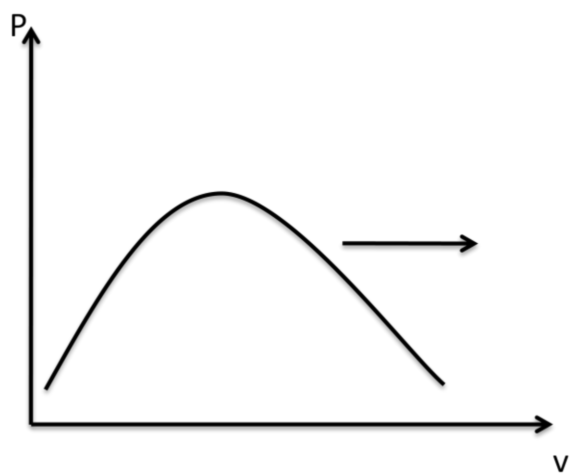
Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología
IQ3201 – Termodinámica Aplicada / Primavera 2010

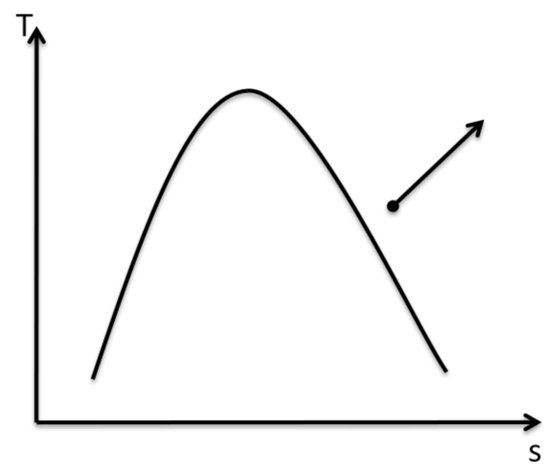
PAUTA CONTROL 2

Profesor: Teresa Velilla
Profesor Auxiliar: Javier Carrillo

PREGUNTA 1

a) Como se observa en los siguientes diagramas y debido a las condiciones del problema, el calentamiento se realiza a presión constante:





Esto puede concluirse a partir del hecho de que el peso sobre el émbolo no cambia durante todo el proceso y suponiendo además que el émbolo mismo tiene masa despreciable. Si suponemos que el peso sobre el émbolo es distribuido de manera uniforme sobre toda la superficie de área A es posible estimar la masa del peso.

El proceso no puede ser considerado de flujo pues la masa al interior del sistema no fluye a través de las fronteras del sistema.

b) Se realiza un balance de fuerzas sobre el sistema:

$$P_{atm} + \frac{m_{peso} * g}{A} = P$$

Por lo tanto si se considera que el área transversal del cilindro es igual a 0,05 m^2:

$$m_{peso} = \frac{A}{g}(P - P_{atm}) = \frac{0{,}05[m^2]}{9{,}8\left[\frac{m}{s^2}\right]}\left(30[bar] * \left(10^5\left[\frac{Pa}{bar}\right]\right) - 101.325[Pa]\right) = 14.789[kg]$$

c) Si hay. El sistema realiza un trabajo contra el émbolo para expandirse y aumentar su temperatura. El sistema corresponde a la masa de vapor de agua dentro del cilindro y el objeto sobre el cual se realiza el trabajo corresponde a las paredes del cilindro. La magnitud del trabajo se obtiene a partir de su definición:

$$W = \int_i^f P dv = P(v_f - v_i)$$

Estado Inicial.

$$\left.\begin{array}{l} T_i = 240[°C] = 464[°F] \\ P_i = 30[bar] = 435{,}2[psia] \end{array}\right\} \rightarrow \begin{array}{l} h_i = 1.213{,}6[Btu/lb] \\ v_i = 1{,}0927[ft^3/lb] \end{array}$$

Estado Final.

$$\left.\begin{array}{l} T_f = 320[°C] = 608[°F] \\ P_f = 30[bar] = 435{,}2[psia] \end{array}\right\} \rightarrow \begin{array}{l} h_f = 1.308{,}7[Btu/lb] \\ v_f = 1{,}3627[ft^3/lb] \end{array}$$

$$w = P(v_f - v_i) = 435{,}2[psia] * (1{,}3627 - 1{,}0927)\left[\frac{ft^3}{lb}\right] = 21{,}7\left[\frac{Btu}{lb}\right]$$

d) Para calcular el calor transferido usamos la 1ra ley de la termodinámica:

$$\Delta u = q - w \Rightarrow q = \Delta u + w$$

Como además la variación de energía interna queda dada por:

$$h = u + Pv \Rightarrow \Delta u = \Delta h - P\Delta v = \Delta h - w$$

$$\Rightarrow q = \Delta h = (1.308{,}7 - 1.213{,}6)\left[\frac{Btu}{lb}\right] = 95{,}1\left[\frac{Btu}{lb}\right]$$

Este calor es transferido desde el entorno del sistema hacia el vapor contenido al interior del émbolo.

