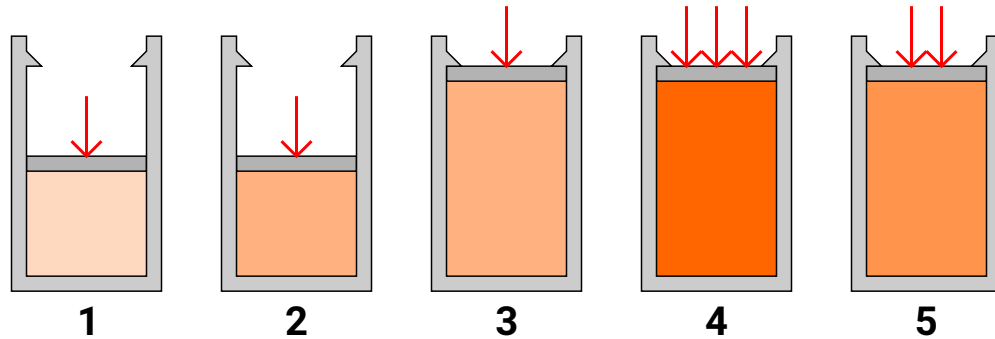


## Practica #03

- Según la figura, se tiene agua a  $5[MPa]$  y  $80^{\circ}C$  ocupando un volumen de  $0.005134[m^3]$ . Se entrega calor al agua hasta que su presión sea de  $10[MPa]$  y luego se enfría hasta llegar a  $7[MPa]$ . Si el volumen total al llegar el embolo a los topes superiores es de  $0.06366[m^3]$  hallar 3 propiedades en cada estado y el calor intercambiado.



### Solución:

Datos provistos:

Agua

$$P_1 = 5000[kPa]$$

$$T_1 = 80^{\circ}C$$

$$V = 0.005134[m^3]$$

$$P_4 = 10000[kPa]$$

$$P_5 = 7000[kPa]$$

$$V_{max} = 0.06366[m^3]$$

Estado 1:

Extraemos la temperatura de ebullición para la presión dada, desde las tablas termodinámicas:

$$T_e(5000[kPa]) = 263.99^{\circ}C$$

Como el agua esta a  $80^{\circ}C$  se encuentra en la zona de liquido sub enfriado, y considerando la baja compresibilidad de los líquidos, usamos el volumen especifico y energía interna del liquido.

$$\nu_1 = 0.001029[m^3/kg]$$

$$U_1 = 334.84[kJ/kg]$$

Conociendo el volumen total ( $V$ ) y el volumen específico ( $\nu$ ), hallamos la masa:

$$\nu = \frac{V}{m} \rightarrow m = \frac{V}{\nu_1} = \frac{0.005134}{0.001029} = 4.9893[kg]$$

$T_1 = 80^\circ C$ $P_1 = 5000[kPa]$ $\nu_1 = 0.001029[m^3/kg]$ $U_1 = 334.84[kJ/kg]$
--

Estado 2:

La temperatura alcanza el punto de ebullición para la presión  $P_1$ :

$$T_e(5000[kPa]) = 263.99^\circ C$$

Extraemos el volumen específico y energía interna para las condiciones actuales, desde las tablas termodinámicas:

$$\begin{aligned}\nu_2 &= 0.001286[m^3/kg] \\ U_2 &= 1147,78[kJ/kg]\end{aligned}$$

$T_2 = 263.99^\circ C$ $P_2 = 5000[kPa]$ $\nu_2 = 0.001286[m^3/kg]$ $X_2 = 0$ $U_2 = 1147,78[kJ/kg]$
--

Estado 3:

La presión y temperatura se mantienen constantes:

$$T_e(5000[kPa]) = 263.99^\circ C$$

$$\nu_v = 0.03944[m^3/kg]$$

$$\nu_l = 0.001286[m^3/kg]$$

$$U_v = 2597.12[kJ/kg]$$

$$U_l = 1147.78[kJ/kg]$$

Puede hallarse el volumen específico a partir de la masa del agua y el volumen máximo, y por tanto el título.

