Cátedra: Termodinámica - Ing. Civil e Ing. Ambiental	**Guía de trabajos prácticos Nº 5**
Docente/s: Ing. José Contento / Ing. Jorge Rosasco	

ENTROPIA

Ejercicio 1: Una masa m_1 (Kg./h) de Aire a p_1 = 20 atm y T_1 = 310 K ingresa a un Intercambiador de Calor donde recibe Q (Kcal/h) de una Fuente de Capacidad Infinita que se mantiene a 3000 K. A continuación ingresa una Cámara de Mezcla Adiabática donde se mezcla con m_3 (Kg./h) de Aire a 500 K. Seguidamente la mezcla atraviesa una Válvula Reductora de Presión, adiabática, saliendo a p_5 = 15 atm y T_5 = 1500 K. Finalmente ingresa a una Turbina Adiabática donde entrega una Potencia P_T = 1000 KW, egresando el aire de la Turbina a P_6 = 1 atm.

DATOS:

$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 20$ Atm; $P_5 = 15$ Atm; $P_6 = 1$ Atm; $T_1 = 310$ K; $T_2 = 2000$ K; $T_5 = 1500$ K; $T_3 = 500$ K.

Considerar al Aire como Gas Ideal.

$c_v = 0{,}17$ Kcal/ Kg. K

$c_p = 0{,}24$ Kcal/ Kg. K

Despreciar energías cinéticas y potenciales.

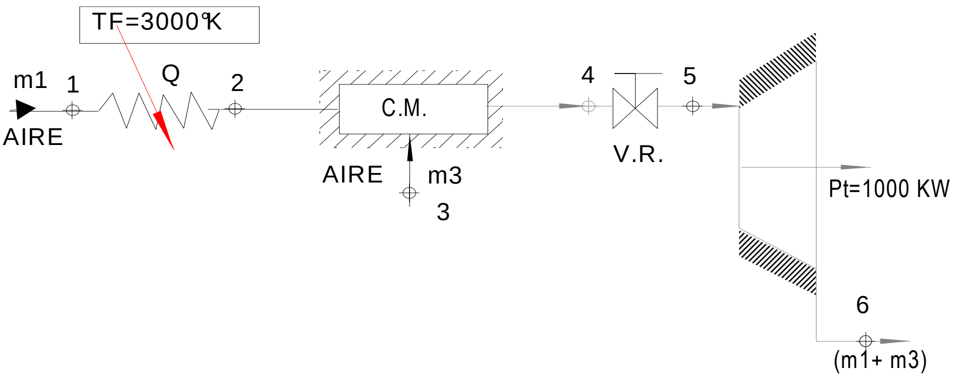
Turbina: Rendimiento isoentrópico igual a 0,8.

Calcular:

m_1 y m_3; T_4; Q ; T_6

Variación de Entropía del Universo.

Representar la evolución del Aire en un diagrama T - S.



Resolución

Sistema intercambiador:

$$Q = \Delta H + \cancel{L}_{UTIL} \therefore Q = \Delta H = H_2 - H_1$$

$$\therefore Q = m_1 \times Cp \times (T_2 - T_1) = m_1 \times 0{,}24 \times (2000 - 310) = \dot{Q} = \dot{m}_1 \times 405{,}6 [KCal/h]$$

Sistema cámara de mezcla

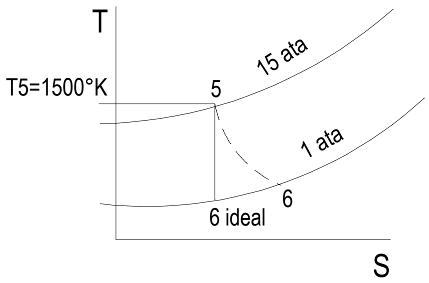
$$\cancel{Q} = \Delta H + \cancel{L}_{UTIL} \therefore \Delta H = 0 \therefore \sum H_{Entrada} = \sum H_{Salida} \rightarrow \dot{m}_1 \times h_2 + \dot{m}_3 \times h_3 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_3) h_4$$

$$h_4 = \frac{\dot{m}_1 \times h_2 + \dot{m}_3 \times h_3}{(\dot{m}_1 + \dot{m}_3)} = Cp \times T_4$$

