}} \cdot T_{a;k} \cdot [s_3 - s_6]$$

## RESOLUCIÓN EN EES

### "1) Esquema de la instalación"

#### "Datos"

$C_p = 1,1$  [kJ/kg-C] "Calor específico medio de los gases de escape"  
 $\eta_{iso\_TV} = 0,7$  "Rendimiento isoentrópico TV"  
 $\eta_{mec} = 0,9$  "Rend. mecánico acoplamiento TV-alternador"  
 $\eta_{elec} = 0,95$  "Rend. eléctrico alternador"

$T[1] = 15$  [C] "Temperatura de agua de entrada a caldera"  
 $P[1] = 40$  [bar] "Presión de entrada de agua a caldera"

$P_a = 1$  [bar] "Presión ambiente"  
 $t_a = 15$  [C] "Temperatura ambiente"

$T[2] = 400$  [C] "Temperatura de salida de agua de caldera"  
 $P[2] = P[1]$  "Presión de salida de la caldera"

$P[3] = 5$  [bar] "Presión de salida de TV"

$m_{dot\_gas} = 144$  [tonne/h] "Caudal de gases de escape"  
 $T[4] = 500$  [C] "Temperatura de gas entrada de caldera"  
 $T[5] = 120$  [C] "Temperatura de gas salida de caldera"

### "2) Caudal de vapor producido en la Caldera de Recuperación"

$h[4] = C_p * T[4]$  "Entalpía gas entrada caldera"  
 $h[5] = C_p * T[5]$  "Entalpía gas salida caldera"

$h[1] = \text{Enthalpy}(\text{Water}; P = P[1]; T = T[1])$  "Entalpía agua entrada caldera"  
 $h[2] = \text{Enthalpy}(\text{Water}; P = P[2]; T = T[2])$  "Entalpía agua salida caldera"

#### "Se conserva la energía en la caldera"

$$m_{dot\_gas} * \text{convert}(\text{tonne/h;kg/s}) * (h[4] - h[5]) = m_{dot\_vapor} * (h[2] - h[1])$$

### "3) Potencia Eléctrica generada"

$s[2] = \text{Entropy}(\text{Water}; P = P[2]; T = T[2])$  "Entropía de entrada a TV"  
 $s[6] = s[2]$  "Isoentrópico de salida de TV"  
 $P[6] = P[3]$  "Presión de salida de TV"

$h[6] = \text{Enthalpy}(\text{Water}; P = P[6]; s = s[6])$  "Entalpía de isoentrópico salida TV"  
 $x[6] = \text{Quality}(\text{Water}; p=P[6]; h=h[6])$  "Título de vapor salida-iso TV"

$$\eta_{iso\_TV} = (h[2] - h[3]) / (h[2] - h[6])$$

$T[3] = \text{Temperature}(\text{Water}; P = P[3]; h = h[3])$  "Temperatura vapor salida TV"  
 $x[3] = \text{Quality}(\text{Water}; P=P[3]; h=h[3])$  "Título de vapor salida TV"

$$N_{dot\_elec} = \eta_{mec} * m_{dot\_vapor} * (h[2] - h[3])$$

### "4) Exergía del Vapor a 5 bar (salida de la T. V)"

## EJERCICIO 7

$$s[3] = \text{Entropy}(\text{Water}; P = P[3]; T = T[3])$$

"Entropía de entrada a TV"

$$h_a = \text{Enthalpy}(\text{Water}; P = P_a; T = t_a)$$

"Entalpía agua ambiente"

$$s_a = \text{Entropy}(\text{Water}; P = P_a; T = t_a)$$

"Entropía agua ambiente"

$$T_{a_k} = \text{Converttemp}(C; K; t_a)$$

$$B_{t_3} = m_{\text{dot\_vapor}} * ((h[3] - h_a) - T_{a_k} * (s[3] - s_a))$$

"5) Exergía destruida en la Turbina de Vapor"

"Aplicamos Gouy-Stodola"

$$I_{\text{dot}} = m_{\text{dot\_vapor}} * T_{a_k} * (s[3] - s[6])$$

**SOLUCION**

$B_{t\_3}=4408$  [kW]

$C_{p}=1,1$  [kJ/kg-C]

$\eta_{elec}=0,95$

$\eta_{iso\_TV}=0,7$

$\eta_{mec}=0,9$

$h_a=63,01$  [kJ/kg]

$\dot{I}=499,7$  [kW]

$\dot{m}_{gas}=144$  [tonne/h]

$\dot{m}_{vapor}=5,314$  [kg/s]

$N_{dot\_elec}=1631$  [kW]

$P_a=1$  [bar]

$s_a=0,2242$  [kJ/kg-K]

$t_a=15$  [C]

$T_{a\_k}=288,2$  [K]

	<b>h[i]</b>	<b>P[i]</b>	<b>s[i]</b>	<b>T[i]</b>	<b>x[i]</b>
<b>PUNTO</b>	<b>[kJ/kg]</b>	<b>[bar]</b>	<b>[kJ/kg-K]</b>	<b>[C]</b>	
[1]	66,74	40		15	
[2]	3213	40	6,769	400	
[3]	2872	5	7,095	208,2	100
[4]	550			500	
[5]	132			120	
[6]	2726	5	6,769		0,9894