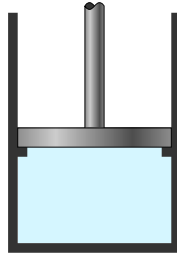


Practica #04

1. Un cilindro con su embolo inicialmente contiene $1[m^3]$ de agua a $75^\circ C$. El 50 % del volumen esta en estado liquido saturado y el resto como vapor saturado. El embolo pesa $400[kg]$ y su diámetro es de $20[cm]$, la presión atmosférica es de $101[kPa]$. En el estado inicial hallar el titulo de la mezcla, y la masa total del agua. Se entrega calor al agua hasta que su temperatura sea de $200^\circ C$. Hallar el calor entregado al agua.



Solución:

Datos provistos:

Agua

$$V = 1[m^3]$$

$$m_E = 400[kg]$$

$$d_E = 0.2[m]$$

$$T_1 = 75^\circ C$$

$$V_l = 0.5V$$

$$V_v = 0.5V$$

$$P_{atm} = 101[kPa]$$

$$T_3 = 200^\circ C$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una temperatura de $75^\circ C$:

$$T(75^\circ C) = \begin{cases} P = 38.58[kPa] \\ \nu_l = 0.001026[m^3/kg] & u_l = 313.87[kJ/kg] \\ \nu_v = 4.13123[m^3/kg] & u_v = 2475.91[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa líquida, de vapor y total del agua a partir de sus volúmenes específicos:

$$m_l = \frac{V_l}{\nu_l} = \frac{0.5[m^3]}{0.001026[m^3/kg]} = 487.33[kg]$$

$$m_v = \frac{V_v}{\nu_v} = \frac{0.5[m^3]}{4.13123[m^3/kg]} = 0.12[kg]$$

$$m = m_l + m_v = 487.3294[kg] + 0.12103[kg] = 487.45[kg]$$

Se halla el titulo a partir de su definición:

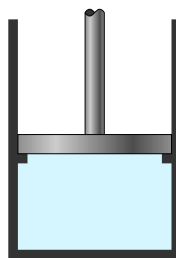
$$X = \frac{m_v}{m} = \frac{0.121[kg]}{487.45[kg]} = 0.0002$$

Se calcula el volumen especifico a partir del titulo:

$$\begin{aligned}\nu &= \nu_l + X(\nu_v - \nu_l) \\ &= 0.001026[m^3/kg] + 0.0002(4.13123[m^3/kg] - 0.001026[m^3/kg]) \\ &= 0.00205[m^3/kg]\end{aligned}$$

Se calcula la energía interna a partir del titulo:

$$\begin{aligned}u &= u_l + X(u_v - u_l) \\ &= 313.87[kJ/kg] + 0.0002(2475.91[kJ/kg] - 313.87[kJ/kg]) \\ &= 314.41[kJ/kg]\end{aligned}$$



Estado 1

$$\begin{aligned}T_1 &= 75^\circ C \\ P_1 &= 38.58[kPa] \\ X_1 &= 0.0002 \\ V_1 &= 1[m^3] \\ \nu_1 &= 0.00205[m^3/kg] \\ u_1 &= 314.41[kJ/kg]\end{aligned}$$

Estado 2:

Se halla la presión que ejerce el embolo:

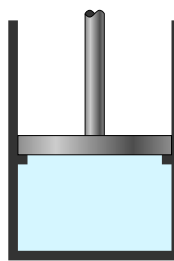
$$\begin{aligned}P &= P_{atm} + P_E \\ &= P_{atm} + \frac{F_E}{A_E} \\ &= P_{atm} + \frac{m_E g}{\pi r_E^2} \\ &= 101[kPa] + \frac{400[kg] 9.8[m/s^2]}{\pi (0.1)^2[m^2]} \frac{1[kPa]}{1000[Pa]} \\ &= 225.78[kPa]\end{aligned}$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada a 225.78[kPa]:

$$P(225[kPa]) = \begin{cases} T = 124^{\circ}C \\ \nu_l = 0.001064[m^3/kg] & u_l = 520.45[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.79325[m^3/kg] & u_v = 2533.56[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el titulo a partir de su definición:

$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.00205[m^3/kg] - 0.001064[m^3/kg]}{0.79325[m^3/kg] - 0.001064[m^3/kg]} = 0.0012$$



Estado 2

$$\begin{aligned} T_2 &= 124^{\circ}C \\ P_2 &= 225.78[kPa] \\ X_2 &= 0.0012 \\ V_2 &= 1[m^3] \\ \nu_2 &= 0.00205[m^3/kg] \end{aligned}$$

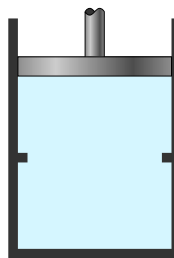
Estado 3:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada de 225.78[kPa] y una temperatura de 200°C:

$$P(200[kPa]) | T(200^{\circ}C) = \begin{cases} \nu = 1.08034[m^3/kg] \\ u = 2654.39[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el volumen a partir de la definición de volumen específico:

$$V = \nu m = (1.08034[m^3/kg])(487.45[kg]) = 526.61[m^3]$$



Estado 3

$$\begin{aligned} T_3 &= 200^{\circ}C \\ P_3 &= 225.78[kPa] \\ X_3 &= 1 \\ V_3 &= 526.61[m^3] \\ \nu_3 &= 1.08034[m^3/kg] \\ u_3 &= 2654.39[kJ/kg] \end{aligned}$$

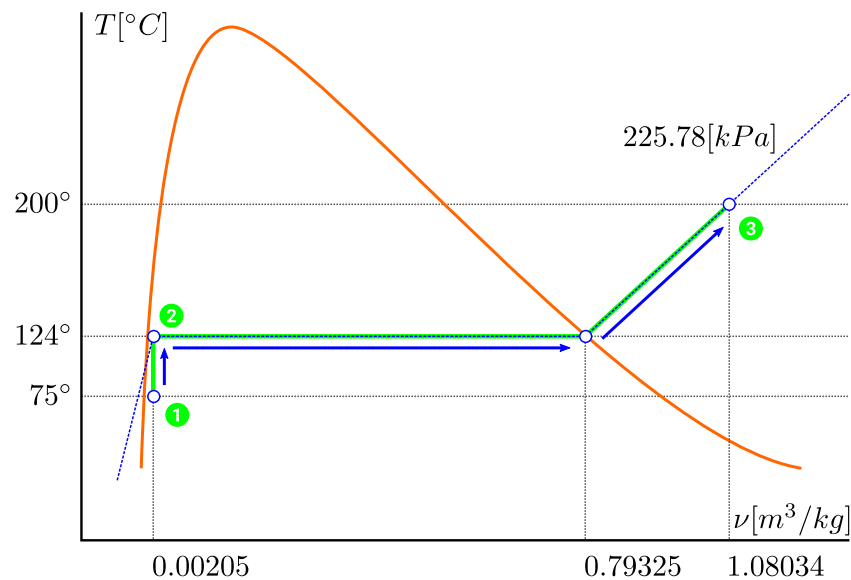
Trabajo:

$$\begin{aligned}
 W_{1 \rightarrow 3} &= W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} \\
 &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2} dv + \int_2^3 P_{2 \rightarrow 3} dv \\
 &= 0 + P_2 \int_2^3 dv \\
 &= P_2 \left(V \right)_2^3 \\
 &= P_2 (V_3 - V_2) \\
 &= 225.78[kPa](526.61[m^3] - 1[m^3]) \\
 &= 118671.41[kJ]
 \end{aligned}$$

Calor:

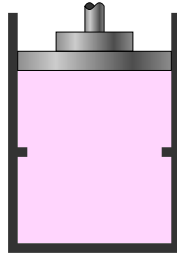
A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor entregado:

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{1 \rightarrow 3} &= Q_{1 \rightarrow 3} - W_{1 \rightarrow 3} \\
 Q_{1 \rightarrow 3} &= \Delta U_{1 \rightarrow 3} + W_{1 \rightarrow 3} \\
 &= m(u_3 - u_1) + W_{1 \rightarrow 3} \\
 &= 487.45[kg](2654.39[kJ/kg] - 314.41[kJ/kg]) + 118671.41[kJ] \\
 &= 1259559.06[kJ]
 \end{aligned}$$



$$Q = 1259559.06[kJ]$$

2. Se tiene $0.5[m^3]$ de amoníaco dentro un cilindro con su embolo a $0.29[MPa]$ y $20^\circ C$, se colocan unos pesos sobre el embolo según la figura hasta que el embolo llegue a los topes donde la presión llega a $0.85[MPa]$ y $0.13[m^3]$. Durante este proceso la temperatura se mantiene constante por que pierde calor al medio ambiente. Posteriormente el sistema continua enfriándose hasta que la presión sea igual a la presión inicial. Calcular 3 propiedades en cada estado.



Solución:

Datos provistos:

Amoníaco

$$V_1 = 0.5[m^3]$$

$$P_1 = 290[kPa]$$

$$T_1 = 20^\circ C$$

$$V_2 = 0.13[m^3]$$

$$P_2 = 850[kPa]$$

$$T_2 = 20^\circ C$$

$$P_3 = 290[kPa]$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada a $290[kPa]$:

$$P(290.9[kPa]) = \left\{ T = -10^\circ C \right.$$

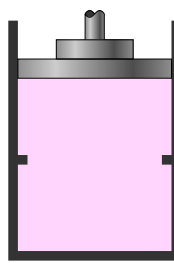
Por tanto, la sustancia se encuentra en la zona de vapor sobrecalentado.

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada de $290[kPa]$ y una temperatura de $20^\circ C$:

$$P(300[kPa]) | T(20^\circ C) = \left\{ \begin{array}{l} \nu = 0.46077[m^3/kg] \\ u = 1364.4[kJ/kg] \end{array} \right.$$

Se halla la masa total a partir de su volumen específico:

$$m = \frac{V_l}{\nu_v} = \frac{0.5[m^3]}{0.46077[m^3/kg]} = 1.0851[kg]$$



Estado 1

$$\begin{aligned} T_1 &= 20^\circ C \\ P_1 &= 290[kPa] \\ X_1 &> 1 \\ V_1 &= 0.5[m^3] \\ \nu_1 &= 0.46077[m^3/kg] \end{aligned}$$

Estado 2:

Se halla el volumen específico a partir de su definición:

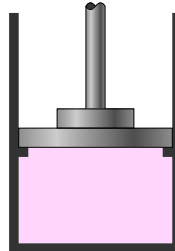
$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{0.13[m^3]}{1.0851[kg]} = 0.1198[m^3/kg]$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada a $850[kPa]$:

$$P(857.5[kPa]) = \begin{cases} T = 20^\circ C \\ \nu_l = 0.001638[m^3/kg] & u_l = 272.89[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.14922[m^3/kg] & u_v = 1332.2[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el título a partir de su definición:

$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.1198[m^3/kg] - 0.001638[m^3/kg]}{0.14922[m^3/kg] - 0.001638[m^3/kg]} = 0.8007$$



Estado 2

$$\begin{aligned} T_2 &= 20^\circ C \\ P_2 &= 850[kPa] \\ X_2 &= 0.8007 \\ V_2 &= 0.13[m^3] \\ \nu_2 &= 0.1198[m^3/kg] \end{aligned}$$

Estado 3:

El volumen se mantiene constante.