Sistema válvula reductora de presión

$$\not{Q} = \Delta H + \not{L}_{Util}$$
$$\Delta H = 0 \Rightarrow H_4 = H_5$$
$$mxC_P xT_4 = mxC_P xT_5$$
$$T_4 = T_5 = 1500°K$$

Sistema turbina adiabática



$$\not{Q} = \Delta H + L_{Util} \therefore -\Delta H = L_{Util}$$

$$-\Delta \mathrm{H} = -(H_6 - H_5) = H_5 - H_6 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_3) \times C_P \times (T_5 - T_6) = L_{Util} = 1000Kw \times 860 \frac{KCal}{KW} = 860.000\ KCal$$

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_3) \times 0{,}24 \times (T_5 - T_6) = 860.000\ KCal$$

$$\eta_{isoentropico} = \frac{h_5 - h_6}{h_5 - h_{6'(ideal)}} = 0{,}8 = \frac{T_5 - T_6}{T_5 - T_{6'}}$$

La transformación 5 – 6´ es una politrópica de exponente k

$$\frac{T_{6'}}{T_5} = \left(\frac{P_6}{P_5}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \rightarrow \therefore T_{6'} = T_5 \left(\frac{P_6}{P_5}\right)^{\frac{1{,}41-1}{1{,}41}} = 1500°K \left(\frac{1}{15}\right)^{\frac{1{,}41-1}{1{,}41}} = 682{,}5°K$$

$$\eta_{isoentropico} = 0{,}8 = \frac{T_5 - T_6}{T_5 - T_{6'}} \therefore T_6 = T_5 - 0{,}8(1500 - 682{,}5) \Rightarrow$$
$$T_6 = 846°K$$

De la turbina conocemos que:

$$L_{UTIL} = 860.000\ KCal = (m_1 + m_3) \times 0{,}24 \times (T_5 - T_6)$$

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_3) = \frac{860.000}{0{,}24 \times (1500 - 846)} = 5479{,}1\ Kg/h$$

De la cámara de mezcla tenemos que

$$(\dot{m}_1+\dot{m}_3)=h_4=\frac{\dot{m}_1\times h_2+\dot{m}_3\times h_3}{Cp\times T_4}=\frac{\dot{m}_1\times T_2+\dot{m}_3\times T_3}{T_4}=5479{,}1$$

$$\therefore\quad 5479{,}1\times T_4=\dot{m}_1\times T_2+5479{,}1\times T_3-\dot{m}_1\times T_3$$

$$\therefore\quad 5479{,}1\times T_4=\dot{m}_1(T_2-T_3)+5479{,}1\times T_3$$

De donde podemos despejar $\dot{m}_1$, resultando la misma $\dot{m}_1=3652{,}7\ Kg/h$

Por lo tanto $\dot{m}_3=5479{,}1-3652{,}7=1826{,}4[Kg/h]$

De lo que resulta que el calor intercambiado es

$$\therefore Q=m_1\times Cp\times(T_2-T_1)=m_1\times 0{,}24\times(2000-310)$$

$$\dot{Q}=\dot{m}_1\times 405{,}6[KCal/h]=1.481.535{,}12\ KCal/hora$$

$$\Delta S_U=\Delta S_M+\Delta S_S$$

Calculo de la variación de entropía:

Para esto necesitamos los estados iniciales y finales, nos referiremos al medio ambiente, tomando $T_0=300°K$ y $P_0=1atm$, es de observar que no se esta calculando una variación, sino la entropía de un estado referida al medio ambiente.