PREGUNTA 2

a) Aplicando la 1ra ley para procesos de flujo y despreciando los cambios de energía cinética y potencial:

$$\Delta H = Q - W \Rightarrow \dot{Q} = \dot{m} * (h_f - h_i) + \dot{W}$$

Usando las tablas de vapor obtenemos el cambio de entalpía del sistema:

$$\left.\begin{array}{l} T_i = 900[°F] \\ P_i = 1.000[psia] \end{array}\right\} \rightarrow \quad h_i = 1.488,2[Btu/lb]$$

$$\left.\begin{array}{l} P_f = 5[psia] \\ \text{(Vapor Saturado)} \end{array}\right\} \rightarrow \quad h_f = 1.131,1[Btu/lb]$$

Además por enunciado sabemos que el flujo másico es igual a$\dot{m} = 45.000[lb/h]$ y que la potencia generada es de $\dot{W} = 4[MW] = 13,65 * 10^6[Btu/h]$, luego la pérdida de calor por unidad de tiempo que experimenta el vapor es igual a:

$$\dot{Q} = 45.000\left[\frac{lb}{h}\right] * (1.131,1 - 1.488,2)\left[\frac{Btu}{lb}\right] + 13,65 * 10^6\left[\frac{Btu}{h}\right] = -2,42 * 10^6\left[\frac{Btu}{h}\right]$$

b) A partir del enunciado vemos que se mezclan en igual proporción másica corrientes de vapor saturado ($T_{sat@50psia} = 281,01[°F]$) y líquido subenfriado ($T_{sat@50psia} = 281,01[°F] > T_1 = 50[°F]$). Se supondrá que la entalpía del líquido corresponde a la de líquido saturado a la misma temperatura, i.e.:

$$h_1 \cong h_{v.sat@50°F} = 18,07[Btu/lb]$$

Para la segunda corriente se usan las tablas de vapor:

$P_2 = 50[psia]$ y Vapor saturado $\rightarrow$ $h_2 = 1.174,1[Btu/lb]$

Luego realizando un balance de energía sobre la unión (se supone una mezcla adiabática a presión constante):

$$m * h_f = m_1 * h_1 + m_2 * h_2$$

Usando el dato de los flujos másicos:

$$m * h_f = \frac{m}{2}(h_1 + h_2) \Rightarrow h_f = \frac{1}{2}(h_1 + h_2) = 596,1[Btu/lb]$$

A la presión de 50 psia y con la entalpía de mezcla se obtiene una mezcla vapor-líquido cuyo título se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = x * h_{v.sat@50psia} + (1 - x) * h_{l.sat@50psia}$$

$$\Rightarrow 595{,}1\left[\frac{Btu}{lb}\right] = x * 1.174{,}1\left[\frac{Btu}{lb}\right] + (1 - x) * 250{,}09\left[\frac{Btu}{lb}\right]$$

De la ecuación anterior se obtiene que el título es igual a 0,37. La temperatura de la mezcla por tratarse de una mezcla vapor-líquido corresponde a la temperatura de saturación a 50 psia, es decir 281,01°F.

PREGUNTA 3

a) Usando la 1ra ley en procesos de flujo y despreciando cambios en la energía cinética y potencial:

$$\dot{W} = -m * (h_f - h_i)$$

Usando los diagramas determinamos el cambio de entalpía del sistema:

$$\Delta h = h_f - h_i = T_C \left\{ \left(\frac{h^* - h}{T_C}\right)_i - \left(\frac{h^* - h}{T_C}\right)_f \right\} + (h_f^* - h_i^*)$$

Estado Inicial:

$T_i = -10[°C] = 263[K]$ → $T_{Ri} = 1{,}40$ → $\left(\frac{h^*-h}{T_C}\right)_i = 0{,}40 \left[\frac{cal}{gmol*K}\right]$

$P_i = 2[MPa]$ $P_{Ri} = 0{,}43$

Estado Final:

$T_f = 110[°C] = 383[K]$ → $T_{Rf} = 2{,}00$ → $\left(\frac{h^*-h}{T_C}\right)_f = 1{,}10 \left[\frac{cal}{gmol*K}\right]$

$P_f = 10[MPa]$ $P_{Rf} = 2{,}16$

Además el cambio ideal de entalpía es:

$$h_f^* - h_i^* = C_P(T_f - T_i) = 2{,}22 \left[\frac{kJ}{kg*K}\right] * \frac{1[kg]}{1.000[g]} * \frac{16[g]}{1[gmol]} * \frac{238{,}8[cal]}{1[kJ]} * (110 - (-10))[°C]$$
$$= 1.017{,}9 \left[\frac{cal}{gmol}\right]$$

Por lo tanto:

$$h_f - h_i = 191{,}1[K] * (0{,}40 - 1{,}10) \left[\frac{cal}{gmol*K}\right] + 1.017{,}9 \left[\frac{cal}{gmol}\right] = 884{,}13 \left[\frac{cal}{gmol}\right]$$

Con lo que el trabajo realizado por el compresor es:

$$\dot{W} = -0{,}55 \left[\frac{kg}{s}\right] * \frac{1.000[g]}{1[kg]} * \frac{1[gmol]}{16[g]} * 884{,}13 \left[\frac{cal}{gmol}\right] * \frac{1[kJ]}{238{,}8[cal]} = -127{,}27[kW]$$

b) Se calcula el valor de Z crítico:

$$Z_C = \frac{P_C v_C}{RT_C} = \frac{4{,}64 * 10^6[Pa] * 0{,}0991 \left[\frac{m^3}{kmol}\right]}{8.314{,}5 \left[\frac{m^3 * Pa}{kmol * K}\right] * 191{,}1[K]} = 0{,}29$$

Como el valor es claramente superior a 0,27 se deben usar los diagramas de corrección, en particular el para valores de Zc > 0,27. Usando los valores de presión reducida y temperatura reducida en cada estado se corrigen los valores de $(h^* - h)/T_C$ mediante el coeficiente D_a.