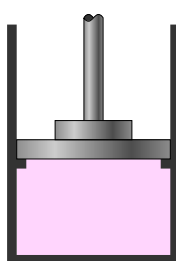
$$\begin{aligned} V &= 0.13[m^3] \\ \nu &= 0.1198[m^3/kg] \end{aligned}$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada a $290[kPa]$:

$$P(290.9[kPa]) = \begin{cases} T = -10^\circ C \\ \nu_l = 0.001534[m^3/kg] & u_l = 133.96[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.41808[m^3/kg] & u_v = 1309.2[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el título a partir de su definición:

$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.1198[m^3/kg] - 0.001534[m^3/kg]}{0.41808[m^3/kg] - 0.001534[m^3/kg]} = 0.2839$$



Estado 3

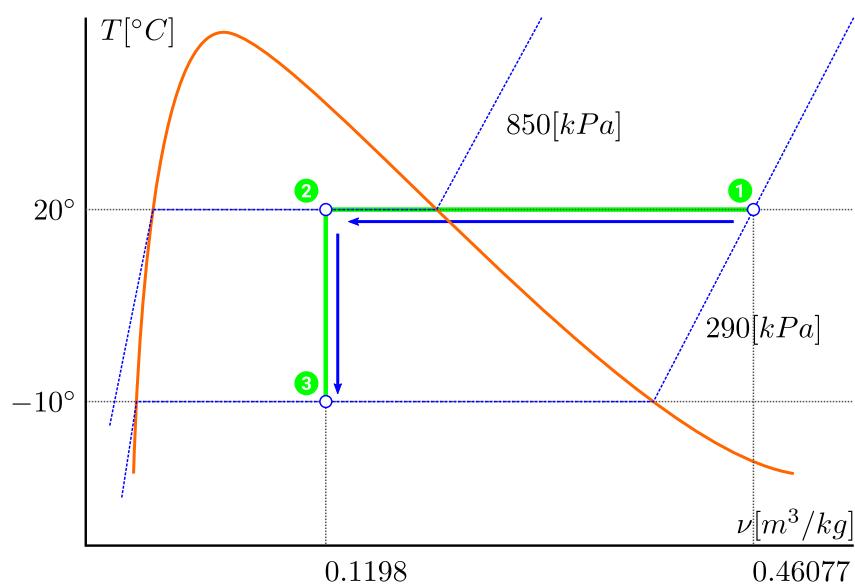
$$T_3 = -10^\circ C$$

$$P_3 = 290[kPa]$$

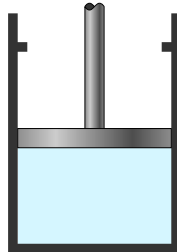
$$X_3 = 0.2839$$

$$V_3 = 0.13[m^3]$$

$$\nu_3 = 0.1198[m^3/kg]$$



3. Según la figura, se tiene agua como líquido saturado a $400[kPa]$ con un volumen de $4.336[lt]$. Se entrega calor al agua hasta que su presión sea de $1400[kPa]$. Posteriormente se enfría hasta que este como vapor saturado permaneciendo el embolo en el mismo lugar. El volumen en los topes superiores es de $1.2778[m^3]$. Hallar el calor intercambiado.



Solución:

Datos provistos:

Agua

$$P_1 = 400[kPa]$$

$$V_1 = 4.336[lt] \frac{0.001[m^3]}{1[lt]} = 0.0043360[m^3]$$

$$X_1 = 0$$

$$P_3 = 1400[kPa]$$

$$X_4 = 1$$

$$V_4 = V_3$$

$$V_{max} = 1.2778[m^3]$$

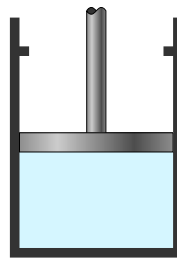
Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $400[kPa]$:

$$P(400[kPa]) = \begin{cases} T = 143.63^\circ C \\ \nu_l = 0.001084[m^3/kg] & u_l = 604.29[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.46246[m^3/kg] & u_v = 2553.55[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa a partir de su volumen específico:

$$m = \frac{V_l}{\nu_v} = \frac{0.0043360[m^3]}{0.001084[m^3/kg]} = 4.00[kg]$$

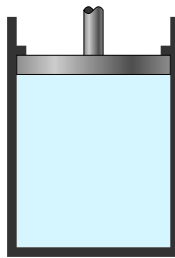

Estado 1

$$\begin{aligned} T_1 &= 143.63^\circ C \\ P_1 &= 400[kPa] \\ X_1 &= 0 \\ V_1 &= 0.0043[m^3] \\ \nu_1 &= 0.001084[m^3/kg] \\ u_1 &= 604.29[kJ/kg] \end{aligned}$$

Estado 2:

Se calcula el volumen específico y el título cuando el embolo alcanza a los topes:

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{V}{m} = \frac{1.2778[m^3]}{4[kg]} = 0.3194[m^3/kg] \\ X &= \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.3194[m^3/kg] - 0.001084[m^3/kg]}{0.46246[m^3/kg] - 0.001084[m^3/kg]} = 0.69 \end{aligned}$$


Estado 2

$$\begin{aligned} T_2 &= 143.63^\circ C \\ P_2 &= 400[kPa] \\ X_2 &= 0.69 \\ V_2 &= 1.2778[m^3] \\ \nu_2 &= 0.3194[m^3/kg] \end{aligned}$$

Estado 3:

El volumen se mantiene constante.

$$\begin{aligned} V &= 1.2778[m^3] \\ \nu &= 0.3194[m^3/kg] \end{aligned}$$

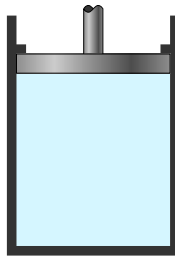
De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $1400[kPa]$:

$$P(1400[kPa]) = \begin{cases} T = 195.07^\circ C \\ \nu_l = 0.001149[m^3/kg] & u_l = 828.68[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.14084[m^3/kg] & u_v = 2592.83[kJ/kg] \end{cases}$$

Por tanto, la sustancia se encuentra en la zona de vapor sobrecalentado.

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada de $1400[kPa]$ y un volumen específico de $0.3194[m^3/kg]$:

$$P(1400[kPa]) | \nu(0.31947[m^3/kg]) = \begin{cases} T = 700^\circ C \\ u = 3473.61[kJ/kg] \end{cases}$$



Estado 3

$$T_3 = 195.07^\circ C$$

$$P_3 = 1400[kPa]$$

$$X_3 > 1$$

$$V_3 = 1.2778[m^3]$$

$$\nu_3 = 0.3194[m^3/kg]$$

$$u_3 = 3473.61[kJ/kg]$$

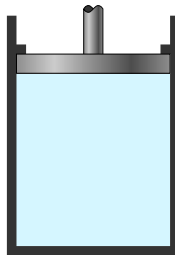
Estado 4:

El volumen se mantiene constante.

$$\nu = 0.3194[m^3/kg]$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para un volumen específico de $0.3194[m^3/kg]$ y un título de 1:

$$\nu(0.31567[m^3/kg]) | X(1) = \begin{cases} P = 600[kPa] \\ T = 158.85^\circ C \\ u = 2567.40[kJ/kg] \end{cases}$$



Estado 4

$$T_4 = 158.85^\circ C$$

$$P_4 = 600[kPa]$$

$$X_4 = 1$$

$$V_4 = 1.2778[m^3]$$

$$\nu_4 = 0.3194[m^3/kg]$$

$$u_4 = 2567.40[kJ/kg]$$

Trabajo:

$$\begin{aligned} W_{1 \rightarrow 4} &= W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 4} \\ &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2} dv + \int_2^3 P_{2 \rightarrow 3} dv + \int_3^4 P_{3 \rightarrow 4} dv \\ &= P_1 \int_1^2 dv + 0 + 0 \\ &= P_1 \left(V \right)_1^2 \\ &= P_1 (V_2 - V_1) \\ &= 400[kPa] (1.2778[m^3] - 0.0043360[m^3]) \\ &= 509.39[kJ] \end{aligned}$$

Calor:

A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor intercambiado:

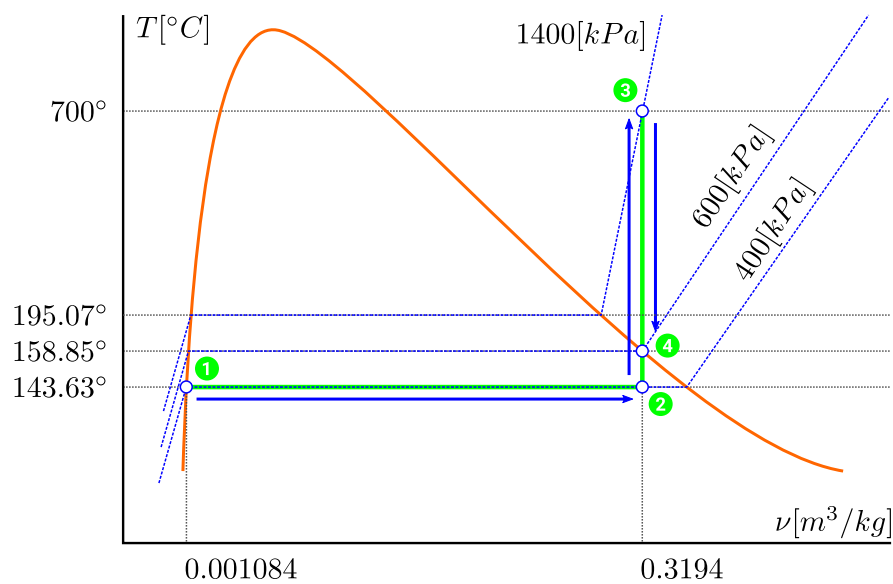
$$\Delta U_{1 \rightarrow 4} = Q_{1 \rightarrow 4} - W_{1 \rightarrow 4}$$

$$Q_{1 \rightarrow 4} = \Delta U_{1 \rightarrow 4} + W_{1 \rightarrow 4}$$

$$= m(u_4 - u_1) + W_{1 \rightarrow 4}$$

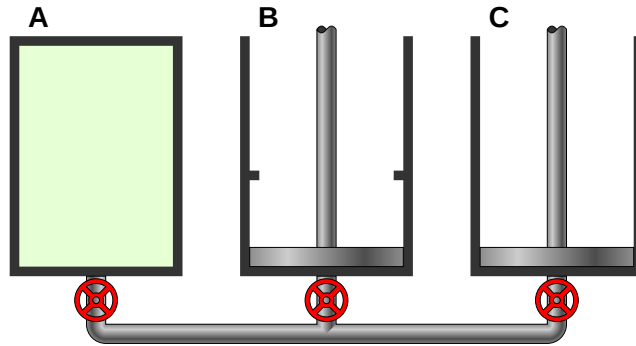
$$= 4[kg](2567.40[kJ/kg] - 640.29[kJ/kg]) + 509.39[kJ]$$

$$= 8361.8[kJ]$$



$$Q = 8361.8[kJ]$$

4. Según la figura, el tanque A tiene un volumen de $0.3[m^3]$ y contiene freón 12 (R-12) como vapor saturado a $820[kPa]$. Cuando se abren las válvulas el freón entra al cilindro B en el cual se tiene un embolo que requiere una presión de $200[kPa]$ para ser elevado. También entra freón al cilindro C que inicialmente también está vacío cuyo embolo requiere una presión de $400[kPa]$ para ser elevado. El proceso termina cuando la presión se equilibra en los 3 recipientes. Durante el proceso en B el embolo con área de $0.5[m^2]$ recorre $d = 20[cm]$ hasta llegar a los topes. Durante el proceso se transmite calor al freón de modo que su temperatura este constante. Hallar las masas finales en cada recipiente y el calor intercambiado.



Solución:

Datos provistos:

Freón 12 (R-12)

$$V^a = 0.3[m^3]$$

$$V^b = V^c = 0$$

Temperatura constante

$$X_1^a = 1$$

$$P_1^a = 820[kPa]$$

$$P_1^b = 200[kPa]$$

$$A_E = 0.5[m^2]$$

$$d_E = 0.2[m]$$

$$P_1^c = 400[kPa]$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada a $820[kPa]$:

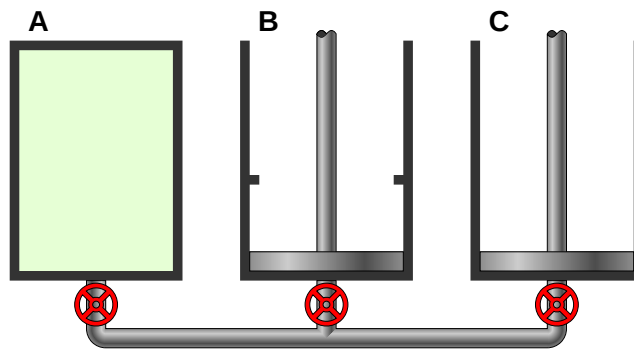
$$P(0.84772[MPa]) = \begin{cases} T = 35^\circ C \\ \nu_l = 0.000786[m^3/kg] & h_l = 69.551[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.020641[m^3/kg] & h_v = 201.446[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa total a partir de su volumen especifico para un titulo de 1:

$$m = \frac{V^a}{\nu_v} = \frac{0.3[m^3]}{0.020641[m^3/kg]} = 14.534[kg]$$

A partir de la entalpía, se halla la energía interna en el tanque A:

$$\begin{aligned} h &= u + P \nu \\ u^a &= h_v - P^a \nu^a \\ &= 201.446[kJ/kg] - (820[kPa] 0.020641[m^3/kg]) \\ &= 184.52[kJ/kg] \end{aligned}$$



Estado 1

$T_1^a = 35^\circ C$	$P_1^b = 200[kPa]$	$P_1^c = 400[kPa]$
$P_1^a = 800[kPa]$	$V_1^b = 0[m^3]$	$V_1^c = 0[m^3]$
$X_1^a = 1$		
$V_1^a = 0.3[m^3]$		
$\nu_1^a = 0.020641[m^3/kg]$		
$u_1^a = 184.52[kJ/kg]$		