$$\Delta S_{aire}=\Delta S_{final}+\Delta S_{inicial}$$

$$S_{Final}=(m_1+m_3)\left[Cp\ln\frac{T_6}{T_0}-\overbrace{AR\ln\frac{P_6}{P'_0}}^{0}\right]=(m_1+m_3)Cp\ln\frac{T_6}{T_0}=5479{,}1\times 0{,}24\times\ln\frac{846}{300}=1363{,}29[KCal/°K]$$

$$S_{Inicial}=m_1\left[Cp\ln\frac{T_1}{T_0}-AR\ln\frac{P_1}{P_0}\right]+m_3\left[Cp\ln\frac{T_3}{T_0}-AR\ln\frac{P_3}{P_0}\right]=$$

$$S_{Inicial}=3652{,}7\left[0{,}24\ln\frac{310}{300}-\frac{29{,}27}{427}\ln\frac{20}{1}\right]+1826\left[0{,}24\ln\frac{500}{300}-\frac{29{,}27}{427}\ln\frac{20}{1}\right]=-872{,}45\frac{Kcal}{K\ h}$$

$$\therefore\Delta S_{AIRE}=S_{final}-S_{Inicial}=+2.235{,}7\Rightarrow\therefore\Delta S_{SISTEMA}=+2.235{,}77\left[KCal/K\,h\right]$$

$$\therefore\Delta S_{MEDIO}=\Delta S_{MEDIO}=\frac{-Q}{T}=\frac{-1.481.535{,}12}{3000}=-493{,}85\left[KCal/K\,h\right]$$

$$\therefore\Delta S_{UNIVERSO}=+2.235{,}7-493{,}85=+1741{,}9\left[KCal/K\,h\right]$$

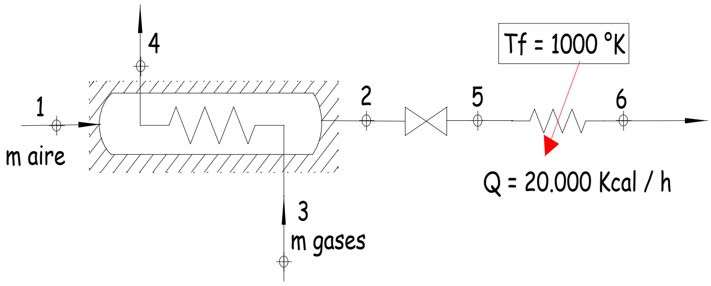
En las ecuaciones colocamos el factor A que vale $\dfrac{1}{427Kgm/Kcal}$

Ejercicio 2: En un intercambiador de Calor se calienta a p = 10 atm = constante 50 Kg./min. de Aire desde 60 ° a 120 °C, mediante gases calientes que ingresan a 230 °C y salen a 110 °C $c_{p(gases)}$ = 0,25 y $c_{v(gases)}$ igual a 0,18 Kcal/kg. °K.

La masa de aire, luego reduce su presión a 5 Atm y es puesta en contacto a T_F = 1000 °K y le entrega 20.000Kcal/h. (Q).

Calcular:

1) Masa de gases calientes (m_{gases})
2) Temperatura final del Aire (T_6)
3) Variación de Entropía del Aire en cada etapa
4) Variación de Entropía del Universo en cada etapa



Resolución

a) Sistema: Intercambiador

$$Q = \Delta H + L \quad donde \quad Q = 0 \quad y \quad L = 0$$
$$0 = H_S - H_E \quad \Rightarrow \quad H_S = H_E$$
$$\therefore m_{aire} \times (h_1 - h_2) = m_{gases} \times (h_4 - h_3)$$
$$m_{gases} = m_{aire} \times \frac{(h_1 - h_2)}{(h_4 - h_3)} = m_{aire} \times \frac{c_{Paire} \times (T_1 - T_2)}{c_{Pgases} \times (T_4 - T_3)}$$
$$m_{gases} = 50 \times \frac{0.24 \times (333 - 393)}{0.25 \times (383 - 503)}$$
$$m_{gases} = 24\ kg / \min$$

