UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Colaboración en la estructura y presentación de un libro de Termodinámica

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Valeria Zepeda Bolaños

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

M.I Felipe Muñoz Gutiérrez

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Contenido

Capítulo 1: Conceptos fundamentales

1. Cómo se aplica la termodinámica clásica en el caso de un enfermo encamado que recibe suero durante la hospitalización.

Solución:

El corazón sano expulsa la sangre con una presión sistólica o alta de 120 mm/Hg y la recibe a una presión diastólica o baja de 80 mm/Hg. Cuando al enfermo se le suministra suero a través de una vena, también se está expuesto a la variación de presiones en las arterias. Se prevé que exista una altura entre la botella de suero y el brazo del enfermo, tal que se cumpla la ecuación:

$$P = \rho g z$$

Donde ρ es la densidad del suero, g es la aceleración de la gravedad y h es la altura. En el caso de que el enfermo padezca de hipertensión las presiones pueden ser de 140-95, lo que requerirá aumentar la altura, ya que lo que se observa es que la sangre sube por el conducto del suero.

2. Cómo se aplica la termodinámica clásica para una persona de la tercera edad.

Solución:

En este caso podemos aplicar la segunda ley de la termodinámica, que dice que la entropía siempre aumenta. La condición de una persona de la tercera edad indica cuanta entropía aumenta por las actividades normales: estudio, trabajo. Por qué algunas personas están mejores que otras, puede explicarse por la transferencia de entropía que puede ser positiva, en el caso de buenos hábitos de comer, dormir, practicar deporte y recibir cariño y afecto de familiares o negativo los malos hábitos.

3. La irradiación solar se aprovecha para generar energía eléctrica. Explicar cómo se usó la termodinámica clásica en este caso.

Solución:

La irradiación solar es el calor que el exterior del sol manda como ondas electromagnéticas a través del espacio a todo el sistema solar. Entonces una placa metálica o un tubo con algún fluido se calienta. En el caso de la generación eléctrica se utilizan espejos que reflejan la irradiación solar sobre un tubo que en su interior conduce un fluido que se calienta a temperaturas altas (150°C-700°C). Este fluido cede su calor a otro fluido, usualmente agua, que en forma de vapor es capaz de producir energía eléctrica en una turbina.

4. Igual que el problema 3, pero ahora se usa una placa de un semiconductor.

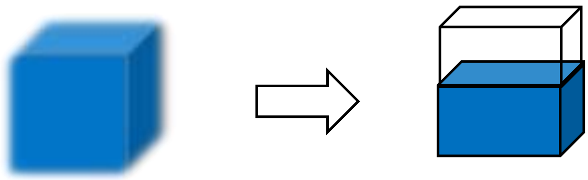
Solución:

El principio es el mismo solo que ahora la irradiación solar que incide sobre el material semiconductor, que es silicio, es capaz de producir una corriente eléctrica a través de un potencial eléctrico. La placa semiconductora es llamada celda y todo el sistema es llamado fotovoltaico.

5. Un cubo de hielo se expone al sol. Cuál es el tipo de sistema que se considera.

Solución:

Se puede imaginar una frontera que contenga al hielo en su posición inicial y por tanto considerar un sistema cerrado. Después de la exposición se tendrá agua líquida. El sol ha suministrado el calor para fundir el hielo. También ya que el volumen específico del líquido es menor que el del hielo, la atmósfera habrá hecho un trabajo durante el proceso.



6. Un albañil dejar caer accidentalmente un bulto de cemento. ¿Cuál es el sistema?

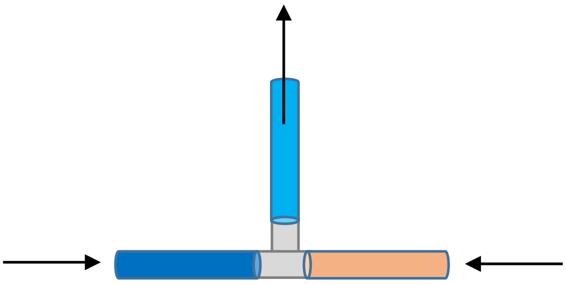
La frontera rodea al bulto y es un sistema cerrado. En este caso el bulto de cemento justo antes de tocar el suelo ha perdido su energía potencial y ha ganado energía cinética.

7. En la regadera de un baño se obtiene agua caliente para bañarse, ¿Cuál es el sistema?

En este caso se imagina uno a dos corrientes de agua que se mezclan para producir una tercera, que es la que sale de la regadera. El mezclado ocurre en un “T”, que es nuestro volumen de control, por tanto, es un sistema abierto.

8. Se pide su opinión acerca de que si la siguiente ecuación es de estado:

$$P = \frac{AT}{v - B} + \frac{C}{T^n\, v(v - B)}$$



donde A, B, C y n son constantes, P es la presión, T es la temperatura y ν es el volumen específico. Indique sus observaciones.

Solución: La ecuación es de estado si cumple la condición de exactitud, o sea:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial v\, \partial T} = \frac{\partial^2 P}{\partial T\, \partial v} \text{..........(1)}$$

a) Se sabe que las derivadas parciales son simétricas, por lo tanto:

$$\frac{\partial}{\partial v}\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right) = \frac{\partial^2 P}{\partial v\, \partial T}$$

$$\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right) = \frac{\partial^2 P}{\partial T\, \partial v}$$

b) Derivando el lado izquierdo de la ecuación (1) :

$$\frac{\partial P}{\partial T} = \frac{A}{v - B} + \frac{Cn}{T^{n+1}\, v(v-B)}$$

$$\frac{\partial}{\partial v}\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right) = \frac{\partial^2 P}{\partial v\, \partial T} = -\frac{AT}{(v-B)^2} + \frac{Cn\,(2v-B)}{T^{n+1}\, v(v-B)}$$

Dando como resultado la misma derivada de la derecha (por conmutatividad), por lo que se comprueba que sí es una ecuación de estado. Este mismo problema se resolvió utilizando el programa **MAPLE**. (**Los problemas resueltos usando este programa y el de EXCEL se muestran al final del capítulo**).

9. Una sustancia compresible y simple sufre un proceso casiestático en el que pasa desde 9.87 kPa y 2 dm^3 hasta 12 dm^3 por el trayecto.

$$\frac{P^2}{100}+\frac{V^2}{156.25}=1\ldots\ldots\ldots(1)$$

Dónde:
P – presión [kPa]
V- volumen [dm^3]

Una cualidad ñ, de la que no se sabe sí es una propiedad de la sustancia, se describe según:
$d\tilde{n} = PV^2\, dP + P^2V\, dV$

Calcule el cambio en el valor de ñ como consecuencia del proceso.

Solución:

a) Se observa que *ñ*, sí es una propiedad porque cumple con:

$$\frac{\partial}{\partial V}\left(PV^2\right)=2PV=\frac{\partial}{\partial P}\left(P^2V\right)$$

b) De la ecuación (1) de trayectoria se despeja V^2 y P^2:

$$V^2 = 156.25\,(1-\frac{P^2}{100})$$
$$PV^2 = 156.25P\,(1-\frac{P^2}{100})$$

$$P^2 = 100(1-0.0064V^2)$$

$$P^2V = 100V(1-0.0064V^2)$$

$$P_2 = \sqrt{100(1-0.0064(12)^2} = 2.8\ kPa$$

c) El cambio en ñ se calcula integrando la función:

$$\int_{\tilde{n}_1}^{\tilde{n}_2} d\tilde{n}=\Delta\tilde{n}=\int_{9.87}^{2.8}156.25P\left(1-\frac{P^2}{100}\right)dP+\int_{2}^{12}100V\left(1-0.0064V^2\right)dV$$

$$\Delta\tilde{n}=370.36\ \text{kPa}^2\ \text{dm}^6=370.36\left(\text{Pa m}^3\right)^2=370.36\ \text{J}^2$$

Se muestra la solución utilizando el programa **MAPLE**.

10. Un sistema pasa de 78 kPa y 0.5 m^3/kg hasta 250 kPa y 0.8951 m^3/kg a lo largo de una trayectoria parabólica

$$P = a\nu^2$$

Dónde:

P – presión
ν - volumen específico
a - constante

Calcule el cambio en el valor z a lo largo de esta trayectoria; z se define según:

$$dz = 2P(\nu - 2PE)d\nu + \nu(\nu - 8PE)dP\ldots\ldots..(1)$$

Dónde:

$$E = 3.5X10^{-7}\,\frac{m^6}{J \cdot kg}$$

Solución:

a) Se determina primero que:

$$E = 3.5X10^{-4}\,\frac{m^6}{kJ \cdot kg}$$

$$\frac{P_1}{{v_1}^2} = \frac{78\ kPa}{(0.5\ \frac{m^3}{kg})^2} = 312\ \frac{kPa\ \cdot kg^2}{m^6}$$

El cambio de z se calcula integrando la expresión para z:

$P = a\nu^2$

$$v = \sqrt{\frac{P}{a}}$$

Sustituyendo en (1):

dz = 2P(ν - 2PE)dν + ν(ν - 8PE)dP

$$\int_{Z_1}^{Z_2} dz = \int_{\nu_1}^{\nu_2} 2a\nu^2\left(\nu - 2a\nu^2 E\right)d\nu + \int_{P_1}^{P_2} \sqrt{\frac{p}{a}}\left(\sqrt{\frac{p}{a}} - 8PE\right)dP$$

$$\Delta z=\int_{\nu_1}^{\nu_2}(2a\nu^3-4a^2\nu^4E)d\nu+\int_{P_1}^{P_2}\left(\frac{P}{a}-8\sqrt{\frac{p}{a}}PE\right)dP$$

$$\Delta z=\int_{0.5}^{0.8951}(624\nu^3-136.3\nu^4)\text{ kJ/kg }d\nu+\int_{78}^{250}\left(0.00320P-0.000159P^{1.5}\right)\text{m}^6/\text{kg}^2\ dP$$

$$\Delta z=106.7026\,\frac{\text{kJm}^3}{\text{kg}^2}$$

Se muestra el mismo resultado en **MAPLE.**

11. Calcule el valor de Δz entre los puntos (x_1 = 1, y_1 = 0) y (x_2 = 3, y_2 = 5) a lo largo de la trayectoria dada por la recta $y = mx + b$, con m y b constantes, para la función

$$dz=xy^2dx+x^2ydy\ \ldots\ldots\ldots(1)$$

¿dz es una diferencial exacta?

Solución:

La diferencial es exacta ya que:

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(xy^2\right)=2xy=\frac{\partial}{\partial x}\left(x^2y\right)$$

Tomando en cuenta los dos pares de datos se crea un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

m(1) + b = 0; m(3) + b= 5

Resolviendo el sistema se obtiene:

$$m=\frac{5}{2}$$

$$b=-\frac{5}{2}$$

Sustituyendo en la función (1) e integrando se obtiene:

$$\int_{z_1}^{z_2}dz=\Delta z=\int_{x_1}^{x_2}x\left(mx+b\right)^2dx+x^2\left(mx+b\right)\left(mdx\right)=\int_1^3\left(2m^2x^3+3mbx^2+xb^2\right)dx$$

$$\Delta z=\frac{\left(\frac{5}{2}\right)^2\left(3^4-1^4\right)}{2}+\frac{5}{2}\left(-\frac{5}{2}\right)\left(3^3-1^3\right)+\frac{\left(-\frac{5}{2}\right)^2\left(3^2-1^2\right)}{2}=250-162.5+25=112.5$$

Se muestra el problema resuelto utilizando **MAPLE**.

12. Evalúe F definida por:

$$dF = x^2dy + ydx\ldots\ldots..(1)$$

sobre la trayectoria $y = 2x^{1/4}$ desde (0,0) hasta (1,2).

Solución:

Derivando la ecuación de trayectoria se obtiene:

$$dy = \frac{1}{2}x^{-\frac{3}{4}}dx$$

Sustituyendo e integrando la función (1) se obtiene:

$$\int_{F_1}^{F_2} dF = \Delta F = \int_{x_1}^{x_2} x^2\left(\frac{1}{2}x^{-\frac{3}{4}}dx\right) + 2x^{\frac{1}{4}}dx = \int_{x_1}^{x_2}\left(\frac{1}{2}x^{\frac{5}{4}} + 2x^{\frac{1}{4}}\right)dx$$

$$\Delta F = \frac{2}{9}*\left(1^{\frac{9}{4}} - 0\right) + \frac{8}{5}*\left(1^{\frac{5}{4}} - 0\right) = \frac{82}{45} = 1.822$$

Este problema también se resolvió utilizando el programa de **MAPLE**.

13. Compruebe si la siguiente es una ecuación de estado:

$$PV = aT\left[1 + \frac{bP}{T} - \frac{cP}{T^3}\right]$$

donde a, b y c son constantes.

Solución:

Despejando el volumen se obtiene:

$$V = \frac{aT}{P} + \frac{aTbP}{TP} - \frac{aTcP}{T^3P}$$

$$V = \frac{aT}{P} + ab - \frac{ac}{T^2}\ldots\ldots\ldots(1)$$

Derivando la ecuación (1) se obtiene:

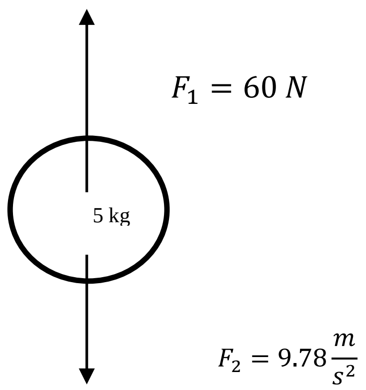
$$\frac{\partial V}{\partial T} = \frac{a}{P} + \frac{2ac}{T^2}$$

$$\frac{\partial}{\partial P}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right) = \frac{-aT}{P^2}$$

$$\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right) = \frac{-a}{P^2}$$

$$\therefore \ \frac{\partial}{\partial P}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right) = \frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right) = \frac{-a}{P^2}$$

Por tanto, la ecuación sí es de estado. Este problema se resuelve con **MAPLE**.
14. A un cuerpo de 5 kg de masa se le aplica una fuerza hacia arriba de 60 N. Calcule la velocidad y la distancia recorrida por el cuerpo después de un lapso de 10s. Tome g = 9.78 m/s^2.



Solución:

Se sabe de la 2 ley de Newton que:

$F_1 = m_1 \vec{a}_1$

$F_2 = m_2 \vec{a}_2$

Despejando $\vec{a}_1$:

$$\vec{a}_1 = \frac{F_1}{m_1}$$

$$\vec{a}_1 = \frac{60\ N}{5\ kg}$$

Sustituyendo en F_2 :

$$F_2 = (5\ kg)\left(9.78\ \frac{m}{s^2}\right)$$

F_2= 48.9 N

Realizando un balance de energía:

$$F_R = F_1 - F_2$$
$$F_R = m_1\vec{a}_1 - m_2\vec{a}_2$$
$$F_R = 60\ N - 48.9\ N$$
$$F_R = 11.1\ N$$

Se sabe que en todo momento la masa y aceleración son constantes:

$$\vec{a}_T = \vec{a}_1 - \vec{a}_2$$

$$\vec{a}_T = \frac{60\ N}{56\ kg} - 9.78\ \frac{m}{s^2}$$
$$\vec{a}_T = \frac{60\ \frac{kg\ m}{s^2}}{56\ kg} - 9.78\ \frac{m}{s^2}$$

$$\vec{a}_T = 2.22\ \frac{m}{s^2}$$

Integrando una vez la aceleración, se obtiene la ecuación de la velocidad:

$$\int a\ dt = at + c_1$$
$$v = at$$

Volviendo a integrar, se obtiene la ecuación de la posición :

$$\int at + c_1 = \frac{at^2}{2} + c_1 t + c_2$$

Las condiciones iniciales son : t=0, V_0=0, x_0=0, por lo tanto :

$$x = \frac{at^2}{2}$$

Cuando t=10 s y sustituyendo los valores:

$$v = \left(2.22\frac{m}{s^2}\right)(10\ s) = 22.2\ \frac{m}{s}$$

$$x = \frac{\left(2.22\frac{m}{s^2}\right)(10\ s)^2}{2} = 111\ m$$

15. Una fuerza es proporcional a la raíz cúbica de la distancia x. Calcule el trabajo y su dirección cuando un cuerpo interactúa con la fuerza y se mueve desde x = 1.5 m hasta x = 6.3 m. Se conoce que cuando x = 3 m, la fuerza es de 1.5 N. Las respuestas propuestas son:

a) 0.8 J (sale)
b) 1.122 J (sale)
c) 7.74 J (entra)
d) 10.122 J (sale)
e) ninguna de las anteriores.

Solución:

Como $\vec{F} \propto x^{1/3}$ entonces:

$$\vec{F} = k\, x^{1/3}$$

Donde:

k - es la constante de proporcionalidad.

La constante k se calcula de la condición dada:

$$k = \frac{1.5\ N}{(3m)^{\frac{1}{3}}} = 1.04\frac{N}{m^{\frac{1}{3}}}$$

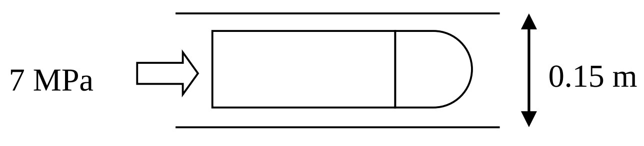
El trabajo se calcula integrando la función $\vec{F}$:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx = \int_{1.5}^{6.3} 1.04\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^{1/3}}\, x^{1/3} dx = \frac{1.04\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^{1/3}}}{\frac{4}{3}}\left[(6.3\ )^{4/3} - (1.5\ )^{4/3}\right]\mathrm{m}^{\frac{4}{3}}$$

$$W = 0.78\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^{1/3}}(11.64 - 1.717)\ \mathrm{m}^{4/3} = 7.74\ \mathrm{N\ m} = 7.74\ \mathrm{J}\ \text{(entra)}$$

La respuesta correcta es la **(c)**.

