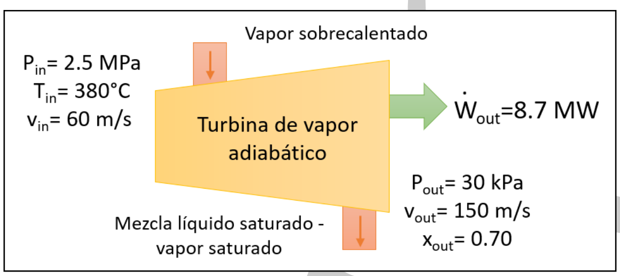
Problema 12. Relacione las columnas.

1	**Es el cambio en la enegía interna de una sustancia por unidad de temperatura a volumen constante.**	7	Tubo capilar.
2	**Su valor es igual a la energía interna más el trabajo de flujo.**	6	Trabajo de frontera.
3	**Consisten principalmente de hidrógeno y carbón, y se denotan por la fórmula general C_nH_m.**	8	Nitrógeno del aire.
4	**Disminuye la velocidad de un fluido y aumenta su presión.**	9	Estado transiente.
5	**Sucede cuando un flujo de electrones entra a un sistema para calentar una resistencia.**	1	C_v.
6	**Ocurre cuando un émbolo se desplaza como resultado de la expansión de un gas dentro del sistema.**	10	Punto de rocío.
7	**La entalpía de entrada es igual a la entalpía de salida.**	4	Difusor.
8	**Absorbe una gran proporción de la energía química liberada durante la combustión.**	3	Combustibles.
9	**Los procesos son similares a los sistemas cerrados, excepto que la masa dentro de las fronteras no permanece constante durante el proceso.**	5	Trabajo ejercido sobre un sistema.
10	**Es la temperatura a la cual el vapor de agua presente en los gases de combustión se condensa.**	2	Entalpía (H).

Problema 13. Una turbina de vapor adiabática, que opera en estado estacionario, tiene una potencia de salida de 8.7 MW. El vapor entra a la turbina a 2.5 MPa y 380°C con una velocidad de 60 m/s y sale de la turbina como una mezcla de líquido y vapor saturado a 30 kPa con una calidad de 0.70 y con una velocidad de 150 m/s. Considere que el cambio de energía potencial entre la entrada y la salida de la turbina es insignificante. Utilizando las tablas de propiedades termodinámicas:

a) **determine el trabajo realizado por unidad de masa del vapor que fluye a través de la turbina.**
b) **calcule el flujo másico del vapor.**



El intercambio de energía durante el proceso es de 0 ya que opera en estado estacionario, no hay intercambio de calor al ser un sistema adiabático y tampoco hay trabajo de entrada ni cambio de energía potencial de la sustancia. Con lo anterior, el balance de energía es:

$$(q_{in} - q_{out}) + (w_{in} - w_{out}) + (e_{mass,in} - e_{mass,out}) = 0$$

$$-w_{out} + [(h_{in} + ke_{in}) - (h_{out} + ke_{out})] = 0$$

$$w_{out} = (h_{in} - h_{out}) + (ke_{in} - ke_{out})$$

• Entalpía:

Para conocer el valor de h_{in}, con los datos de la tabla A-6 interpolando:

T[°C]	h[kJ/kg]
350	3127.0
380	y
400	3240.1

$$\frac{3240.1 - 3127.0}{400 - 350} = \frac{y - 3127.0}{380 - 350}$$

$$y = \frac{(3240.1 - 3127.0)(380 - 350)}{400 - 350} + 3127.0$$

$$y = 3194.86$$

Por otra parte, para obtener h_{out} en la tabla A-5 se tiene que $h_f = 289.27$ kJ/kg, $h_g = 2624.6$ kJ/kg y $h_{fg} = 2335.3$ kJ/kg, por lo que $h_{out} = h_f + x \cdot h_{fg} = 289.27$ kJ/kg $+ (0.70)(2335.3$ kJ/kg$) = 1923.98$ kJ/kg.