Estado 2:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada a $400[kPa]$ y una temperatura de $35^\circ C$:

$$P(0.4[MPa]) | T(40^\circ C) = \begin{cases} \nu = 0.050046[m^3/kg] \\ h = 212.250[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el volumen y energía interna de la combinación de todos los tanques a partir del volumen específico:

$$\begin{aligned} V &= m \nu = 14.534[kg] 0.050046[m^3/kg] = 0.7274[m^3] \\ u &= h - P \nu \\ &= 212.250[kJ/kg] - (400[kPa] 0.050046[m^3/kg]) \\ &= 192.23[kJ/kg] \end{aligned}$$

Se halla la masa en cada tanque:

$$m^a = \frac{V^a}{\nu} = \frac{0.3[m^3]}{0.050046[m^3/kg]} = 5.9945[kg]$$

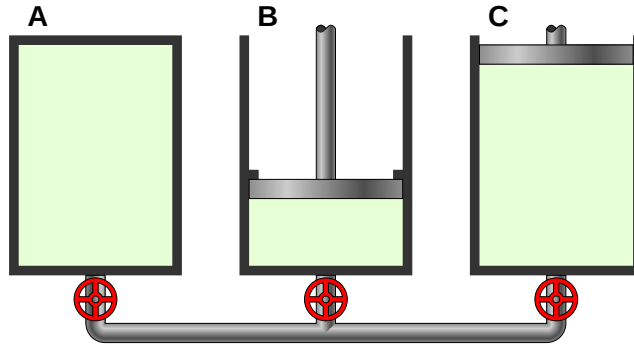
$$V^b = A_E d_E = 0.5[m^2] 0.2[m] = 0.1[m^3]$$

$$m^b = \frac{V^b}{\nu} = \frac{0.1[m^3]}{0.050046[m^3/kg]} = 1.9982[kg]$$

$$V = V^a + V^b + V^c$$

$$V^c = V - V^a - V^b = 0.7274[m^3] - 0.3[m^3] - 0.1[m^3] = 0.3274[m^3]$$

$$m^c = \frac{V^c}{\nu} = \frac{0.3274[m^3]}{0.050046[m^3/kg]} = 6.5415[kg]$$



Estado 2

$$T_2^a = 35^\circ C$$

$$P_2^a = 400[kPa]$$

$$X_1^a > 1$$

$$V_1^a = 0.3[m^3]$$

$$\nu_1^a = 0.050046[m^3/kg]$$

$$u_1^a = 192.23[kJ/kg]$$

$$T_2^b = 35^\circ C$$

$$P_2^b = 400[kPa]$$

$$X_1^b > 1$$

$$V_1^b = 0.1[m^3]$$

$$\nu_1^b = 0.050046[m^3/kg]$$

$$u_1^b = 192.23[kJ/kg]$$

$$T_2^c = 35^\circ C$$

$$P_2^c = 400[kPa]$$

$$X_1^c > 1$$

$$V_1^c = 0.3274[m^3]$$

$$\nu_1^c = 0.050046[m^3/kg]$$

$$u_1^c = 192.23[kJ/kg]$$

Trabajo:

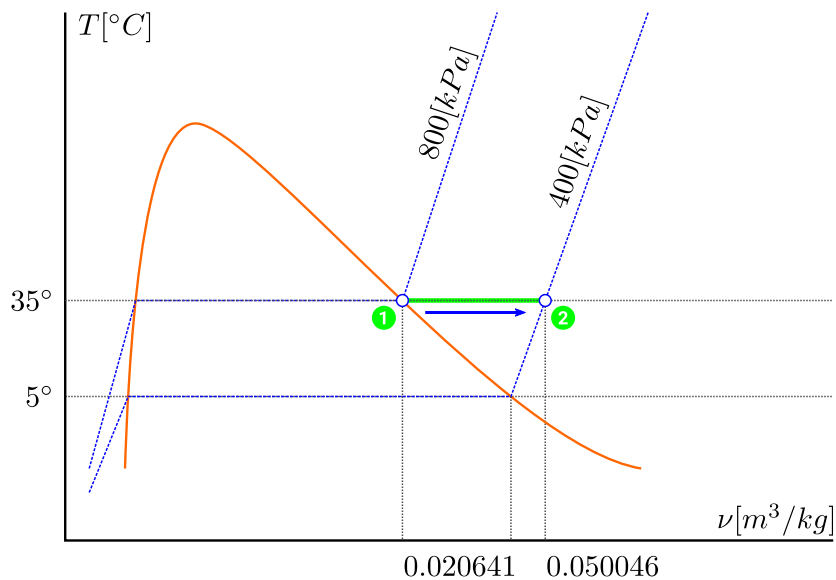
$$\begin{aligned} W_{1 \rightarrow 2} &= W_{1 \rightarrow 2}^a + W_{1 \rightarrow 2}^b + W_{1 \rightarrow 2}^c \\ &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^a dv^a + \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^b dv^b + \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^c dv^c \\ &= 0 + P_{1 \rightarrow 2}^b \int_1^2 dv^b + P_{1 \rightarrow 2}^c \int_1^2 dv^c \\ &= P_{1 \rightarrow 2}^b (V_2^b - V_1^b) + P_{1 \rightarrow 2}^c (V_2^c - V_1^c) \\ &= 200[kPa] (0.1[m^3] - 0[m^3]) + 400[kPa] (0.3274[m^3] - 0[m^3]) \\ &= 150.95[kJ] \end{aligned}$$

Calor:

A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor intercambiado:

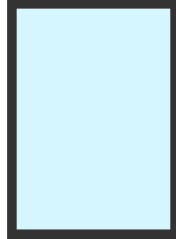
$$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = Q_{1 \rightarrow 2} - W_{1 \rightarrow 2}$$

$$\begin{aligned} Q_{1 \rightarrow 2} &= \Delta U_{1 \rightarrow 2} + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= (\Delta U_{1 \rightarrow 2}^a + \Delta U_{1 \rightarrow 2}^b + \Delta U_{1 \rightarrow 2}^c) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= (U_2^a - U_1^a + U_2^b - U_1^b + U_2^c - U_1^c) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= (U_2^a + U_2^b + U_2^c - (U_1^a + U_1^b + U_1^c)) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= (m_2^a u_2^a + m_2^b u_2^b + m_2^c u_2^c - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b + m_1^c u_1^c)) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= (u_2 (m_2^a + m_2^b + m_2^c) - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b + m_1^c u_1^c)) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= (u_2 m - (m_1^a u_1^a + 0 + 0)) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= (u_2 m - m u_1^a) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= m (u_2 - u_1^a) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= 14.534[kg](192.23[kJ/kg] - 184.52[kJ/kg]) + 150.95[kJ] \\ &= 263.03[kJ] \end{aligned}$$



$$Q = 263.03[kJ]$$

5. En un recipiente rígido de $5[m^3]$ esta contenida agua con un título de 0.8 y una presión de $2[MPa]$. Si la presión se reduce a $400[kPa]$ al enfriarse el recipiente. Hallar las masas finales en estado líquido y de vapor; también el calor intercambiado.



Solución:

Datos provistos:

Agua

$$V = 5[m^3]$$

$$X_1 = 0.8$$

$$P_1 = 2000[kPa]$$

$$P_2 = 400[kPa]$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $2000[kPa]$:

$$P(2000[kPa]) = \begin{cases} T = 212.42^\circ C \\ \nu_l = 0.001177[m^3/kg] & u_l = 906.42[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.09963[m^3/kg] & u_v = 2600.26[kJ/kg] \end{cases}$$

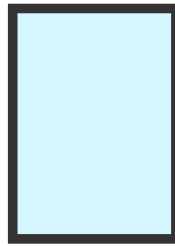
Se halla el volumen específico y energía interna a partir del título y los valores de líquido y vapor:

$$\begin{aligned} \nu &= \nu_l + X_1(\nu_v - \nu_l) \\ &= 0.001177 + 0.8(0.09963 - 0.001177) \\ &= 0.079939[m^3/kg] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u &= u_l + X_1(u_v - u_l) \\ &= 906.42 + 0.8(2600.26 - 906.42) \\ &= 2261.5[kJ/kg] \end{aligned}$$

Se halla la masa a partir de su volumen específico:

$$m = \frac{V}{\nu} = \frac{5[m^3]}{0.079939[m^3/kg]} = 62.547[kg]$$



Estado 1

$$\begin{aligned}T_1 &= 212.42^\circ C \\P_1 &= 2000[kPa] \\X_1 &= 0.8 \\V_1 &= 5[m^3] \\\nu_1 &= 0.079939[m^3/kg] \\u_1 &= 2261.5[kJ/kg]\end{aligned}$$

Estado 2:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $400[kPa]$:

$$P(400[kPa]) = \begin{cases} T = 143.63^\circ C \\ \nu_l = 0.001084[m^3/kg] & u_l = 604.29[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.46246[m^3/kg] & u_v = 2553.55[kJ/kg] \end{cases}$$

El volumen específico se mantiene constante:

$$\nu_2 = \nu_1 = 0.079939[m^3/kg]$$

Se halla el título a partir de su definición:

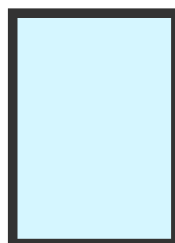
$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.079939[m^3/kg] - 0.001084[m^3/kg]}{0.46246[m^3/kg] - 0.001084[m^3/kg]} = 0.1709$$

Se halla la energía interna a partir del título y los valores de líquido y vapor:

$$\begin{aligned}u &= u_l + X_1(u_v - u_l) \\&= 604.29 + 0.1709(2553.55 - 604.29) \\&= 937.44[kJ/kg]\end{aligned}$$

Se hallan las masas a partir de la definición de título:

$$\begin{aligned}X &= \frac{m_v}{m} \\m_v &= X m = 0.1709 \cdot 62.547[kg] = 10.690[kg] \\m_l + m_v &= m \\m_l &= m - m_v = 62.547[kg] - 10.690[kg] = 51.857[kg]\end{aligned}$$



Estado 2

$$\begin{aligned}T_2 &= 143.63^\circ C \\P_2 &= 400[kPa] \\X_2 &= 0.1709 \\V_2 &= 5[m^3] \\\nu_2 &= 0.079939[m^3/kg] \\u_2 &= 937.44[kJ/kg]\end{aligned}$$

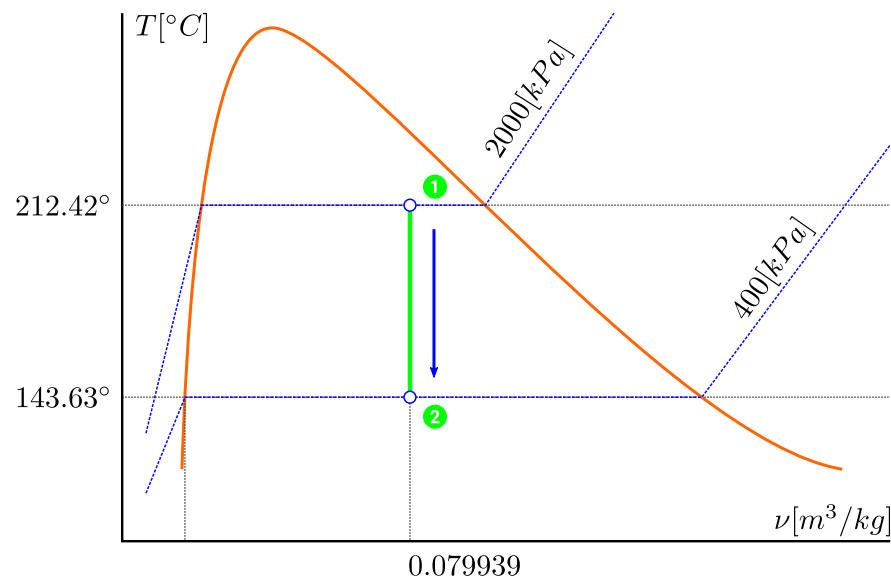
Trabajo:

$$\begin{aligned} W_{1 \rightarrow 2} &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2} dv \\ &= P_{1 \rightarrow 2} \int_1^2 dv \\ &= P_{1 \rightarrow 2} (V_2 - V_1) \\ &= 0[kJ] \end{aligned}$$

Calor:

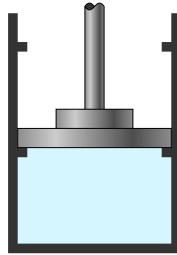
A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor intercambiado:

$$\begin{aligned} \Delta U_{1 \rightarrow 2} &= Q_{1 \rightarrow 2} - W_{1 \rightarrow 2} \\ Q_{1 \rightarrow 2} &= \Delta U_{1 \rightarrow 2} + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= m(u_2 - u_1) + W_{1 \rightarrow 2} \\ &= 62.547[kg](937.44[kJ/kg] - 2261.5[kJ/kg]) + 0 \\ &= -82815.676[kJ] \end{aligned}$$



$$Q = -82815.676[kJ]$$

6. Dentro un cilindro con su embolo se tiene $0.1[m^3]$ de agua saturada con titulo del 25 % y una presión de $200[kPa]$. La masa del embolo es $40[kg]$ y su diámetro $10[cm]$, la presión atmosférica de $1.3[kg/cm^2]$. Además sobre el embolo hay un peso de que ejerce una presión de $120[kPa]$. Se entrega calor al sistema hasta que su presión sea de $700[kPa]$ y su volumen de $0.2[m^3]$. Hallar el calor intercambiado.