16. Una bala de cañón de 5 kg actúa como un pistón en un cilindro de 0.15 m de diámetro. Al momento de estallar la pólvora se crea una presión de 7 MPa sobre la bala. ¿Cuál es la aceleración de la bala, si el cañón apunta horizontalmente?



m= 5

Solución: Se conocen las fórmulas de presión y fuerza:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

Realizando un balance de fuerzas se obtiene:

$$\vec{F}_R = m\vec{a} = F_P = PA$$

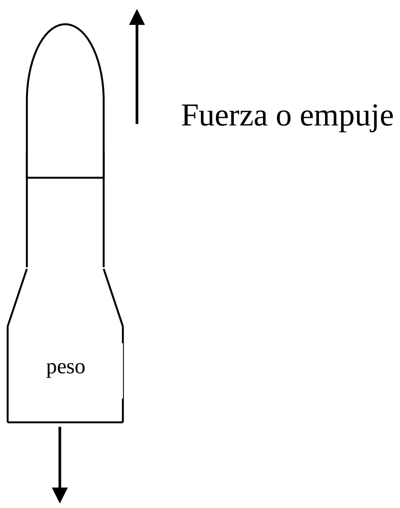
Despejando la aceleración:

$$\vec{a} = \frac{PA}{m}$$

$$a = \frac{\left(7\ x\ 10^6\ \frac{N}{m^2}\right)\left(\pi\left(\frac{0.15\ m}{2}\right)^2\right)}{5\ kg}$$

$$a = 24740.04\ \frac{m}{s^2}$$

17. Un cohete de combustible sólido desarrolla 4 X 10^4 kN de empuje durante el despegue para transportar un satélite espacial. Calcule la masa del satélite si se acelera a 28 m/s^2 desde la superficie de la tierra. Considere g = 9.8 m/s^2.



Solución:

Según Newton:

$\overrightarrow{F_R} = m\vec{a}$

Haciendo un balance de fuerzas:

$\overrightarrow{F_R} = m\vec{a} = \text{empuje} - \text{peso}$

ma = F_e - mg

$$m = \frac{F_e}{(a+g)}$$

$$m = \frac{(4\,X\,10^4) * 1{,}000\;N}{\left(28\;\frac{m}{s^2} + 9.8\;\frac{m}{s^2}\right)} = 1.0582\,X\,10^6\;kg$$

$$m = 1058.2\;ton$$

18. En el laboratorio se usan una probeta y una báscula para medir la densidad de un líquido. Obtenga el error de exactitud entre la densidad promedio y la densidad real si esta última es 2.1 g/cm^3.

Masa [g]	Volumen [cm^3]
61.0	10.0
82.0	20.0
103.0	30.0
124.0	40.0
145.0	50.0

Solución: La densidad promedio se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{\rho} = \frac{\left(\frac{61}{10} + \frac{82}{20} + \frac{103}{30} + \frac{124}{40} + \frac{145}{50}\right)\text{g/cm}^3}{5} = 3.927\ \text{g/cm}^3$$

El % de error de exactitud se calcula de la siguiente manera:

$$\%\ \text{Error} = \left(\frac{\bar{\rho} - \rho_{\text{real}}}{\rho_{\text{real}}}\right)100 = \left[\frac{(3.927 - 2.1)\ \text{g/cm}^3}{2.1\ \text{g/cm}^3}\right]100 = 87.0\ \%$$

19. ¿Cuánta masa de lodo cabe en una cubeta de 8 litros? El lodo tiene 30% en masa de tierra y el resto es agua. La densidad de la tierra es 2.24 g/cm^3 y la del agua es 998.2 kg/m^3.

Solución:

Como el volumen de la cubeta es constante:

$V_a + V_t = V_{cub}$

Además, se sabe que:

masa de agua = 0.7 masa de lodo; masa de tierra = 0.3 masa de lodo.

Entonces:

$\rho = \frac{m}{\text{V}}$ ó $\text{V} = \frac{m}{\rho}$

$$\frac{m_{agua}}{\rho_{agua}} + \frac{m_{tierra}}{\rho_{tierra}} = \frac{0.7m_{lodo}}{\rho_{agua}} + \frac{0.3m_{lodo}}{\rho_{tierra}} = 8\ \ell$$

Sustituyendo los valores:

$$\frac{0.7m_{lodo}}{998.2\frac{kg}{m^3}} + \frac{0.3m_{lodo}}{2.24\frac{g}{cm^3}} = 8\ \ell$$

$$\frac{0.7m_{lodo}}{998.2\frac{kg}{m^3}} + \frac{0.3m_{lodo}}{2240\frac{kg}{m^3}} = 0.008\ m^3$$

Despejando m_{lodo}:

$m_{lodo} = 9.79\ kg$

20. Un vaso de vidrio mide 19 cm de altura total, 7 mm de espesor en la base, 6 cm de diámetro interior, 2 mm de espesor de la pared y tiene 18 g de masa. Calcule la densidad del vidrio.

Solución:

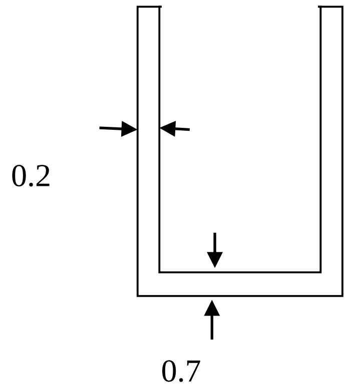
Se sabe que:

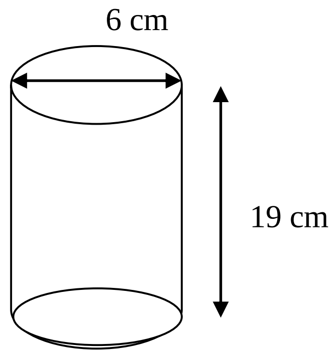
$\rho = \frac{m}{V}$

$A = \frac{\pi D^2}{4}$

$V = Az$

Y tomando en cuenta las dimensiones del vaso, la densidad se obtiene a partir de:



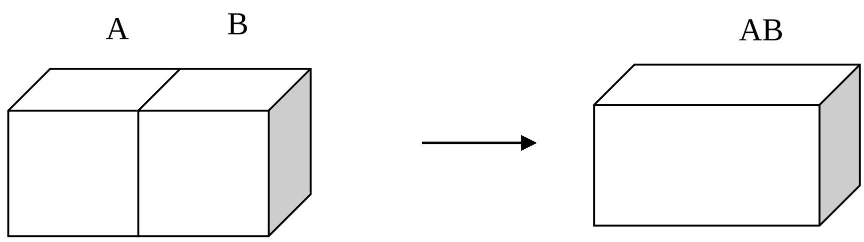


$$\rho = \frac{\mathrm{m}}{\left[\frac{\pi \mathrm{D_{ext}}^2 z}{4} - \frac{\pi \mathrm{D_{int}}^2 \mathrm{z}}{4} + \frac{\pi \mathrm{D_{ext}}^2 \mathrm{z}}{4}\right] \ \mathrm{cm}^3}$$

$$\rho = \frac{\mathrm{m}}{\left[\frac{\pi \mathrm{D_{ext}}^2 (19-0.7)}{4} - \frac{\pi \mathrm{D_{int}}^2 (19-0.7)}{4} + \frac{\pi \mathrm{D_{ext}}^2 (0.7)}{4}\right] \mathrm{cm}^3}$$

$$\rho = \frac{185\ \mathrm{g}}{\frac{\pi}{4}\left[(6+2*0.2)^2 * 19 - 6^2 (19-0.7)\right] \mathrm{cm}^3} = \frac{185\ \mathrm{g}}{93.808\ \mathrm{cm}^3} = 1.972\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$$

21. Un recipiente con una capacidad de 30000 cm^3 contiene un gas en dos compartimientos A y B separados por una pared. Cuando la pared se elimina el gas se mezcla, produciendo un fluido de 0.8 kg/m^3. Calcule la masa original en el compartimiento A, si las densidades originales en A y en B eran respectivamente 1.1 kg/m^3 y 0.28 kg/m^3.



V = 30,000 cm^3 = 0.03 m^3

Solución:
Se sabe que:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho_{final} = 0.8\frac{kg}{m^3}$$

Despejando la masa:

$$\therefore m = \left(0.8\frac{kg}{m^3}\right)(0.03m^3)$$

$m = 0.024\ kg$ y también es igual a la masa inicial de los compartimientos.

La masa y el volumen se conservan, entonces:

V_{Ai} + V_{Bi} = V = 0.03 m^3……….(1)

m_{Ai} + m_{Bi} = 0.024 kg…………...(2)

De la definición de densidad, se tiene que:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V_{Ai} = \frac{m_{Ai}}{\rho_{Ai}} \quad ; \quad V_{Bi} = \frac{m_{Bi}}{\rho_{Bi}}$$

Entonces sustituyendo en la ec. (1) se obtiene :

$$\frac{m_{Ai}}{\rho_{Ai}} + \frac{m_{Bi}}{\rho_{Bi}} = 0.03$$

Despejando m_{Bi} y sustituyendo en la ec. (2):

$$m_{Bi} = \rho_{Bi}\left(0.03 - \frac{m_{Ai}}{\rho_{Ai}}\right)$$

$$m_{Ai} + \rho_{Bi}\left(0.03 - \frac{m_{Ai}}{\rho_{Ai}}\right) = 0.024\ kg$$

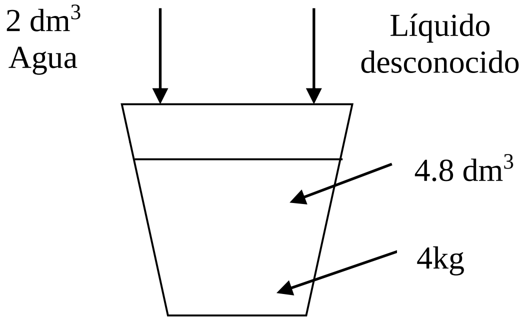
De donde m_{Ai} :

$$m_{Ai} = \frac{0.024 - \rho_{Bi}(0.03)}{1 - \frac{\rho_{Bi}}{\rho_{Ai}}}$$

$$m_{Ai} = \frac{0.024 - 0.28\frac{kg}{m^3}(0.03)}{1 - \frac{0.28\frac{kg}{m^3}}{1.1\frac{kg}{m^3}}}$$

$$m_{Ai} = 0.02094\ kg$$

22. Se mezclan 2 dm^3 de agua a temperatura ambiente con un líquido desconocido. Resultan 4.8 dm^3 y 4 kg de mezcla. Calcule la densidad del líquido desconocido.



Solución:

Admitiendo que los líquidos son inmiscibles y como el volumen y la masa se conservan entonces:

$$m_{agua} + m_{desc} = 4kg$$
$$V_{agua} + V_{desc} = 4.8\ dm^3$$

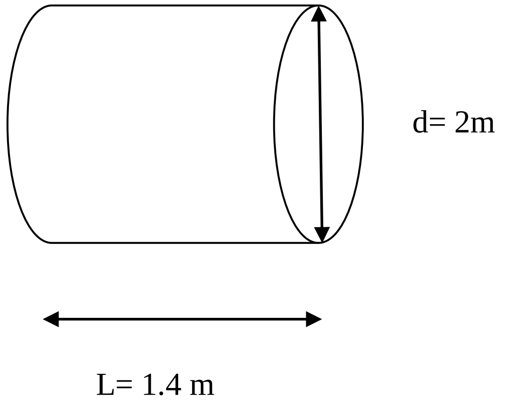
Como $\rho = \frac{m}{V}$, entonces:

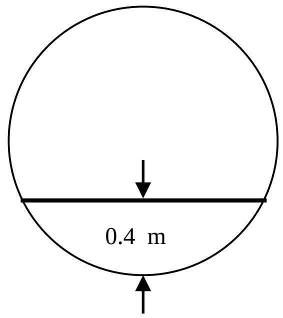
$$m_{agua} = (2\ dm^3)(\rho_{agua}) = 2\ dm^3\left(1\frac{kg}{dm^3}\right) = 2\ kg$$
$$m_{desc} = (4-2)kg = 2\ kg$$
$$V_{desc} = (4.8-2)dm^3 = 2.8\ dm^3$$

Entonces:

$$\rho_{desc} = \frac{2\ kg}{2.8\ dm^3} = 0.7143\ \frac{kg}{dm^3}$$

23. En un cilindro horizontal abierto al ambiente, de 1.4 m de largo y 2 m de diámetro, hay 40 cm de un líquido [ρ = 0.879 g/cm^3]. Si el precio del líquido fuese 3.2 \$/kg, ¿cuál sería el valor del contenido del tanque?





Solución:

El valor del líquido contenido en la sección del cilindro sería:

$$V_{al} = P_r * m = P_r * \rho * V$$
$$V_{al} = P_r * A * L * \rho$$

La única incógnita es el área, que se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$A = 2\int_{0.6}^{1} f(x)dx$$

Como $x^2 + y^2 = a^2$ entonces:

$$y = f(x) = \sqrt{a^2 - x^2}$$
donde "a" es el radio del cilindro y "x" es la variable de integración.

Sustituyendo e integrando se obtiene:

$$A = 2 * \int_{0.6}^{1} \sqrt{a^2 - x^2}\, dx = 2 * \left[\frac{x * \sqrt{a^2 - x^2}}{2} + \frac{a^2}{2} sen^{-1}\frac{x}{a}\right]_{0.6}^{1} = 0.04472\, m^2$$

En el cálculo se ha utilizado la convención de π rad= 180°

Calculando el valor del líquido se obtiene:

$$V_{al} = \left(3.2\ \frac{\$}{kg}\right)\left(879\ \frac{kg}{m^3}\right)(1.4\, m)(0.4473\, m^2)$$

$$V_{al} = 1761.43\ \$$$

El cálculo del área se efectuó utilizando el programa **MAPLE** y se obtuvo el mismo valor.

24. Una sustancia compresible y simple tiene una densidad que varía con la altura vertical (Z) según:

$$\rho = \rho_0(1 - \alpha Z^{1,2})$$

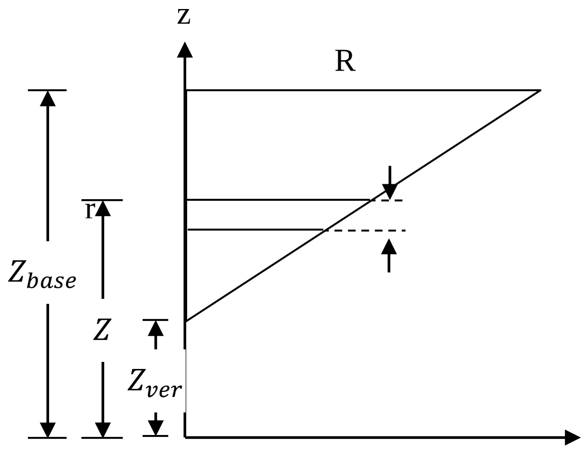
En donde:

$\rho_0 = 1{,}1 \left(\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right)$

$\alpha = 8{,}4416 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{\mathrm{m}^{1,2}}\right)$

El fluido de halla en un tanque cónico de 20 m de diámetro, con el vértice a +2 m por encima del suelo y con la base a +22 m, también por encima del suelo. Calcule la densidad promedio en el tanque.

Solución:



En una altura cualquier, Z en el dibujo, se visualiza un volumen infinitesimal, dV:

$dV = \pi r^2 dZ$

En el volumen infinitesimal se aloja una cantidad infinitesimal de masa, dm:

$dm = \rho dV$

El radio del volumen infinitesimal, r, se relaciona con la altura cualquiera, Z, gracias a la geometría del tanque:

$$\left(\frac{R}{Z_0}\right)(Z - Z_{ver}) = r$$

El valor del infinitésimo de masa es

$$dm = \frac{\rho_0(1 - \alpha_z^n)\pi R^2}{Z_0^2(Z - Z_{ver})^2 dZ}$$

Si se integra desde el límite inferior, Z_{ver}, hasta el superior, Z_{base} se llega a:

$$m = \frac{\left(\frac{\rho_0 \pi R^2}{Z_0^2}\right)[Z_{base}^3 - Z_{ver}^3]}{3} - Z_{ver}(Z_{base}^2 - Z_{ver}^2) - \left(\frac{\alpha}{m+3}\right)(Z_{base}^{n+3} - Z_{ver}^{n+3}) + Z_{ver}^2(Z_{base} - Z_{ver}) + \left(2\alpha Z_{ver}(n+2)\right)(Z_{base}^{n+2} - Z_{ver}^{n+2}) - \left(\frac{\alpha Z_{ver}^2}{n+1}\right)(Z_{base}^{n+1} - Z_{ver}^{n+1})$$

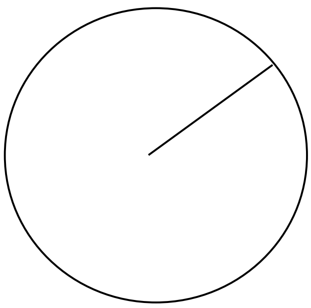
Al evaluar:

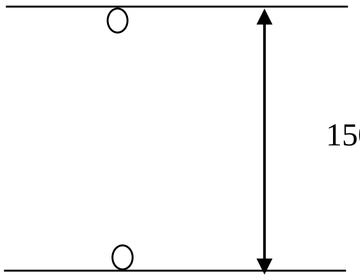
m = 1717.256 kg

La densidad media sería:

$$\rho_{med} = \frac{m}{V_{cono}} = 0.8199\,\frac{kg}{m^3}$$

25. En otro sistema solar hay un planeta esférico de 3×10^6 m de radio. En la superficie del mar se miden 102.5 kPa y 112.5 kPa a 150 m de profundidad. Una muestra de 0.250 dm^3 del fluido del mar da 3.40 kg. Calcule la masa del planeta.





$$\rho = \frac{3.4\ kg}{0.25\ dm^3} = 13.6\,\frac{kg}{dm^3} = 13600\ \frac{kg}{m^3}$$

Solución:

Según Newton:

F = ma……….(1)

$$F = \frac{G_p m_P}{r^2} \text{……… (2)}$$

Resolviendo la ecuación de la hidrostática:

$$dP = -\rho\ g\ dz$$

para el caso mostrado en la figura se obtiene:

$$P_1 = P_0 + \rho g z$$

Donde:

$$g = \frac{(P_1 - P_0)}{\rho z}$$

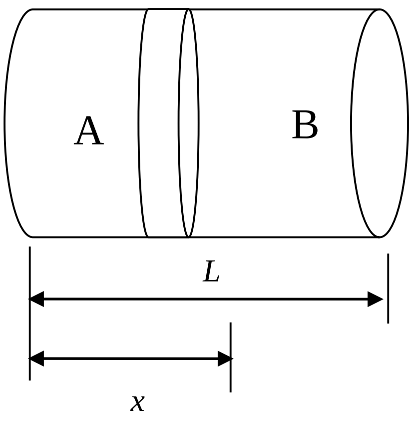
Combinando las tres ecuaciones y con a = g y G = 6.67 X 10^{-11} N m^2/kg^2, se resuelve el problema:

$$m_P = \frac{(P_1 - P_0)r^2}{\rho g z}$$

$$m_P = \frac{(112{,}500 - 102{,}500)\frac{N}{m^2} * (3X10^6 m)^2}{(6.67X10^{-11}\ \frac{N \cdot m^2}{kg^2})(13600\frac{kg}{m^3})(150m)}$$

$$m_P = 6.613\ X\ 10^{20}\ kg$$

26. El cilindro que se ve contiene un émbolo sin fricción y con movimiento libre. Al principio los volúmenes A y B son iguales. Las densidades iniciales en A y en B son 1.15 kg/m^3 y 0.83 kg/m^3, respectivamente. El pistón se mueve de tal forma que al final "x" es ¼ de la distancia "L". Determine las densidades de A y B al final.



