

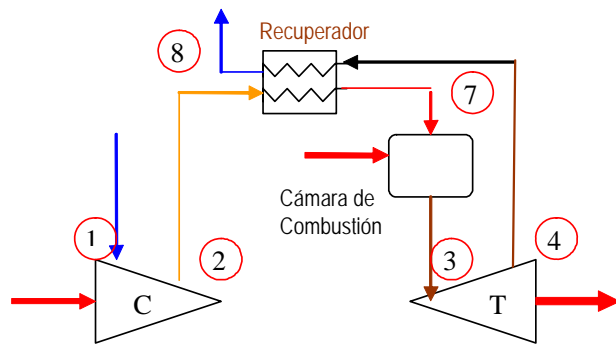
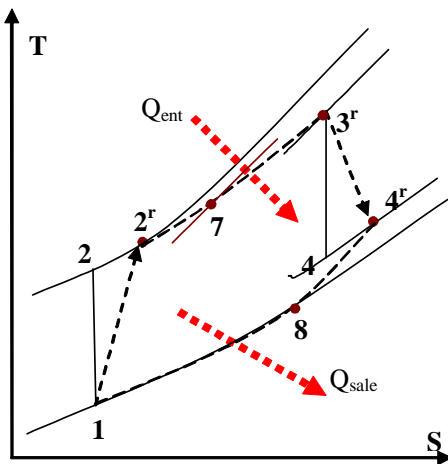
TERCER EXAMEN
RESOLUCION

PROBLEMA 1.- Una Turbina de gas funciona en ciclo abierto regenerativo. Entran 10 kg/seg de aire en el compresor axial, cuya relación de compresión es 8, a la presión de 1 bar y 10°C; de allí pasa el aire a la cámara de combustión, donde se eleva su temperatura hasta 750°C, habiendo atravesado previamente el regenerador, y experimentando desde la salida del compresor a la entrada en la turbina una pérdida de presión de 0.25 bar. En el flujo de gases de escape de la turbina hay también una pérdida de presión de 0.1 bar hasta su salida a la atmósfera a través del regenerador.

El rendimiento interno del compresor es 86% y el mecánico 97%. El rendimiento interno de la turbina es 87% y el mecánico 98%. $c_p = 1,065 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$; $c_v = 0,779 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. La efectividad el regenerador es de 80%. Calcular:

- El trabajo de compresión y la potencia de accionamiento del mismo
- La temperatura real del aire a la salida del compresor
- El trabajo de la turbina y su potencia
- La eficiencia térmica del sistema.

RESOLUCION



$T_1 := 283\text{K}$	$p_1 := 10^5 \cdot \text{Pa}$	$m := 10 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}}$	$R := 287 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$c_p := 1065.2 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$c_v := 779 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
$T_3 := 1023\text{K}$	$\Delta p_{23} := 25 \cdot 10^3 \cdot \text{Pa}$	$\eta_c := 86\%$	$\eta_{mc} := 97\%$	$k := \frac{c_p}{c_v}$	$k = 1.367$
$r_c := 8$	$\Delta p_{41} := 1 \cdot 10^4 \cdot \text{Pa}$	$\eta_t := 87\%$	$\eta_{mt} := 98\%$		
		$\eta_{re} := 80\%$			

(a) Cálculo del trabajo y la potencia del compresor

A partir de la relación de compresión podemos calcular, la relación de presiones en la compresión,

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = r_c^k \quad r_p := (r_c)^k \quad r_p = 17.174$$

$$p_2 := p_1 \cdot r_p$$

y,

$$T_2 := T_1 \cdot (r_c)^{k-1} \quad T_2 = 607.542 \text{ K}$$

$$W_c := \frac{m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)}{\eta_c} \quad W_c = 4.321 \times 10^6 \text{ W} \quad P_{\text{comp}} := \frac{W_c}{\eta_{mc}} \quad P_{\text{comp}} = 4.455 \times 10^6 \text{ W}$$

(b) La temperatura real a la salida del compresor se puede calcular a partir del rendimiento termico del compresor, así:

$$\eta_c = \frac{T_2 - T_1}{T_{2r} - T_1} \quad T_1 = 283 \text{ K}$$

$$T_{2r} := T_1 + \frac{T_2 - T_1}{\eta_c} \quad T_{2r} = 688.678 \text{ K}$$

(c) Trabajo y potencia e la turbina

Cálculo de la temperatura teórica a la salida de la turbina:

$$T_4 := \frac{T_3}{\left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

debido a las caidas de presión, la relación de presión en la expansión no es igual a la relación de presión en la compresión.

