



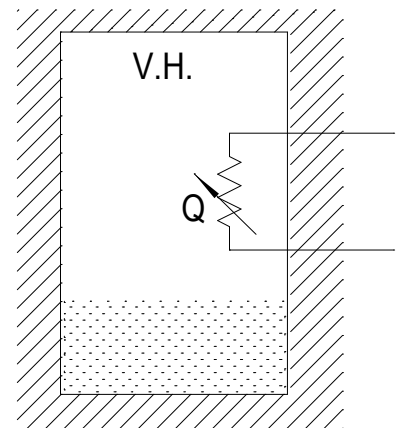
| | |
|--|--|
| Cátedra: Termodinámica - Ing. Civil e Ing. Ambiental | Guía de trabajos prácticos Nº 6 |
| Docente/s: Ing. José Contenido / Ing. Jorge Rosasco | |

VAPOR - EXERGÍA

1.- En un recipiente de paredes rígidas y adiabáticas, se tiene 1 Kg de Vapor Húmedo a 5 Atm y título $x = 0,9$, se le suministra calor, hasta que la presión alcance las 10 atm.

Calcular:

- Estado final del vapor
- Cantidad de calor suministrado por la resistencia eléctrica.
- Variación de Entropía del Universo.
- Representar la evolución del vapor en un diagrama T – S.



Resolución

a) En la tabla de vapor de agua, para $P = 5 \text{ atm}$ encontramos los siguientes valores, los mismos pueden estar en unidades del sistema SI o bien:

| t | P | U Kcal/Kg | | V m ³ /kg | | S Kcal/Kg K | | Estado | x |
|---------------------|--------|-----------|--------|----------------------|--------|-------------|--------|--------|-----|
| | | U' | U'' | v' | v'' | S' | S'' | | |
| 151.84°C | 5 atm | 152,854 | 612,02 | 0.0010920 | 0.3816 | 0,44464 | 1,6301 | VH | 0.9 |
| 463,75 ¹ | 10 atm | | 732,28 | 0,3435 | | 1,83089 | | VSC | - |

$$v' = 0.0010920 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v'' = 0.3816 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Por lo tanto, como el vapor el vapor húmedo necesitamos conocer el estado:

$$v_1 = v_1'' \times x_1 + v_1' \times (1 - x_1) = 0.3816 \times 0.9 + 0.0010920 \times 0.1$$

$$v_1 = v_2 = 0.3435 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Entonces, si $v = \frac{V}{m}$

$$V = m \times v_1 = 1 \text{ kg} \times 0.3435 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$v = 0.3435 \text{ m}^3$$

Es una transformación de un sistema cerrado a volumen específico constante.

¹ Ver más adelante como se llega a esta temperatura por aproximación



Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería

En la tabla de vapor de agua, para $P = 10 \text{ atm}$ encontramos que $v''_{10 \text{ atm}} = 0.1979 \text{ m}^3/\text{kg}$

Pero como $V_2 > V''_{10 \text{ atm}}$ entonces en el estado 2 tenemos vapor sobrecalentado.

Para determinar en qué estado se encuentra el vapor en el estado final (estado 2), vamos a trabajar con la tabla de vapor sobrecalentado.

Ingresamos con $P = 10 \text{ atm}$ y sabiendo que $v = 0.3435 \text{ m}^3/\text{kg}$, vemos a qué temperatura se encuentra el vapor.

Haciendo esto vemos que en la tabla tenemos lo siguiente:

| $v \text{ (m}^3/\text{kg)}$ | $t \text{ (}^\circ\text{C)}$ |
|-----------------------------|------------------------------|
| $v_I = 0.3417$ | $t_I = 460$ |
| $v_{II} = 0.3465$ | $t_{II} = 470$ |

Luego, debemos interpolar entre estos dos valores:

$$\frac{v_{II} - v_I}{v_2 - v_I} = \frac{t_{II} - t_I}{X - 460}$$

$$X = 3.75^\circ\text{C}$$

Por lo tanto,

$$t_2 = t_I + 3.75 = 463.75^\circ\text{C}$$

El estado final del vapor será:

- Vapor sobrecalentado
- $p_{\text{final}} = 10 \text{ atm}$
- $t_{\text{final}} = 463.75^\circ\text{C}$

b) Sistema: Vapor húmedo (Sistema Cerrado)

$$Q = \Delta U + \cancel{W_{\text{ext}}}$$

$$Q = U_f - U_i$$

$$U_f = m_{\text{VH}} \times u_f$$

$$y u_f = h_f - p_f \times v_f \quad (1)$$

De la tabla de vapor sobrecalentado para $P = 10 \text{ atm}$, tenemos:

| $t \text{ (}^\circ\text{C)}$ | $h \text{ (kcal/kg)}$ | $s \text{ (Kcal/kg K)}$ |
|------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 460 | 810.3 | 1.8290 |
| 470 | 815.4 | 1.8359 |

Interpolando entre estos valores obtenemos:

$$h_f = h_2 = 812.2 \text{ kcal/kg}$$



Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería

$$s_f = s_2 = 1.8316 \text{ kcal/kg.K}$$

Reemplazando en la ecuación (1), se obtiene:

$$u_f = 812.2 - \frac{100000}{427} \times 0.3435 = 731.8 \text{ kcal / kg}$$

$$\therefore U_f = m_{VH} \times u_f = 1 \text{ kg} \times 731.8 \text{ kcal / kg} = 731.8 \text{ kcal}$$

En la tabla de vapor húmedo para $P = 5 \text{ atm}$, tomamos los siguientes valores:

$$h'' = 656.0 \text{ kcal/kg}$$

$$h' = 152.1 \text{ kcal/kg}$$

$$h_i = h_1 = h'' \times x_1 + h' \times (1 - x) = 656.0 \times 0.9 + 152.1 \times 0.1 = 605.6 \text{ kcal / kg}$$

$$u_i = u_1 = 605.6 - \frac{50000}{427} \times 0.3435 = 565.4 \text{ kcal / kg}$$

$$U_i = m_{VH} \times u_i = 1 \text{ kg} \times 565.4 \text{ kcal / kg} = 565.4 \text{ kcal / kg}$$

Finalmente se puede obtener el calor suministrado al sistema:

$$Q = U_f - U_i = 731.8 - 565.4$$

$$Q = +166.4 \text{ kcal}$$

c) Variación de entropía del Universo:

$$\Delta S_U = \Delta S_S + \Delta S'_M$$

$$\Delta S_S = \Delta S_{VAPOR} = m_{VH} \times (s_f - s_i)$$

$$s_f = s_2 = 1.8316 \text{ kcal/kg.K}$$

De la tabla de vapor húmedo para $P = 5 \text{ atm}$:

$$s'' = 1.6303 \text{ kcal/kg.K}$$

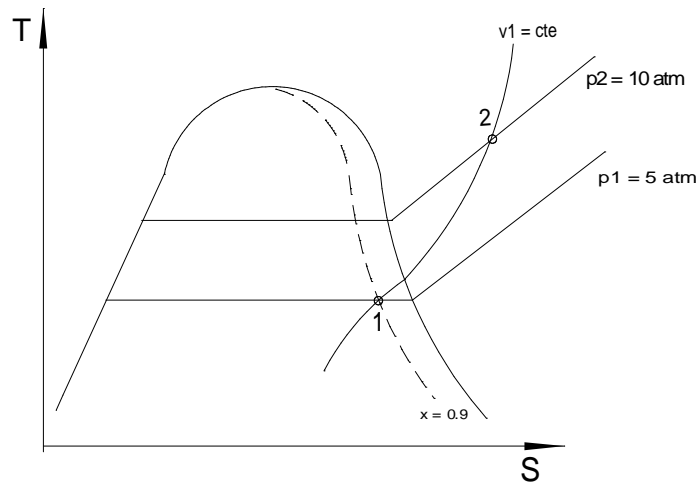
$$s' = 0.44256 \text{ kcal/kg.K}$$

$$s_i = s'' \times x_1 + s' \times (1 - x_1) = 1.6303 \times 0.9 + 0.44256 \times 0.1$$

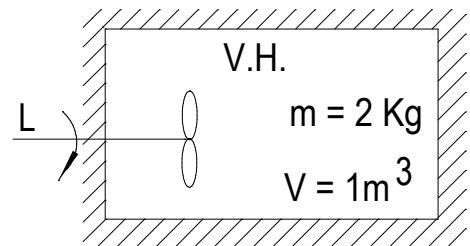
$$s_i = s_1 = 1.5115 \text{ kcal / kg.K}$$

$$\Delta S_U = 1 \times (1.8316 - 1.5115)$$

$$\Delta S_U = +0.3201 \text{ kcal / K}$$



2.- Un recipiente rígido y adiabático de 1 m^3 de volumen, contiene una masa de vapor húmedo a $p_1 = 1 \text{ atm}$ y título $x_1 = 0,7$. Por medio de paletas de agitación, se le entrega trabajo hasta que el estado final del vapor sea Saturado Seco.