Solución:

Las condiciones iniciales son:

$$V_{Ai} = V_{Bi}$$

$\rho_{Ai} = 115\ \dfrac{kg}{m^3}$
$\rho_{Bi} = 115\ \dfrac{kg}{m^3}$

Si a = área transversal, entonces:

$$m_{Ai} = \left(115\ \frac{kg}{m^3}\right)\left(\frac{aL}{2}\right)m^3 = m_{Af}$$

$m_{Bi} = 0.83\ \dfrac{kg}{m^3}$
$\left(\dfrac{aL}{2}\right)m^3 = m_{Bf}$

Al final:

$$\rho_{Af} = \frac{1.15\ \frac{kg}{m^3}\ \left(\frac{aL}{2}\right)m^3}{\left(\frac{aL}{4}\right)m^3} = \frac{4(1.15)}{2} = 2.3\ \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{Bf} = \frac{0.83\ \frac{kg}{m^3}\ \left(\frac{aL}{2}\right)m^3}{\left(\frac{3aL}{4}\right)m^3} = \frac{4(0.83)}{6} = 0.553\ \frac{kg}{m^3}$$

27. Un tanque cúbico tiene unas dimensiones exteriores de 75 X 75 X 75 cm y un espesor de las paredes y su recubrimiento de 5 cm. En el interior del tanque se encuentra una mezcla de líquido y vapor, ocupando el vapor el 90% del volumen. Los volúmenes específicos del líquido y del vapor son 2.036 X 10^{-3} m^3/kg y 5.834 X 10^{-3} m^3/kg, respectivamente. La densidad promedio del material del tanque y su recubrimiento es 400 kg/m^3. Calcule el peso del tanque y su contenido sí: g = 9.78 m/s^2.

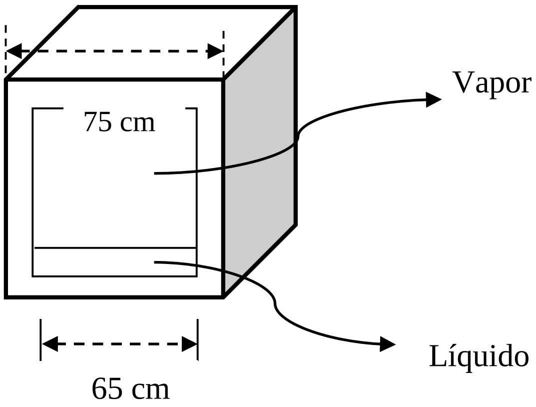
Solución:

Los volúmenes exterior e interior son:

$V_{ext} = (0.75)^3\ m^3 = 0.4219\ m^3$
$V_{int} = (0.65)^3\ m^3 = 0.2746\ m^3$

Entonces el volumen del recubrimiento es igual a la diferencia de los volúmenes:

$\Delta V = V_{rec} = 0.4219 – 0.2746 = 0.1473\ m^3$



$$\rho_{Liq} = \frac{1}{v_{Liq}} = \frac{1}{0.002036} = 491.16\frac{kg}{m^3}$$
$$\rho_{Vap} = \frac{1}{v_{Vap}} = \frac{1}{0.005834} = 1714.41\frac{kg}{m^3}$$

La masa total es la suma de las masas del recubrimiento, del líquido y del vapor:

$$m_{total} = m_{rec} + m_{mLiq} + m_{Vap}$$

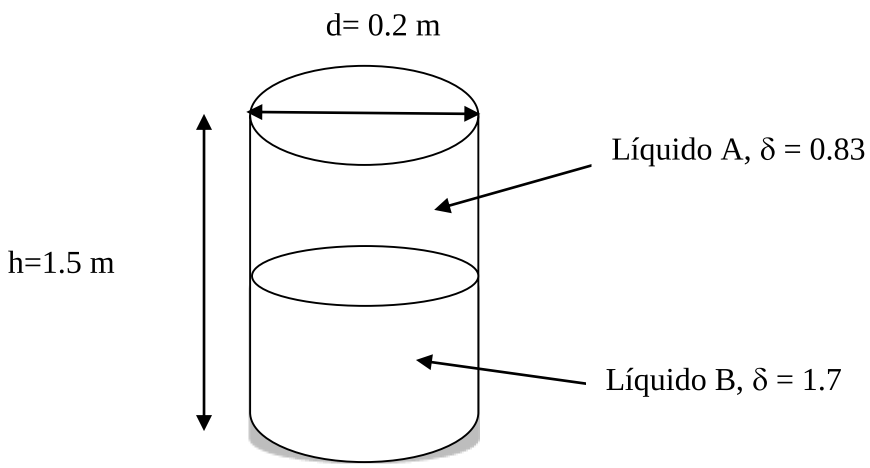
$$m_{total} = \left(0.1473\, m^3 \ * 400\frac{kg}{m^3}\right) + \left(0.9 * 0.2746m^3 \ * 171.41\frac{kg}{m^3}\right) + \left(0.1 * 0.2746\, m^3 * 491.16\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$m_{total} = (58.92 + 42.36 + 13.49)kg = 114.77\, kg$$

Al final el peso es:

$$\varphi = (114.77\, kg)\left(9.78\ \frac{m}{s^2}\right) = 1{,}122.45\, N$$

28. Se agregan 43 kg de un líquido que tiene 1.7 de densidad relativa a un tanque que tiene un diámetro de 0.2 m y una altura total de 1.5 m. Se desea agregar otro líquido que tiene 0.83 de densidad relativa y se le pide que calcule su masa en kg, tomando en cuenta que no debe haber derrame. Los líquidos son inmiscibles (o sea que no se mezclan).



Solución:

El volumen del tanque es:

$$V_{tanque} = \pi\, r^2 h = \pi \left(\frac{0.2}{2}m\right)^2 (1.5\; m) = 0.04712\; m^3$$

Mientras que el volumen que ocupa el líquido B es:

$$V_B = \frac{m_B}{\rho_B} = \frac{43\; kg}{\left(1.7 * 1000\,\frac{kg}{m^3}\right)} = 0.02529\; m^3$$

El volumen que ocupa el líquido A es:

$$V_A = V_{tanque} - V_B = (0.04712 - 0.02529) m^3 = 0.02183\; m^3$$

Entonces la masa del líquido A es:

$$m_A = V_A * \rho_A = 0.02183\; m^3 * 0.83 * 1{,}000\,\frac{kg}{m^3} = 18.1189\; kg$$

29. Un tanque de 30 litros se divide en tres compartimientos A, B y C cada uno con un gas distinto. El volumen de B es la mitad del de A y el de C es la cuarta parte del de A. La masa del gas en B es el doble de la del gas en A y la densidad del gas en A es 6.32 kg/m^3. Calcule la masa del gas en B.

Solución:

Ya que el volumen total es 30 litros o 0.03 m^3 entonces:

$V_A + V_B + V_C = 0.03$ m^3

Sustituyendo las condiciones del problema:

$$V_B = \frac{V_A}{2}$$

$$V_C = \frac{V_A}{4}$$

$$V_A + \frac{V_A}{2} + \frac{V_A}{4} = 7\frac{V_A}{4} = 0.03\; m^3$$

De donde, despejando V_A:

$$7\frac{V_A}{4} = 0.03\; m^3$$

$$V_A = \frac{4 * 0.03\, m^3}{7} = 0.0171\, m^3$$

Entonces:

$$m_A = 0.0171\, m^3 * 6.332 \frac{kg}{m^3}$$
$$m_A = 0.1083\, kg$$

$$m_B = 2 * 0.1083\, kg = 0.217\, kg$$

30. Un recipiente cerrado de 1 m^3, contiene una mezcla de líquido 7.5 X 10^{-4} m^3/kg y de vapor 77.63 X 10^{-3} m^3/kg de una sustancia orgánica en equilibrio. Si la masa de cada fase fuese la misma, calcule la densidad de la mezcla.

Solución:

Ya que la densidad de la mezcla es:

$$\rho_{med} = x\rho_{vap} + (1 - x)\rho_{líq}$$

$$\rho = \frac{1}{V}$$

y del problema:

x = 0.5

Entonces:

$$\rho_{me} = 0.5(1333.333 - 12.878) \frac{kg}{m^3} = 673.106 \frac{kg}{m^3}$$

31. Calcule nuevamente el problema 30 si la condición es que el volumen de cada fase es el mismo.

Solución:

La masa de líquido es:

$$m_{Líq} = \frac{0.5\, m^3}{7.5\, X\, 10^{-4} \frac{m^3}{kg}} = 666.67\, kg$$

La masa de vapor es:

$$m_{Vap} = \frac{0.5\ m^3}{77.63\ X\ 10^{-3}\, \frac{m^3}{kg}} = 6.44\ kg$$

Entonces:

$$x\ = \frac{6.438\ kg}{(6.438\ +\ 6666.667)\ kg}\ =\ 0.00954$$

$$\rho_{me}\ =\ 0.009564\ *12.878\ \frac{kg}{m^3}\ +\ (1 - \ 0.009564) * 1{,}333.333\, \frac{kg}{m^3} =\ 1{,}320.7\, \frac{kg}{m^3}$$

32. Un tanque de 37000 cm^3 contiene 7.6 kg de una mezcla líquido vapor de R134A a 12°C y 4.43 bares. A estas condiciones los volúmenes específicos son $\nu_{Líq}$ = 0.0007971 m^3/kg y ν_{Vap} = 0.046 m^3/kg. Calcule la fracción masa de vapor.

Solución:

Suponiendo:

$$y = \frac{m_{vap}}{m_{total}}$$

$$x = \frac{m_{Líq}}{m_{total}}$$

$$x + y = 1$$

Como el volumen se conserva se puede escribir:

$$V =\ V_{Líq} + V_{Vap}$$

$$V = m_{Líq}\nu_{Líq} +\ m_{Vap}\nu_{Vap} = x\ m_{total}\nu_{Líq} + y\ m_{total}\nu_{Vap}$$

$$V = (1 - y)m_{total}\nu_{Líq} + y\ m_{total}\nu_{Vap}$$

Despejando la fracción masa de vapor se obtiene:

$$y = \frac{V - m_{total}\ \nu_{Líq}}{m_{total}\nu_{Vap} - m_{total}\nu_{Líq}}$$

$$y = \frac{V - m_{total}\ \nu_{Líq}}{m_{total}(\nu_{Vap} - \nu_{Líq})}$$

$$y = \frac{0.037\ m^3 - 7.6\ kg\left(0.0007971\ \frac{m^3}{kg}\right)}{7.6\ kg(0.046 - 0.0007971)\,\frac{m^3}{kg}} = 0.09007$$

33. Sobre una superficie plana se tiene una campana de vacío con espesor constante y forma cilíndrica, de 75 cm de diámetro exterior, 72.5 cm de diámetro interior y 25 cm de altura, hecha con un material con δ = 12.5. En su interior se logra un vacío de 3 m de agua. Calcule la fuerza necesaria mínima para alzar la campana de la superficie en estas condiciones. Considere los valores constantes 77.17 kPa, 9.78 m/s^2, ρ_{agua} = 998.004 kg/m^3.

Solución:

Un balance de fuerzas sobre la campana es:

$F_R = F_{atm} + \varphi - F_i$

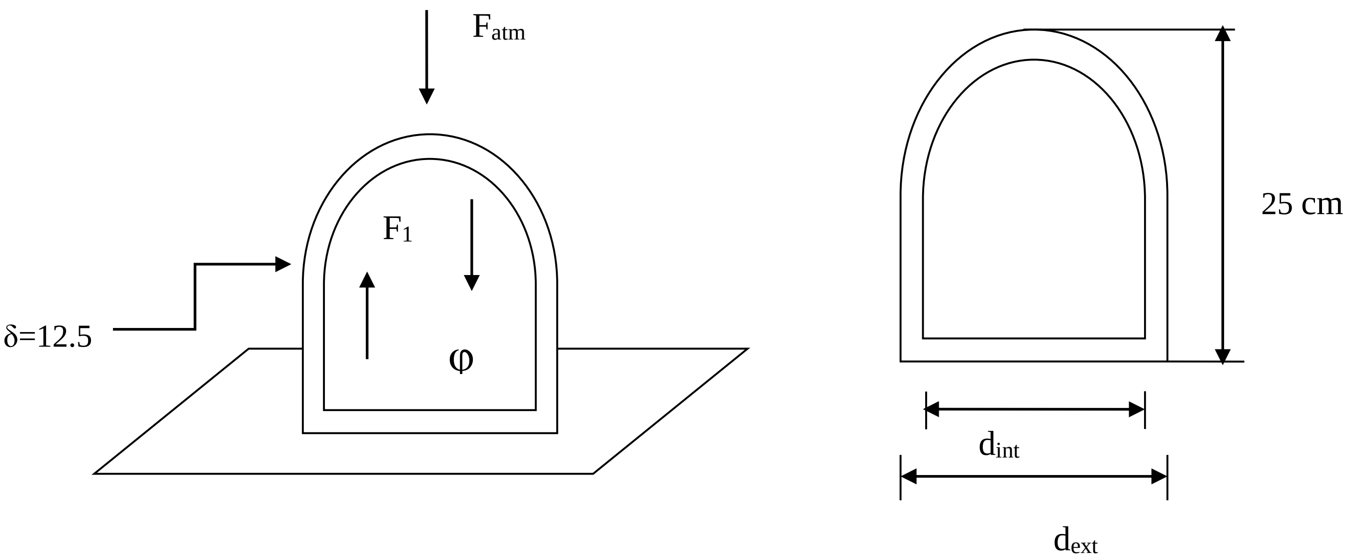
La fuerza atmosférica se determina como:

$$F_{atm} = P_{atm} A_{ext} = 77170\ Pa(0.442\ m^2) = 34109.14\ N$$

El peso de la campana se calcula de la siguiente forma:

$$\varphi = mg = V\rho g$$
$$\varphi = (A_{ext}\ h - A_{int}\ h)\rho g$$
$$\varphi = \left[\left(\frac{\pi}{4}(d_{ext})^2 * h\right) - \left(\frac{\pi}{4}(d_{int})^2 * (h - \ \varepsilon)\right)\right]\rho g$$

$$\varphi = \frac{\pi}{4}[(0.75\ m)^2 * 0.25\ m - (0.725\ m)^2 * (0.25\ - 0.0125)m]\left(998.004\ \frac{kg}{m^3}\right)\left(9.78\ \frac{m}{s^2}\right)(12.5)$$
$$\varphi = 1533.172\ N$$



Calculando las áreas se obtiene:

$$A_{ext} = \pi * \left(\frac{0.75\ m}{2}\right)^2 = 0.442\ m^2$$

$$A_{int} = \pi * \left(\frac{0.725\ m}{2}\right)^2 = 0.4128\ m^2$$

La fuerza interior es:

$$F_i = P_i * A_{int}$$

$$F_i = \left(77{,}170\ Pa - \left[3\ mH_2O * \left(\frac{101{,}325\ Pa}{10.33\ mH_2O}\right)\right]\right) * 0.4128\ m^2 = 19{,}708.55\ N$$

Finalmente la fuerza resultante se calcula del balance de fuerzas:

$$F_R = (34{,}109.14 + 1{,}533.17 - 19{,}708.55) = 15{,}933.76 = 15.934\ kN$$

34. Partiendo de la ecuación de la hidrostática, $dP_{atm} = -\rho g dz$. Calcule la presión atmosférica a 2200 m de altura. Use los datos y las relaciones siguientes: $g = 9.8\ m/s^2$, $\rho = 3.4843\ (gK/J)(P_{atm}/T)$, $T = [288.15\ K - 6.5\ (K/km)z]$, P_{atm} al nivel del mar es igual a 101.325(kPa) y *z* es la altura sobre el nivel del mar.

Solución:

Sustituyendo los datos en la ecuación de la hidrostática se obtiene

$$dP_{atm} = -3.4843\,\frac{\text{g K}}{\text{J}} * 9.8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{P_{atm}}{\left(288.15\,\text{K} - 6.5\,\frac{\text{K}}{\text{km}} * z\right)} * dz$$

En la solución se utiliza el hecho de que:

$$1\,\frac{J}{kg} = 1\,\frac{m^2}{s^2}$$

$$1\ km = 1{,}000\ m$$

Con las condiciones:

$$z_0 = 0$$

$$P_{atm}\ z_0 = 101.325\ kPa$$

Separando variables e integrando se logra la expresión del cálculo de la P_{atm} en función de la altura *z*:

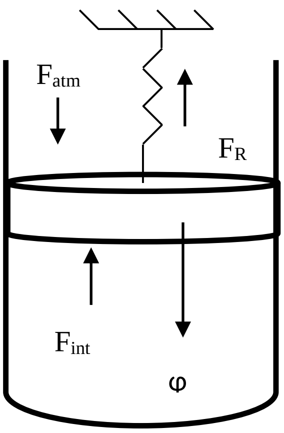
$$\int_{P_{atm,z_0}}^{Patm,z} \frac{dP_{atm}}{P_{atm}} = -34.1461\,\frac{\text{g K m}}{\text{J s}^2} \int_{z_0}^{z} \frac{dz}{\left(288.15\,\text{K} - 6.5\,\frac{\text{K}}{\text{km}} * z\right)}$$

$$\ln\left(\frac{P_{atm,z}}{P_{atm,z_0}}\right) = -34.1461\,\frac{\text{g K m}}{\text{J s}^2} * \left(-\frac{1}{6.5\,\frac{\text{K}}{\text{km}}}\right) * \ln\left(\frac{288.15\,\text{K} - 6.5\,\frac{\text{K}}{\text{km}} * z}{288.15\,\text{K} - 6.5\,\frac{\text{K}}{\text{km}} * z_0}\right)$$

$$P_{atm} = 101.325\ kPa * \left(\frac{288.15\ K - 6.5\ \frac{K}{km} * z}{288.15\ K}\right)^{5.2532}$$

Entonces a la altura z = 2.2 km, P_{atm} = 77.53 kPa. Este problema se muestra en **MAPLE.**

35. Un cilindro de 20 cm de diámetro está cerrado herméticamente por un émbolo de 3 kg que pende de un resorte. El émbolo carece de fricción. En el cilindro existe un vacío del 90.0% de la presión atmosférica. Determine la fuerza de tensión del resorte si el émbolo no se mueve. Tome los valores constantes 78 kPa y 9.78 m/s^2 para el DF.



$$m_{embólo} = 3\ kg$$

$$g = 9.78\ \frac{m}{s^2}$$

$$P_{atm} = 78\ kPa$$

$$d_{cil} = 20\ cm$$

$$A_{cil} = \pi * \left(\frac{0.2}{2}m\right)^2 = 0.0314\ m^2$$

Solución:

El balance de fuerzas sobre el pistón es:

$$F_R + F_{int} = F_{atm} + (m_{émbolo} * g)$$

de donde:

$$F_R = F_{atm} + (m_{émbolo} * g) - F_{int} = (P_{atm} * A_{cil}) - (P_{int} * A_{cil}) + (m_{émbolo} * g)$$

$F_R = (P_{atm} - P_{int})A_{cil} + (m_{émbolo} * g)$

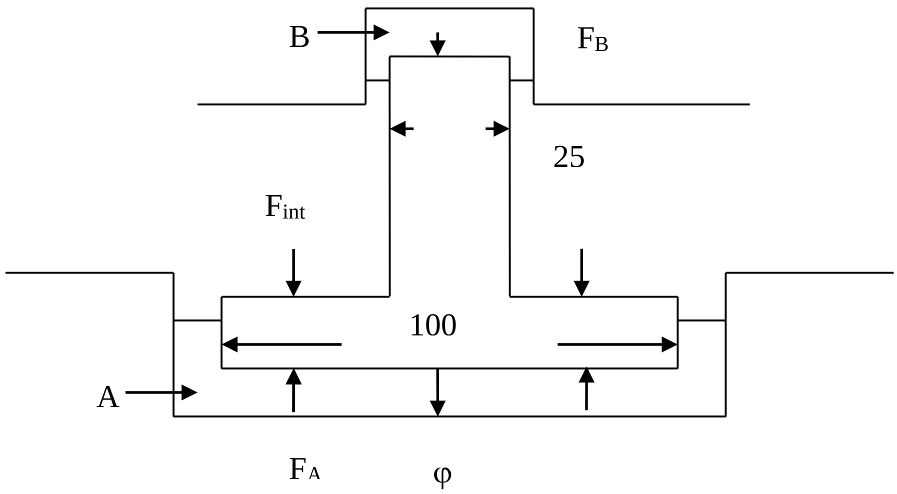
Como:

$P_{int} = P_{atm} - P_{vac} = P_{atm} - 0.9 * P_{atm} = 0.1\, P_{atm}$

entonces se obtiene que:

$$F_R = (0.9 * 78{,}000\ Pa)0.0314\ m^2 + 3kg * 9.78\ \frac{m}{s^2} = (2{,}204.28 + 29.34)N$$
$$F_R = 2233.62\ N$$

36. El gas en el cilindro A está a 1.5 MPa. La masa del émbolo es 95 kg. Los diámetros en A y en B son 100 mm y 25 mm. Estime el valor de la presión en el cilindro B. En la atmósfera: P = 78 kPa y g = 9.78 m/s^2.