$$p_3 := p_2 - \Delta p_{23} \quad p_4 := p_1 + \Delta p_{41}$$

$$p_3 = 1.692 \times 10^6 \text{ Pa} \quad p_4 = 1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$rp_e := \frac{p_3}{p_4} \quad rp_e = 15.386$$

$$T_4 := \frac{T_3}{\left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \quad T_4 = 490.815 \text{ K}$$

$$W_t := \eta_t \cdot m \cdot cp \cdot (T_3 - T_4) \quad W_t = 4.932 \times 10^6 \text{ W}$$

Potencia entregada

$$P_{turb} := \eta_{mt} \cdot W_t \quad P_{turb} = 4.833 \times 10^6 \text{ W}$$

Cálculo de la temperatura real a la salida de la turbina:

$$\eta_t = \frac{T_3 - T_{4r}}{T_3 - T_4}$$

$$T_{4r} := T_3 - \eta_t (T_3 - T_4) \quad T_{4r} = 559.999 \text{ K}$$

* Como la temperatura real de salida de la turbina es menor que la temperatura real de salida del compresor, en este sistema no es práctico ni conveniente incorporar un regenerador, por tanto el calor añadido será:

$$Q_{ent} := m \cdot cp \cdot (T_3 - T_{2r})$$

$$Q_{ent} = 3.561 \times 10^6 \text{ W}$$

$$\eta_{sist} := \left(\frac{W_t - W_c}{Q_{ent}} \right) \cdot 100 \quad \eta_{sist} = 17.15 \quad \%$$

* Aunque esto puede ocurrir, en este problema en realidad la relación de presión del compresor es 8, sin embargo se ha resuelto como si la relación de compresión fuese 8.

Problema 2.- Se conocen los siguientes datos de una turbina industrial de 677 HP, de ciclo simple: Temperatura y presión de admisión 60 °F y 15 psia.; temperatura de entrada a la turbina 1650 °F; relación de compresión del compresor 8/1; rendimiento de compresor 85%, rendimiento de la turbina 88%, pérdida de presión en la cámara de combustión 3%, pérdida de presión en el escape 2.5% rendimiento de la cámara de combustión 96%; rendimiento mecánico de la instalación 98%; potencia calorífica inferior del combustible 1860 Btu/lb; Suponer que el fluido de trabajo es el aire estándar. Calcular (a) La temperatura del aire al salir del compresor y de la turbina; (b) el rendimiento térmico del sistema, (c) el gasto de aire y el consumo de combustible por cada libra de aire

$$p_1 := 15$$

$$T_1 := (60 + 460)$$

$$T_3 := (1650 + 460)$$

$$r_c := 8$$

$$\eta_c := 85\% \quad \eta_{cc} := 96\%$$

$$\eta_t := 88\% \quad \eta_{ms} := 98\%$$

$$P_{sis} := 677$$

$$q_i := 1860$$

$$c_p := 0.240 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm} \cdot \text{R}}$$

$$k := 1.4$$

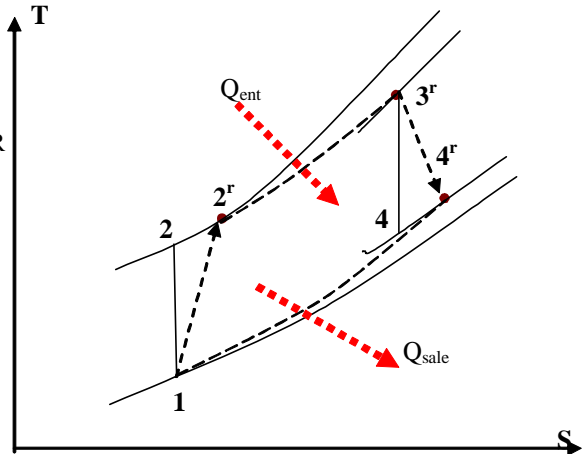
$$R := 53.3 \text{ pie} \cdot \frac{\text{lb}_f}{\text{lbm}} \text{ R}$$

$$\beta_{23} := 1 - 3\%$$

$$\beta_{23} = 0.97$$

$$\beta_{41} := 1 - 2.5\%$$

$$\beta_{41} = 0.975$$



CALCULOS PRELIMINARES

A partir de la relación de compresión podemos calcular, la relación de presiones en la compresión,