$$\nu_3 = \frac{V_{max}}{m} = \frac{0.06366}{4.9893} = 0.012759[m^3/kg]$$

$$\nu = \nu_l + X(\nu_v - \nu_l)$$

$$X_3 = \frac{\nu_3 - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.012759 - 0.001286}{0.03944 - 0.001286} = 0.3007$$

Se calcula la energía interna para el título hallado.

$$U_3 = U_l + X_3(U_v - U_l)$$

$$U_3 = 1147.78 + 0.3007(2597.12 - 1147.78) = 1583.6[kJ/kg]$$

$T_3 = 263.99^\circ C$ $P_3 = 5000[kPa]$ $\nu_3 = 0.012759[m^3/kg]$ $X_3 = 0.3007$ $U_3 = 1583.6[kJ/kg]$
--

Estado 4:

El volumen se mantiene constante, mientras que la presión incrementó a  $10000[kPa]$ .

Extraemos la temperatura de ebullición para la presión dada, desde las tablas termodinámicas:

$$T_e(10000[kPa]) = 311.06^\circ C$$

$$\nu_v = 0.01803[m^3/kg]$$

$$\nu_l = 0.001452[m^3/kg]$$

$$U_v = 2544.41[kJ/kg]$$

$$U_l = 1393.00[kJ/kg]$$

Hallamos el título para las condiciones dadas:

$$\nu = \nu_l + X(\nu_v - \nu_l)$$

$$X_4 = \frac{\nu_4 - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.012759 - 0.001452}{0.01803 - 0.001452} = 0.6821$$

Se calcula la energía interna para el título hallado.

$$U_4 = U_l + X_4(U_v - U_l)$$

$$U_4 = 1393.00 + 0.6821(2544.41 - 1393.00) = 2178.3[kJ/kg]$$

$$\begin{aligned}
 T_4 &= 311.06^\circ C \\
 P_4 &= 10000[kPa] \\
 \nu_4 &= 0.012759[m^3/kg] \\
 X_4 &= 0.6821 \\
 U_4 &= 2178.3[kJ/kg]
 \end{aligned}$$

Estado 5:

El volumen se mantiene constante, mientras que la presión se redujo a  $7000[kPa]$ .

Extraemos la temperatura de ebullición para la presión dada, desde las tablas termodinámicas:

$$\begin{aligned}
 T_e(7000[kPa]) &= 285.88^\circ C \\
 \nu_v &= 0.02737[m^3/kg] \\
 \nu_l &= 0.001351[m^3/kg] \\
 U_v &= 2580.48[kJ/kg] \\
 U_l &= 1257.51[kJ/kg]
 \end{aligned}$$

Hallamos el título para las condiciones dadas:

$$\begin{aligned}
 \nu &= \nu_l + X(\nu_v - \nu_l) \\
 X_5 &= \frac{\nu_5 - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.012759 - 0.001351}{0.02737 - 0.001351} = 0.4385
 \end{aligned}$$

Se calcula la energía interna para el título hallado.

$$\begin{aligned}
 U_5 &= U_l + X_5(U_v - U_l) \\
 U_5 &= 1257.51 + 0.4385(2580.48 - 1257.51) = 1837.6[kJ/kg]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_5 &= 285.88^\circ C \\
 P_5 &= 7000[kPa] \\
 \nu_5 &= 0.012759[m^3/kg] \\
 X_5 &= 0.4385 \\
 U_5 &= 1837.6[kJ/kg]
 \end{aligned}$$

Trabajo:

Se calcula el trabajo total:

$$\begin{aligned}
 W_{1 \rightarrow 5} &= W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 4} + W_{4 \rightarrow 5} \\
 W_{1 \rightarrow 5} &= \int_1^2 P_1 dv + \int_2^3 P_2 dv + 0 + 0
 \end{aligned}$$

$$W_{1 \rightarrow 5} = P_1(V_2 - V_1) + P_2(V_3 - V_2)$$

$$W_{1 \rightarrow 5} = P_1(V_3 - V_1)$$

$$W_{1 \rightarrow 5} = 5000[kPa](0.06366[m^3] - 0.005134[m^3])$$

$$W_{1 \rightarrow 5} = 292.63[kJ]$$

Calor intercambiado:

Usando la primera ley de la termodinámica se obtiene el calor intercambiado:

$$\Delta U = Q - W$$

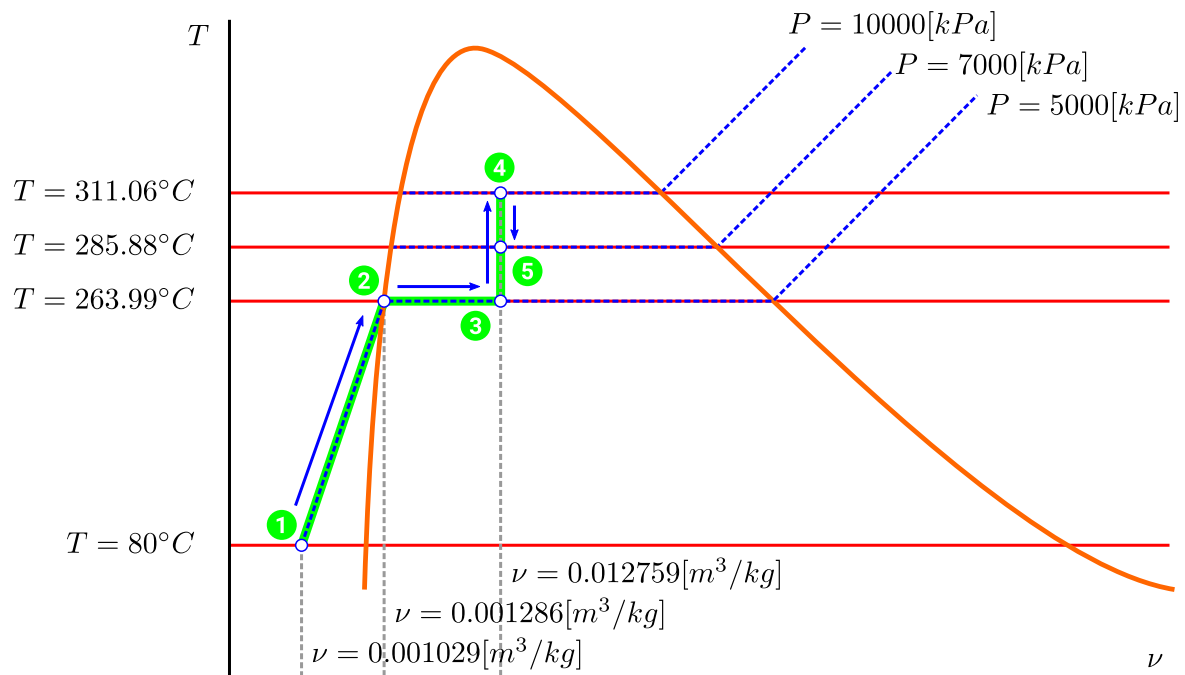
$$Q_{1 \rightarrow 5} = \Delta U + W_{1 \rightarrow 5}$$

$$Q_{1 \rightarrow 5} = m(U_5 - U_1) + W_{1 \rightarrow 5}$$

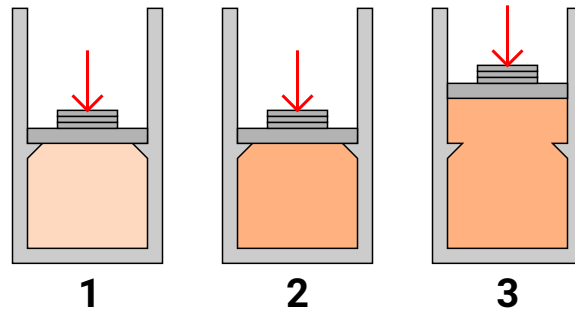
$$Q_{1 \rightarrow 5} = 4.9893[kg](1837.6[kJ/kg] - 334.83[kJ/kg]) + 292.63[kJ]$$

$$Q_{1 \rightarrow 5} = 7790.4[kJ]$$

Diagrama:



2. Un cilindro con su embolo inicialmente contiene  $1[m^3]$  de agua a  $100^\circ C$ . El 70 % del volumen esta en estado liquido saturado y el resto como vapor saturado. El embolo pesa  $600[kg]$  y su diámetro es de  $20[cm]$ , la presión atmosférica es de  $100[kPa]$ . Los pesos ejercen una presión de  $1.143[kg/cm^2]$ . En el estado inicial hallar las masas de liquido y vapor. Se entrega calor al agua hasta que su temperatura sea de  $400^\circ C$ . Halla el trabajo realizado en el proceso.