Solución:

De acuerdo con la figura las áreas son:

$$A_A = \frac{\pi * \left(\frac{0.1}{2} m\right)^2}{4} = 0.007854\ m^2$$

$$A_B = \frac{\pi * \left(\frac{0.025}{2} m\right)^2}{4} = 0.000491\ m^2$$

$$A_{int} = A_A - A_B = 0.007363\ \ m^2$$

El balance de fuerzas es:

$F_B + F_{int} + \varphi = F_A$

Sustituyendo las presiones se obtiene:

$P_B A_B + P_{int} A_{int} + mg = P_A A_A$

Despejando la presión P_B se tiene:

$$P_B = \frac{P_A A_A - P_{int} A_{int} - mg}{A_B}$$

$$P_B = \frac{1{,}500{,}000 \text{ Pa} * 0.007854 \text{ m}^2 - 78{,}000 \text{ Pa} * 0.007363 \text{ m}^2 - 95 \text{ kg} * 9.78 \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.000491 \text{ m}^2}$$

$$P_B = \frac{(11{,}781 - 574.314 - 929.1) \text{ N}}{0.000491 \text{ m}^2} = 20{,}931{,}947.05 \text{ Pa} = 20.93 \text{ MPa}$$

37. En el laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería hay un manómetro inclinado con un recipiente de 113.1 cm^2 de sección transversal y un tubo inclinado de 9 mm de diámetro. El ángulo, medido con respecto de la vertical, es 63° y la densidad relativa del fluido manométrico es 0.86. Calcule la diferencia de presiones que mide el aparato cuando su lectura es 19 cm. Exprese su respuesta en cm de agua.

Solución:

Como:

$$cos\alpha = \frac{Y}{L}$$

Entonces:

$$Y = L\ Cos\alpha$$

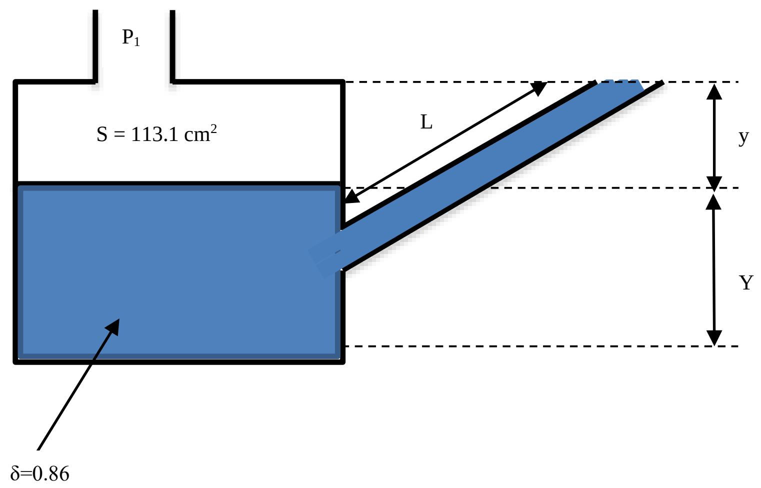
En el fluido manométrico se tiene:

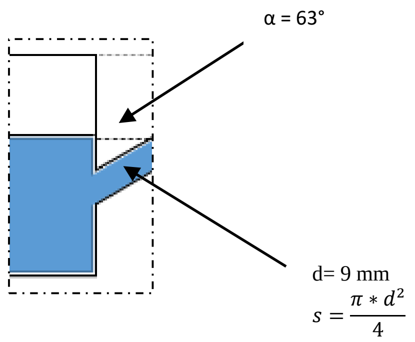
$$\rho_{fm} yS = \rho_{fm} sL$$

$$\therefore Y = \frac{sL}{S}$$

De la figura se deduce que:

$$P_1 = P_2 + [\rho_{fm} g(y + Y)] = P_2 + \rho_{agua} \delta g(y + Y)$$





Expresada la diferencia de presiones en columna de agua se tiene:

$$P_1 - P_2 = \rho_{agua} g z$$

Entonces:

$$\rho_{agua} g z = \rho_{agua} \delta g (y + Y)$$

Utilizando las expresiones para "*y*" e "Y" se obtiene que:

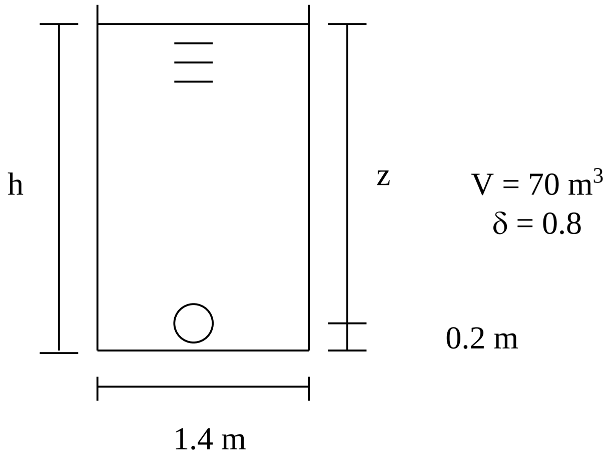
$$z = \delta \left(L\ Cos\alpha + \frac{sL}{S} \right)$$

Cuando L=19 cm:

$$z = 0.86 \left[(19\ cm)\ Cos(63°) + \frac{\pi\ (0.9\ cm)^2}{4(113.1\ cm^2)} \right] = 7.51\ cm\ de\ H_2O$$

38. En un tanque vertical de almacenamiento de aceite (δ = 0.8), cuya capacidad es 70 m^3, con 1.4 m de diámetro, se tiene a 0.2 m del fondo una tapa de 0.1 m de diámetro. La presión

de la ruptura de los tornillos que sujetan la tapa es 1,800 kPa. Calcule el número necesario de tornillos para que la tapa no se abra. Considere que el diámetro de cada tornillo es 6.35 mm y que la presión de ruptura de la tapa se registra en su centro. El tanque está en el D.F.



Solución:

Las áreas transversales del tanque, de la tapa y de cada tornillo son respectivamente:

$$A_T = \frac{\pi * (1.4\ m)^2}{4} = 1.539\ m^2$$

$$A_t = \frac{\pi * (0.1\ m)^2}{4} = 0.007854\ m^2$$

$$A_\theta = \frac{\pi * (0.00635\ m)^2}{4} = 3.167\ X\ 10^{-5}\ m^2$$

La altura h es:

$$h = \frac{70\ m^3}{1.539\ m^2} = 45.484\ m$$

La altura z (hasta el centro de la tapa) sería:

$$z = (45.484 - 0.25)m = 45.234\ \ m$$

Realizando un balance de fuerzas sobre la tapa se tiene:

$$F_{int} = F_\theta$$

La F_{int} será la ocasionada por la altura de fluido y será resistida por los tornillos, entonces:

$$P_z * A_t = \left(P_{rup}\right)(A_\theta)(\#_\theta)$$

De donde:

$$\#_{\theta} = \frac{P_z * A_t}{(P_{rup})(A_{\theta})}$$

$$\#_{\theta} = \frac{\delta * \rho * P_z * A_t}{P_{rup} * A_{\theta}}$$

$$\#_{\theta} = \frac{0.8 * 1{,}000 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \ \frac{m}{s^2} * 45.234 \ m * 0.007854 \ m^2}{1{,}800 \ kPa * 1{,}000 \ \frac{Pa}{kPa} * 3.167 \ X \ 10^{-5} \ m^2} = 48.76$$

$$\#_{\theta} \approx 49 \ tornillos$$

39. Se propone para el aire atmosférico el modelo matemático:

$$\log(P_{atm}) = -kz + \log(P_0)$$

Donde:

$$P_0 = 101.325 \ kPa$$

$$k = 51.3857 \ X \ 10^{-6} \ \left[\frac{1}{m}\right]$$

$$z = está \ en \ [m]$$

Considere el valor constante g = 9.8 m/s^2 y calcule la densidad del aire a 1,500 m.

Solución:

La ecuación del modelo matemático se puede transformar a:

$$\log(P_{atm}) = -kz + \log(P_0)$$

$$\log(P_{atm}) - \log(P_0) = -kz$$

$$\log\left(\frac{P_{atm}}{P_0}\right) = -kz$$

$$10^{log\left(\frac{P_{atm}}{P_0}\right)} = 10^{-kz}$$

$$\frac{P_{atm}}{P_0} = 10^{-kz}$$

$P_{atm} = P_0 * 10^{-kz}$

Derivando la ecuación anterior se obtiene:

$$\frac{dP_{atm}}{dz} = P_0 * 10^{-kz} * In(10) * -k$$

Reordenando la ecuación:

$$dP_{atm} = -kP_0 * In(10) * 10^{-kz}$$

Sustituyendo en la ecuación de la hidrostática se tiene:

$$-P_0k * In(10) * 10^{-kz}\ dz = \rho g dz$$

Despejando la densidad se obtiene lo que se pide. (También se resuelve con **MAPLE**)

$$\rho = \frac{P_0 k * \ln(10) * 10^{-kz}}{g} = \frac{101325\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} * 51.3857X10^{-6}\ \mathrm{m}^{-1} * \ln(10) * 10^{-51.3857x10^{-6}\ \mathrm{m}^{-1} * 1500\ \mathrm{m}}}{9.8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 1.0244\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$$

40. Un condensador trabaja a nivel del mar a 91 $\mathrm{kPa}_{vac.}$ El condensador se traslada a otro sitio, donde funciona a 68 $\mathrm{kPa}_{vac.}$ Si la presión absoluta a la que operase el condensador fuese la misma en ambos lugares, calcule la presión barométrica en el segundo sitio.

Solución:

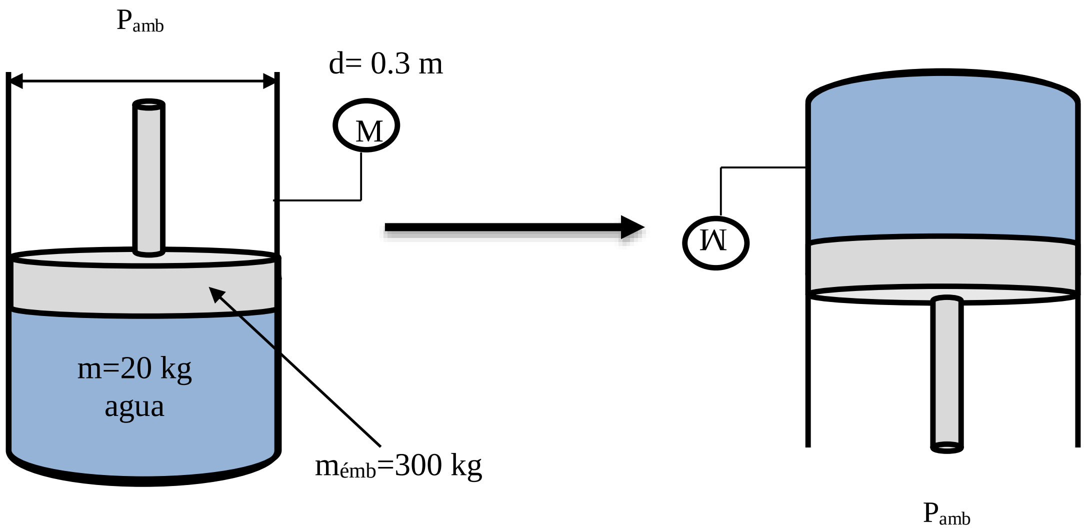
Como: $P_{abs} = P_{atm} – P_{vac}$

Entonces: $P_{atm1} – P_{vac1} = P_{atm2} – P_{vac2}$

Despejando la presión atmosférica del segundo sitio se resuelve el problema:

P_{atm2} = (10,1325 – 91,000+ 68,000) Pa = 78,325 Pa = 78.33 kPa.

41. El cilindro de 30 cm de diámetro contiene 20 kg de agua a 70 °C. El émbolo, carente de fricción, es de 300 kg. Calcule la lectura del aparato a cuando se alcance el equilibrio después de invertir el cilindro. El entorno está a 77.17 kPa, 9.78 m/s^2 y 20 °C. Tome para el agua el valor constante 1.023 cm^3/g.



Solución:

La suma de fuerzas en el émbolo es:

$$P_{amb}A - P_{\alpha}A - m_{émb} = 0$$

De donde:

$$P_{\alpha} = P_{amb} - \frac{m_{émb}}{A}$$

De la ecuación de la hidrostática:

$$P_{\alpha} = P_{\omega} + \rho g z$$

Siendo "z":

$$z = \frac{\frac{m_{agua}}{\rho}}{A} = \frac{m_{agua}}{A\rho}$$

Sustituyendo z:

$$P_{\alpha} - \rho g \left(\frac{m_{agua}}{A\rho}\right) = P_{\alpha} - \left(\frac{g * m_{agua}}{A}\right) = P_{\alpha}$$

Tomando en cuenta la expresión anterior se obtiene**:**

$$P_{\alpha} = P_{atm} - \left(\frac{m_{agua}}{A}\right) - \left(\frac{g * m_{agua}}{A}\right)$$

Para el medidor de presión:

$$P_a = P_\omega - P_{amb}$$

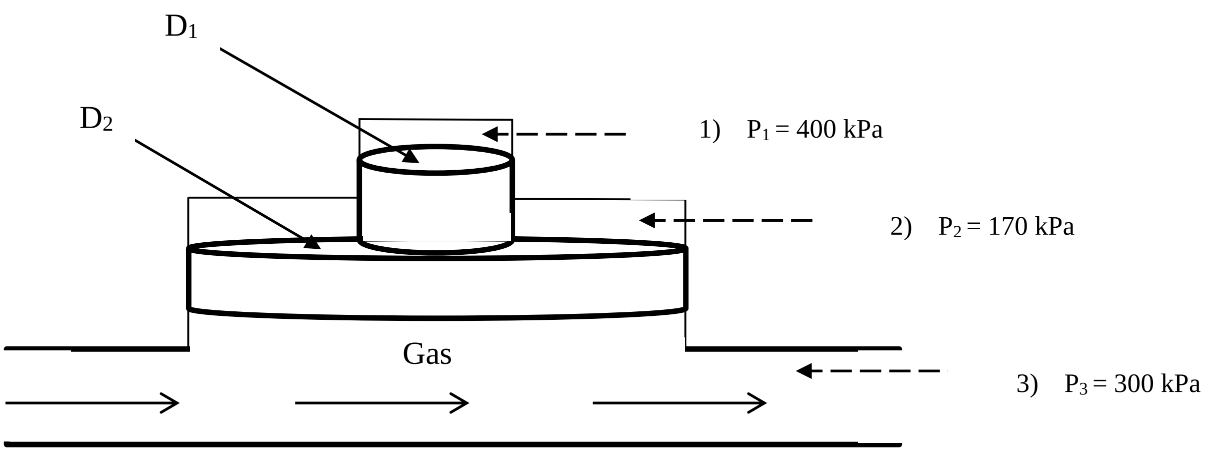
Sustituyendo la ecuación anterior para P_ω se obtiene:

$$P_a = P_{amb} - \left(\frac{g * m_{émb}}{A}\right) - \left(\frac{g * m_{agua}}{A}\right) - P_{amb}$$

$$P_a = \frac{-g(m_{émb} + m_{agua})}{A}$$

$$P_a = \frac{-9.78\,\frac{m}{s^2}(300+20)kg}{0.0707\ m^2} = -44.266\ kPa$$ (es un vacuómetro)

42. El pistón que se ve en la siguiente figura se sostiene en equilibrio por la presión del gas que fluye a través del tubo. El pistón tiene una masa de 60 kg; P_1 = 400 kPa; P_2 = 170 kPa; P_3 = 300 kPa; (D_2/D_1) = 1.5 y g = 9.78 m/s^2. Calcule los diámetros D_1 y D_2 en cm.