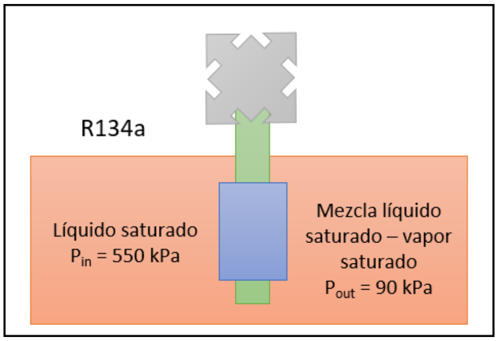
• Energía cinética:

$$ke_{in} = \frac{\mathrm{v_{in}}^2}{2} = \frac{(60\ \ m/s)^2}{2} = \left(1800\ \ \frac{m^2}{s^2}\right)\left(\frac{1\ \ \frac{kJ}{kg}}{1000\ \ \frac{m^2}{s^2}}\right) = 1.8 \text{ kJ/kg}$$

$$ke_{out} = \frac{\mathrm{v_{out}}^2}{2} = \frac{(150\ \ m/s)^2}{2} = \left(11250\ \ \frac{m^2}{s^2}\right)\left(\frac{1\ \ \frac{kJ}{kg}}{1000\ \ \frac{m^2}{s^2}}\right) = 11.25 \text{ kJ/kg}$$

De modo que $w_{out} = (h_{in} - h_{out}) + (ke_{in} - ke_{out})$ = (3194.86 kJ/kg - 1923.98 kJ/kg) + (1.8 kJ/kg - 11.25 kJ/kg) = 1261.43 kJ/kg. Como $\dot{W}_{out} = \dot{m} \cdot w_{out}$, entonces $\dot{m} = \frac{\dot{W}_{out}}{w_{out}} = \frac{8.7 \ \text{MW}}{1261.43 \ \text{kJ/kg}} = \frac{8.7 \cdot 1000 \ \text{kJ/s}}{1261.43 \ \text{kJ/kg}} = 6.8969 \ \frac{kg}{s}$.

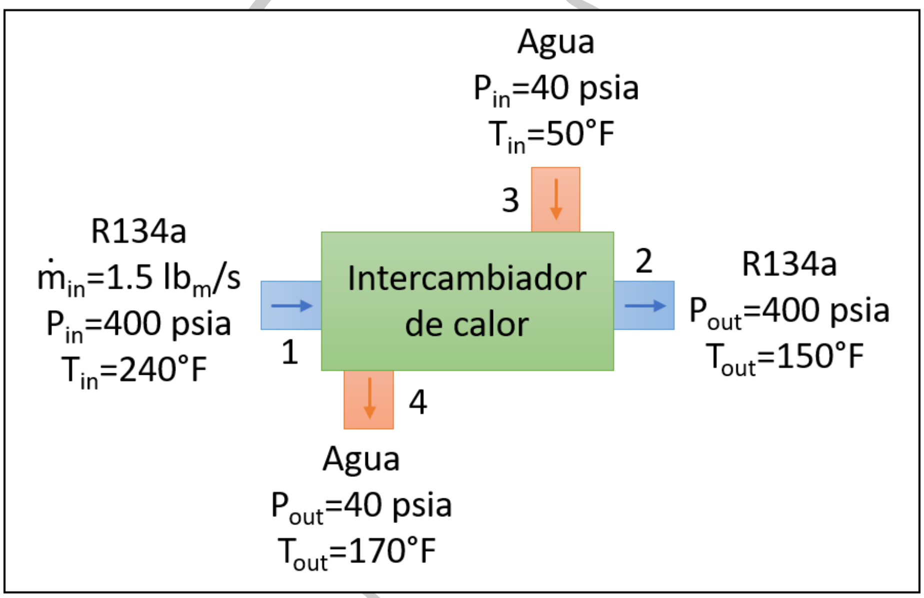
Problema 14. Dentro de un sistema de refrigeración, el refrigerante 134a ingresa a un tubo capilar como líquido saturado a 550 kPa y sale a una presión de 90 kPa. Determine la calidad del refrigerante a la salida del tubo capilar.