b) Sistema: Válvula (S.A.R.P)

$$Q = \Delta H + L_{UTIL} \quad donde \quad Q = 0\ y\ L_{UTIL} = 0$$
$$\therefore \Delta H = 0 \Rightarrow H_2 = H_5$$
$$m_{aire} \times c_{Paire} \times T_2 = m_{aire} \times c_{Paire} \times T_5$$
$$T_2 = T_5 = 393\ K$$

c) Sistema: Segundo intercambiador (S.A.R.P)

$$Q = \Delta H + L_{UTIL} \quad donde\ L_{UTIL} = 0$$
$$Q = \Delta H = m_{aire} \times c_{Paire} \times (T_6 - T_5) \quad y\ Q = 20000\ kcal/h = 333.33\ kcal/\min$$
$$333.33 = 50 \times 0.24 \times (T_6 - 393)$$
$$\Rightarrow T_6 = 420.8\ K$$

d) Variaciones de entropía:

d-1) Primer intercambiador

$$\Delta S_{U(1°\text{int})} = \Delta S_{S(1°\text{int})} + \Delta S_{M(1°\text{int})}$$
$$\Delta S_{S(1°\text{int})} = m_{aire} \times \left(c_{Paire} \times \ln\frac{T_2}{T_1} - R \times \ln\frac{P_2}{P_1} \right) \quad donde\ R \times \ln\frac{P_2}{P_1} = 0 \text{ ya que } \mathrm{P}_2 = P_1$$
$$\Delta S_{S(1°\text{int})} = 1.988\ kcal/K \times \min$$

$$\Delta S_{M(1°\text{int})} = m_{gases} \times \left(c_{Pgases} \times \ln\frac{T_4}{T_3} - R \times \ln\frac{P_4}{P_3} \right) \quad donde\ R \times \ln\frac{P_4}{P_3} = 0 \text{ ya que } \mathrm{P}_4 = P_3$$
$$\Delta S_{M(1°\text{int})} = -1.635\ kcal/K \times \min$$

$$\Delta S_{U(1°\text{int})} = +0.353\ kcal/K \times \min$$

d-2) Válvula Reductora

$$\Delta S_{U(VR)} = \Delta S_{S(VR)} + \Delta S_{M(VR)} \quad donde\ \Delta S_{M(VR)} = 0 \text{ pues Q = 0}$$
$$\Delta S_{S(VR)} = m_{aire} \times \left(c_{Paire} \times \ln\frac{T_5}{T_2} - R \times \ln\frac{P_5}{P_2} \right) \quad donde\ c_{Paire} \times \ln\frac{T_5}{T_2} = 0 \text{ ya que } T_5 = T_2$$
$$\Delta S_{S(VR)} = 50 \times \left(\frac{-29.27}{427} \times \ln\frac{5}{10} \right)$$
$$\Delta S_{S(VR)} = +2.376\ kcal/K \times \min$$

$$\Delta S_{U(VR)} = +2.376\ kcal/K \times \min$$

d-3) Segundo intercambiador

$$\Delta S_{U(2°\text{int})} = \Delta S_{S(2°\text{int})} + \Delta S_{M(2°\text{int})}$$

$$\Delta S_{S(2°\text{int})} = m_{aire} \times \left(c_{Paire} \times \ln\frac{T_6}{T_5} - R \times \ln\frac{P_6}{P_5} \right) \quad donde\ R \times \ln\frac{P_6}{P_5} = 0 \text{ ya que } P_6 = P_5$$