Solución:

El balance de fuerzas sobre el pistón sería:

$F_1 + F_2 + (m_p g) = F_3$

Sustituyendo las presiones se tiene:

$$(P_1 A_1) + (P_2 A_{12}) + (m_p\ g) = P_3 A_2$$

Como:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_{12} = A_2 - A_1$$

Entonces:

$$\frac{400,000\ \text{Pa} * \pi D_1^2\ \text{m}^2}{4} + 170,000\ \text{Pa} * \left(\frac{\pi D_2^2}{4} - \frac{\pi D_1^2}{4}\right)\text{m}^2 + 60\ \text{kg} * 9.78\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 300,000\ \text{Pa} * \frac{\pi D_2^2\ \text{m}^2}{4}$$

Multiplicando por 4, dividiendo entre D_1^2 y π, utilizando el hecho que $D_2 / D_1 = 1.5$ la ecuación anterior se reduce a:

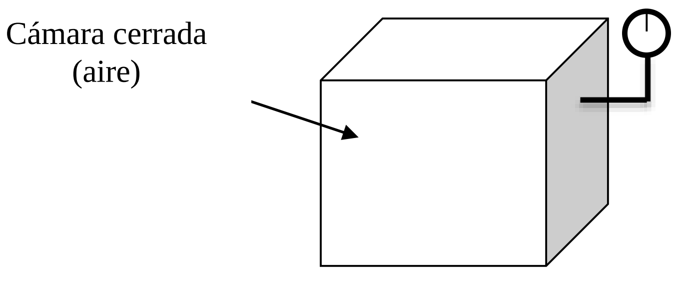
$$400{,}000\ Pa + 212{,}500\ Pa + \left(\frac{747.14\ N}{D_1^2\ m^2}\right) = 675\ kPa$$

De donde:

$D_1 = 0.1093$ m

$D_2 = 0.164$ m

43. El aire en una cámara cerrada tiene una presión absoluta de 80 kPa. La presión de la atmósfera es equivalente a 750 mmHg. La densidad del mercurio es 13.59 g/cm^3 y la aceleración de la gravedad es 9.78 m/s^2. Determine la presión que indica el medidor, en bares.



Solución:

$$P_{atm} = \rho g h$$

$$P_{atm} = 13590 \frac{kg}{m^3} * 9.78 \frac{m}{s^2} * 0.75\ mHg = 99{,}682.65 \approx 100\ kPa$$

Como $P_{abs} < P_{atm}$, el medidor es un vacuómetro, y entonces:

$P_{vac} = (100 - 80)kPa = 20\ kPa = 0.2\ bar$

44. Calcule la presión atmosférica en kPa a una altura sobre el nivel del mar de 6,000 m partiendo de la ecuación de la hidrostática y suponiendo que $\rho = P_{atm}/RT$ y $T = a - bz$. Tome los siguientes valores: R= 0.287 kJ/kg*K, a= 288.15 K, b= 6.5 K/km y g = 9.8 m/s^2. Para fines de comparación se sabe que a esa altura, y considerando una atmósfera isotérmica de 288.15 K, la P_{atm} es 49.71 kPa.

Solución:

Sustituyendo la expresión para T en la ecuación de la densidad:

$$\rho = \frac{P_{atm}}{RT}$$

$$T = a - bz$$

$$\rho = \frac{P_{atm}}{R(a - bz)}$$

Mientras que la ecuación de la hidrostática es:

$$\frac{P_{atm}}{\rho} = -gdz$$

$$dP_{atm} = -\rho g dz$$

Se obtiene:

$$dP_{atm} = \frac{-P_{atm} * gdz}{[R(a - bz)]}$$

Separando variables e integrando se obtiene:

$$\frac{dP_{atm}}{P_{atm}} = -\frac{g}{R}\frac{dz}{(a - bz)}$$

$$\ln\frac{P_{atm,z}}{P_{atm,z_0}} = \frac{g}{Rb}\ln\left(\frac{a - bz}{a - bz_0}\right)$$

$$P_{atm,z} = P_{atm,z_0}\left(\frac{a - bz}{a - bz_0}\right)^{\frac{g}{Rb}}$$

Sustituyendo los datos siguientes, se resuelve el problema:

$$R = 287\frac{J}{kg * K}$$

$1\ km = 1000\ m$
$P_{atm,Z_0} = 101.325\ kPa$
$Cuando\ Z_0 = 0$

$$P_{atm,z} = 101.325\ \mathrm{kPa} * \left(\frac{288.15\ \mathrm{K} - 6.5\ \frac{\mathrm{K}}{\mathrm{km}} * z}{288.15\ \mathrm{K}} \right)^{\frac{9.8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{6.5\ \frac{\mathrm{K}}{\mathrm{km}} * 287\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\ K}} * \frac{1\ \mathrm{km}}{1000\ \mathrm{m}}}}$$

$$P_{atm,Z} = 101.325\ \mathrm{kPa} * \left(\frac{288.15\ \mathrm{K} - 6.5\ \frac{\mathrm{K}}{\mathrm{km}} * z}{288.15\ \mathrm{K}} \right)^{5.2533}$$

Entonces:

z = 6 km → P_{atm} = 47.20 kPa.

45. Una masa de 1 kg de gas está contenida en un cilindro con un pistón. El gas se comprime desde 2 bares y 0.01197 g/cm^3 hasta 10 bares y 0.04643 g/cm^3. Durante el proceso se cumple la relación $P\nu^n$ = constante, con P en kPa y ν en m^3/kg. Calcule el valor de n.

Solución:
De la relación $P\nu^n$ se sabe que:

$$P_1 \nu_1{}^n = P_2 \nu_2{}^n$$

Como:
$\nu = \frac{1}{\rho}$

$$P_1 \left(\frac{1}{\rho_1}\right)^n = P_2 \left(\frac{1}{\rho_2}\right)^n$$

Entonces se tendría:

$$P_1 \rho_2{}^n = P_2 \rho_1{}^n$$

Aplicando logaritmos de los ambos lados se tiene:

$$\mathrm{In}(P_1 \rho_2{}^n) = \mathrm{In}(P_2 \rho_1{}^n)$$

$$In(P_1) + In(\rho_2{}^n) = In(P_2) + In(\rho_1{}^n)$$

$$In(P_1) - In(P_2) = In(\rho_1{}^n) - In(\rho_2{}^n)$$

$$\frac{In(P_1)}{In(P_2)} = \frac{In({\rho_1}^n)}{In({\rho_2}^n)}$$

$$\frac{In(P_1)}{In(P_2)} = In\ \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^n$$

$$\frac{In(P_1)}{In(P_2)} = n * In\ \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)$$

$$n = \frac{In\ \left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{In\ \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}$$

Sustituyendo los datos se determina lo pedido:

$$n = \frac{In\ \left(\frac{2\ bares}{10\ bares}\right)}{In\ \left(\frac{0.01197\ \frac{g}{cm^3}}{0.04643\ \frac{g}{cm^3}}\right)} = 1.1873$$

46. A partir de los datos siguientes $dP_{atm} = -\rho g dz$; $\rho = P_{atm} / RT$; T = 280.15 K; g = a - bz; a = 9.8 m/s^2 y b = 3.32 X 10^{-6} 1/s^2, calcule la altura *z* a la que la P_{atm} es 30% de la P_{atm} a nivel del mar.

Solución:

Sustituyendo ρ y g en la ecuación de la hidrostática se obtiene:

$$dP_{atm} = -\rho g\ dz$$

$$dP_{atm} = -\frac{P_{atm}}{RT}(a - bz)dz$$

Reordenando la ecuación:

$$dP_{atm} = -\frac{P_{atm}\ (a - bz)}{RT}\ dz$$

Separando variables e integrando se obtiene

$$\int_{P_{atm,z_0}}^{P_{atm,z}} \frac{dP_{atm}}{P_{atm}} = -\frac{1}{RT}\int_{z_0}^{z_1}(a-bz)\,dz$$

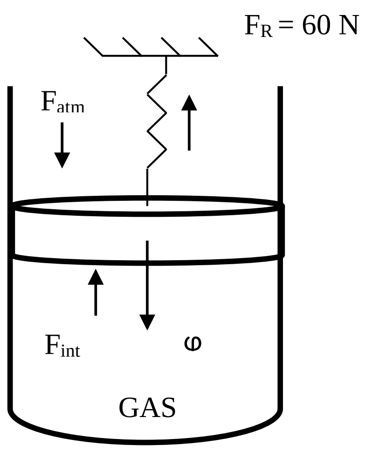
$$\ln\left(\frac{P_{atm,z_1}}{P_{atm,z_0}}\right) = -\frac{1}{RT}\left[a(z_1-z_0) - \frac{b}{2}\left(z_1^{\,2}-z_0^{\,2}\right)\right]$$

Sustituyendo el valor de R = 287 J/kg*K y utilizando que a $z_0 = 0$, $P_{atm} = P_{atm,Zo}$, se tendría:

$$\ln\left(\frac{0.3*P_{atm,z_0}}{P_{atm,z_0}}\right) = -\frac{9.8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{287\,\frac{\text{J}}{\text{kg K}}*280.15\,\text{K}}*z_1 + \frac{3.32X10^{-6}\,\frac{1}{\text{s}^2}}{2*287\,\frac{\text{J}}{\text{kg K}}*280.15\,\text{K}}*z_1^{\,2}$$

Resolviendo la ecuación cuadrática se obtiene, z_1 = 9,885 m.

47. Un gas está contenido en un dispositivo de cilindro-émbolo vertical sin fricción. El émbolo tiene una masa de 4 kg y un área de sección transversal de 35 cm^2. Un resorte comprimido ejerce sobre el émbolo una fuerza de 60 N. Si la presión atmosférica es 95 kPa y g = 9.807 m/s^2, determine la presión dentro del cilindro.



Solución:

El balance de fuerzas en el émbolo es:

$$F_{int} = \varphi + F_{atm} + F_R$$

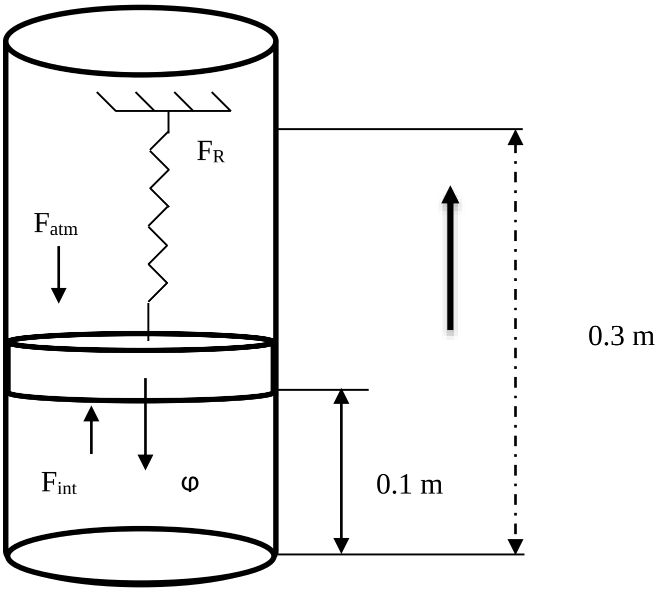
Sustituyendo la presión se convierte en:

$P_{int}A = mg + P_{atm}A + F_R$

Despejando la presión dentro del cilindro se obtiene:

$$P_{int} = P_{atm} + \frac{[mg + F_R]}{A} = 95000\ Pa + \frac{\left[4\ kg * 9.807\,\frac{m}{s^2}\right] + 60\ N}{\frac{35\ cm^2 * 1\ m^2}{10{,}000\ cm^2}} = 123.35\ kPa$$

48. Una masa de 0.7 kg de un fluido se encuentra en un cilindro-pistón que tiene un diámetro de 0.3 m. La cara inferior del pistón se localiza a 0.1 m del fondo del cilindro. El pistón está afectado por un resorte que tiene una constante de 100 kN/m. El fluido se expande de tal forma que al final la cara inferior del pistón se localiza a 0.3 m del fondo del cilindro. Tome g = 9.78 m/s^2, P_{atm} = 78 kPa y una temperatura constante de 20 °C. Calcule la diferencia de densidades del fluido (ρ_2 - ρ_1), en kg/m^3, ocasionada por el proceso de expansión.



Solución:

La diferencia pedida es:

$$\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1 = \left(\frac{m}{V_2}\right) - \left(\frac{m}{V_1}\right)$$

$$\Delta\rho = m\left[\left(\frac{1}{V_2}\right) - \left(\frac{1}{V_1}\right)\right] = m\ [\left(\frac{1}{\pi r^2 h_2}\right) - \left(\frac{1}{\pi r^2 h_1}\right)]$$

$$\Delta\rho = \left(\frac{m}{\pi r^2}\right)\left[\left(\frac{1}{h_2}\right) - \left(\frac{1}{h_1}\right)\right]$$

$$\Delta\rho = \left[\frac{0.7\ kg}{\pi(0.15\ m)^2}\right] * \left[\left(\frac{1}{0.3\ m}\right) - \left(\frac{1}{0.1\ m}\right)\right] = -66.0198\,\frac{kg}{m^3}$$

49. Calcule la diferencia de presiones del fluido (P_2 – P_1), en (kPa) ocasionada por el proceso de expansión del problema 41.

Solución:

Se sabe que:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P_\omega = \frac{mg}{A}$$

De la Ley de Hooke se sabe que:

$$F_R = K * x$$

Sustituyendo en la ecuación de la presión:

$$P_R = \frac{F}{A} = \frac{k * x}{A}$$

$$x = h$$

$$\therefore P_R = \frac{k_R h}{A}$$

La diferencia pedida es:

$$\Delta\rho = \ [P_w + P_{atm} + P_{R2}] - [P_w + P_{atm} + P_{R1}]$$

$$\Delta\rho = P_2 - P_1 = \left[\left(\frac{mg}{A}\right) + P_{atm} + \left(\frac{k_R h_2}{A}\right)\right] - \left[\left(\frac{mg}{A}\right) + P_{atm} + \left(\frac{k_R h_1}{A}\right)\right]$$

$$\Delta\rho = \frac{k_R(h_2 - h_1)}{A}$$

$$\Delta\rho = \frac{100\frac{kN}{m} * (0.3 - 0.1)m}{\pi * \left(\frac{0.3}{2}m\right)^2} = 282.94\ kPa$$

50. Un cilindro con un pistón se adapta a un manómetro en U. Para los datos del dibujo calcule la altura L del fluido manométrico.

Solución:

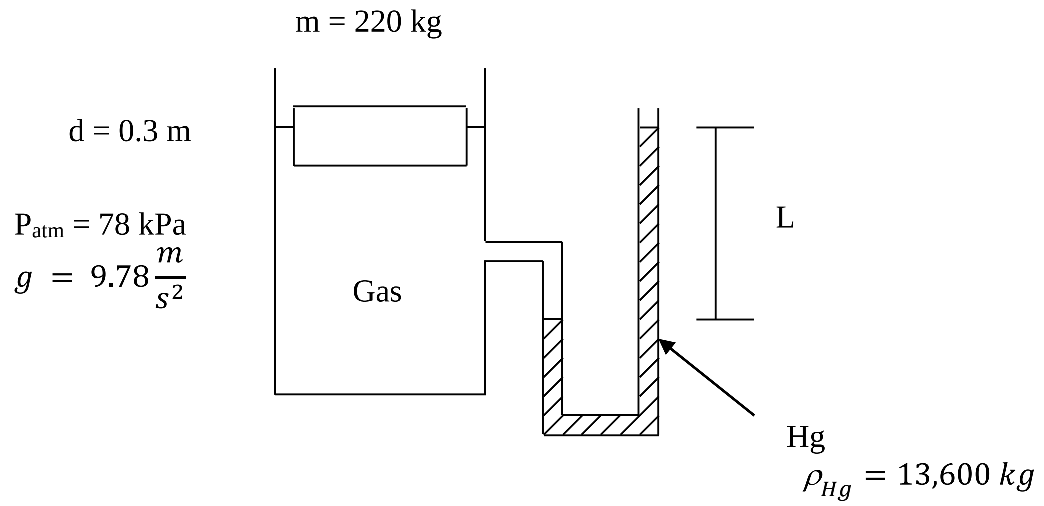
Analizando la figura se observa que la presión del manómetro indicada por la altura L del mercurio es ejercida por el peso del émbolo:

$$P_{émb} = \rho * g * z$$

$$\frac{mg}{A_{émb}} = \rho_{Hg} * g * L$$

Despejando la altura pedida se obtiene:

$$L = \frac{m}{\rho_{Hg} * A_{émb}} = \frac{220\ kg}{\left[13{,}600\frac{kg}{m3} * \pi * \left(\frac{0.3}{2}m\right)^2\right]} = 0.229\ m$$



51. Partiendo de la ecuación de la hidrostática, $dP_{atm} = -\rho g dz$, calcule la presión atmosférica en el Mar Muerto, que se localiza a 400 m por debajo del nivel del mar. Considere $\rho = 1.25\ kg/m^3$, $g = 9.81\ m/s^2$ y $P_{atm} = 101.325$ kPa a nivel del mar.

Solución:

Integrando la ecuación de la hidrostática con ρ y g como constantes, se obtiene

$$\int_{P_{atm,z_0}}^{P_{atm,z_1}} dP_{atm} = -\rho g \int_{z_0}^{z} dz$$

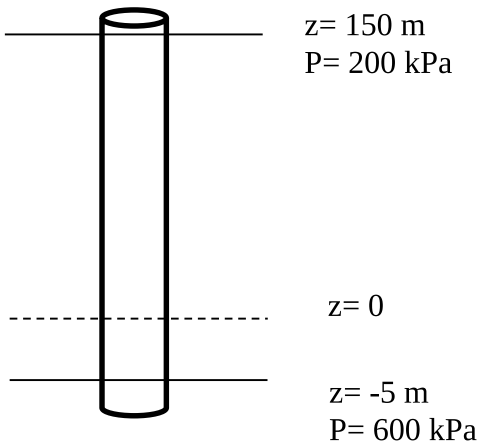
$$P_{atm,z_1} - P_{atm,z_0} = -\rho g\left(z_1 - z_0\right)$$

$$P_{atm,z_1} = P_{atm,z_0} - \rho g\left(z_1 - z_0\right)$$

Utilizando la condición de que a $z_0 = 0$, $P_{atm,Zo} = 101.325$ kPa, se obtiene:

$$P_{atm,z_1} = 101.325\ \text{kPa} - \left[1.25\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \left(-400\ \text{m}\right) * \frac{1\ \text{kPa}}{1{,}000\ \text{Pa}}\right] = 106.23\ \text{kPa}$$

52. La tubería de agua potable de un edificio alto tiene 600 kPa a 5 m por debajo del suelo. ¿Cuánta presión extra se proporciona para asegurar que la tubería de agua tenga 200 kPa a 150 m por encima del suelo? Considere: $g = 9.78\ m/s^2$, $P_{atm} = 78$ kPa y $\rho = 1000\ kg/m^3$.