Como es un tubo capilar, $h_{in} = h_{out}$. Según la tabla A-12 se tiene que $h_{in} = h_{f@550 \ kPa} = 77.54$ kJ/kg.

También en el flujo de salida h_f = 14.36 kJ/kg, h_g = 233.04 kJ/kg, h_{fg} = 218.67 kJ/kg y $h_{out} = h_f + x \cdot h_{fg}$ = 77.54 kJ/kg, por lo que $x = \frac{h_{out} - h_f}{h_{fg}} = \frac{77.54 \ \text{kJ/kg} - 14.36 \ \text{kJ/kg}}{218.67 \ \text{kJ/kg}} = 0.2889$.

Problema 15. Refrigerante 134a se enfría en un condensador que opera en estado estacionario. El R134a ingresa al condensador con un flujo másico de 1.5 lb$_m$/s a 400 psia y 240°F y sale a 150°F. El agua de enfriamiento entra al condensador a 40 psia y 50°F, y sale a 170°F. Considerando que el cambio en energía cinética y energía potencial es insignificante y que no se tiene caída de presión en ninguna de las dos corrientes, determine el flujo másico del agua de enfriamiento requerido. Utilice las tablas de propiedades termodinámicas para la solución de este ejercicio.



Tomando en cuenta que el cambio en energía cinética y energía potencial es insignificante, el dispositivo opera en estado estacionario y no hay trabajo de entrada ni de salida, el balance de energía del flujo de cada sustancia es:

- R134a, que en el intercambiador cede calor para que la sustancia se enfríe:

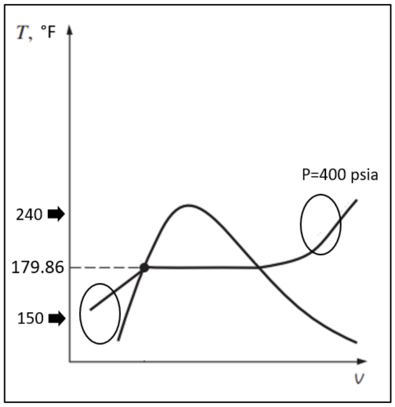
$$(\dot{Q}_2 - \dot{Q}_1) + (\dot{W}_2 - \dot{W}_1) + (\dot{E}_{mass,2} - \dot{E}_{mass,1}) = 0$$
$$-\dot{Q}_1 + (\dot{H}_2 - \dot{H}_1) = 0$$
$$\dot{Q}_1 = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 = \dot{m}_{R134a}(h_2 - h_1)$$

- Agua, que en el intercambiador recibe calor para que el R134a se enfríe:

$$(\dot{Q}_4 - \dot{Q}_3) + (\dot{W}_4 - \dot{W}_3) + (\dot{E}_{mass,4} - \dot{E}_{mass,3}) = 0$$
$$\dot{Q}_4 + (\dot{H}_4 - \dot{H}_3) = 0$$
$$\dot{Q}_4 = \dot{H}_3 - \dot{H}_4 = \dot{m}_{Agua}(h_3 - h_4)$$

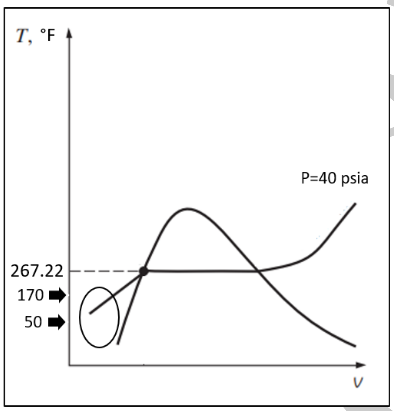
En el intercambiador de calor, la magnitud de calor que cede el R134a es igual a la magnitud de calor que recibe el agua, por lo que $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_4$, entonces $\dot{m}_{R134a}(h_2 - h_1) = \dot{m}_{Agua}(h_3 - h_4)$ y $\dot{m}_{Agua} = \frac{\dot{m}_{R134a}(h_2-h_1)}{h_3-h_4}$. Ahora obtendremos los valores de las entalpías de cada sustancia:

• R134a:



Según la tabla A-12E y con el diagrama T-v se puede ver que la sustancia se encuentra en vapor sobrecalentado cuando entra al intercambiador y en líquido comprimido cuando sale. En la tabla A-13E se tiene que $h_1 = 142.21$ BTU/lb$_m$, mientras que en la tabla A-11E se ve que $h_2 = h_{f@150F} = 63.875$ BTU/lb$_m$.

• Agua:



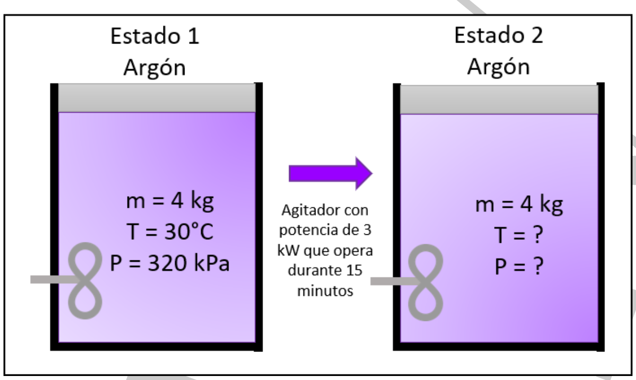
De acuerdo a la tabla A-5E y con el diagrama T-v se puede ver que la sustancia se encuentra en líquido comprimido cuando entra y sale del intercambiador. En la tabla A-4E se tiene que $h_3 = h_{f@50F} = 18.07$ BTU/lb$_m$ y $h_4 = h_{f@170F} = 138.02$ BTU/lb$_m$

Finalmente, $\dot{m}_{Agua} = \frac{\dot{m}_{R134a}(h_2-h_1)}{h_3-h_4} = \frac{(1.5 \quad lb_m/s)(63.875 \quad BTU/lb_m - 142.21 \quad BTU/lb_m)}{18.07 \quad BTU/lb_m - 138.02 \quad BTU/lb_m} = 0.9796 \ \frac{lb_m}{s}$.

Problema 16. Se tiene un tanque rígido aislado que contiene 4 kg de argón de 30°C y 320 kPa. Dentro del tanque se tiene un agitador con una potencia de 3 kW, el cual se enciende y se deja operando durante 15 minutos. Determine:

a) la temperatura final del proceso.

b) la presión final del gas argón.



Como el tanque se encuentra aislado ($\Delta Q = 0$), no hay flujo másico ni trabajo de salida en el sistema y tampoco hay energía cinética y potencial (no existe movimiento ni cambio de altura en el sistema), el balance de energía es:

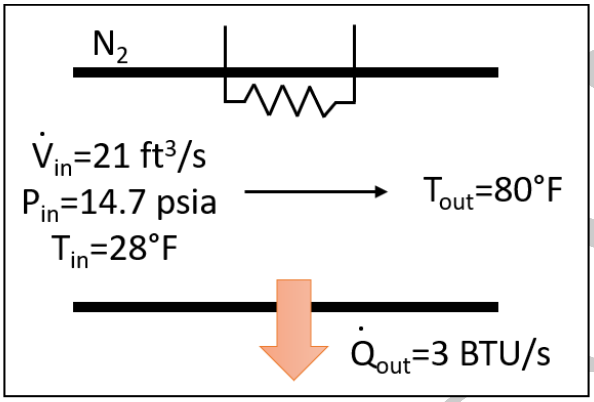
$$(Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

$$W_{in} = \Delta U = mc_v\Delta T = mc_v(T_2 - T_1)$$

Hay que observar que como la sustancia es un gas noble, entonces c_v es constante a cualquier temperatura. También $W_{in} = (3 \quad kW)\left(\frac{1 \quad \frac{kJ}{s}}{1 \quad kW}\right)(15 \text{ min})\left(\frac{60 \quad \text{s}}{1 \quad \text{min}}\right) = 2700$ kJ y según la tabla A-2, $c_v = 0.3122$ kJ·kg^{-1}·K^{-1}.