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = r_c^k \quad r_p := (r_c)^k \quad r_p = 18.379$$

entonces la presión a la salida del compresor sera:

$$p_2 := p_1 \cdot r_p \quad p_2 = 275.688 \text{ psi}$$

(a) La temperatura a la salida del compresor se puede calcular a partir de la temperatura teórica T2 y del rendimiento térmico del compresor:

$$T_2 := T_1 \cdot (r_p)^{\frac{k-1}{k}} \quad T_2 = 1194 \text{ R}$$

entonces a partir del rendimiento del compresor, calculamos la temperatura real a la salida el compresor:

$$\eta_c = \frac{T_2 - T_1}{T_{2r} - T_1}$$

$$T_{2r} := T_1 + \frac{T_2 - T_1}{\eta_c} \quad T_{2r} = 1314 \text{ R}$$

(b) La temperatura a la salida de la turbina se puede calcular a partir de la temperatura teórica T4 y del rendimiento térmico de la turbina:

Cálculo de la temperatura teórica a la salida de la turbina:

$$T_4 := \frac{T_3}{(r_{pe})^{\frac{k-1}{k}}}$$

donde rpe es la relación de presión en la expansión.

debido a las caídas de presión, la relación de presión en la expansión no es igual a la relación de presión en la compresión, por lo que procedemos a su cálculo:

$$p_3 := \beta_{23} \cdot p_2 \quad p_4 := \frac{p_1}{\beta_{41}}$$

$$r_{p_e} := \frac{p_3}{p_4} \quad r_{p_e} = 17.382$$

$$T_4 := \frac{T_3}{\frac{k-1}{(r_{p_e})^k}} \quad T_4 = 933 \text{ R}$$

Cálculo de la temperatura real a la salida de la turbina, a partir de la definición de rendimiento:

$$\eta_t = \frac{T_3 - T_{4r}}{T_3 - T_4}$$

$$T_{4r} := T_3 - \eta_t(T_3 - T_4) \quad T_{4r} = 1074 \text{ R}$$

(b) El rendimiento térmico se puede calcular a partir del calor añadido y el trabajo neto entregado por el sistema.

$$\eta_{sist} = \frac{W_t - W_c}{Q_{ent}}$$

$$w_c := c_p \cdot (T_{2r} - T_1) \quad w_t := c_p \cdot (T_3 - T_{4r}) \quad q_{ent} := c_p \cdot (T_3 - T_{2r})$$

$$w_c = 190.488 \text{ Btu/lbm} \quad w_t = 248.543 \text{ Btu/lbm} \quad q_{ent} = 191.112 \text{ Btu/lbm}$$

El rendimiento térmico del sistema está dado por:

$$\eta_{sist} := \left(\frac{w_t - w_c}{q_{ent}} \right) 100 \quad \eta_{sist} = 30.4 \%$$

El rendimiento total

$$\eta_{total} := \eta_{sist} \cdot \eta_{ms} \quad \eta_{total} = 29.77 \%$$

La masa de aire se puede calcular a partir de la potencia generada, el trabajo neto y el rendimiento mecánico:

$$P_{sis} := \eta_{ms} \cdot m_{aire} \cdot \frac{(w_t - w_c)}{42.41}$$

$$m_{aire} := \frac{P_{sis} \cdot 42.41}{\eta_{ms} \cdot (w_t - w_c)} \quad m_{aire} = 1 \text{ lbm/min}$$

El consumo de combustible por libra de aire, dosificado o relación combustible aire, se calcula a partir de un balance de calor:

$$q_{ent}(m_a + m_c) = (q_i \cdot m_c) \eta_{cc}$$

$$q_{ent} \left(1 + \frac{m_c}{m_a} \right) = \left(q_i \cdot \frac{m_c}{m_a} \right) \eta_{cc}$$

$$r_{c/a} = \frac{q_{ent}}{q_i \cdot \eta_{cc} - q_{ent}}$$

$$r_{ca} := \frac{q_{ent}}{q_i \cdot \eta_{cc} - q_{ent}} = 0.12$$