Solución:

De la figura se visualiza que:

$$600\ kPa + P_{agr} = 200\ kPa + \rho g z$$

De donde:

$$P_{agr} = 200\ kPa - 600\ kPa + \left[\left(1{,}000\frac{kg}{m^3} * 9.78\frac{m}{s^2} * 155m\right) * \left(\frac{1\ kPa}{1{,}000\ Pa}\right)\right]$$

$$P_{agr} = 1115.9\ kPa$$

53. Una cámara de condensación trabaja a una presión de vacío de 70 kPa en el D.F. [P_{atm} = 78 kPa]. La cámara se cambia a un lugar que está a 4200 m sobre el nivel del mar y debe

operar a la misma presión absoluta; se le pide que calcule la nueva presión de vacío. Considere que la atmósfera es isotérmica a 15 °C y que R = 287 Nm/kgK y g = 9.81 m/s^2.

Solución:

En el D.F se tiene:

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{vac} = (78 - 70)\ kPa = 8\ kPa$$

A 4,200 m de altura se tiene:

$$P_{abs} = P_{atm,z} - P_{vac} = 8\ kPa$$

De donde:

$$P_{vac} = P_{atm,z} - 8\ kPa$$

Para una atmósfera isotérmica $\int_{P_{atm,z_0}}^{P_{atm,z}} dP_{atm} = -\frac{P_{atm}g}{RT}dz.$

Separando variables, integrando y utilizando la condición de: $z_0 = 0$; $P_{atm,zo} = 101.325$ kPa se obtiene:

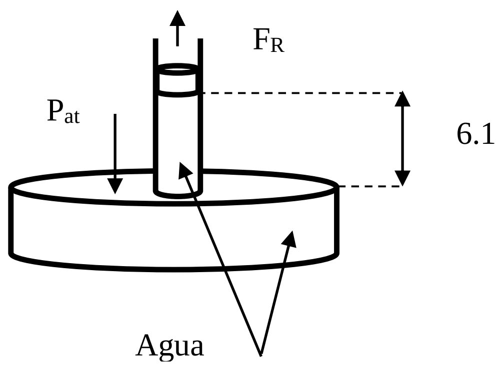
$$P_{atm,z} = P_{atm,z_0} * e^{-\frac{gz}{RT}}$$

$$P_{atm,z} = 101.325\ kPa * e^{-\frac{\left(9.81\frac{m}{s^2}\right)(4200m)}{\left(287\frac{Nm}{kg\cdot K}\right)(288\ K)}}$$

$$P_{atm,z} = 61.55047\ kPa$$

$$\therefore\ P_{atm,z} = 61.55047\ kPa - 8\ kPa = 53.55047\ kPa$$

54. Un émbolo de 50 kg se coloca en el interior de un tubo vertical de 20 cm de diámetro, que a su vez tiene su extremo inferior sumergido en agua. El émbolo es jalado y subido hasta una altura de 6.1 m. Calcule la fuerza requerida para mantener el émbolo a esa altura. Tome g = 9.45 m/s^2 y P_{atm} = 100 kPa.



Solución:

La suma de fuerzas en el émbolo es:

$$F_{int} + F_R = F_{atm} + \varphi$$

Introduciendo la definición de la presión se tiene la siguiente expresión:

$$P = \frac{F}{A} \quad \rightarrow \quad F = P * A$$

$$P_{int}A + F_R = P_{atm}A + mg$$

Despejando la fuerza resultante se tiene:

$$F_R = (P_{atm} - P_{int})A + mg$$

De la figura se deduce que:

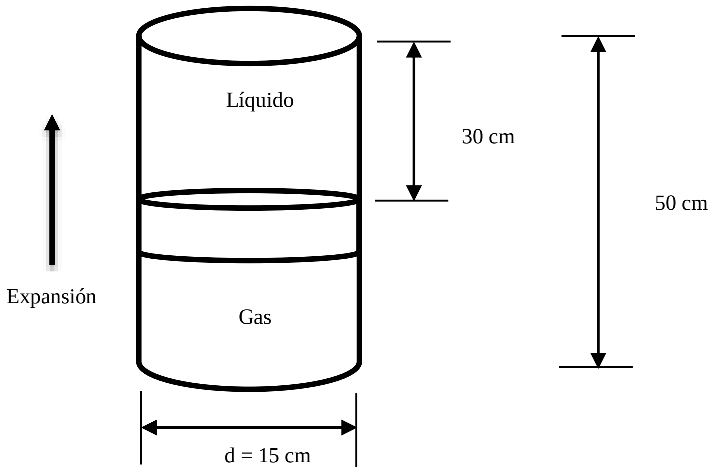
$$P_{int} = P_{atm} - \rho g z$$

Por lo que la última ecuación se convierte en:

$$F_R = \rho g z + mg$$

$$F_R = 9.45\frac{m}{s^2} * \left\{\left[1{,}000\frac{kg}{m^3} * 6.1\ m * \pi * \frac{(0.2\ m)^2}{4}\right] + 50\ kg\right\} = 2283.747\ N$$

55. Un ensamble cilindro pistón contiene un gas encerrado por el pistón. Por encima del pistón hay un líquido de δ = 1.2 con una altura de 30 cm, llenando completamente el cilindro. El gas se expande por lo que el líquido rebosa por las paredes. Sí en el proceso la ΔP es de – 1800 Pa, calcule la masa del líquido derramado.



Solución:

Se conoce como dato:

$\Delta P = P_2 - P_1$

Como:

$$P_1 = P_{atm} + \rho g z_1 + \frac{mg}{A}$$

$$P_2 = P_{atm} + \rho g z_{25} + \frac{mg}{A}$$

Entonces se simplifica a la siguiente expresión:
$\Delta P = \rho g(z_2 - z_1) = \ -1{,}800\ Pa$

Despejando la altura z_2 se obtiene:

$$z_2 = -\frac{\Delta P}{\rho g} + z_1$$

$$z_2 = 0.3\ m - \left[\frac{1800\ Pa}{\left(1.2 * 1{,}000\frac{kg}{m^3} * 9.81\frac{m}{s^2}\right)}\right] = 0.147\ cm$$

Entonces el líquido derramado es:

$$m_{derr} = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)(z_1 - z_2)\rho$$

$$m_{derr} = \left[\pi * \frac{(0.15\ m)^2}{4}\right] * \left(0.153\ m * 1.2 * 1000\frac{kg}{m^3}\right) = \ 3.244\ kg$$

56. En aplicaciones aeronáuticas se consideran las presiones atmosféricas de 61.7 kPa y 57.8 kPa a alturas sobre el nivel del mar de 4000 m y 4500 m, respectivamente. Calcule la altura a la cual la presión atmosférica es de 60 kPa, utilizando el modelo $P_{atm} = a(10^{-bz})$, donde a y b son constantes por determinar y z es la altura.

Solución:

Utilizando el par de datos se forma un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$61.7\ kPa = a(10^{-4b})$; $57.8\ kPa = a(10^{-4.5b})$

Resolviendo se obtiene:

$b = 0.0566\ km^{-1}$; $a = 103.82\ kPa$

La ecuación del modelo sería:

$$P_{atm} = 103.82\ kPa * \left(10^{-0.0566\frac{1}{km}*z}\right)$$

Despejando z:

$$\frac{P_{atm}}{a} = 10^{-bz}$$

$$In\left(\frac{P_{atm}}{a}\right) = In(10^{-bz})$$

$$In\left(\frac{P_{atm}}{a}\right) = -bz * In(10)$$

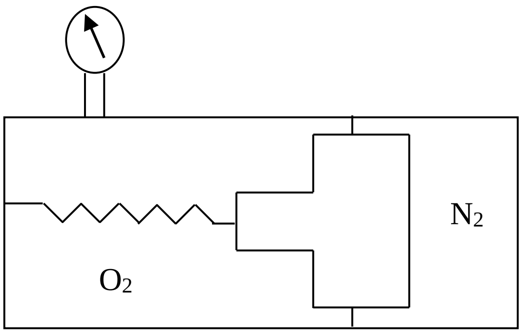
$$\frac{In\left(\frac{P_{atm}}{a}\right)}{In(10)(-b)} = z$$

Para:

$$P_{atm} = 60kPa$$

$$z = 4.20724\ km$$

57. El resorte de la figura se describe mediante la ley de Hooke [k_R = 1 MN/m] y su longitud natural es 1 m. En el lado izquierdo hay 100 g de O_2 y 500 g de N_2 a 400°C en 2 m^3. En el lado derecho hay una sustancia compresible en 3 m^3 y en equilibrio termodinámico con los gases. En el dibujo se ve el resorte cuando mide 84.3 cm. El aparato de Bourdon indica 18.452 kPa,vac. El émbolo es diatérmico y sin fricción y su diámetro interno es 1 m. El ambiente está a 77.17 kPa, 22 °C y 9.78 m/s^2. Calcule la presión absoluta en el lado derecho.



Solución:

El balance de fuerzas sobre émbolo es:

$F_{der} = F_{izq} + F_R$

Se sabe que:
$P = \frac{F}{A}$

Introduciendo las presiones se tiene:

$P_{der}A = P_{izq}A + F_R$

despejando la presión de la derecha se tiene:
$P_{der} = P_{izq} + \frac{F_R}{A}$

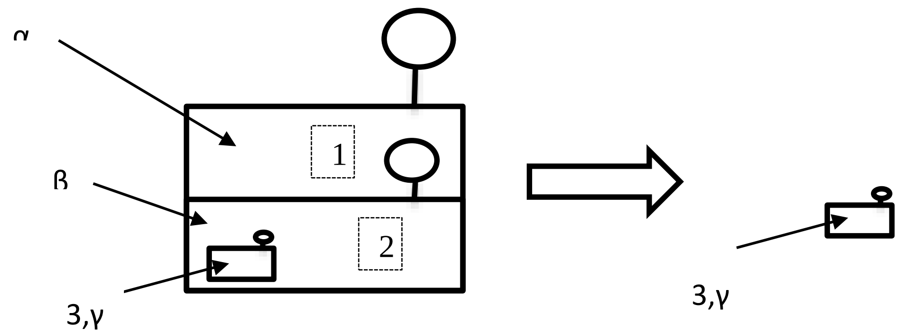
Sustituyendo términos se resuelve el problema:

$$P_{der} = P_{atm} - P_{Bou} + \left[\frac{k_R \Delta x}{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}\right]$$

$$P_{der} = 77.17\ kPa - 18.452\ kPa + \left\{\left[\frac{\left(\frac{1\ MN}{m}\right)(1 - 0.843)m}{\frac{\pi(1)^2}{4}}\right] * \left(\frac{1{,}000\ kPa}{1\ MPa}\right)\right\}$$

$$P_{der} = 258.617\ kPa$$

58. La lectura del manómetro (1) es 422 kPa, la del vacuómetro (2) es 320 kPa y la del vacuómetro (3) es 90 kPa. ¿Cuál será la lectura del aparato 3 cuando se sitúe en el ambiente?



Solución:

En α:
$P_{\alpha,abs} = P_1 + P_{atm}$

en β:
$P_{\beta,abs} = P_2 + P_{\alpha,abs}$

en γ:
$P_{\gamma,abs} = P_3 + P_{\beta,abs}$

Combinando las ecuaciones:

$$P_{\gamma,abs} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{atm}$$

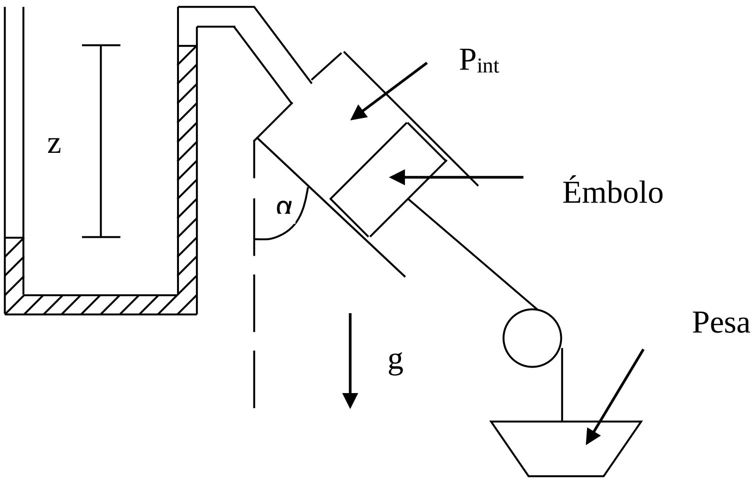
En el ambiente:

$$P_{\gamma,abs} = P_3{}' + P_{atm}$$

Entonces el aparato 3' tendrá la lectura de:

$$P_3{}' = P_1 + P_2 + P_3 = (422 - 320 - 90)kPa = 12\ kPa\ (es\ un\ manómetro)$$

59. Del ambiente se desconocen la aceleración gravitacional y la presión ambiental. Las masas de la pesa y del émbolo son 90 kg y 150 kg, respectivamente, $\delta = 2.4$, $\alpha = 18°$ y el diámetro del cilindro es 30 cm. Calcule z considerando que $\rho_{agua} = 998\ kg/m^3$.



Solución:

Para el émbolo en equilibrio mecánico:

$$P_{int}A + m_{émb}(Cos\ \alpha)g + m_{pesa}g - P_{amb}A = 0$$

$$(P_{int} - P_{amb})A + \left(m_{émb}(Cos\ \alpha) + m_{pesa}\right)g = 0$$

Simplificando:

$$\frac{P_{amb} - P_{int}}{g} = \frac{\left[m_{émb}(Cos\ \alpha) + m_{pesa}\right]}{A}$$

Para el tubo en U:

$$P_{amb} = P_{int} + \delta\rho_{agua} g z$$

Simplificando:

$$\frac{P_{amb} - P_{int}}{g} = \delta\rho_{agua} z$$

Igualando las dos ecuaciones y despejando z, se obtiene:

$$\frac{\left[m_{émb}(Cos\ \alpha) + m_{pesa}\right]}{A} - \frac{P_{amb} - P_{int}}{g} = \delta\rho_{agua} z - \frac{P_{amb} - P_{int}}{g}$$

$$\frac{\left[m_{émb}(Cos\ \alpha) + m_{pesa}\right]}{A} = \delta\rho_{agua} z$$

$$z = \frac{\left[m_{émb}(Cos\ \alpha) + m_{pesa}\right]}{A\delta\rho_{agua}}$$

$$z = \frac{[150\ kg * (Cos\ 18°) + 90\ kg]}{\pi * \left(\frac{0.3}{2} m\right)^2 * 2.4 * 998 \frac{kg}{m^3}}$$

$$z = 1.3741\ m$$

60. Un buzo desciende una profundidad z en el mar y encuentra un tanque de oxígeno con un manómetro cuya lectura es de 90 kPa. El buzo realiza cálculos mentalmente y determina que la presión absoluta del gas en el tanque es de 8 bares y con esto también conoce que la profundidad z en m, es de:

a) 70.95
b) 69.82
c) 61.02
d) 50.83
e) Ninguna de las anteriores

El buzo considera que la densidad del agua de mar es 1020(kg/m^3).

Solución:

La presión absoluta es:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm,z=0} + P_z$$

A nivel del mar:

$P_{atm,z=0} = 101{,}325\ Pa$

Y a la profundidad z:

$$P_z = \rho g z$$
$$P_z = 1{,}020\,\frac{kg}{m^3}\left(9.81\,\frac{m}{s^2}\right)(z)$$
$$P_z = 10{,}006.2 * z$$

Entonces se tiene:
$$P_{tanque} = P_{man} + P_{atm} + P_z$$

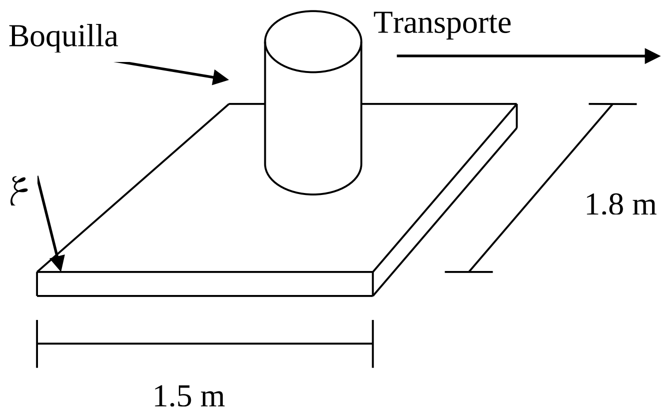
$$8\ bares = 800{,}000\ Pa = (90{,}000 + 101{,}325 + 10{,}006.2 * z)\ Pa$$

De donde:

$$z = \frac{800{,}000\ Pa - 90{,}000\ Pa - 101{,}325\ Pa}{10{,}006.2\ Pa}$$
$$z = 60.83\ m$$

La respuesta correcta es la **(e)**.
61. Se tienen láminas de un material diamagnético de 4.8 kg/L y de 1.8 m por 1.5 m. Para transportar las láminas se cuenta con un sistema neumático con el que se alcanzan 60 kPa de vacío. La boquilla del aparato, de 40 cm de diámetro, se coloca en el centro geométrico de cada lámina. Sí las condiciones ambientales fuesen 9.78 m/s^2, 78 kPa y 23 °C, ¿cuál es el espesor máximo de las láminas que puede transportar el aparato neumático?

Solución:



El balance de fuerzas en la boca de la boquilla es:

$$F_{boq} = F_{lám} + F_{atm}$$

ó

$P_{boq}A_{boq} = m_{lám}g + P_{atm}A_{boq}$

La presión en la boquilla es:

$P_{boq} = P_{atm} - P_{vac}$

y la masa de la lámina es:

$m_{lám} = \rho_{lám}V_{lám}$

$m_{lám} = \rho_{lám}LW\xi$

En donde:
L- largo
W-ancho
ξ -espesor

Sustituyendo términos se obtiene:

$(P_{atm} - P_{vac} - P_{atm})\ A_{boq} = \rho_{lám}\ LW\xi g$

Despejando el espesor pedido se obtiene:

$$\xi = \frac{-P_{vac}A_{boq}}{\rho_{lám}LW\xi}$$

$$\xi = \frac{-(-60{,}000\ Pa * \pi * (0.2\ m)^2)}{\left[4.8\frac{kg}{L} * \left(1{,}000\frac{L}{1\ m^3}\right) * 1.8\ m * 1.5\ m * 9.78\frac{m}{s^2}\right]}$$

$$\xi = \frac{7539.822\frac{kg\ m}{s^2}}{126748.8\ \frac{kg}{s^2}} = 0.0595\ m = 5.95\ cm$$

62. Un barómetro a nivel del mar indica 760 mmHg. La densidad relativa del agua de mar es 1.024. ¿A qué profundidad la presión será el doble que la presión atmosférica?