La temperatura en el estado 1 en K es (°C + 273.15) K = (30 + 273.15) = 303.15 K. Con todo lo anterior, se tiene que $T_2 = \frac{W_{in}}{mc_v} + T_1 = \frac{2700 \quad kJ}{(4 \quad kg)(0.3122 \quad kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})} + 303.15 \quad K = 2465.2256$ K y con la ecuación de los gases ideales se obtiene que $P_1V = mRT_1$ y $P_2V = mRT_2$ (en el tanque rígido m y V son constantes), por lo que $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ y $P_2 = \frac{P_1T_2}{T_1} = \frac{(320 \quad kPa)(2465.2256 \quad K)}{303.15 \quad K} = 2602.2503$ kPa.

Problema 17. Considere un sistema de calefacción que opera en estado estacionario con una resistencia eléctrica que se encuentra dentro de un ducto simple. Se alimentan 21 ft^3/s de nitrógeno gas (N_2) al ducto a 14.7 psia y 28°F, y sale de la sección de calentamiento a 80°F. El N_2 pierde calor hacia los alrededores a través de las paredes del ducto a razón de 3 BTU/s. Determine la potencia (en BTU/s) de la resistencia eléctrica que está calentando el N_2. Para resolver este ejercicio puede utilizar los calores específicos promedio o bien las tablas de propiedades termodinámicas. Considere que el peso molecular del nitrógeno gas es de 28 lb$_m$/lbmol.



El sistema pierde calor hacia sus alrededores, tiene trabajo de entrada por parte de la resistencia eléctrica, está en estado estacionario y no hay cambio de energía cinética y potencial en el flujo. Con lo anterior, el balance de energía es:

$$(\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}) + (\dot{W}_{in} - \dot{W}_{out}) + (\dot{E}_{mass,in} - \dot{E}_{mass,out}) = 0$$

$$-\dot{Q}_{out} + \dot{W}_{in} + (\dot{H}_{in} - \dot{H}_{out}) = 0$$

$$\dot{W}_{in} = \dot{Q}_{out} + (\dot{H}_{out} - \dot{H}_{in}) = \dot{Q}_{out} + \dot{m}(h_{out} - h_{in}) \quad \ldots (1)$$

$$\dot{W}_{in} = \dot{Q}_{out} + \dot{m}c_{p,prom}\Delta T = \dot{Q}_{out} + \dot{m}c_{p,prom}(T_{out} - T_{in}) \quad \ldots (2)$$

La temperatura de entrada y salida en R son $T_{in} = (28 + 459.67)$ R $= 487.67$ R y $T_{out} = (80 + 459.67)$ R $= 539.67$ R. Según la tabla A-1E sobre el N_2 se ve que $R = 0.3830 \ \frac{psia \cdot ft^3}{lb_m \cdot R}$. Con la ecuación de los gases ideales se tiene que $P_{in}\dot{V} = \dot{m}RT_{in}$, por lo que $\dot{m} = \frac{P_{in}\dot{V}}{RT_{in}} = \frac{(14.7 \quad psia)(21 \quad \frac{ft^3}{s})}{(0.3830 \quad \frac{psia \cdot ft^3}{lb_m \cdot R})(487.67 \quad R)} = 1.6528 \ \frac{lb_m}{s}$. A partir de aquí, hay dos maneras de terminar la solución del problema:

Forma 1 - Tablas de propiedades termodinámicas

Considerando que $M = 28$ lb$_m$/lbmol y de acuerdo a la tabla A-18E interpolando:

T[R]	$\bar{h}$[BTU/lbmol]
480	3333.1
487.67	y_1
500	3472.2

$$\frac{3472.2 - 3333.1}{500 - 480} = \frac{y_1 - 3333.1}{487.67 - 480}$$

$$y_1 = \frac{(3472.2 - 3333.1)(487.67 - 480)}{500 - 480} + 3333.1$$

$$y_1 = 3386.4449$$

$$h_{in} = 3386.4449 \ \frac{BTU}{lbmol}\left(\frac{lbmol}{28 \quad lb_m l}\right) = 120.9445 \ \frac{BTU}{lb_m}$$