Solución:

Datos provistos:

Agua

$$V_1 = 0.1[m^3]$$

$$X_1 = 0.25$$

$$P_1 = 200[kPa]$$

$$m_E = 40[kg]$$

$$d_E = 0.1[m]$$

$$P_{atm} = 1.3[kg/cm^2]$$

$$P_P = 120[kPa]$$

$$P_4 = 700[kPa]$$

$$V_4 = 0.2[m^3]$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $200[kPa]$:

$$P(200[kPa]) = \begin{cases} T = 120.23^\circ C \\ \nu_l = 0.001061[m^3/kg] & u_l = 504.47[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.88573[m^3/kg] & u_v = 2529.49[kJ/kg] \end{cases}$$

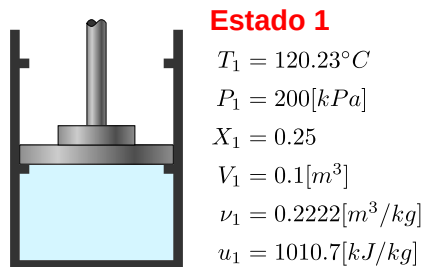
Se calcula el volumen especifico y la energía interna para un titulo de 0.25:

$$\begin{aligned} \nu &= \nu_l + X_1(\nu_v - \nu_l) \\ &= 0.001061 + 0.25(0.88573 - 0.001061) \\ &= 0.2222[m^3/kg] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u &= u_l + X_1(u_v - u_l) \\
 &= 504.47 + 0.25(2529.49 - 504.47) \\
 &= 1010.7[kJ/kg]
 \end{aligned}$$

Se halla la masa a partir de su volumen específico:

$$m = \frac{V}{\nu} = \frac{0.1[m^3]}{0.2222[m^3/kg]} = 0.45[kg]$$



Estado 2:

Se calcula la presión requerida para levantar el embolo:

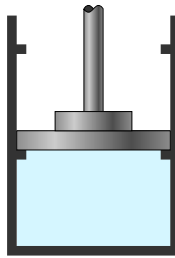
$$\begin{aligned}
 P &= P_{atm} + P_E + P_P \\
 &= P_{atm} + \frac{F_E}{A_E} + P_P \\
 &= P_{atm} + \frac{m_E g}{\pi r_E^2} + P_P \\
 &= 1.3[kg/cm^2] \frac{98[kPa]}{1[kg/cm^2]} + \frac{40[kg] 9.8[m/s^2]}{\pi (0.05)^2[m^2]} \frac{1[kPa]}{1000[Pa]} + 120[kPa] \\
 &= 297.31[kPa]
 \end{aligned}$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada a $297.31[kPa]$:

$$P(300[kPa]) = \begin{cases} T = 133.55^\circ C \\ \nu_l = 0.001073[m^3/kg] & u_l = 561.13[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.60582[m^3/kg] & u_v = 2543.55[kJ/kg] \end{cases}$$

Considerando que el proceso es a volumen constante, se halla el título:

$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.2222[m^3/kg] - 0.001073[m^3/kg]}{0.60582[m^3/kg] - 0.001073[m^3/kg]} = 0.3657$$



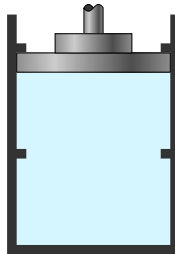
Estado 2

$$\begin{aligned} T_2 &= 133.55^\circ C \\ P_2 &= 297.31[kPa] \\ X_2 &= 0.3657 \\ V_2 &= 0.1[m^3] \\ \nu_2 &= 0.2222[m^3/kg] \end{aligned}$$

Estado 3:

Se halla el volumen específico a partir del volumen final y la masa:

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{0.2}{0.45} = 0.4445[m^3/kg]$$



Estado 3

$$\begin{aligned} T_3 &= 133.55^\circ C \\ P_3 &= 297.31[kPa] \\ X_3 &= 0.7332 \\ V_3 &= 0.2[m^3] \\ \nu_3 &= 0.4445[m^3/kg] \end{aligned}$$

Estado 4:

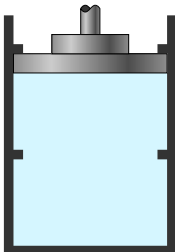
De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $700[kPa]$:

$$P(700[kPa]) = \begin{cases} T = 164.97^\circ C \\ \nu_l = 0.001108[m^3/kg] & u_l = 696.43[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.027286[m^3/kg] & u_v = 2572.49[kJ/kg] \end{cases}$$

Considerando que el volumen específico de vapor es menor que el volumen específico actual ($\nu = 0.4445[m^3/kg]$), el agua se encuentra en la zona de vapor sobrecalentado.

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada de $700[kPa]$ y un volumen específico de $0.4445[m^3/kg]$:

$$P(800[kPa]) | \nu(0.44331[m^3/kg]) = \begin{cases} T = 500^\circ C \\ u = 3125.95[kJ/kg] \end{cases}$$



Estado 4

$$\begin{aligned} T_4 &= 500^\circ C \\ P_4 &= 700[kPa] \\ X_4 &> 1 \\ V_4 &= 0.2[m^3] \\ \nu_4 &= 0.4445[m^3/kg] \\ u_4 &= 3125.95[kJ/kg] \end{aligned}$$

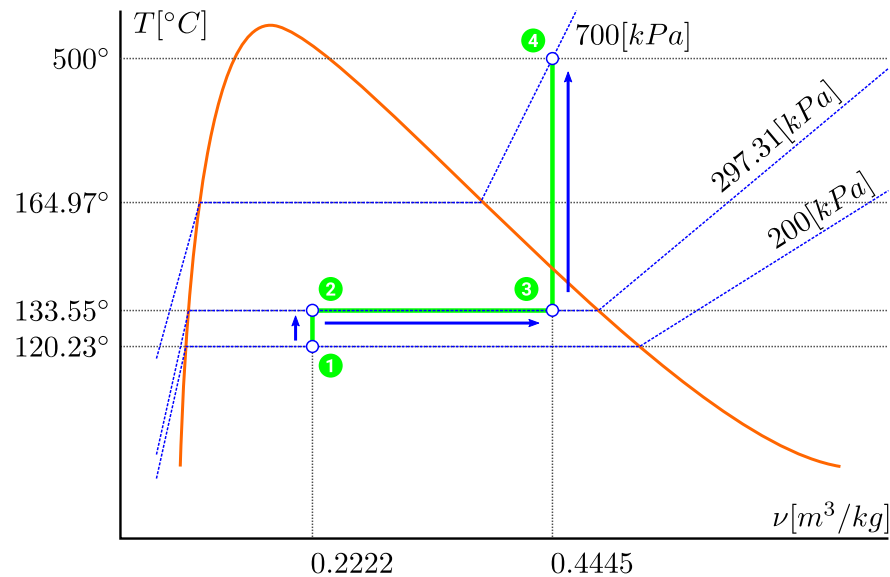
Trabajo:

$$\begin{aligned}
 W_{1 \rightarrow 4} &= W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 4} \\
 &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2} dv + \int_2^3 P_{2 \rightarrow 3} dv + \int_3^4 P_{3 \rightarrow 4} dv \\
 &= 0 + P_2 \int_2^3 dv + 0 \\
 &= P_2 \left(V \right)_2^3 \\
 &= P_2 (V_3 - V_2) \\
 &= 297.31 [kPa] (0.2 [m^3] - 0.1 [m^3]) \\
 &= 29.731 [kJ]
 \end{aligned}$$

Calor:

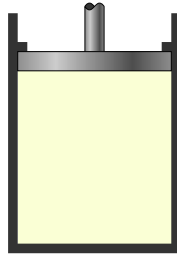
A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor intercambiado:

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{1 \rightarrow 4} &= Q_{1 \rightarrow 4} - W_{1 \rightarrow 4} \\
 Q_{1 \rightarrow 4} &= \Delta U_{1 \rightarrow 4} + W_{1 \rightarrow 4} \\
 &= m(u_4 - u_1) + W_{1 \rightarrow 4} \\
 &= 0.45 [kg] (3125.95 [kJ/kg] - 1010.7 [kJ/kg]) + 29.731 [kJ] \\
 &= 981.56 [kJ]
 \end{aligned}$$



$$Q = 981.56 [kJ]$$

7. Según la figura se tiene dentro el cilindro con su embolo se tiene R-22 con una masa de $1[kg]$, $50^{\circ}C$ y $700[kPa]$. En esta posición el embolo choca contra los topes. El sistema pierde calor hasta que llega al estado de vapor saturado. En este estado la presión del sistema esta equilibrado con la presión externa. El freón continua enfriándose hasta llegar al estado de liquido saturado. Hallar el calor intercambiado.



Solución:

Datos provistos:

R-22

$$m = 1[kg]$$

$$T_1 = 50^{\circ}C$$

$$P_1 = 700[kPa]$$

$$X_2 = 1$$

$$P_2 = P_{atm}$$

$$X_3 = 0$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $0.7[MPa]$ y una temperatura de $50^{\circ}C$:

$$P(0.7[MPa]) | T(50^{\circ}C) = \begin{cases} \nu = 0.040763[m^3/kg] \\ h = 283.282[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el volumen a partir de la definición de volumen específico:

$$V = \nu m = 0.040763[m^3/kg] 1[kg] = 0.040763[m^3]$$

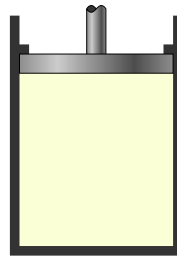
A partir de la entalpía, se halla la energía interna:

$$h = u + P \nu$$

$$u = h - P \nu$$

$$= 283.282[kJ/kg] - (700[kPa] 0.040763[m^3/kg])$$

$$= 254.75[kJ/kg]$$



Estado 1

$$T_1 = 50^\circ C$$

$$P_1 = 700[kPa]$$

$$X_1 > 1$$

$$V_1 = 0.040763[m^3]$$

$$\nu_1 = 0.040763[m^3/kg]$$

$$u_1 = 254.75[kJ/kg]$$

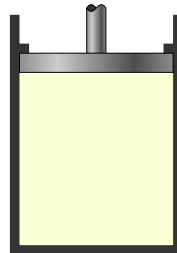
Estado 2:

Considerando que la presión iguala a la presión externa, el proceso se realiza a volumen constante:

$$\nu = 0.040763[m^3/kg]$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para un volumen específico aproximado de $0.040763[m^3/kg]$ y un título de 1:

$$\nu(0.040356[m^3/kg]) | X(1) = \begin{cases} T = 5^\circ C \\ P = 583.8[kPa] \end{cases}$$



Estado 2

$$T_2 = 5^\circ C$$

$$P_2 = 583.8[kPa]$$

$$X_2 = 1$$

$$V_2 = 0.040763[m^3]$$

$$\nu_2 = 0.040763[m^3/kg]$$

Estado 3:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $583.8[kPa]$, una temperatura de $5^\circ C$ y un título de 0:

$$P(0.5838[MPa]) | T(5^\circ C) | X(0) = \begin{cases} \nu = 0.000789[m^3/kg] \\ h = 50.485[kJ/kg] \end{cases}$$

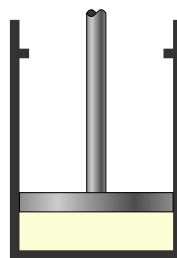
Se halla el volumen a partir de la definición de volumen específico:

$$V = \nu m = 0.000789[m^3/kg] 1[kg] = 0.000789[m^3]$$

A partir de la entalpía, se halla la energía interna:

$$h = u + P \nu$$

$$\begin{aligned}
 u &= h - P \nu \\
 &= 50.485[kJ/kg] - (583.8[kPa] 0.000789[m^3/kg]) \\
 &= 50.024[kJ/kg]
 \end{aligned}$$