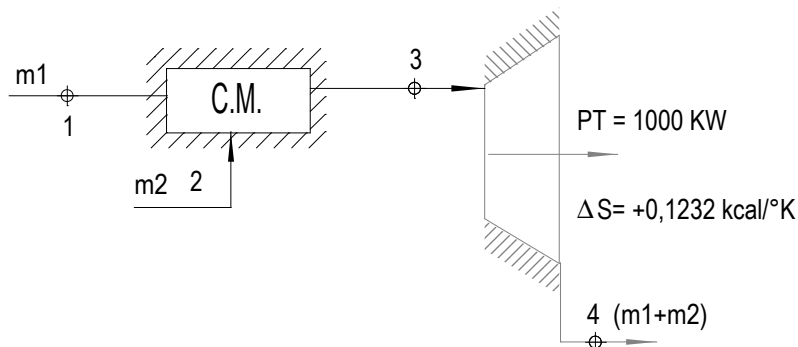
Calcular:

1. El trabajo suministrado
2. Presión y temperatura finales
3. Variación de Entropía del Universo
4. Variación de Exergía del proceso

3.- Un caudal másico: $m_1 = 2.000 \text{ Kg /h}$ de vapor de Agua a $p_1 = 20 \text{ atm}$ y título $x_1 = 0,8$, ingresan a una cámara de mezcla adiabática, a la cual concurre otro caudal másico m_2 . A la salida de la C.M., ambos caudales ingresan a una Turbina Adiabática, que entrega una Potencia de 1.000 KW .

La Irreversibilidad en la Turbina está dada por la Variación de Entropía específica de la Turbina: $(s_4 - s_3) = 0,1232 \text{ Kcal/}^\circ\text{K Kg}$. La presión de salida de la Turbina es $p_4 = 0,5 \text{ atm}$ y la temperatura $t_4 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determinar:





Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería

- Parámetros característicos en el punto "2".
- Rendimiento "isoentrópico" de la turbina
- $\Delta S_{Univ.}$
- Representar el proceso en un diagrama T – s
- Variación de exergía en la turbina

Resolución

Sistema: Cámara de Mezcla (S.A.R.P.)

$$Q = \Delta H + L_{UTIL} \therefore \Delta H = 0 \therefore \sum H_{Entrada} = \sum H_{Salida} \rightarrow \dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_2 \times h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$$

De tabla obtenemos los valores

$$h'' = 668 \text{ KCal / Kg } (2794,91 \text{ KJ / Kg}), \quad h' = 215,9 \text{ KCal / Kg } (903,32 \text{ KJ / Kg})$$

Con estos datos más sabiendo que el título del vapor en el punto 1 es 0,8, podemos obtener h_1 :

$$h_1 = h'' \times x_1 + h' \times (1 - x_1) = 668 \times 0,8 + 215,9 \times (1 - 0,8)$$

$$h_1 = 577,58 \text{ KCal / Kg } (2416,6 \text{ KJ / Kg})$$

Sistema: turbina

$$Q = \Delta H + L_{Util} \therefore -\Delta H = L_{Util} \rightarrow -(H_4 - H_3) = H_4 - H_3 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)(h_3 - h_4)$$

$$L_{Util} = 1000 \text{ Kw} \times 860 \frac{\text{KCal}}{\text{KW h}} = 860.000 \text{ KCal / h}$$

El estado 4 está definido por la presión y la temperatura, de tabla obtenemos:

$$P_4 = 0,5 \text{ atm y } t_4 = 90^\circ \text{ C}$$

De tabla con la presión de 0,5 atm se sabe que la temperatura de saturación es de $80,86^\circ \text{ C}$, por lo tanto el estado cuatro es Vapor Sobrecalentado V.S.C., tenemos que ir a la tabla tres para hallar el estado:

$$\text{De tabla 3: } h_4 = 636,1 \text{ KCal/kg, } s_4 = 1,827 \text{ KCal/kg } ^\circ\text{K}$$

Como sabemos del enunciado $s_4 - s_3 = 0,1232 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{K}$ de donde se deduce que $s_3 = 1,7043 \text{ KCal/kg}$. Sabemos que las presiones en los puntos 1, 2 t 3 son iguales a 20 atm, buscamos en la tabla para esa presión cual es el valor de la entropía del vapor saturado s'' , obteniéndose un valor para $s'' = 1,5152 \text{ KCal/kg}$, como $s_3 > s''$ el estado 3 entonces es Vapor sobrecalentado V.S.C.



Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería

De tabla 3, para $p_3 = 20 \text{ atm}$ y $s_3 = 1,7043 \text{ Kcal / kg } ^\circ\text{K}$ encontramos, interpolando

| s (Kcal/kg °K) | T (°C) | h (Kcal/kg) |
|----------------|--------------|--------------|
| 1,6974 | 390 | 770,9 |
| 1,7043 | 398,8 | 775,5 |
| 1,7052 | 400 | 776,1 |

$$\therefore (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) \times (h_3 - h_4) = 860.000 \frac{\text{KCal}}{h}$$

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_2) = \frac{860.000 \frac{\text{KCal}}{h}}{775 - 636,1 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}} = 6.169,3 \frac{\text{Kg}}{h} \rightarrow \dot{m}_2 = 6.169,3 - 2000 \Rightarrow \dot{m}_2 = 4.169,3 \left[\frac{\text{Kg}}{h} \right]$$

De la Cámara de Mezcla:

$$Q = \Delta H + L_{UTIL} \therefore \Delta H = 0 \therefore \sum H_{Entrada} = \sum H_{Salida}$$

$$\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_2 \times h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$$

Efectuando distribución y despejando la entalpía del punto dos se tiene:

$$h_2 = \frac{(\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3 - \dot{m}_1 \times h_1}{\dot{m}_2} = \frac{6169,3 \times 775,5 - 2000 \times 577,58}{4169,3}$$

$$h_2 = 870,4 \left[\frac{\text{KCal}}{\text{Kg}} \right] (3641 \text{ KJ / Kg})$$

Para conocer cuál es el estado del vapor en 2 debemos conocer el estado de la entalpía del vapor saturado en el estado 2, de tablas obtenemos que el valor de la entalpía es $h'' = 668 \text{ KCal/Kg}$, como $h_2 > h''(20 \text{ atm})$, concluimos que el estado 2 tiene que ser un vapor sobrecalentado, por lo tanto los datos del estado podemos obtenerlos de la tabla 3. Como contamos con dos datos la presión y la entalpía, entramos en la tabla 3 para una presión de 20 atm y buscamos el valor más cercano a 870,4, obtenemos entonces, para un valor de 870,5 KCal/Kg, una temperatura $t_2 = 580^\circ\text{C}$ y una entropía $s_2 = 1,8595 \text{ KCal / Kg } ^\circ\text{K}$, resumiendo para el estado dos tenemos

$$P_2 = 20 \text{ atm}, t_2 = 580^\circ\text{C}, h_2 = 870,5 \text{ KCal/Kg}, s_2 = 1,8595 \text{ KCal / Kg } ^\circ\text{K}$$



Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería

Si el $\eta_{\text{ISOENTROPICO}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4'}}$ y $s_3 = s_{4'} = 1,7043 \text{ KCal / Kg } ^\circ\text{K}$, pero no se conoce el valor de $h_{4'}$

Para calcular la entalpía, con la presión en el punto cuatro de tabla se obtienen los valores siguientes $s''_4 = 1,8156 \text{ KCal / Kg } ^\circ\text{K}$ y $s'_4 = 0,25926 \text{ KCal / Kg } ^\circ\text{K}$, comparando los valores, notamos que $s''_4 > s_{4'}$ de donde podemos concluir que el estado 4' es vapor húmedo y se encuentra dentro de la campana, debemos por lo tanto conocer el título del vapor. Dicho título puede calcularse por que conocemos los valores de entropía, por lo tanto:

$$X_{4'} = \frac{s_4 - s'_4}{s''_4 - s'_4} = \frac{1,7043 - 0,25926}{1,8156 - 0,25926} = 0,93$$

$$\therefore h_{4'} = h''_4 \times X_{4'} + h'_4 \times (1 - X_{4'}) = 593,2 [\text{KCal / kg}] (2481,94 \text{ KJ / Kg})$$