T[R]	$\bar{h}$[BTU/lbmol]
537	3729.5
539.67	y_2
540	3750.3

$$\frac{3750.3 - 3729.5}{540 - 537} = \frac{y_2 - 3729.5}{539.67 - 537}$$

$$y_2 = \frac{(3750.3 - 3729.5)(539.67 - 537)}{540 - 537} + 3729.5$$

$$y_2 = 3748.012$$

$$h_{out} = 3748.012 \ \frac{BTU}{lbmol}\left(\frac{lbmol}{28 \quad lb_m l}\right) = 133.8576 \ \frac{BTU}{lb_m}$$

Con la ecuación (1):

$$\dot{W}_{in} = 3 \ \frac{BTU}{s} + (1.6528 \ \frac{lb_m}{s})(133.8576 \ \frac{BTU}{lb_m} - 120.9445 \ \frac{BTU}{lb_m}) = 24.3424 \ \frac{BTU}{s}$$

Forma 2 - Con calor específico promedio

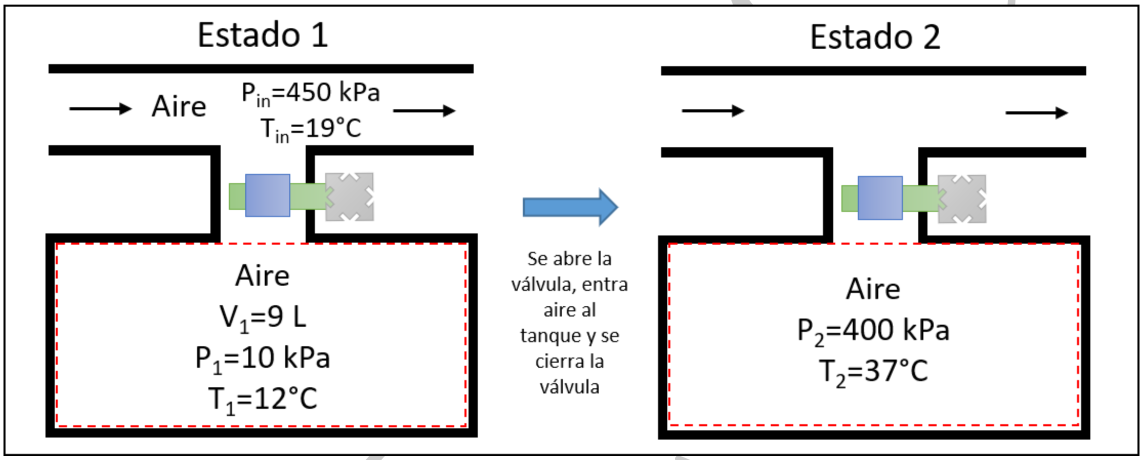
La temperatura promedio es $\frac{T_{in}+T_{out}}{2} = \frac{28 \quad F + 80 \quad F}{2} = 54$°F. Se observa en la tabla A-2E que el c_p de 40°F y 100°F es el mismo, por lo que en una temperatura intermedia también lo será, es decir, a T = 54°C el c_p es 0.248 $\frac{BTU}{lb_m \cdot R}$. Con la ecuación (2):

$$\dot{W}_{in} = 3 \ \ \frac{BTU}{s} + (1.6528 \ \ \frac{lb_m}{s})(0.248 \ \ \frac{BTU}{lb_m \cdot R})(539.67 \ \ R - 487.67 \ \ R) = 24.3141 \ \ \frac{BTU}{s}$$

Se observa que los valores de $\dot{W}_{in}$ obtenidos son muy cercanos entre sí.