**Solución:**

Datos provistos:

Agua

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

$$T_1 = 100^\circ C$$

$$0.7V_l + 0.3V_v = V_1$$

$$m_E = 600[kg]$$

$$d_E = 20[cm]$$

$$P_{atm} = 100[kPa]$$

$$\frac{m_P}{A} = 1.143[kg/cm^2]$$

$$T_3 = 400^\circ C$$

Estado 1:

Según tablas termodinámicas los valores para  $100^\circ C$  son:

$$P_1 = 101.3[kPa]$$

$$\nu_v = 1.67290[m^3/kg]$$

$$\nu_l = 0.001044[m^3/kg]$$

Puede hallarse la masa a partir del porcentaje de vapor-liquido:

$$0.7V_l + 0.3V_v = V_1$$

$$0.7\nu_l m + 0.3\nu_v m = V_1$$

$$m(0.7\nu_l + 0.3\nu_v) = V_1$$

$$m = \frac{V_1}{0.7\nu_l + 0.3\nu_v} = 1.9897[kg]$$

Y el volumen especifico y titulo es:

$$\nu_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{1}{1.9897} = 0.5026[m^3/kg]$$

$$X_1 = \frac{\nu_1 - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.5026 - 0.001044}{1.67290 - 0.001044} = 0.3$$

Por tanto las masas correspondientes son:

$$X = \frac{m_v}{m} \rightarrow m_v = X_1 m = 0.3(1.9897) = 0.5969[kg]$$

$$m = m_v + m_l \rightarrow m_l = m - m_v = 1.9897 - 0.5969 = 1.3927[kg]$$

$$m_v = 0.5969[kg]$$

$$m_l = 1.3927[kg]$$

Estado 3:

Se calcula la presión resultante de las diferentes componentes:

$$P_3 = P_{atm} + P_E + P_P$$

$$P_3 = P_{atm} + \frac{F_E}{A_E} + \frac{F_P}{A_E}$$

$$P_3 = P_{atm} + \frac{m_E g}{\pi r_E^2} + \frac{m_P g}{A_E}$$

$$P_3 = P_{atm} + \frac{m_E g}{\pi r_E^2} + \frac{m_P g}{A_E}$$

$$P_3 = 100[kPa] + \frac{600[kg]9.8[m/s^2]}{\pi 0.1^2[m^2]} \frac{1[kPa]}{1000[Pa]} + 1.143(100^2)[kg/m^2]9.8[m/s^2] \frac{1[kPa]}{1000[Pa]}$$

$$P_3 = 399.18[kPa]$$

Para la presión obtenida se obtiene la temperatura de ebullición siguiente:

$$T_e(400[kPa]) = 143.63^\circ C$$

Por tanto, el agua se encuentra en zona de vapor sobre calentado, revisando en tablas termodinámicas para  $T = 400^\circ C$  y  $P = 400[kPa]$  el valor del volumen especifico es:

$$\nu_3 = 0.77262[m^3/kg]$$

Y se halla el volumen final:

$$\nu = \frac{V}{m} \rightarrow V = \nu m$$

$$V_3 = 0.77262(1.9897)[m^3] = 1.5372[m^3]$$

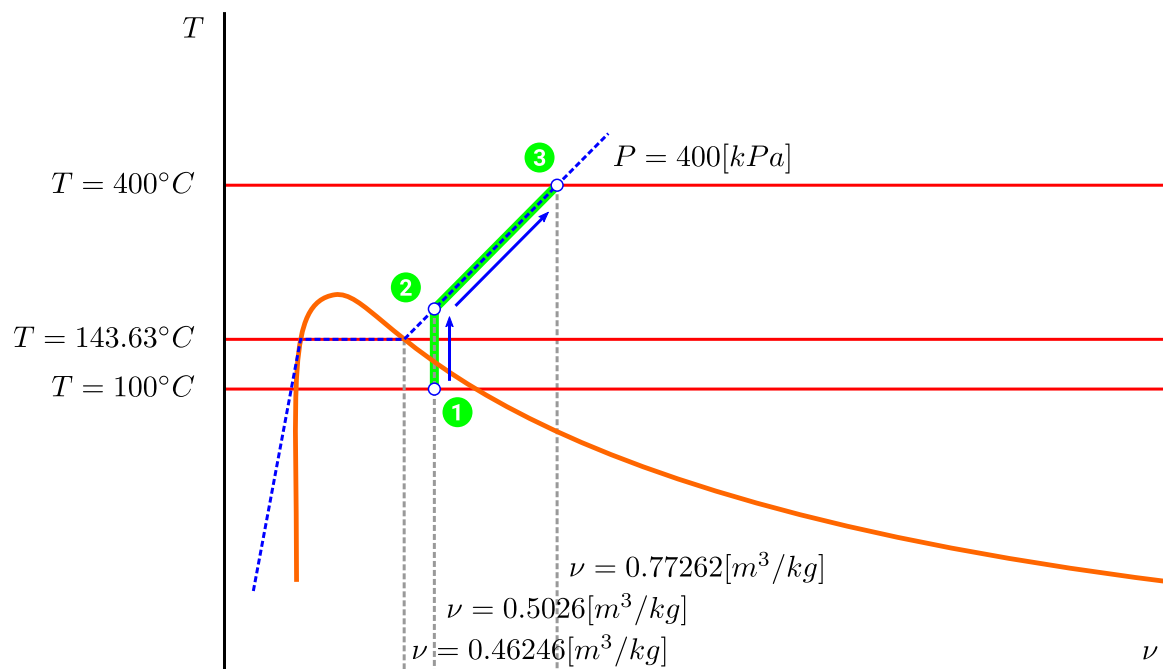
Y finalmente se halla el trabajo realizado:

$$W_{1 \rightarrow 3} = \int_1^3 P_3 d\nu$$

$$W_{1 \rightarrow 3} = P_3(V_3 - V_1)$$

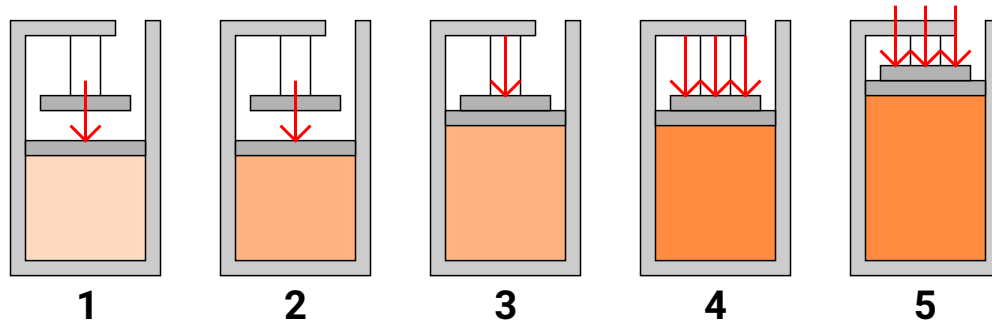
$$W_{1 \rightarrow 3} = 399.19(1.5372 - 1) = 214.46[kJ]$$

Diagrama:





3. Dentro de un cilindro con su embolo de área  $0.01[m^2]$ , se tiene  $5[kg]$  de agua con un volumen de  $0.5[m^3]$  a  $500[kPa]$ . Se entrega calor al agua y cuando su volumen es de  $0.8[m^3]$  encuentra una masa con un peso de  $100[kg]$ . Se continua entregando calor hasta que todo este como vapor saturado. Hallar el trabajo realizado en el proceso.