Estado 3

$$\begin{aligned}
 T_3 &= 5^\circ C \\
 P_3 &= 583.8[kPa] \\
 X_3 &= 0 \\
 V_3 &= 0.000789[m^3] \\
 \nu_3 &= 0.000789[m^3/kg] \\
 u_3 &= 50.024[kJ/kg]
 \end{aligned}$$

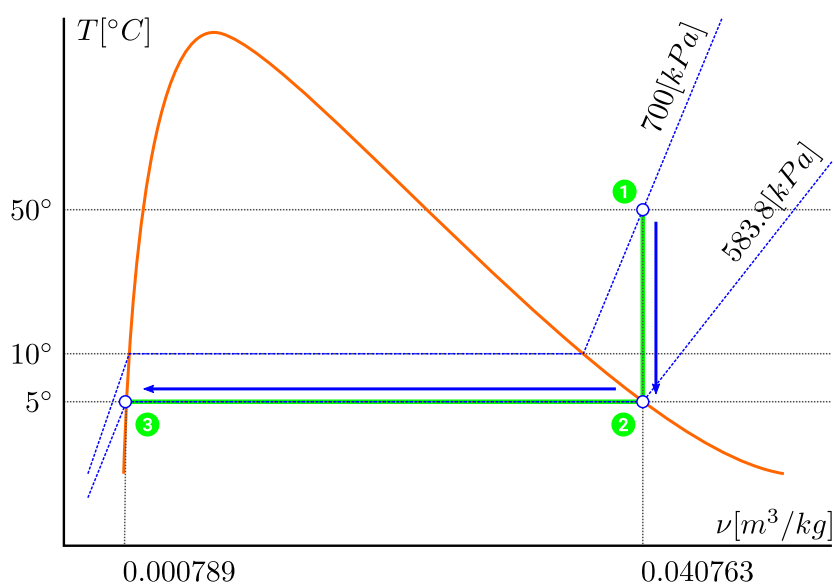
Trabajo:

$$\begin{aligned}
 W_{1 \rightarrow 3} &= W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} \\
 &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2} dv + \int_2^3 P_{2 \rightarrow 3} dv \\
 &= 0 + P_2 \int_2^3 dv \\
 &= P_2 \left(V \right)_2^3 \\
 &= P_2 (V_3 - V_2) \\
 &= 583.8[kPa] (0.000789[m^3] - 0.040763[m^3]) \\
 &= -23.337[kJ]
 \end{aligned}$$

Calor:

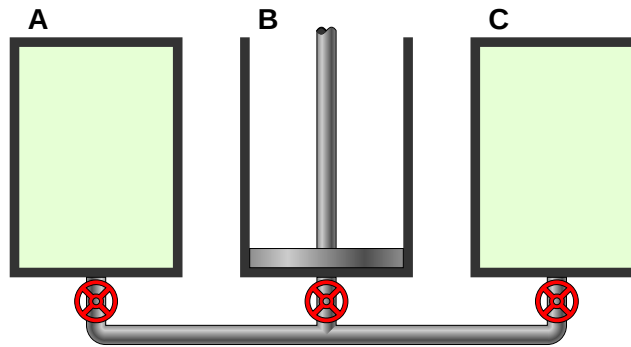
A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor entregado:

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{1 \rightarrow 3} &= Q_{1 \rightarrow 3} - W_{1 \rightarrow 3} \\
 Q_{1 \rightarrow 3} &= \Delta U_{1 \rightarrow 3} + W_{1 \rightarrow 3} \\
 &= m(u_3 - u_1) + W_{1 \rightarrow 3} \\
 &= 1[kg] (50.024[kJ/kg] - 254.75[kJ/kg]) - 23.337[kJ] \\
 &= -228.06[kJ]
 \end{aligned}$$



$$Q = -228.06\text{ kJ}$$

8. Según la figura el tanque *A* tiene un volumen de $0.2[m^3]$ y contiene freón 12 como vapor saturado a $30^\circ C$, cuando se abren las válvulas el freón entra al cilindro *B* en el cual se tiene un embolo que requiere una presión de $0.14[MPa]$ para ser elevado. En el tanque *C* que tiene un volumen de $40[lt]$ también tiene freón a $0.74[MPa]$ como liquido saturado. El proceso termina cuando los 3 elementos se equilibran en presión y su temperatura final es de $30^\circ C$. Hallar las masas finales en cada recipiente el calor entregado y el trabajo realizado.



Solución:

Datos provistos:

Freón 12 (R-12)

$$V^a = 0.2[m^3]$$

$$V^c = 40[lt] \frac{0.001[m^3]}{1[lt]} = 0.04[m^3]$$

$$X_1^a = 1$$

$$T_1^a = 30^\circ C$$

$$P_1^b = 0.14[MPa]$$

$$P_1^c = 0.74[MPa]$$

$$X_1^c = 0$$

$$T_2 = 30^\circ C$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una temperatura de $30^\circ C$ y un titulo de 1 en el tanque *A*:

$$T(30^\circ C) | X(1) = \begin{cases} P = 0.74490[MPa] \\ \nu = 0.023508[m^3/kg] \\ h = 199.620[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa a partir de su volumen especifico:

$$m^a = \frac{V^a}{\nu} = \frac{0.2[m^3]}{0.023508[m^3/kg]} = 8.5077[kg]$$

A partir de la entalpía, se halla la energía interna:

$$\begin{aligned} h &= u + P \nu \\ u^a &= h - P^a \nu^a \\ &= 199.620[kJ/kg] - (744.90[kPa] 0.023508[m^3/kg]) \\ &= 182.11[kJ/kg] \end{aligned}$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada de $0.74[MPa]$ y un título de 0 en el tanque C:

$$P(0.74[MPa]) \mid X(0) = \begin{cases} T = 30^\circ C \\ \nu = 0.000774[m^3/kg] \\ h = 64.592[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa a partir de su volumen específico:

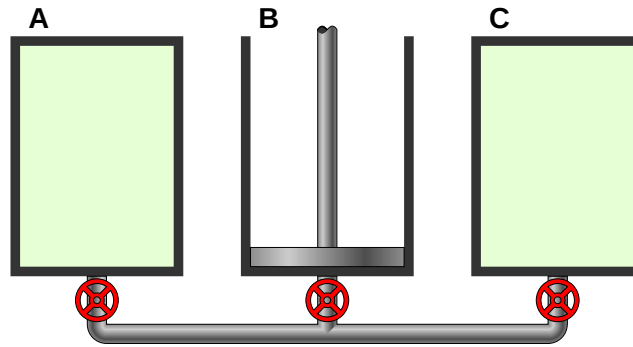
$$m^c = \frac{V^c}{\nu} = \frac{0.04[m^3]}{0.000774[m^3/kg]} = 51.68[kg]$$

A partir de la entalpía, se halla la energía interna:

$$\begin{aligned} h &= u + P \nu \\ u^c &= h - P^c \nu^c \\ &= 64.592[kJ/kg] - (744.90[kPa] 0.000774[m^3/kg]) \\ &= 64.015[kJ/kg] \end{aligned}$$

Se halla la masa total a partir de las masas en A, B y C:

$$\begin{aligned} m &= m^a + m^b + m^c \\ &= 8.5077[kg] + 0[kg] + 51.68[kg] \\ &= 60.187[kg] \end{aligned}$$



Estado 1

$T_1^a = 30^\circ C$		$T_1^c = 30^\circ C$
$P_1^a = 744.9[kPa]$	$P_1^b = 140[kPa]$	$P_1^c = 740[kPa]$
$X_1^a = 1$		$X_1^c = 0$
$V^a = 0.2[m^3]$	$V_1^b = 0[m^3]$	$V^c = 0.04[m^3]$
$\nu_1^a = 0.023508[m^3/kg]$		$\nu_1^c = 0.000774[m^3/kg]$
$u_1^a = 182.11[kJ/kg]$		$u_1^c = 64.015[kJ/kg]$

Estado 2:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada de $0.14[MPa]$ y una temperatura de $30^\circ C$:

$$P(0.15[MPa]) | T(30^\circ C) = \begin{cases} \nu = 0.135000[m^3/kg] \\ h = 209.314[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el volumen total, y el volumen del tanque B a partir de la definición de volumen específico:

$$V = \nu m = (0.135000[m^3/kg])(60.187[kg]) = 8.1253[m^3]$$

$$V^a + V^b + V^c = V$$

$$V^b = V - V^a - V^c = 8.1253[m^3] - 0.2[m^3] - 0.04[m^3] = 7.8853[m^3]$$

A partir de la entalpía, se halla la energía interna:

$$h = u + P\nu$$

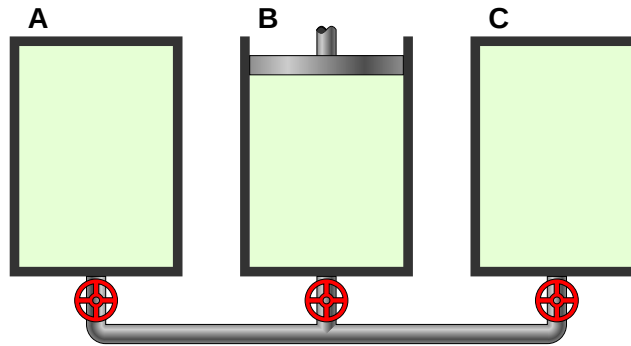
$$\begin{aligned} u &= h - P\nu \\ &= 209.314[kJ/kg] - (140[kPa] 0.135000[m^3/kg]) \\ &= 190.41[kJ/kg] \end{aligned}$$

Por tanto las masas resultantes son:

$$m^a = \frac{V^a}{\nu} = \frac{0.2}{0.135000} = 1.4815[kg]$$

$$m^b = \frac{V^b}{\nu} = \frac{7.8853}{0.135000} = 58.410[kg]$$

$$m^c = \frac{V^c}{\nu} = \frac{0.04}{0.135000} = 0.2963[kg]$$



Estado 2

$$T_2 = 30^\circ C$$

$$P_2 = 140[kPa]$$

$$X_2 = 1$$

$$\nu_2 = 0.135000[m^3/kg]$$

$$u_2 = 190.41[kJ/kg]$$

$$V_2^b = 7.8853[m^3]$$

Trabajo:

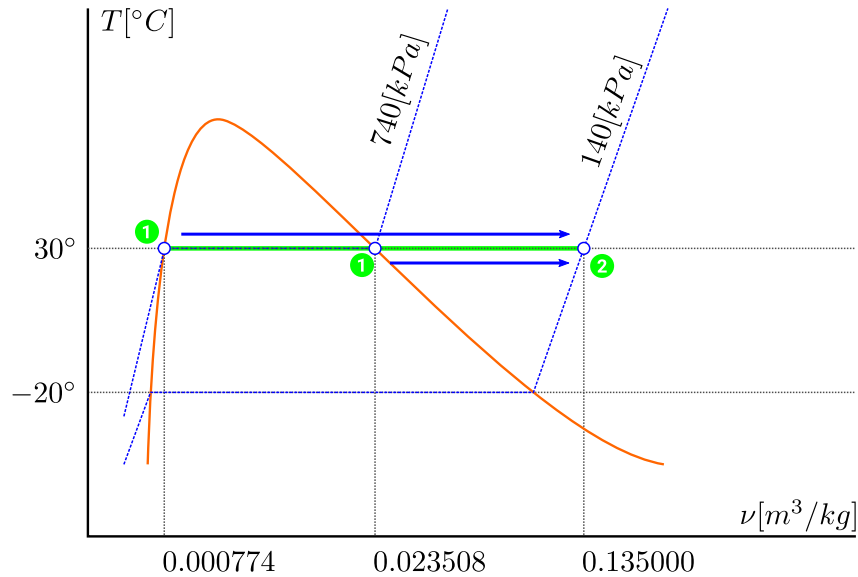
$$\begin{aligned} W_{1 \rightarrow 2} &= W_{1 \rightarrow 2}^a + W_{1 \rightarrow 2}^b + W_{1 \rightarrow 2}^c \\ &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^a dv^a + \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^b dv^b + \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^c dv^c \\ &= 0 + P_{1 \rightarrow 2}^b \int_1^2 dv^b + 0 \\ &= P_{1 \rightarrow 2}^b (V_2^b - V_1^b) \\ &= 140[kPa](58.410[m^3] - 0[m^3]) \\ &= 8177.3[kJ] \end{aligned}$$

Calor:

A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor intercambiado:

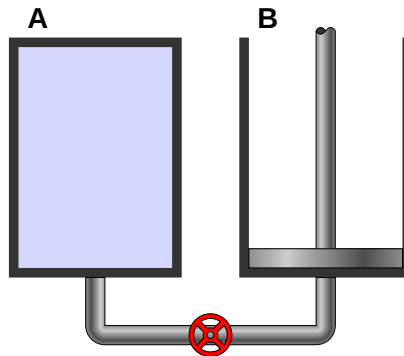
$$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = Q_{1 \rightarrow 2} - W_{1 \rightarrow 2}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{1 \rightarrow 2} &= \Delta U_{1 \rightarrow 2} + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (\Delta U_{1 \rightarrow 2}^a + \Delta U_{1 \rightarrow 2}^b + \Delta U_{1 \rightarrow 2}^c) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (U_2^a - U_1^a + U_2^b - U_1^b + U_2^c - U_1^c) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (U_2^a + U_2^b + U_2^c - (U_1^a + U_1^b + U_1^c)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (m_2^a u_2^a + m_2^b u_2^b + m_2^c u_2^c - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b + m_1^c u_1^c)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (u_2 (m_2^a + m_2^b + m_2^c) - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b + m_1^c u_1^c)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (u_2 m - (m_1^a u_1^a + 0 + m_1^c u_1^c)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (u_2 m - m_1^a u_1^a - m_1^c u_1^c) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= 60.187[kg]190.41[kJ/kg] - 8.5077[kg]182.11[kJ/kg] - 51.68[kg]64.015[kJ/kg] \\
 &\quad + 8177.3[kJ] \\
 &= 14780.220[kJ]
 \end{aligned}$$



$m^a = 1.4815[kg]$
$m^b = 58.410[kg]$
$m^c = 0.2963[kg]$
$W = 8177.3[kJ]$
$Q = 14780.220[kJ]$

9. Considere el esquema de la figura. El tanque A tiene un volumen de $100[lt]$ y contiene vapor saturado de R-134a a $30^{\circ}C$. El cilindro B inicialmente esta vacío. Se abre la válvula y el refrigerante fluye al cilindro B . La presión para elevar el embolo es de $200[kPa]$. Se entrega calor de modo que la temperatura este siempre a $30^{\circ}C$. El proceso termina cuando se alcanza un estado uniforme en A y en B . Hallar las masas finales en cada recipiente, el trabajo realizado y el calor intercambiado.



Solución:

Datos provistos:

R-134a

Temperatura constante

$$V^a = 100[lt] \frac{0.001[m^3]}{1[lt]} = 0.1[m^3]$$

$$X_1^a = 1$$

$$T_1^a = 30^{\circ}C$$

$$V_1^b = 0[m^3]$$

$$P_2 = 200[kPa]$$

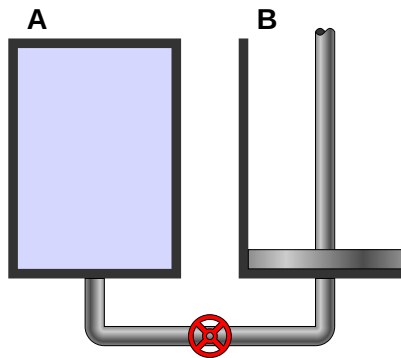
Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una temperatura $30^{\circ}C$ y un titulo de 1:

$$T(30^{\circ}C) | X(1) = \begin{cases} P = 771.0[kPa] \\ \nu = 0.02671[m^3/kg] \\ u = 394.48[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa a partir de su volumen especifico:

$$m^a = \frac{V^a}{\nu} = \frac{0.1[m^3]}{0.02671[m^3/kg]} = 3.7439[kg]$$



Estado 1

$$T_1^a = 30^\circ C$$

$$P_1^a = 771[kPa]$$

$$X_1^a = 1$$

$$V_1^a = 0.1[m^3]$$

$$\nu_1^a = 0.02671[m^3/kg]$$

$$u_1^a = 394.48[kJ/kg]$$

$$P_1^b = 200[kPa]$$

$$V_1^b = 0[m^3]$$

Estado 2:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una temperatura $30^\circ C$ y una presión de $200[kPa]$:

$$T(30^\circ C) | P(200[kPa]) = \begin{cases} \nu = 0.11889[m^3/kg] \\ u = 403.10[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa en cada tanque a partir del volumen específico:

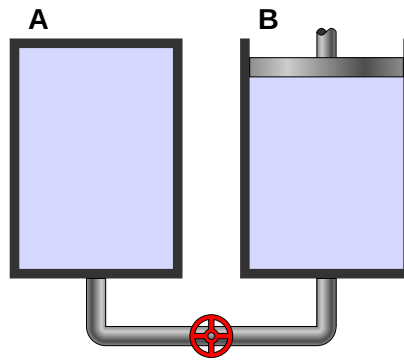
$$m^a = \frac{V^a}{\nu} = \frac{0.1[m^3]}{0.11889[m^3/kg]} = 0.8411[kg]$$

$$m^a + m^b = m$$

$$m^b = m - m^a = 3.7439[kg] - 0.8411[kg] = 2.9028[kg]$$

Se halla el volumen en el tanque B:

$$V^b = m^b \nu = 2.9028[kg] 0.11889[m^3/kg] = 0.3451[m^3]$$



Estado 2

$$T_2 = 30^\circ C$$

$$P_2 = 200[kPa]$$

$$X_2 > 1$$

$$\nu_2 = 0.11889[m^3/kg]$$

$$u_2 = 403.10[kJ/kg]$$

$$V_2^b = 0.3451[m^3]$$

Trabajo:

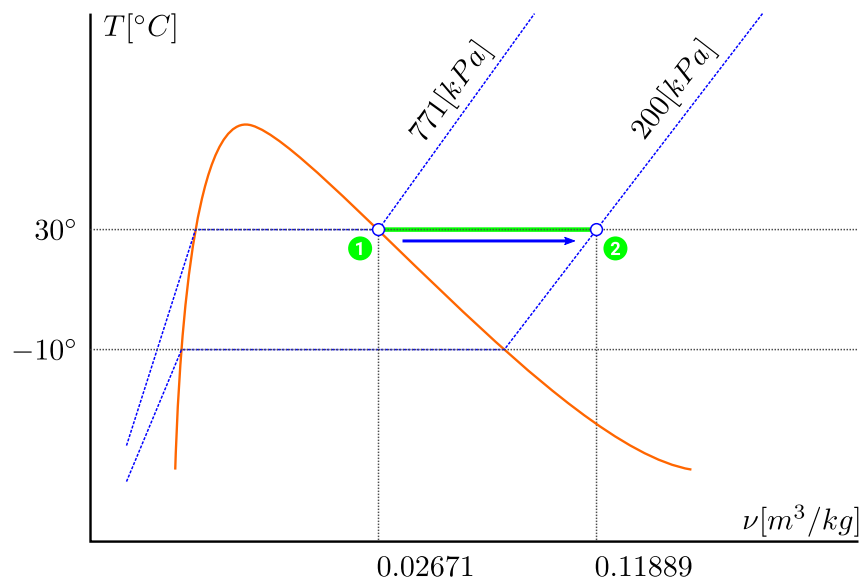
$$\begin{aligned} W_{1 \rightarrow 2} &= W_{1 \rightarrow 2}^a + W_{1 \rightarrow 2}^b \\ &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^a dv^a + \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^b dv^b \\ &= 0 + P_{1 \rightarrow 2}^b \int_1^2 dv^b \\ &= P_{1 \rightarrow 2}^b (V_2^b - V_1^b) \\ &= 200[kPa](0.3451[m^3] - 0[m^3]) \\ &= 69.023[kJ] \end{aligned}$$

Calor:

A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor intercambiado:

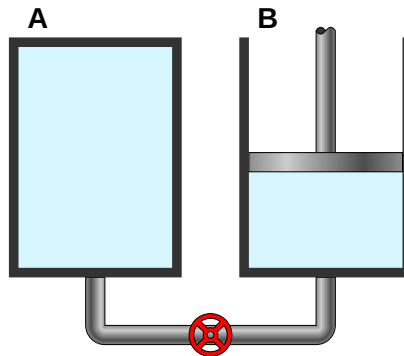
$$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = Q_{1 \rightarrow 2} - W_{1 \rightarrow 2}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{1 \rightarrow 2} &= \Delta U_{1 \rightarrow 2} + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (\Delta U_{1 \rightarrow 2}^a + \Delta U_{1 \rightarrow 2}^b) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (U_2^a - U_1^a + U_2^b - U_1^b) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (U_2^a + U_2^b - (U_1^a + U_1^b)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (m_2^a u_2^a + m_2^b u_2^b - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (u_2 (m_2^a + m_2^b) - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (u_2 m - (m_1^a u_1^a + 0)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= (u_2 m - m u_1^a) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= m (u_2 - u_1^a) + W_{1 \rightarrow 2} \\
 &= 3.7439[kg](403.10[kJ/kg] - 394.48[kJ/kg]) + 69.023[kJ] \\
 &= 101.30[kJ]
 \end{aligned}$$



$m^a = 0.8411[kg]$
$m^b = 2.9028[kg]$
$W = 69.023[kJ]$
$Q = 101.30[kJ]$

10. Según la figura el tanque A tiene un volumen de $1[m^3]$ y contiene vapor saturado a $100[kPa]$; el cilindro B también de $1[m^3]$ contiene agua a $400^\circ C$ y $300[kPa]$. Se abre la válvula y se espera que el sistema alcance el estado de equilibrio a los $200^\circ C$. Hallar las masas finales en cada recipiente y el calor intercambiado.



Solución:

Datos provistos:

Agua

$$V_1^a = 1[m^3]$$

$$X_1^a = 1$$

$$P_1^a = 100[kPa]$$

$$V_1^b = 1[m^3]$$

$$T_1^b = 400^\circ C$$

$$P_1^b = 300[kPa]$$

$$T_2 = 200^\circ C$$

$$P_2 = 300[kPa]$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $100[kPa]$ y un título de 1 para el tanque A :

$$P(100[kPa]) \mid X(1) = \begin{cases} T = 99.62^\circ C \\ \nu = 1.69400[m^3/kg] \\ u = 2506.06[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa a partir de su volumen específico del tanque A :

$$m^a = \frac{V^a}{\nu} = \frac{1[m^3]}{1.69400[m^3/kg]} = 0.5903[kg]$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una temperatura de $400^{\circ}C$ y la presión de $300[kPa]$ para el tanque B :

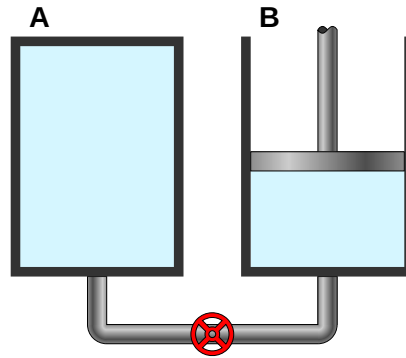
$$P(300[kPa]) | T(400^{\circ}C) = \begin{cases} \nu = 1.03151[m^3/kg] \\ u = 2965.53[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla la masa a partir de su volumen específico del tanque B :

$$m^b = \frac{V^b}{\nu} = \frac{1[m^3]}{1.03151[m^3/kg]} = 0.9695[kg]$$

La masa total del sistema resulta:

$$m = m^a + m^b = 0.5903[kg] + 0.9695[kg] = 1.5598[kg]$$



Estado 1

$T_1^a = 99.62^{\circ}C$	$T_1^b = 400^{\circ}C$
$P_1^a = 100[kPa]$	$P_1^b = 300[kPa]$
$X_1^a = 1$	$X_1^b > 1$
$V_1^a = 1[m^3]$	$V_1^b = 1[m^3]$
$\nu_1^a = 1.69400[m^3/kg]$	$\nu_1^b = 1.03151[m^3/kg]$
$u_1 = 2506.06[kJ/kg]$	$u_1^b = 2965.53[kJ/kg]$

Estado 2:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión aproximada de $300[kPa]$ y una temperatura de $200^{\circ}C$:

$$P(300[kPa]) | T(200^{\circ}C) = \begin{cases} \nu = 0.71629[m^3/kg] \\ u = 2650.65[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el volumen total a partir de la definición de volumen específico:

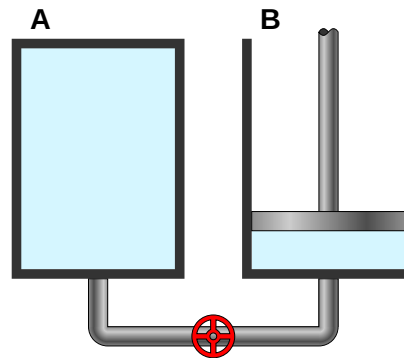
$$V = \nu m = 0.71629[m^3/kg] 1.5598[kg] = 1.1172[m^3]$$

$$V^b = V - V^a = 1.1172[m^3] - 1[m^3] = 0.1172[m^3]$$

Por tanto las masas resultantes son:

$$m^a = \frac{V^a}{\nu} = \frac{1}{0.71629} = 1.3960[kg]$$

$$m^b = \frac{V^b}{\nu} = \frac{0.1172}{0.71629} = 0.1637[kg]$$



Estado 2

$$T_2 = 200^\circ C$$

$$P_2 = 300[kPa]$$

$$X_2 > 1$$

$$V_2^a = 1[m^3]$$

$$\nu_2 = 0.71629[m^3/kg]$$

$$u_2 = 2650.65[kJ/kg]$$

$$V_2^b = 0.1172[m^3]$$

Trabajo:

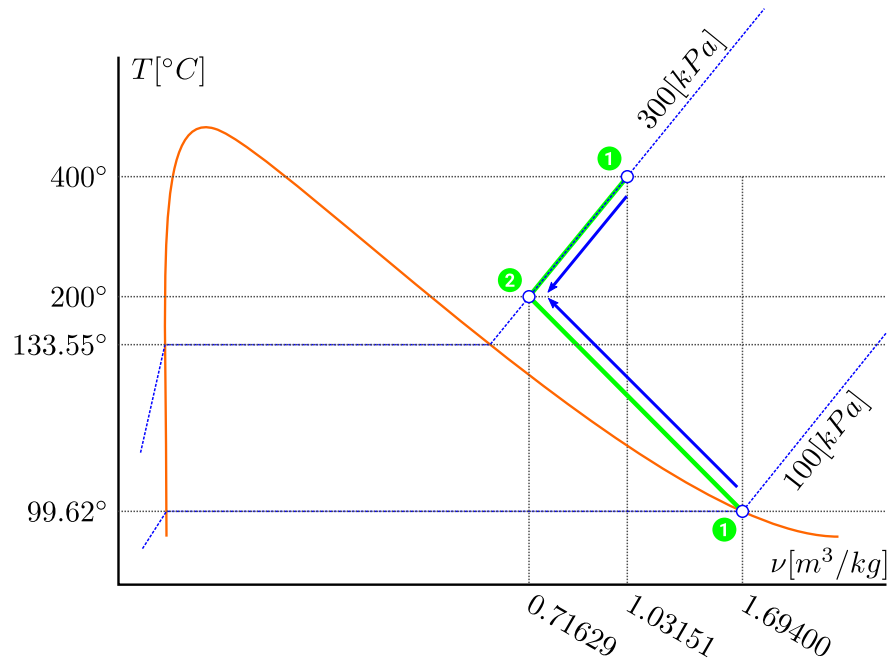
$$\begin{aligned} W_{1 \rightarrow 2} &= W_{1 \rightarrow 2}^a + W_{1 \rightarrow 2}^b \\ &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^a dv^a + \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2}^b dv^b \\ &= 0 + P_{1 \rightarrow 2}^b \int_1^2 dv^b \\ &= P_{1 \rightarrow 2}^b (V_2^b - V_1^b) \\ &= 300[kPa](0.1172[m^3] - 1[m^3]) \\ &= -264.83[kJ] \end{aligned}$$

Calor:

A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor intercambiado:

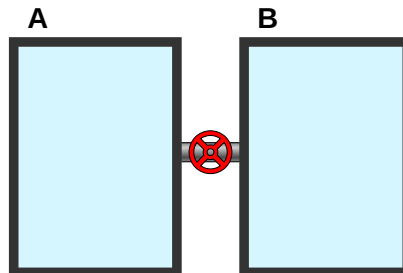
$$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = Q_{1 \rightarrow 2} - W_{1 \rightarrow 2}$$

$$\begin{aligned}
Q_{1 \rightarrow 2} &= \Delta U_{1 \rightarrow 2} + W_{1 \rightarrow 2} \\
&= (\Delta U_{1 \rightarrow 2}^a + \Delta U_{1 \rightarrow 2}^b) + W_{1 \rightarrow 2} \\
&= (U_2^a - U_1^a + U_2^b - U_1^b) + W_{1 \rightarrow 2} \\
&= (U_2^a + U_2^b - (U_1^a + U_1^b)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
&= (m_2^a u_2^a + m_2^b u_2^b - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
&= (u_2 (m_2^a + m_2^b) - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
&= (u_2 m - (m_1^a u_1^a + m_1^b u_1^b)) + W_{1 \rightarrow 2} \\
&= 1.5597[kg]2650.65[kJ/kg] - 0.5903[kg]2506.06[kJ/kg] \\
&\quad - 0.9694[kg]2965.53[kJ/kg] - 264.83[kJ] \\
&= -484.73[kJ]
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
m^a &= 1.3960[kg] \\
m^b &= 0.1637[kg] \\
W &= -264.83[kJ] \\
Q &= -484.73[kJ]
\end{aligned}$$

11. Considere los 2 tanques conectados por una válvula conteniendo agua. El volumen de A es de $1[m^3]$ y el agua esta a $200[kPa]$ y $\nu = 0.5[m^3/kg]$. El tanque B contiene $3.5[kg]$ de agua a $0.5[MPa]$ y $400^\circ C$. Se abre la válvula hasta que se llega al estado de equilibrio. Hallar el volumen específico en el estado final.



Solución:

Datos provistos:

Agua

$$\begin{aligned} V_1^a &= 1[m^3] \\ P_1^a &= 200[kPa] \\ \nu_1^a &= 0.5[m^3/kg] \\ m_1^b &= 3.5[kg] \\ P_1^b &= 500[kPa] \\ T_1^b &= 400^\circ C \end{aligned}$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $200[kPa]$ para el tanque A :

$$P(200[kPa]) = \begin{cases} T = 120.23^\circ C \\ \nu_l = 0.001061[m^3/kg] \\ \nu_v = 0.88573[m^3/kg] \end{cases}$$

Se halla el título a partir de su definición:

$$X^a = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.5[m^3/kg] - 0.001061[m^3/kg]}{0.88573[m^3/kg] - 0.001061[m^3/kg]} = 0.5640$$

Se halla la masa a partir de su volumen específico:

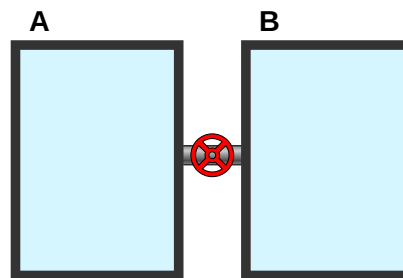
$$m^a = \frac{V^a}{\nu} = \frac{1[m^3]}{0.5[m^3/kg]} = 2[kg]$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $500[kPa]$ y una temperatura de $400^{\circ}C$ para el tanque B :

$$P(500[kPa]) | T(400^{\circ}C) = \left\{ \nu = 0.61728[m^3/kg] \right.$$

Se halla el volumen a partir de la definición de volumen específico:

$$V^b = \nu m = 0.61728[m^3/kg] 3.5[kg] = 2.1605[m^3]$$



Estado 1

$$T_1^a = 120.23^{\circ}C$$

$$P_1^a = 200[kPa]$$

$$X_1^a = 0.5640$$

$$V_1^a = 1[m^3]$$

$$\nu_1^a = 0.5[m^3/kg]$$

$$T_1^b = 400^{\circ}C$$

$$P_1^b = 500[kPa]$$

$$X_1^b > 1$$

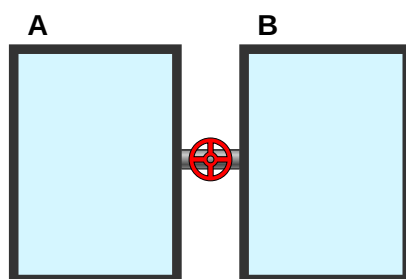
$$V_1^b = 2.1605[m^3]$$

$$\nu_1^b = 0.61728[m^3/kg]$$

Estado 2:

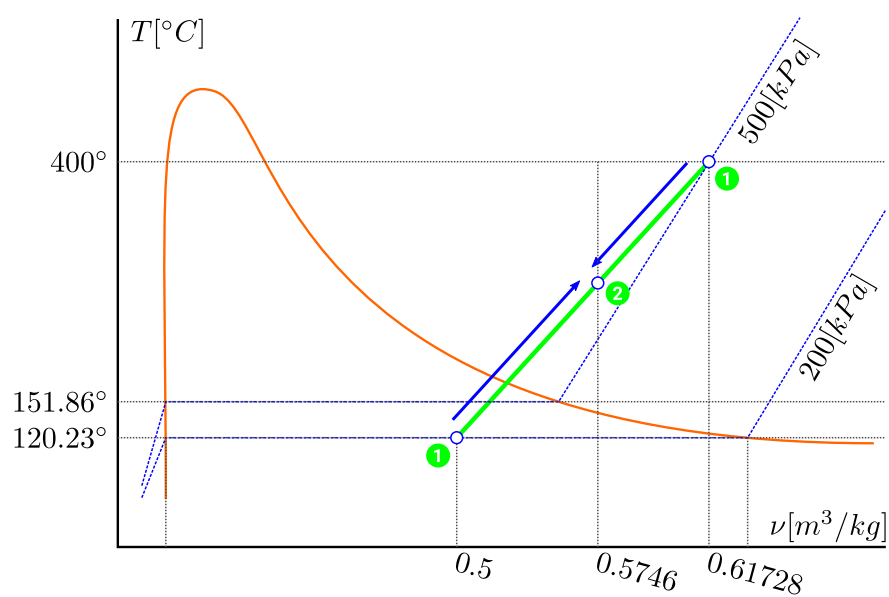
Se halla el volumen específico a partir de su definición:

$$\nu = \frac{V_1^a + V_1^b}{m^a + m^b} = \frac{1[m^3] + 2.1605[m^3]}{3.5[kg] + 2[kg]} = 0.5746[m^3/kg]$$



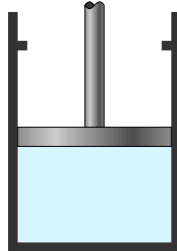
Estado 2

$$\nu_2 = 0.5746[m^3/kg]$$



$$\nu = 0.5746[m^3/kg]$$

12. Según la figura se tiene $3[kg]$ de agua como líquido saturado a $200[kPa]$. Se transfiere calor hasta que el embolo alcance los topes donde el volumen es de $60[lt]$. Se continua entregando mas calor hasta que se duplica la presión. Hallar la temperatura cuando el embolo alcanza los topes, el trabajo realizado y el calor intercambiado.