Solución:

A la profundidad z la presión es

$P_z = \rho_z * g * z + P_{atm}$

Como se requiere que:

$P_z = 2\ P_{atm}$

Entonces

$$z = \frac{P_{atm}}{\rho g}$$

$$z = \frac{760\ mmHg * \frac{101{,}325 Pa}{760\ mmHg}}{1{,}024 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

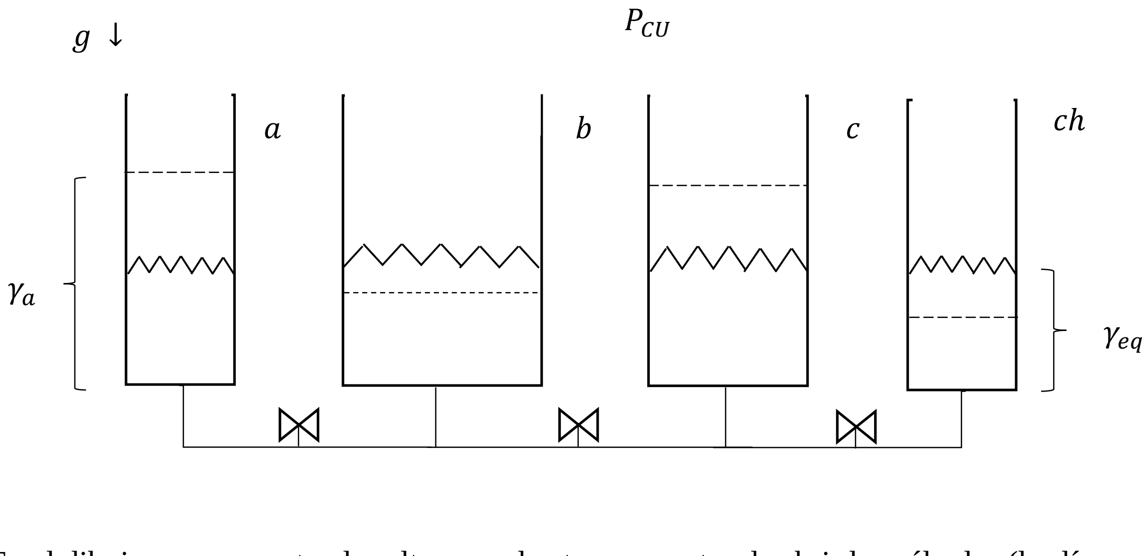
$$z = 10.118\ m$$

63. Se tienen cuatro tanques, de 5 m de altura, abiertos por la parte superior al entorno en la CU y conectados con las tuberías adecuadas; las válvulas están cerradas inicialmente. En cada tanque hay una cierta cantidad del mismo fluido ($\delta = 0.86$).

Tanque	Diámetro [m]	Altura inicial [m]
A	1.0	4.0
B	4.0	2.0
C	3.0	3.5
Ch	2.0	1.5

En un momento dado se abren las válvulas simultáneamente y el líquido fluye entre los tanques, hasta que se alcanza el equilibrio. Calcule la masa del fluido al final en el tanque Ch. Las condiciones en la CU son: 9.78 m/s^2, 78 kPa, 22 ºC.

Solución:



En el dibujo se representan las alturas en los tanques antes de abrir las válvulas (las líneas de puntos) y la altura que se alcanza luego de que se abren las válvulas, cuando se llega al equilibrio (las líneas quebradas).

Según la ecuación fundamental de la estática de los fluidos, el nivel de equilibrio en cada tanque ha de ser el mismo, γ_{eq}.

Si la cantidad de fluido en los tanques es constante en total, se llega a:

$$\gamma_{eq} = \frac{A_a\gamma_a + A_b\gamma_b + A_c\gamma_c + A_{ch}\gamma_{ch}}{A_a + A_b + A_c + A_{ch}}$$

El área de la sección transversal de cada tanque (j), es:

$$A_j = \frac{\pi D_j^2}{4}$$

La evaluación lleva al resultado:

$$\gamma_{eq} = 2.45\ cm$$

La masa final en el tanque Ch es:

$$m_{ch_{fin}} = \rho_{ua}\delta A_{ch}\gamma_{eq}$$

$$m_{ch_{fin}} = 6.61\ toneladas$$

Observe que la expresión para la altura de equilibrio es la de un promedio ponderado de las alturas iniciales.

Este resultado se debe a que:

- La altura final en cada tanque es la misma
- Lo que fluye entre los tanques se conserva

El fenómeno mecánico que acaba de analizarse es muy similar al fenómeno de la transmisión de calor sensible. La igualdad en la temperatura de equilibrio se expresa mediante la ley cero de la Termodinámica.

La conservación de lo que fluye (la energía térmica en este caso) se corresponde con el modelo de Joseph Black.

$$\{Q\}_j = m_j f_j (t_{eq} - t_{oj})$$

64. En el laboratorio de Termodinámica (en el edificio anexo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en CU) se hace el experimento de Torricelli. Una de las brigadas dice que la longitud del mercurio dentro del tubo de vidrio es 588,4 mm en un día en que el barómetro de cubeta indica 77.4 kPa.

a) Calcule el porcentaje de error de exactitud de la lectura de la columna de esta brigada. Considere los valores constantes 9,78 m/s^2, ρ_{mer} = 13 595,1 kg/m^3.
b) El profesor expresa sus sospechas de que la brigada no mantuvo al tubo verticalmente durante la práctica. Calcule el ángulo de inclinación del tubo, con respecto de la vertical.

Solución:

a) La altura barométrica es:

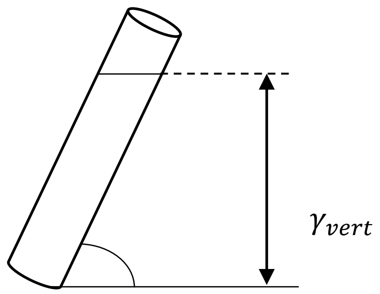
$$l_{baro} = \frac{P_{cu}}{g_{cu} * \rho_{Hg}} = 582.1296\ mm$$

Si la lectura de la brigada es 588.4 mm, el % del error de exactitud sería:

$$\%\ E_{ex} = \frac{l_{baro} - l_{exp}}{l_{baro}} * 100 = 1.1\%$$

Si el profesor suspicaz tuviese razón:

$$588.4\ mm = \lambda$$



El valor de la presión en dos puntos dentro de un fluido en reposo depende exclusivamente del desnivel vertical entre los puntos.

$$Sen(\alpha) = \frac{\gamma_{vert}}{\lambda}$$

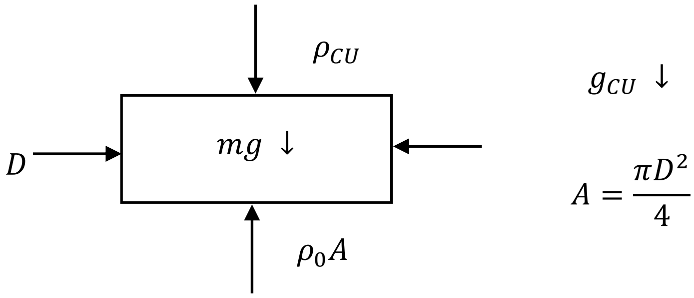
$$\gamma_{vert} = 582.1296\ mm$$

$$\therefore\ \alpha = 81.63°$$

65. Un cilindro vertical, de 400 mm de diámetro, se cierra mediante un émbolo capaz de moverse sin fricción. En el cilindro se encuentra una masa constante de un fluido compresible y simple. La cara superior del émbolo está en contacto con el entorno en la CU. Si el fluido, inicialmente a 300 kPa y con el émbolo a 400 mm por encima del fondo, sufre una interacción térmica que le disminuye el volumen a un octavo de su valor inicial, determine qué clase de proceso casi estático se describe.

Solución:

En el estado de equilibrio inicial, la suma de las fuerzas que actúan en el émbolo es nula.



$$P_0 = \frac{mg}{A} + P_{CU}$$

En un estado cualquiera a lo largo del proceso casiestático he de cumplirse el mismo requisito.

Si al fenómeno lo desencadena una interacción térmica se tendrán las mismas influencias mecánicas que en el estado de equilibrio inicial, por lo que en cualquier estado (de equilibrio) intermedio la presión P será:

$$P = \frac{mg}{A} + P_{CU}$$

El proceso es casi estático e isobárico.

66. Una sustancia compresible experimenta un proceso casi estático y politrópico, durante el cual se miden las propiedades con un aparato indicador, como los que empleaba James Watt en sus máquinas de vapor:

V[$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$]	356.9	559.2	899.7	1,477	1,907
P[kPa]	500	300	175	100	75

Determine el valor del volumen específico del fluido cuando está a 150 kPa.

Solución:

Se propone el modelo matemático:

$$Pv^n = constante$$

Linealice mediante le cambio de variables:

$$In(P) = -n\ In(v) + c$$

Mediante el método del mínimo de la suma de los cuadrados resulta:

$$In(P) = -1.131954\ In(v) + 12.8661$$

Entonces, cuando se tienen 150 kPa:

$$\frac{In(150\ kPa) - 12.8661}{-1.131954} = In(v_{deseado})$$

$$1{,}032.499\,\frac{cm^3}{g} = v|_{150\ kPa}$$

67. La densidad de un fluido se modela en función de la temperatura, t, en ºC, según:

$$\rho = \rho_{\mathrm{ref}}(1 - \alpha t - \beta t^2)$$

En donde:

ρ_{ref} es la densidad del fluido a 0 ºC

$\alpha = 3{,}5 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{ºC}\right)$

$\beta = 62{,}0 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{ºC^2}\right)$

Transforme este modelo para que funcione con la temperatura en ºF. Tome en cuenta que ρ_{ref} debe ser la densidad a 32 ºF en el modelo modificado.

Solución:

El modelo está en función de la temperatura empírica en °C:

$$\rho = \rho_{\mathrm{ref}}(1 - \alpha t - \beta t^2)$$

En donde:

$\alpha = 3.5 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{°C}\right)$

$\beta = 62.0 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{°C^2}\right)$

La conexión entre las escalas de Celsio (t) y de Frenheit (ϑ) es:

$$t = \frac{\vartheta(°\mathcal{F}) - a}{b}$$

Donde:

$c = 32\ °\gamma$

$b = 1.8\,\frac{°\mathcal{F}}{°C}$

Entonces:

$$1-\alpha t-\beta t^2=1+\alpha c-\frac{\beta}{b^2}c^2-\left(\frac{\alpha}{b}-\frac{2c\beta}{b^2}\right)\vartheta-\left(\frac{\beta}{b^2}\right)\vartheta^2$$

Al sustituir los valores de las constantes resulta:

$$1-\alpha t-\beta t^2=1.04263-719.7531\,X10^{-6}\left(\frac{1}{°\gamma}\right)\vartheta-19.1358X10^{-6}\left(\frac{1}{°\gamma^2}\right)\vartheta^2$$

Es decir:

$$\rho=\rho_{ref}(A-B\vartheta-C\vartheta^2)$$

$$\rho=\rho_{ref}\left(1.04263-719.7531X10^{-6}\left(\frac{1}{°\gamma}\right)\vartheta-19.1358X10^{-6}\left(\frac{1}{°\gamma^2}\right)\vartheta^2\right)$$

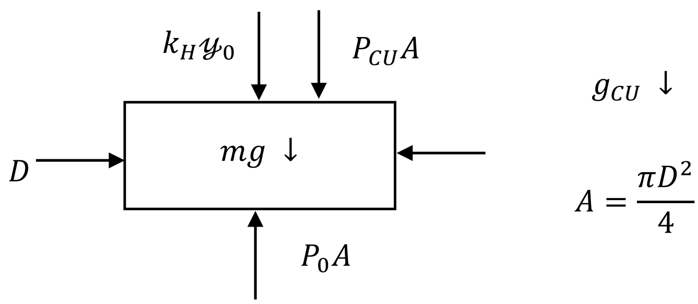
Se confirma que cuando:

$\vartheta=32\ °\gamma$, el valor del paréntesis es la unidad.

68. Una masa constante de una sustancia compresible y simple está en un cilindro vertical, de 400 mm de diámetro, que se cierra con un émbolo capaz de moverse sin fricción. La cara superior del émbolo se resiste mediante el entorno en la CU y un resorte de Hooke. Mediante una interacción térmica se logra que el émbolo se desplace 90 mm hacia arriba, por lo que el fluido pasa de 500 kPa a 950 kPa. Modele a este proceso casi estático.

Solución:

En el estado de equilibrio inicial, la suma de las fuerzas que actúan en el émbolo es nula.



$$P_0=\frac{mg}{A}+P_{CU}+\frac{k_H}{A}\mathscr{y}_0$$

En un estado cualquiera a lo largo del proceso casiestático ha de cumplirse el mismo requisito.

El volumen del fluido pasa del valor inicial, $\forall_0$, al valor presente, $\forall$

$$P_0 = \frac{mg}{A} + P_{CU} + \frac{k_H}{A} y$$

El cambio en la deformación del resorte, $\ell - \ell_0$, se corresponde con el cambio del volumen del fluido.

$$A(\ell - \ell_0) = \forall - \forall_0$$

$$A(y - y_0) = \forall - \forall_0$$

Entonces:

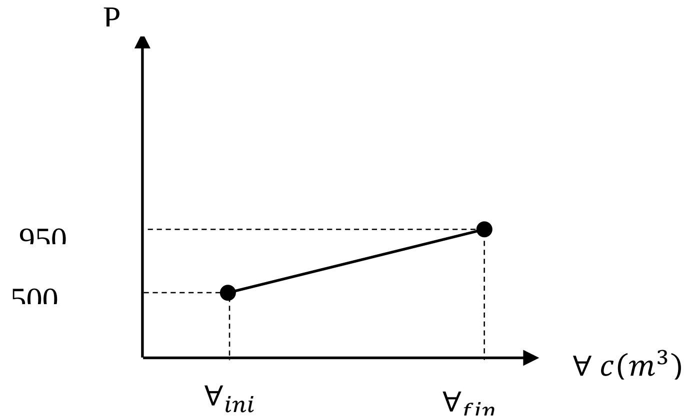
$$P = P_0 + \frac{k_H}{A}(y - y_0) = P_0 - \frac{k_H}{A^2}\forall_0 + \left(\frac{k_H}{A^2}\right)\forall$$

En las coordenadas de Clapeyron este modelo matemático se corresponde con un modelo gráfico lineal.

69. Una masa constante de una sustancia compresible y simple está en un cilindro vertical, de 400 mm de diámetro, que se cierra con un émbolo capaz de moverse sin fricción. La cara superior del émbolo se resiste mediante el entorno en la CU y un resorte de Hooke. Mediante una interacción térmica se logra que el émbolo se desplace 90 mm hacia arriba, por lo que el fluido pasa de 500 kPa a 950 kPa. Calcule la constante del resorte.

Solución:

Si el proceso es casiestático puede verse su gráfica:



$$P = a + \left(\frac{k_H}{A^2}\right)\forall$$

Donde:

$$a = constante$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 1256.64\ cm^3$$

$$\ell = 9\ cm$$

$$k_H = A^2 \frac{(P_{fin} - P_{ini})}{\forall_{fin} - \forall_{ini}} = \frac{A^2(P_{fin} - P_{ini})}{A\ell}$$

$$k_H = \frac{A^2(P_{fin} - P_{ini})}{A\ell}$$

$$k_H = \frac{A(P_{fin} - P_{ini})}{A\ell} = \frac{1256.64\ cm^3 \left(950\ \frac{kPa}{m^2} - 500\frac{kPa}{m^2}\right)}{9\ cm}\left[\frac{1\ m^2}{10^4 cm^2}\right]$$

$$k_H = 6.2832\frac{KPa}{m}$$

70. La resistencia (R) de un termistor se relaciona con la temperatura (θ) según:

$$\frac{dR}{d\theta} = -\frac{cR}{\theta^2}$$

en donde c es una constante. Si se tuviesen 2.2 Ω a 37°C y 0.31 Ω, a 149°C, halle la resistencia del termistor a 0 °C.

Solución:

Separando variables e integrando se tiene:

$$\frac{dR}{R} = -C\frac{d\theta}{\theta^2}$$

$$\int \frac{dR}{R} = -C\int \frac{d\theta}{\theta^2}$$

$$\int \frac{1}{R}dR = -C\int \frac{1}{\theta^2}d\theta$$

$$In\ (R) = -C\left(-\frac{1}{\theta}\right)$$

Evaluando:

$$In\ \left(\frac{R_2}{R_1}\right) = C\left(\frac{1}{\theta_2} - \frac{1}{\theta_1}\right)$$

Sustituyendo los datos, con θ en kélvines, se determina el valor de la constante:

$$C = \frac{In\left(\frac{0.31\ \Omega}{2.2\ \Omega}\right)}{\frac{1}{(149+273)K} - \frac{1}{(37+273)K}}$$

$$C = 2288.93\ K$$

Entonces de la integral se despeja y sustituye R_2:

$$e\left[In\ \left(\frac{R_2}{R_1}\right)\right] = e\left[C\left(\frac{1}{\theta_2} - \frac{1}{\theta_1}\right)\right]$$

$$\frac{R_2}{R_1} = e^{C\left(\frac{1}{\theta_2} - \frac{1}{\theta_2}\right)}$$

$$R_2 = R_1 * e^{C\left(\frac{1}{\theta_2} - \frac{1}{\theta_1}\right)}$$

Entonces para $\theta_2 = 0°C = 273$ K, se tiene:

$$R_2 = 2.2\ \Omega * e^{2288.93K*\left(\frac{1}{273\ K} - \frac{1}{310\ K}\right)}$$

$$R_2 = 5.9844\ \Omega$$

71. Se usan dos líquidos distintos, A y B, para graduar ciertos termómetros de la manera tradicional en °C. Sin embargo, la relación entre los cambios de longitud de las columnas de los líquidos es $\Delta L_A = C(\Delta L_B)^n$, en donde c es una constante y n es 1.2. Si el termómetro en A marcase 36.5 °C, ¿cuánto indicaría el de B?