$$\eta_{\text{ISO}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4'}} = \frac{775,5 - 636,1}{775,5 - 593,2} = 0,76$$

$$\eta_{\text{ISO}} = 0,76$$

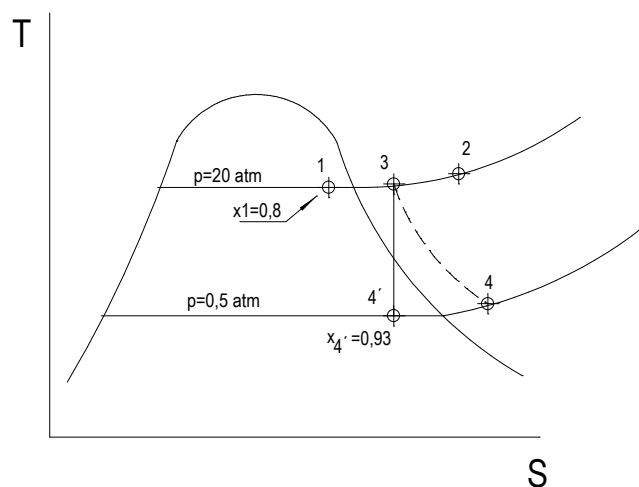
Cálculo de la variación de entropía

$$\Delta S_U = \Delta S_M + \Delta S_S \rightarrow \Delta S_M = 0$$

$$\Delta S_S = \Delta S_{\dot{m}_1} + \Delta S_{\dot{m}_2}$$

en el caso de la entalpía en el punto 1, debemos conocer de tabla los valores de la entalpía de líquido y de vapor (que es decir los extremos de la campana) puesto que es vapor húmedo y que ya conocemos el título $x_1 = 0,8$ procedemos a calcular los valores correspondientes: \rightarrow de

tabla $s''_1 = 1,5152$, $s'_1 = 0,58223$ por lo tanto $s_1 = s''_1 x_1 + s'_1 (1 - x_1) = 1,3286 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$



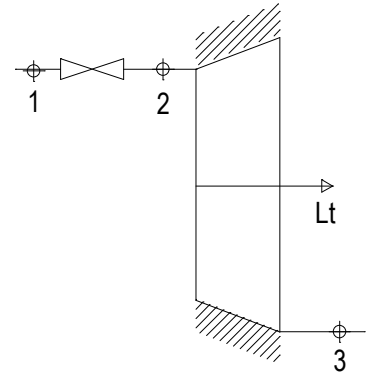


$$\Delta S_{\dot{m}_1} = \dot{m}_1 \times (s_4 - s_1) = 2000 \text{ Kg} / \text{h} \times (1,875 - 1,3286) \text{ Kcal} / \text{kg}^\circ\text{K} = +1092,8 \text{ Kcal} / \text{h}^\circ\text{K}$$

$$\Delta S_{\dot{m}_2} = \dot{m}_2 \times (s_4 - s_2) = 4169,3 \text{ Kg} / \text{h} \times (1,875 - 1,8295) \text{ Kcal} / \text{kg}^\circ\text{K} = 189,7 \text{ Kcal} / \text{h}^\circ\text{K}$$

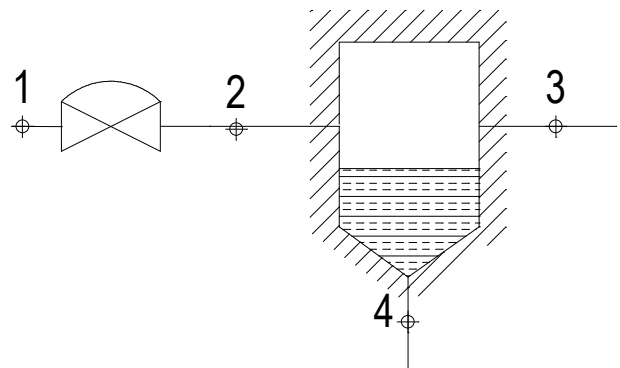
$$\Delta S_U = \Delta S_S = 1092,8 \text{ Kcal} / \text{h}^\circ\text{K} - 189,7 \text{ Kcal} / \text{h}^\circ\text{K} = +903,1 \text{ KCal} / \text{h}^\circ\text{K}$$