Solución:

Datos provistos:

Agua

$$m = 3[kg]$$

$$X_1 = 0$$

$$P_1 = 200[kPa]$$

$$V_2 = 60[lt] \frac{0.001[m^3]}{1[lt]} = 0.06[m^3]$$

$$P_2 = 200[kPa]$$

$$P_3 = 2 P_2 = 400[kPa]$$

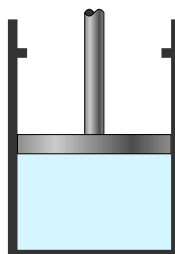
Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $200[kPa]$ y un título de 0:

$$P(200[kPa]) \mid X(0) = \begin{cases} T = 120.23^\circ C \\ \nu = 0.001061[m^3/kg] \\ u = 504.47[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el volumen a partir de la definición de volumen específico:

$$V = \nu m = 0.001061[m^3/kg] 3[kg] = 0.003[m^3]$$



Estado 1

$$T_1 = 120.23^\circ C$$

$$P_1 = 200[kPa]$$

$$X_1 = 0$$

$$V_1 = 0.003[m^3]$$

$$\nu_1 = 0.001061[m^3/kg]$$

$$u_1 = 504.47[kJ/kg]$$

Estado 2:

Se halla el volumen específico a partir de su definición:

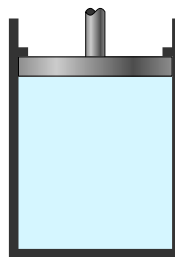
$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{0.06[m^3]}{3[kg]} = 0.02[m^3/kg]$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de 200[kPa]:

$$P(200[kPa]) | T(120.23^\circ C) = \begin{cases} \nu_l = 0.001061[m^3/kg] & u_l = 504.47[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.88573[m^3/kg] & u_v = 2529.49[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el titulo a partir de su definición:

$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.02[m^3/kg] - 0.001061[m^3/kg]}{0.88573[m^3/kg] - 0.001061[m^3/kg]} = 0.021408$$



Estado 2

$$T_2 = 120.23^\circ C$$

$$P_2 = 200[kPa]$$

$$X_2 = 0.021408$$

$$V_2 = 0.06[m^3]$$

$$\nu_2 = 0.02[m^3/kg]$$

Estado 3:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de 400[kPa]:

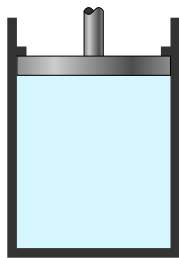
$$P(400[kPa]) = \begin{cases} T = 143.63^\circ C \\ \nu_l = 0.001084[m^3/kg] & u_l = 604.29[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.46246[m^3/kg] & u_v = 2553.55[kJ/kg] \end{cases}$$

Considerando un proceso a volumen constante. Se halla el titulo a partir de su definición:

$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.02[m^3/kg] - 0.001084[m^3/kg]}{0.46246[m^3/kg] - 0.001084[m^3/kg]} = 0.040999$$

Se halla la energía interna a partir del titulo y los valores de liquido y vapor:

$$\begin{aligned} u &= u_l + X_1(u_v - u_l) \\ &= 604.29 + 0.040999(2553.55 - 604.29) \\ &= 684.21[kJ/kg] \end{aligned}$$



Estado 3

$T_3 = 143.63^\circ C$

$P_3 = 400[kPa]$

$X_3 = 0.040999$

$V_3 = 0.06[m^3]$

$\nu_3 = 0.02[m^3/kg]$

$u_3 = 684.21[kJ/kg]$

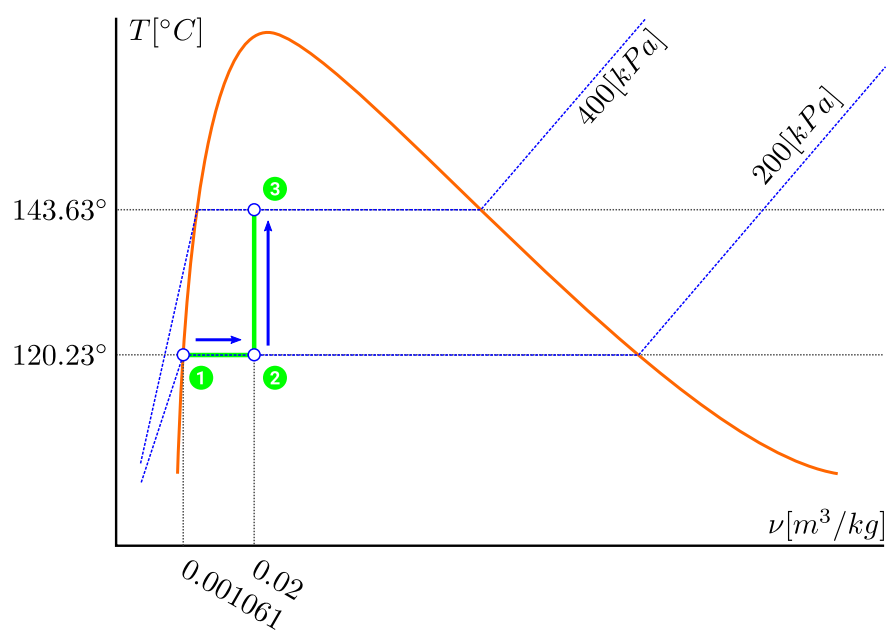
Trabajo:

$$\begin{aligned}
 W_{1 \rightarrow 3} &= W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} \\
 &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2} dv + \int_2^3 P_{2 \rightarrow 3} dv \\
 &= P_1 \int_1^2 dv + 0 \\
 &= P_1 (V \Big|_1^2) \\
 &= P_1 (V_2 - V_1) \\
 &= 200[kPa](0.06[m^3] - 0.003[m^3]) \\
 &= 11.363[kJ]
 \end{aligned}$$

Calor:

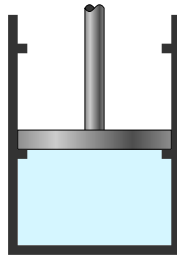
A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor entregado:

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{1 \rightarrow 3} &= Q_{1 \rightarrow 3} - W_{1 \rightarrow 3} \\
 Q_{1 \rightarrow 3} &= \Delta U_{1 \rightarrow 3} + W_{1 \rightarrow 3} \\
 &= m(u_3 - u_1) + W_{1 \rightarrow 3} \\
 &= 3[kg](684.21[kJ/kg] - 504.47[kJ/kg]) + 11.363[kJ] \\
 &= 550.5824[kJ]
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} T &= 120.23^\circ C \\ W &= 11.363[kJ] \\ Q &= 550.5824[kJ] \end{aligned}$$

13. Se tiene un cilindro con su embolo según la figura conteniendo agua, cuando el pistón descansa sobre los topes inferiores el volumen encerrado es de $0.4[m^3]$ y cuando alcanza los topes superiores de $0.6[m^3]$. Inicialmente el esta a $0.1[MPa]$ y titulo del 20 %. Se entrega calor al agua hasta que su titulo sea 1. La presión para elevar el embolo es $0.3[MPa]$. Hallar el calor intercambiado durante el proceso.



Solución:

Datos provistos:

Agua

$$V_1 = 0.4[m^3]$$

$$P_1 = 100[kPa]$$

$$X_1 = 0.2$$

$$V_3 = 0.6[m^3]$$

$$P_3 = 300[kPa]$$

$$X_4 = 1$$

Estado 1:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $100[kPa]$:

$$P(100[kPa]) = \begin{cases} T = 99.62^\circ C \\ \nu_l = 0.001043[m^3/kg] & u_l = 417.33[kJ/kg] \\ \nu_v = 1.69400[m^3/kg] & u_v = 2506.06[kJ/kg] \end{cases}$$

Se calcula el volumen especifico a partir del titulo:

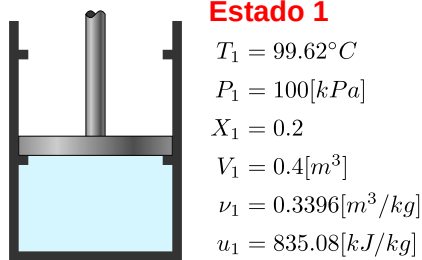
$$\begin{aligned} \nu &= \nu_l + X(\nu_v - \nu_l) \\ &= 0.001043[m^3/kg] + 0.2(1.69400[m^3/kg] - 0.001043[m^3/kg]) \\ &= 0.3396[m^3/kg] \end{aligned}$$

Se calcula la energía interna a partir del titulo:

$$\begin{aligned}
 u &= u_l + X(u_v - u_l) \\
 &= 417.33[kJ/kg] + 0.2(2506.06[kJ/kg] - 417.33[kJ/kg]) \\
 &= 835.08[kJ/kg]
 \end{aligned}$$

Se halla la masa a partir de su volumen específico:

$$m = \frac{V}{\nu} = \frac{0.4[m^3]}{0.3396[m^3/kg]} = 1.1777[kg]$$



Estado 2:

El volumen se mantiene constante.

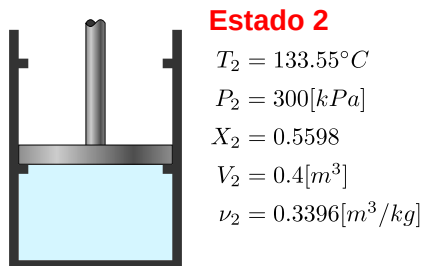
$$\nu = 0.3396[m^3/kg]$$

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para una presión de $100[kPa]$:

$$P(300[kPa]) = \begin{cases} T = 133.55^\circ C \\ \nu_l = 0.001073[m^3/kg] & u_l = 561.13[kJ/kg] \\ \nu_v = 0.60582[m^3/kg] & u_v = 2543.55[kJ/kg] \end{cases}$$

Se halla el título a partir de su definición:

$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.3396[m^3/kg] - 0.001073[m^3/kg]}{0.60582[m^3/kg] - 0.001073[m^3/kg]} = 0.5598$$



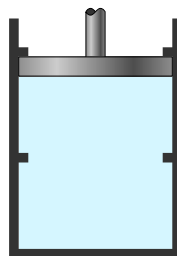
Estado 3:

Se halla el volumen específico a partir de su definición:

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{0.6[m^3]}{1.1777[kg]} = 0.5095[m^3/kg]$$

Se halla el título a partir de su definición:

$$X = \frac{\nu - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.5095[m^3/kg] - 0.001073[m^3/kg]}{0.60582[m^3/kg] - 0.001073[m^3/kg]} = 0.8406$$



Estado 3

$$T_3 = 133.55^\circ C$$

$$P_3 = 300[kPa]$$

$$X_3 = 0.8406$$

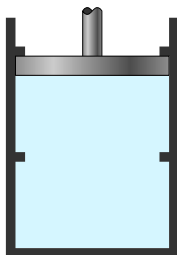
$$V_3 = 0.6[m^3]$$

$$\nu_3 = 0.5095[m^3/kg]$$

Estado 4:

De Tablas Termodinámicas se obtienen los valores para un volumen específico $0.5095[m^3/kg]$ y un título de 1:

$$\nu(0.5095[m^3/kg]) | X(1) = \begin{cases} T = 140^\circ C \\ P = 361.3[kPa] \\ u = 2550.02[kJ/kg] \end{cases}$$



Estado 4

$$T_4 = 140^\circ C$$

$$P_4 = 361.3[kPa]$$

$$X_4 = 1$$

$$V_4 = 0.6[m^3]$$

$$\nu_4 = 0.5095[m^3/kg]$$

$$u_4 = 2550.02[kJ/kg]$$

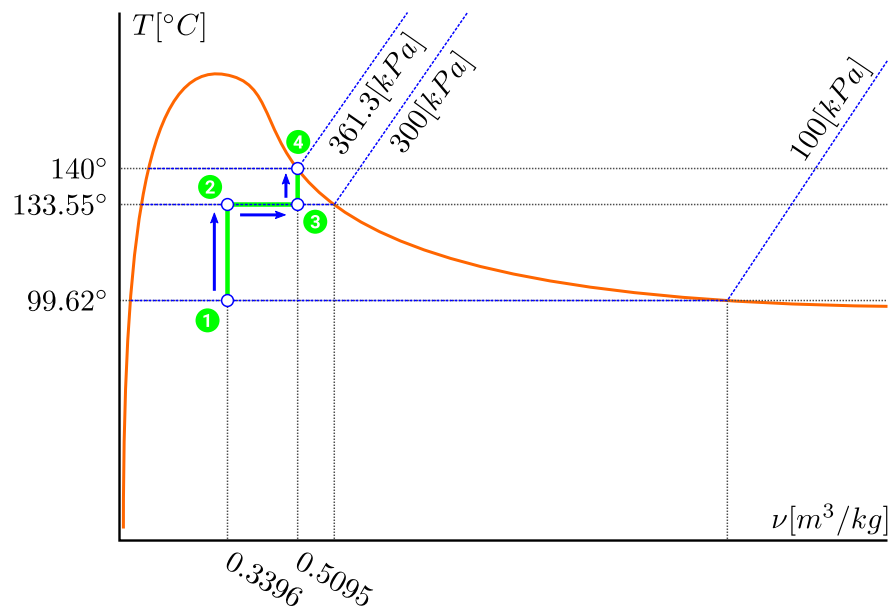
Trabajo:

$$\begin{aligned}
 W_{1 \rightarrow 4} &= W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 4} \\
 &= \int_1^2 P_{1 \rightarrow 2} dv + \int_2^3 P_{2 \rightarrow 3} dv + \int_3^4 P_{3 \rightarrow 4} dv \\
 &= 0 + P_2 \int_2^3 dv + 0 \\
 &= P_2 (V \Big|_2^3) \\
 &= P_2 (V_3 - V_2) \\
 &= 300[kPa](0.6[m^3] - 0.4[m^3]) \\
 &= 60[kJ]
 \end{aligned}$$

Calor:

A partir de la primera ley de la termodinámica, se halla el calor intercambiado:

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{1 \rightarrow 4} &= Q_{1 \rightarrow 4} - W_{1 \rightarrow 4} \\
 Q_{1 \rightarrow 4} &= \Delta U_{1 \rightarrow 4} + W_{1 \rightarrow 4} \\
 &= m(u_4 - u_1) + W_{1 \rightarrow 4} \\
 &= 1.1777[kg](2550.02[kJ/kg] - 835.08[kJ/kg]) + 60[kJ] \\
 &= 2079.8[kJ]
 \end{aligned}$$



$$Q = 2079.8[kJ]$$