### Solución:

Datos provistos:

$$\begin{aligned}
 &\text{Agua} \\
 &A = 0.01[m^2] \\
 &m = 5[kg] \\
 &V_1 = 0.5[m^3] \\
 &P_1 = 500[kPa] \\
 &V_3 = 0.8[m^3] \\
 &m_p = 100[kg] \\
 &X_5 = 1
 \end{aligned}$$

Estado 1:

Dado el volumen y la masa, se halla el volumen específico:

$$\nu_1 = \frac{V}{m} = \frac{0.5}{5} = 0.1[m^3/kg]$$

Según tablas termodinámicas los valores para  $500[kPa]$  son:

$$\begin{aligned}
 T_e(500[kPa]) &= 151.86^\circ C \\
 \nu_v &= 0.37489[m^3/kg] \\
 \nu_l &= 0.001093[m^3/kg]
 \end{aligned}$$

El título es:

$$X_1 = \frac{\nu_1 - \nu_l}{\nu_v - \nu_l} = \frac{0.01 - 0.001093}{0.37489 - 0.001093} = 0.2646$$

Estado 3:

Se calcula la presión con el peso adicional:

$$\begin{aligned} P_3 &= P_1 + P_p \\ P_3 &= P_1 + \frac{F}{A} \\ P_3 &= P_1 + \frac{m_p g}{A} \\ P_3 &= 500[kPa] + \frac{100[kg]9.8[m/s^2]}{0.01[m^2]} \frac{1[kPa]}{1000[Pa]} = 598[kPa] \end{aligned}$$

Estado 5:

Extraemos la temperatura de ebullición para la presión dada, desde las tablas termodinámicas:

$$\begin{aligned} T_e(600[kPa]) &= 158.85^\circ C \\ \nu_v &= 0.31567[m^3/kg] \\ \nu_l &= 0.001101[m^3/kg] \end{aligned}$$

Se calcula el volumen final para el título  $X = 1$ :

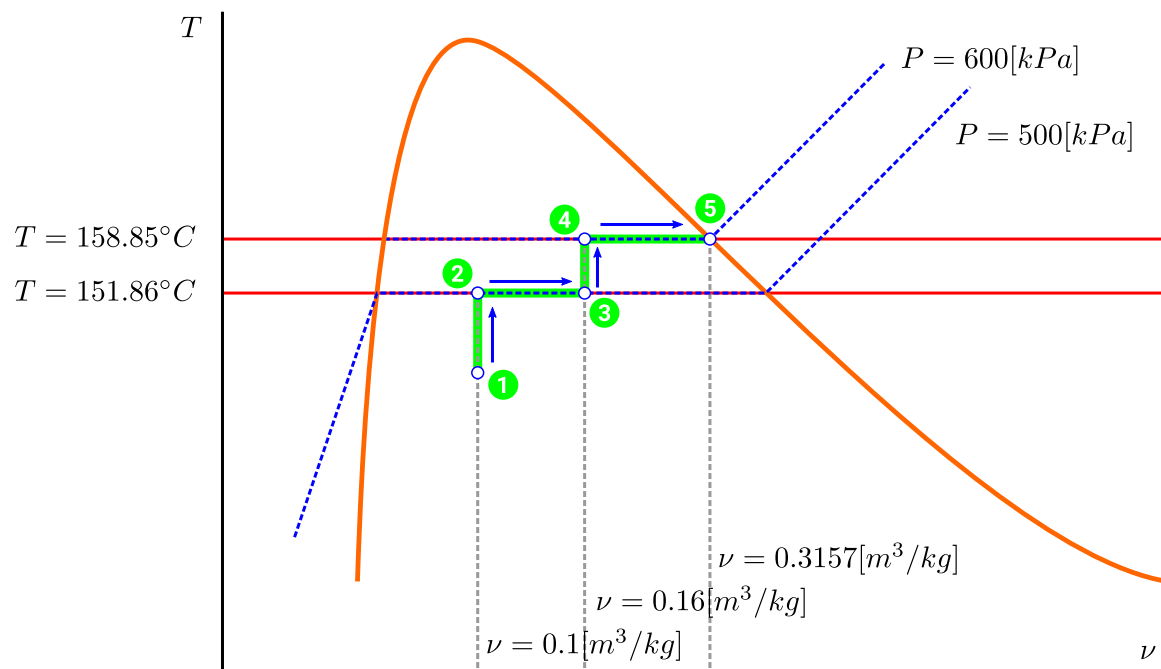
$$\begin{aligned} \nu &= \frac{V}{m} \\ V_5 = m\nu_5 &= 5(0.31567) = 1.5783[m^3] \end{aligned}$$