4.- Por el punto 1 del sistema entra una corriente de vapor a 230°C, pasan por una válvula donde su presión pasa de 15 a 10 atmósferas, seguidamente pasan a una turbina adiabática donde evolucionan hasta 1 atmósfera, experimentando un incremento de entropía de + 0,2 KJ / kg ° K, con los datos proporcionados y sabiendo que la masa es unitaria calcular:



- La temperatura final a la salida de la turbina
- La temperatura final si la transformación en la turbina fuera isoentrópica
- El rendimiento isoentrópico
- El trabajo por Kg de vapor que circula
- La variación de entropía del universo
- Rendimiento exergético del proceso

5.- Agua líquida saturada a 7 MPa (1) pasa por un válvula y reduce su presión a 1 MPa (2) Luego el vapor ingresa a una cámara separadora donde el por un conducto sale vapor saturado (3) y por el otro líquido saturado (4). La masa puede considerarse unitaria (1 Kg/h), si el medio se encuentra a 300 K y 101,3 Kpa, calcular:



- Masa de vapor por kilo en el punto 3
- Δ Exergía entre 1 y 2
- ΔS en el separador
- ΔS del proceso
- Estado en el punto 2 (T_2, H_2, S_2)
- Graficar en un diagrama T - S

| | t °C | P KPa | H KJ/Kg | | S KJ/Kg K | | título | estado |
|---|-------|-------|---------|--------|-----------|---------|--------|--------|
| | | | h liq | h vap | s liq | s vap | | |
| 1 | 285,8 | 7000 | 1267,66 | ----- | 3,12239 | ----- | ----- | LS |
| 2 | 180 | 1000 | 1267,66 | | 3,25465 | | 25,07% | VH |
| 3 | 180 | 1000 | ----- | 2777,1 | | 6,58502 | 1 | VSS |
| 4 | 180 | 1000 | 762,515 | ----- | 2,13806 | | 0 | LS |

Con los datos del estado 2 que es vapor húmedo se calcula el título

$$x_2 = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{1267,66 - 762,515}{2777,1 - 762,515} = 0,2507 \cong 25,07\%$$

Con el título en 2 se calcula la entropía como $s_2 = s_2'' \times x_2 + s_2' \times (1 - x_2) = 3,25465 \text{ KJ} / \text{Kg K}$



Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería

- a) La masa de vapor se calcula conociendo el título, ya que es este equipo que es un separador de vapor, el título indica el porcentaje de vapor que se convierte en 3 con respecto a la entrada 2 del equipo, en este caso por cada kilogramo se transforma el 25,07%
- b) La variación de exergía en la válvula se calcula como sigue:

$$\Delta Ex_{21} = (h_2 - h_1) - T_0 \Delta s_{21} = (0) \frac{KJ}{Kg} - 300K \times (3,2546 - 3,12239) \frac{KJ}{Kg K}$$

$$\Delta Ex_{31} = -39,663 \frac{KJ}{Kg} \text{ consumidas}$$

- c) La variación de entropía en el separador puede calcularse como:

$$(m_3 s_3 + m_4 s_4) - m_{TOTAL} s_2 = \Delta S_{SEPARADOR}$$

si dividimos toda la expresión por m_{TOTAL} nos queda

$$(\%_{VAPOR} s_3 + \%_{LIQ} s_4) - s_2 = \Delta S_{SEPARADOR}$$

$$\left(0,2507 \times 6,58502 \frac{KJ}{Kg K} + 0,7493 \times 2,13806 \frac{KJ}{Kg K} \right) - 3,25465 \frac{KJ}{Kg K} \cong 0$$

- d) La variación de entropía de todo el proceso puede calcularse como:

$$(m_3 s_3 + m_4 s_4) - m_{TOTAL} s_1 = \Delta S_{PROCESO}$$

$$(\%_{VAPOR} s_3 + \%_{LIQ} s_4) - s_1 = \Delta S_{PROCESO}$$

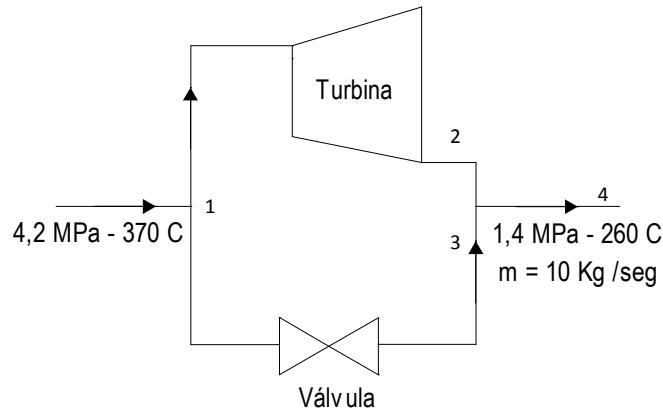
$$\left(0,2507 \times 6,58502 \frac{KJ}{Kg K} + 0,7493 \times 2,13806 \frac{KJ}{Kg K} \right) - 3,12239 \frac{KJ}{Kg K} = 0,13052 \frac{KJ}{Kg K}$$