Problema 18. Un tanque de 9 L inicialmente contiene aire a 10 kPa y 12°C. Para poder recargarlo se conecta por medio de una válvula a una línea de suministro, a través de la cual fluye aire a 450 kPa y 19°C. La válvula se abre y el aire ingresa al tanque. La válvula se cierra cuando la presión en el tanque alcanza los 400 kPa. Un termómetro colocado dentro del tanque indica que la temperatura del aire en el estado final es de 37°C. Sin considerar el cambio de energía cinética y potencial del aire de entrada al tanque, determine:

a) **la masa de aire que ha entrado en el tanque.**
b) **la cantidad de transferencia de calor a través de las paredes del tanque.**



La T_1, T_2 y T_{in} en K son $T_1 = (12{+}273.15)$ K $= 285.15$ K, $T_2 = (37{+}273.15)$ K $= 310.15$ K y $T_{in} = (19{+}273.15)$ K $=$ 292.15 K. En el tanque se mantiene constante el $V = 9$ L $= 0.009$ m^3. Según la tabla A-1 respecto al aire se sabe que R $= 0.2870$ kJ$\cdot$ kg$^{-1}\cdot$K^{-1}. Utilizando la ecuación de los gases ideales se tiene que $P_1V = m_1RT_1$ y $P_2V = m_2RT_2$, por lo que $m_1 = \frac{P_1V}{RT_1} = \frac{(10 \ \ kPa)(0.009 \ \ m^3)}{(0.2870kJ\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1})(285.15 \ \ K)} = 0.0010997$ kg y $m_2 = \frac{P_2V}{RT_2} = \frac{(400 \ \ kPa)(0.009 \ \ m^3)}{(0.2870kJ\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1})(310.15 \ \ K)} =$ 0.040444 kg. Con el balance de materia se obtiene que $m_{in} = m_2 - m_1 = (0.040444 - 0.0010997)$ kg $= 0.039344$ kg.

De acuerdo a la tabla A-17 interpolando:

T[K]	u[kJ/kg]
285	203.33
285.15	y_1
290	206.91

$$\frac{206.91 - 203.33}{290 - 285} = \frac{y_1 - 203.33}{285.15 - 285}$$

$$y_1 = \frac{(206.91 - 203.33)(285.15 - 285)}{290 - 285} + 203.33$$

$$y_1 = 203.4374$$

T[K]	u[kJ/kg]
310	221.25
310.15	y_2
315	224.85

$$\frac{224.85 - 221.25}{315 - 310} = \frac{y_2 - 221.25}{310.15 - 310}$$

$$y_2 = \frac{(224.85 - 221.25)(310.15 - 310)}{315 - 310} + 221.25$$

$$y_2 = 221.3580$$

T[K]	h[kJ/kg]
290	290.16
292.15	y
295	295.17

$$\frac{295.17 - 290.16}{295 - 290} = \frac{y - 290.16}{292.15 - 290}$$

$$y = \frac{(295.17 - 290.16)(292.15 - 290)}{295 - 290} + 290.16$$

$$y = 292.3143$$

En el sistema no hay trabajo de entrada ni salida, no se presenta flujo de salida y no hay cambio de energía potencial y cinética en el sistema (no existe movimiento ni cambio de altura del mismo). Sin considerar el cambio de energía cinética y potencial del flujo de entrada, el balance de energía es:

$$(Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$
$$\Delta Q + H_{in} = \Delta Q + m_{in}h_{in} = \Delta U = m_2u_2 - m_1u_1$$
$$\Delta Q = m_2u_2 - m_1u_1 - m_{in}h_{in}$$
$$\Delta Q = (0.040444 \ \ kg)(221.3580 \ \ \tfrac{kJ}{kg}) - (0.0010997 \ \ kg)(203.4374 \ \ \tfrac{kJ}{kg}) - (0.039344 \ \ kg)(292.3143 \ \ \tfrac{kJ}{kg})$$
$$\Delta Q = \text{-2.77198 kJ}$$

Concluyendo que hubo una transferencia de calor del sistema hacia sus alrededores (Q_{out}) con una magnitud de 2.77198 kJ.