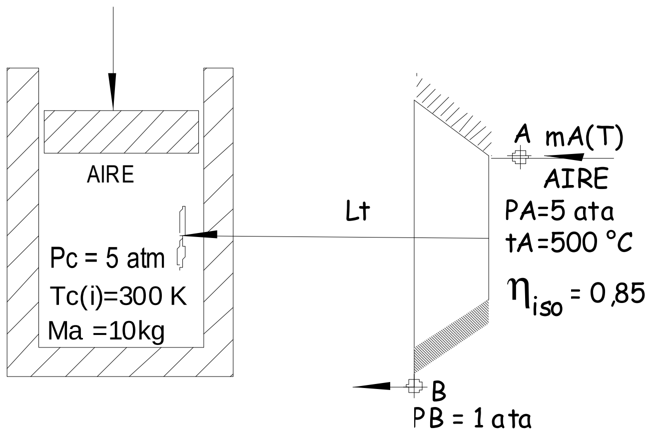
$$\Delta S_{S(1°\text{int})} = 50 \times \left(0.24 \times \ln\frac{420.8}{393} \right)$$

$$\Delta S_{S(1°\text{int})} = +0.820\ kcal / K \times \text{min}$$

$$\Delta S_{M(2°\text{int})} = \frac{-Q}{T_F} = \frac{-333.33}{1000} = -0.333\ kcal / K \times \text{min}$$

$$\Delta S_{U(2°\text{int})} = +0.487\ kcal / K \times \text{min}$$

Ejercicio 3: Un cilindro adiabático, limitado por un pistón sin rozamientos, también adiabático, contiene una masa de 10 Kg de Aire a 300 °K y 5 ata. Mediante una hélice, situada en el interior del cilindro, se realiza la agitación del aire, hasta que el volumen final resulte el doble del inicial. La hélice es accionada por una turbina adiabática por circulación de Aire, el cual ingresa a 5 ata y 500 °C, saliendo a una presión de 1 ata. Si el rendimiento isoentrópico de la turbina es de 0,85, calcular:



1) Estado final de los fluidos
2) Masa de aire que debe circular por la turbina
3) Trabajo que entrega la turbina
4) Variación de Entropía del Universo.

1) El estado final del aire dentro del pistón puede calcularse dado que la presión final es la del pistón y se conoce que el volúmen final es el doble que el inicial, entonces

$$V_{INICIAL} = \frac{m \times R \times T_i}{P_{INICIAL}} = \frac{10Kg\ 29{,}27 \, {}^{Kgm}/_{Kg\ K}\ 300K}{5 10^4\ {}^{Kg}/_{m^2}} = 1{,}75m^3$$

$$T_{FINAL} = \frac{P_{FINAL} \times 2V_{INICIAL}}{m \times R} = 598{,}7K$$

1,1) El estado final del lfluido en la turbina puede calcularse teniendo en cuenta que la turbina tiene un rendimiento isoentrópico y por lo tanto el mismo se expresa como:

$$\eta_{ISO} = \frac{h_{B\,REAL} - h_A}{h_{B\,IDEAL} - h_A} = \frac{T_{B\,REAL} - T_A}{T_{B\,IDEAL} - T_A}$$

Para conocer la temperatura real se debe calcular la temperatura ideal, la cual se supone como una transformación ideal adiabática e isoentrópica, pudiendose obtener de la siguiente forma:

$$\frac{T_{B\,Ideal}}{T_A} = \left(\frac{P_B}{P_A}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \rightarrow \therefore T_{B\,Ideal} = T_A \left(\frac{P_B}{P_A}\right)^{\frac{1{,}41-1}{1{,}41}} = 773K \left(\frac{1}{5}\right)^{\frac{1{,}41-1}{1{,}41}} = 484{,}7K$$

Entonces se puede conocer la temperatura real con el rendimiento isoentrópico

$$\eta_{ISO} = \frac{T_{B\,REAL} - T_A}{T_{B\,IDEAL} - T_A} \rightarrow 0{,}85 = \frac{T_{B\,REAL} - 773K}{484{,}7 - 773}$$

$$T_{B\,REAL} = 527{,}9K$$

2) Para calcular la masa qu e circula por la turbina se puede conocer si se conoce el trabajo que la turbina entrega al aire, primero se calcula el trabajo que se entrega al aire, tomando como sistema el aire del cilindro y aplicando el primer principio.