- e) El estado 2 se muestra en la tabla
f)



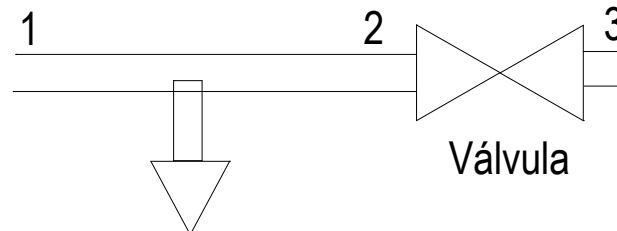
Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería

6. - Una válvula de reductora de presión opera en paralelo con una turbina cuyo rendimiento isoentrópico es 90%. Si los equipos funcionan a la vez en régimen permanente calcular el caudal de vapor que circula por cada rama, la potencia desarrollada por la misma y el rendimiento exergético del proceso.



7. - Se tiene una instalación como la que muestra la figura por la que circula aire como gas ideal. En punto 1 se tiene una presión de 1,5 Kg/cm² y una temperatura de 100°C, luego de un tramo el aire pierde presión y baja su temperatura a 70°C y 1,4 kg/cm², luego pasa por una válvula donde su presión se reduce a 1 kg/cm², para este circuito calcular

- Variación de exergía entre 1 y 2
- Variación de exergía entre 2 y 3
- Rendimiento exergético entre 1 y 3



Como es un circuito abierto a régimen permanente se calcula la variación de exergía con la ecuación de Darrieux, como sigue

$$\Delta Ex = \Delta H - T_0 \Delta S \quad (0.1)$$

Entonces sabiendo que circula aire tenemos que calcular la variación de la entalpía y la variación de la entropía como se hizo en gas ideal

$\Delta H = C_p \times \Delta T$ (en este caso no dan la masa por lo que el calculo se hara por unidad de masa)

$$\Delta H = 0,24 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg K}} (343\text{K} - 373\text{K}) = -7,2 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

La variación de entropía se calcula como se vio en gases ideales

$$\Delta S = C_p \times \ln \frac{T_2}{T_1} - R \times \ln \frac{P_2}{P_1} = -0,01539 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg K}}$$

Si introducimos los valores en la ecuación (1.1) entonces nos queda que la ΔEx entre el punto 1 y 2 es:



Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería

$$\Delta Ex_{12} = -7,2 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} - 300\text{K} \times \left(-0,01539 \frac{\text{Kcal}}{\text{KgK}} \right) = -2,5828 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

La variación de exergía en la válvula se calcula como sigue:

$$\Delta Ex_{\text{válvula}} = \underbrace{(\Delta H)}_{\text{ISCENTÁLPICA}} - T_0 \times \Delta S = -300\text{K} (s_3 - s_2)$$

$$\Delta S_{\text{válvula}} = \underbrace{C_p \times \ln \frac{T_3}{T_2}}_{\text{para un gas ideal la T es cte}} - R \times \ln \frac{P_3}{P_2} = 0,02306 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg K}}$$

$$\Delta Ex_{\text{válvula}} = -300\text{K} \left(0,02306 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg K}} \right) = -6,9193 \text{Kcal/Kg}$$

$$\eta_{EX} = \frac{\text{Exergías producidas}}{\text{Exergías consumidas}} = \frac{0}{|2,5828 + 6,919|} = 0$$

8. – Para el problema anterior considerar que se hace circular vapor de agua el cual ingresa al punto 1 a 2,3 bar y 200°C, bajando su presión y su temperatura en el punto 2 a 2 bar y 140°C para reducir su presión a 1 bar luego de pasar por la válvula, determinar:

- Variación de exergía entre 1 y 2
- Variación de exergía entre 2 y 3
- Rendimiento exergético entre 1 y 3