Trabajo:

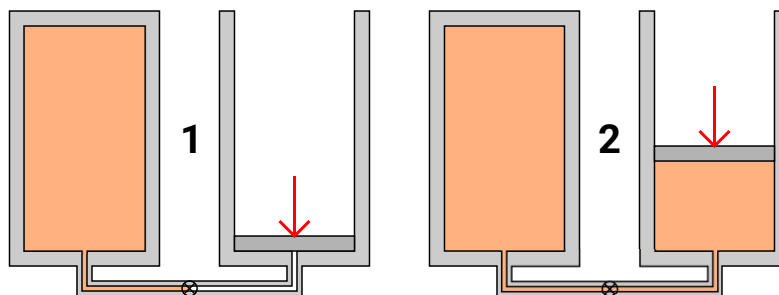
Se calcula el trabajo total:

$$\begin{aligned} W_{1 \rightarrow 5} &= W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 4} + W_{4 \rightarrow 5} \\ W_{1 \rightarrow 5} &= 0 + W_{2 \rightarrow 3} + 0 + W_{4 \rightarrow 5} \\ W_{1 \rightarrow 5} &= \int_2^3 P_2 dv + \int_4^5 P_5 dv \\ W_{1 \rightarrow 5} &= P_2(V_3 - V_2) + P_5(V_5 - V_4) \\ W_{1 \rightarrow 5} &= 500[kPa](0.8[m^3] - 0.5[m^3]) + 598[kPa](1.5783[m^3] - 0.8[m^3]) \\ W_{1 \rightarrow 5} &= 615.42[kJ] \end{aligned}$$

Diagrama:



4. Considere el esquema de la figura. El tanque A tiene un volumen de  $100[lt]$  y contiene vapor saturado de  $R134$  a  $30^\circ C$ . El cilindro B inicialmente está vacío. Se abre la válvula y el refrigerante fluye al cilindro B. La presión para elevar el émbolo es de  $200[kPa]$ . Se entrega calor de modo que la temperatura esté 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 y el trabajo realizado.



**Solución:**

Datos provistos:

R134

$$V_{1a} = 100[lt]$$

$$X_{1a} = 1$$

$$T_1 = 30^\circ C$$

$$P_{2b} = 200[kPa]$$

$$T_2 = 30^\circ C$$

Estado 1:

Según tablas termodinámicas los valores para  $30^\circ C$  son:

$$P_{1a} = 771.0[kPa]$$

$$\nu_v = 0.02671[m^3/kg]$$

$$\nu_l = 0.000843[m^3/kg]$$

Considerando el título  $X = 1$ , se halla la masa:

$$\begin{aligned}\nu &= \frac{V}{m} \\ m &= \frac{V}{\nu} = \frac{100[lit]}{0.02671[m^3/kg]} \frac{0.001[m^3]}{1[lit]} \\ m &= 3.7439[kg]\end{aligned}$$

Estado 2:

Según tablas termodinámicas el valor para  $P = 200[kPa]$  y  $T = 30^\circ C$  es:

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

Se calcula el volumen total:

$$\begin{aligned}\nu &= \frac{V}{m} \\ V &= m\nu_2 = 3.7439[kg]0.11889[m^3/kg] = 0.4451[m^3]\end{aligned}$$

Considerando que toda la sustancia está en forma de vapor, se calcula la masa en cada recipiente:

$$\begin{aligned}V_{2a} &= 0.1[m^3] \\ V_{2b} &= V - V_{2a} = 0.4451 - 0.1 = 0.34511[m^3] \\ m_{2a} &= m \frac{V_{2a}}{V} = 0.8411[kg] \\ m_{2b} &= m \frac{V_{2b}}{V} = 2.9028[kg]\end{aligned}$$

Trabajo:

Se calcula el trabajo total:

$$\begin{aligned}W_{1 \rightarrow 2} &= P_2(V_{2b} - V_{1b}) \\ W_{1 \rightarrow 2} &= 200[kPa](0.34511[m^3] - 0[m^3]) \\ W_{1 \rightarrow 2} &= 69.023[kJ]\end{aligned}$$