$$\cancel{Q} = \Delta U + L_{TOTAL} = m\,Cv\,(T_F - T_I) + L_{EJE} + L_{PISTÓN}$$

$$L_{PISTON} = P_{PISTON} \times \left(V_{final} - V_{inicial}\right) = 5\,10^4 \frac{Kg}{m^2}\left(1{,}75m^3\right) = 204{,}92\,Kcal$$

$$-L_{EJE} = m\,Cv\,(T_F - T_I) + L_{piston} = 10Kg\;0{,}17\frac{Kcal}{Kg\,K}(598 - 300)K + 204{,}92\,Kcal = 712{,}71\,Kcal$$

Con este dato se aplica el primer principi oa la turbina

$$Q = \Delta H + L_{UTIL} \Rightarrow \cancel{Q} = \Delta H + L_{UTIL}$$

$$-L_{UTIL} = \Delta H$$

$$-L_{UTIL} = m\,Cp\,(T_{BREAL} - T_A) \Rightarrow m = \frac{-712{,}71\,Kcal}{0{,}24\frac{Kcal}{Kg\,K}(528 - 773)K}$$

$$m = 11{,}95\,Kg$$

3) El trabajo entregado por la turbina fue de 506,6 Kcal
4) La variación de entropía del universo se puede calcular tomando por ejemplo como sistema el aire dentro del cilindro y la turbina como medio, se tiene entonces

$$\Delta S_{Universo} = \Delta S_{Medio} + \Delta S_{Sistema}$$

$$\Delta S_{Medio} = m\left[Cp\,\ln\frac{T_B}{T_A} - R\,\ln\frac{P_B}{P_A}\right] = 11{,}95Kg\left[0{,}24\frac{Kcal}{Kg\,K}\ln\frac{527{,}9}{773} - \frac{29{,}27\,Kgm/Kg\,K}{427Kgm/Kcal}\ln\frac{1}{5}\right]$$

$$\Delta S_{Medio} = 0{,}225\frac{Kcal}{K}$$

$$\Delta S_{Sistema} = m\left[Cv \ln\frac{T_{FINAL}}{T_{INICIAL}} + R \ln\frac{v_{FINAL}}{v_{INICIAL}} \right] = 10Kg\left[0{,}17\frac{Kcal}{Kg}\ln\frac{598{,}7}{300} + \frac{29{,}27 \,Kgm / Kg\,K}{427 Kgm / Kcal}\ln 2 \right]$$

$$\Delta S_{Sistema} = 1{,}649\frac{Kcal}{K}$$

$$\Delta S_{U} = 1{,}874\frac{Kcal}{Kg}$$

Ejercicio abierto para integración de conocimientos

Ejercicio 4: Un recipiente rígido y adiabático “A” de 5 m^3 de capacidad, contiene inicialmente OXIGENO (O_2) a 77 °C y 30 Kg./cm^2 de presión, encontrándose conectado a través de una válvula de paso con un cilindro “B”, no adiabático, limitado por un pistón móvil sin rozamientos, que contiene 200 Kg de NITRÓGENO (N_2), ocupando, inicialmente un volumen de 10 m^3. El medio exterior está a p_o = 1 ata y T_o = 300 K.

Determinar, cuando se abre la válvula y se alcanza el equilibrio termodinámico:

1) Estado final de los fluidos
2) Presiones parciales finales del O_2 y N_2
3) Calor intercambiado con el medio exterior
4) Trabajo intercambiado
5) Variación de Entropía del Universo

<u>DATOS</u>:
c_{vo2} = 0,156 Kcal/Kg. K
c_{vN2} = 0,178 Kcal/Kg. K
c_{po2} = 0,218 Kcal/Kg. K
c_{pN2} = 0, 25 Kcal/Kg. K
R_{o2} = 26, 5 Kgm/ Kg. K
R_{N2} = 30, 74 Kgm/Kg. K