Solución:

En forma tradicional

$$\left(\frac{L_{ebu} - L_{fus}}{100°C - 0°C}\right)_B = \left(\frac{L_{t_{real}} - L_{fus}}{t_{leída} - 0°C}\right)_B$$

$$\left(\frac{L_{ebu} - L_{fus}}{100°C - 0°C}\right)_A = \left(\frac{L_{t_{real}} - L_{fus}}{t_{leída} - 0°C}\right)_A .$$

Elevando a la potencia n cada lado de la expresión para el líquido B se obtiene:

$$\frac{\left(L_{ebu} - L_{fus}\right)_B^{\ n}}{\left(100°C\right)^n} = \frac{\left(L_{t_{real}} - L_{fus}\right)_B^{\ n}}{\left(t_{leída}\right)_B^{\ n}} .$$

Dividiendo ésta última ecuación por cada lado de la ecuación para el líquido A se obtiene:

$$\frac{\left(L_{ebu}-L_{fus}\right)_B^n}{\left(L_{ebu}-L_{fus}\right)_A} * \frac{100\ °C}{(100\ °C)^n} = \frac{\left(L_{t_{real}}-L_{fus}\right)_B^n}{\left(L_{t_{real}}-L_{fus}\right)_A} * \frac{t_{leída_A}}{(t_{leída})_B^n}$$

$$C * (100\ °C)^{1-n} = C * \frac{t_{leída_A}}{(t_{leída})_B^n}$$

Despejando la lectura del termómetro del líquido B se obtiene:

$$t_{leída_B} = \frac{\left(t_{leída_A}\right)_A^{\frac{1}{n}}}{(100°C)^{\frac{1-n}{n}}} = \frac{(36.5°C)^{\frac{1}{1.2}}}{(100°C)^{\frac{1-1.2}{1.2}}} = 43.2°C$$

72. Un alumno de la Facultad de Ingeniería demuestra su creatividad con la propuesta de dos escalas de temperatura. Los puntos de fusión del hielo y de ebullición normal del agua son -200°ω y -350°ω, respectivamente, en la escala omega, y –30°α , –5°α, respectivamente, en la escala alfa. ¿Cuál es el valor de la temperatura, en°F, en la que los termómetros en°α y en °ω indican el mismo valor?

Solución:
Las escalas propuestas son:

Escalas	°F	°ω	°α
Punto de ebullición	212	- 350	- 5
Punto de fusión	32	- 200	- 30

Asumiendo que las relaciones entre las escalas son lineales, entonces se proponen las siguientes ecuaciones:

$$T(°\alpha) = a + bT(°\omega)$$

$$T(°F) = c + dT(°\alpha)$$

Sustituyendo los datos se obtiene:
$-30 = a - 200b$
$-5 = a - 200b$
$32 = c - 30d$
$212 = c - 5d$

Resolviendo se calculan los valores de las constantes:

$$a = -64°\alpha$$

$$b = -0.17\ \frac{°\alpha}{°\omega}$$

$c = 248°F$

$d = 7.2\ \frac{°F}{°\alpha}$

Las relaciones de las escalas son:

T(°α) = - 64 – 0.17T(°ω)

T (°F) = 248 + 7.2 T(°α)

De la primera relación se calcula que:

T(°α) = T(°ω) = -54.7

Sustituyendo este valor en la segunda relación se obtiene lo que se pide:

T(°F) = - 145.84

73. La escala de temperatura en °L se define como el logaritmo de Briggs de la temperatura en grados de Rankine:

$$T(°L) = \log[T(°R)]$$

¿A cuántos °C corresponden 2.80°L?

Solución:

Como:

T(K) = T(°C) + 273……….(1)

T(°R) = T(K)*1.8…………(2)

Entonces despejando T(K) de (2) y sustituyendo en (1), se obtiene :

$$T(K) = \frac{T(°R)}{1.8}$$

$$T(°C) = T(K) - 273$$

$$T(°C) = \left[\frac{T(°R)}{1.8}\right] - 273$$

Despejando de la ecuación principal, y utilizando la escala definida se obtiene:

$$T(°L) = \log[T(°R)]$$
$$10^{T(°L)} = 10^{\log[T(°R)]}$$

$T(°R) = 10^{T(°L)}$

$T(°R) = 10^{2.8}$
$T(°R) = 630.957$

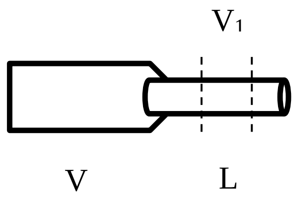
Y finalmente:

$$T(°C) = \frac{630.957}{1.8} - 273 = 77.53$$

74. Un fluido peculiar se usa como líquido termométrico y el aparato se gradúa de la manera tradicional para: 32°F y 212°F. Si el aparato indicase 42°C, ¿Cuál sería la temperatura correcta para el fluido?

$$\rho = \rho_0[1 - 3.5X10^{-3}(°C^{-1})t - 6.2X10^{-5}(°C^2)t^2]$$

Solución:



De la figura:

$V_f = V_1 + V_0$

$$\frac{m_f}{\rho_f} = LA_1 + V_0$$

Despejando L, se tiene:

$$L = \left[\frac{m}{(A\rho)}\right] - \left(\frac{V_0}{A}\right)$$

Dónde:

A = sección transversal
V_0 = volumen del bulbo
m = masa del fluido termométrico

La graduación tradicional produce:

$$\frac{L_{ebu} - L_{fus}}{t_{ebu} - t_{fus}} = \frac{L_{t_{real}} - L_{fus}}{t_{leída} - t_{fus}}$$

ó

$$\frac{L_{ebu}-L_{fus}}{L_{t_{real}}-L_{fus}}=\frac{t_{ebu}-t_{fus}}{t_{leída}-t_{fus}}=C$$

Sustituyendo las lecturas se obtiene:

$$\frac{(100-0)°C}{(42-0)°C}=C$$

$$\therefore\ C=2.38095$$

$$\frac{\left(\frac{m}{A*\rho_{ebu}}-\frac{V_0}{A}\right)-\left(\frac{m}{A*\rho_{fus}}-\frac{V_0}{A}\right)}{\left(\frac{m}{A*\rho_{real}}-\frac{V_0}{A}\right)-\left(\frac{m}{A*\rho_{fus}}-\frac{V_0}{A}\right)}=C$$

ó

$$\left[\frac{\left(\frac{1}{\rho_{ebu}}-\frac{1}{\rho_{fus}}\right)}{\left(\frac{1}{\rho_{real}}-\frac{1}{\rho_{fus}}\right)}\right]=C$$

Despejando la densidad real se tiene:

$$\rho_{real}=\frac{C}{\frac{1}{\rho_{ebu}}-\frac{1}{\rho_{fus}}(C-1)}$$

Los valores de a y b, son:

$$a=3.5X10^{-3}\ [°C^{-1}]$$
$$b=6.2X10^{-5}[°C^{2}]$$

Sustituyendo la expresión de la densidad en función de la temperatura se obtiene:

$$\rho_0(1-at_{real}-bt_{real}^2)=\frac{C}{\frac{1}{\rho_0(1-at_{ebu}-bt_{ebu}^2)}-\frac{C-1}{\rho_0\left(1-at_{fus}-bt_{fus}^2\right)}}$$

$$\rho_0(1-at_{real}-bt_{real}^2)=\frac{C}{\frac{1}{(1-at_{ebu}-bt_{ebu}^2)}-\frac{C-1}{\left(1-at_{fus}-bt_{fus}^2\right)}}\left(\frac{1}{\frac{1}{\rho_0}}\right)$$

$$(1 - at_{real} - bt_{real}^2) = \frac{C}{\frac{1}{(1 - at_{ebu} - bt_{ebu}^2)} - \frac{C-1}{\left(1 - at_{fus} - bt_{fus}^2\right)}}$$

$$(-at_{real} - bt_{real}^2) = \frac{C}{\left[\frac{1}{(1 - at_{ebu} - bt_{ebu}^2)} - \frac{C-1}{\left(1 - at_{fus} - bt_{fus}^2\right)}\right]} - 1$$

Se sabe que:

$a = 3.5X10^{-3}$ [$°C^{-1}$]
$b = 6.2X10^{-5}$[$°C^{2}$]
$C = 2.38095$
$t_{ebu} = 100$
$t_{fus} = 0$

Considerando:

$$d = \frac{C}{\left[\frac{1}{(1 - at_{ebu} - bt_{ebu}^2)} - \frac{C-1}{\left(1 - at_{fus} - bt_{fus}^2\right)}\right]} - 1$$

Se resuelve la ecuación:

$bt_{real}^2 + bt_{real} + d = 0$

$t_{real,1} = 97.5\ °C$

$t_{real,2} = -153.621\ °C$

$\therefore\ t_{real,1} = 97.5\ °C$

También se resuelve con **MAPLE.**

75. En un tanque vertical de 50 cm de diámetro, abierto a la atmósfera, hay 200 kg de un hidrocarburo a 20°C. El tanque y su contenido se calientan hasta 60°C. La densidad relativa del líquido se relaciona con la temperatura T (°C), según:

$$\delta = (814X10^{3}) - (27X10^{-4}T)$$

Calcule el cambio en el nivel del hidrocarburo (caliente menos frío).

Solución:

Se utilizarán los subíndices c y f para caliente y frío, respectivamente. Para el tanque:

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * \left(\frac{0.5}{2} m\right)^2 * h$$

$$V = 0.1963 * h \, [m^3]$$

Las densidades $\rho_c \; y \; \rho_f$ son:

$$\rho_c = [814X10^{-3} - 27X10^{-4} * (60\,°C)] * 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_c = 652 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_f = [814X10^{-3} - 27X10^{-4} * (20\,°C)] * 1{,}000 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_f = 760 \frac{kg}{m^3}$$

Ya que:

$$V_c - V_f = \left(\frac{m}{\rho_c}\right) - \left(\frac{m}{\rho_f}\right)$$

$$V_c - V_f = m\left(\frac{1}{\rho_c} - \frac{1}{\rho_f}\right)$$

Entonces:

$$0.1963 * (h_c - h_f) = 200kg * \left[\left(\frac{1}{652 \frac{kg}{m^3}}\right) - \left(\frac{1}{760 \frac{kg}{m^3}}\right)\right]$$

Y finalmente:

$$h_c - h_f = 0.222m$$

76. Para el aire atmosférico la presión es proporcional a la densidad elevada a 1.4 y la temperatura absoluta es directamente proporcional a la presión, pero inversamente proporcional a la densidad. Al nivel del mar se tienen 101.325 kPa, 18 °C y 1.29 kg/m^3. Tome el valor constante g = 9.8 m/s^2 y estime la variación de la temperatura a 500 m por encima del nivel del mar.

Solución:

Como P ∝ ρ^n entonces:

$$\frac{P_0}{\rho_0^n} = \frac{P}{\rho^n}$$

También como T ∝ P / ρ entonces:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{P\rho_0}{P_0\rho}$$

Sustituyendo en la ecuación de la hidrostática se obtiene

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

$$\frac{dP}{dz} = -\frac{\rho_0 * P^{\frac{1}{n}} * g}{P_0^{\frac{1}{n}}}$$

Separando variables e integrando se obtiene:

$$\int_0^{P_z} P^{-\frac{1}{n}}\, dP = -\frac{\rho_0 g}{P_0^{\frac{1}{n}}}(z - z_0)$$

$$P_z = \left[\left(\frac{n-1}{n}\right)\left(-\frac{\rho_0 g}{P_0^{\frac{1}{n}}}\right) + P_0^{\frac{n-1}{n}}\right]^{\frac{n}{n-1}}$$

Sustituyendo los valores se calcula la presión a la altura de 500 m:

$$P_{500} = \left\{\left(\frac{1.4-1}{1.4}\right)\left[-\frac{1.29\,\frac{kg}{m^3} * 9.8\,\frac{m}{s^2} * 500m}{(101{,}325\ Pa)^{\frac{1}{1.4}}}\right] + (101{,}325\ Pa)^{\frac{1.4-1}{1.4}}\right\}^{\frac{1.4}{1.4-1}}$$

$$P_{500} = 95092.227\ Pa$$

De igual manera la densidad a 500 m se obtiene de la relación de proporcionalidad densidad-presión:

$$\rho_{500} = (95{,}092.227\ Pa)^{\frac{1}{1.4}}\left(\frac{1.29\,\frac{kg}{m^3}}{(101{,}325\ Pa)^{\frac{1}{1.4}}}\right)$$

$$\rho_{500} = 1.2328 \frac{kg}{m^3}$$

Finalmente, la diferencia de temperatura se encuentra de la relación de proporcionalidad temperatura-presión-densidad:

$$T_0 - T_{500} = T_0 \left(1 - \frac{P_z \rho_0}{P_0 \rho_z}\right)$$

$$T_0 - T_{500} = 291.15\ K \left(1 - \frac{95{,}092.227\ Pa * 1.29 \frac{kg}{m^3}}{101{,}325\ Pa * 1.2327 \frac{kg}{m^3}}\right)$$

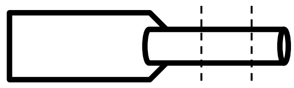
$$T_o - T_{500} = 5.208\ K$$

77. Un termómetro en grados (°C) se gradúa en forma habitual, pero el fluido manométrico que se usa se caracteriza según

$$\rho = \rho_0 (1 - b\ \theta^{\ 2})$$

en donde ρ_o es constante, b = 5 X 10^{-5}(1/°C^2) y θ es la temperatura real en (°C). ¿Qué lectura indicaría el termómetro cuando se introduzca en un sistema a 80(°C)?

Solución:



De la figura:

$$V_f = V_1 + V_0$$

$$\frac{m_f}{\rho_f} = LA_1 + V_0$$

Despejando L, se tiene:

$$L = \left[\frac{m}{(A\rho)}\right] - \left(\frac{V_0}{A}\right)$$

Dónde:

A = sección transversal; V_0 = volumen del bulbo y m = masa del fluido termométrico

La graduación tradicional produce:

$$\frac{\theta_{\text{ebu}} - \theta_{\text{fus}}}{\theta_{\text{leída}} - \theta_{\text{fus}}} = \frac{L_{\text{ebu}} - L_{\text{fus}}}{L_{\text{real}} - L_{\text{fus}}}.$$

Utilizando las lecturas y la relación de la densidad del fluido manométrico se tiene:

$$L_{\text{ebu}} - L_{\text{fus}} = \frac{m}{A\rho_0}\left(\frac{1}{1-b\theta_{\text{ebu}}^2} - \frac{1}{1-b\theta_{\text{fus}}^2}\right)$$

$$L_{\text{real}} - L_{\text{fus}} = \frac{m}{A\rho_0}\left(\frac{1}{1-b\theta_{\text{real}}^2} - \frac{1}{1-b\theta_{\text{fus}}^2}\right)$$

Entonces sustituyendo en la primera ecuación

$$\frac{\theta_{\text{ebu}} - \theta_{\text{fus}}}{\theta_{\text{leída}} - \theta_{\text{fus}}} = k = \frac{\left(\frac{1}{1-b\theta_{\text{ebu}}^2} - \frac{1}{1-b\theta_{\text{fus}}^2}\right)}{\left(\frac{1}{1-b\theta_{\text{real}}^2} - \frac{1}{1-b\theta_{\text{fus}}^2}\right)} = \frac{100°\text{C} - 0°\text{C}}{80°\text{C} - 0°\text{C}} = \frac{5}{4}$$

Finalmente se tiene:

$$\frac{\frac{1}{1-0.5} - 1}{\frac{1}{1-5\text{x}10^{-5} * \theta_{real}^2} - 1} = \frac{5}{4}.$$

Resolviendo: $\theta_{\text{real}} = 94.28°\text{C}$.

78. En la escala de temperatura de Réaumur el punto de fusión del agua es cero °Re y el punto de ebullición es 80 °Re. ¿Cuál es la temperatura de Réaumur del cero absoluto?

Solución:

Las escalas °Re y K son:

Estado	K	°Re
Punto de ebullición	373	80
Punto de fusión	273	0

Suponiendo que:

T(°Re) = a + bT(K)

Entonces se forman las siguientes ecuaciones:

0 = a + 273b

80 = a + 373b

Resolviendo:

a = - 218.4; b = 0.8

La relación de grados Réaumur y grados Kelvin es :

T(°Re) = - 218.4 + 0.8*T(K)

Cuando :

T(K) = 0

T(°Re) = - 218.4

79. Dos termómetros, uno con lectura en °C y el otro en kélvines K, están en equilibrio térmico con un mismo sistema. ¿Cuál es la temperatura del sistema si los termómetros tienen el mismo valor numérico?

Solución:

Las escalas °C y K son:

Estado	K	°C
Punto de ebullición	373	100
Punto de fusión	273	0
Cero absoluto	0	-273

Entonces:

$$|T(°C)| = |T(K)|$$

$$|a| = |a + 273|$$

$$|2a| = |273|$$

$$|a| = \frac{273}{2} = 136.45$$

80. La temperatura de un fluido se mide con un termómetro con lectura en °C y con un termómetro con lectura en °F. Si la lectura en el de Fahrenheit es numéricamente el doble de la lectura en el de Celsius, ¿cuál es la temperatura del fluido en K ?
Solución:

La relación de °C y °F es:

T(°F) = T(°C)1.8 + 32

Por la condición del problema:

T(°F) = 2T(°C)

Entonces:

2T(°C) = T(°C)1.8 + 32

de donde T(°C) = 160

También como T(K) = T(°C) + 273, entonces:

T(K) = 433

81. Se construye una nueva escala de temperatura °N con base en las propiedades físicas del cesio: 0°N en el punto de fusión de 28.5°C y 100°N en el punto de ebullición de 690°C. ¿En qué valor coinciden ambas escalas?

Solución:

Las escalas °C y °N son:

Estado	°N	°C
Punto de ebullición	100	690
Punto de fusión	0	28.5

Suponiendo que se cumple la relación lineal:

T(°N) = a + bT(°C)

Entonces se forman las siguientes ecuaciones:

0 = a + 28.5b; 100 = a + 690b

Resolviendo:

$a = -4.3084\ °N; b = 0.1512\ \frac{°N}{°C}$

La relación lineal es entonces:

$$T(°N) = -4.3084\ °N + 0.1512\ \frac{°N}{°C} * T(°C)$$

Del problema se tiene que:

T(°N) = T(°C)

Entonces:

T(°C) = - 4.3084 °C+ 0.1512*T(°C)

que produce el resultado final de:

T(°N) = - 5.076 = T(°C).

82. Un termopar produce las lecturas siguientes:

T [°C]	Voltaje [mV]
25	1
100	4.095
175	7.139
200	10.151

¿Cuál es la ecuación de segundo grado que relaciona los °C con los mV? Determine la temperatura que correspondería a 6.3 mV.

Solución:

La ecuación buscada sería:

$$V(mV) = a + bT(°C) + cT(°C)^2$$

Sustituyendo las lecturas se forma el siguiente sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$1\ mV = a + b * 25\ °C + c * (25\ °C)^2$$
$$4.095\ mV = a + b * 100\ °C + c * (100\ °C)^2$$
$$10.151\ mV = a + b * 250\ °C + c * (250\ °C)^2$$

Resolviendo:

$$a = -4.18X10^{-2}\ MV;\ b = 4.177X10^{-2}\ \frac{mV}{°C}\ \text{ y }\ c = -4X10^{-6}\frac{mV}{°C^2}$$

La ecuación sería entonces:

$$V(mV) = -4.18X10^{-2}\ mV + 4.177X10^{-2}\frac{mV}{°C} * T(°C) - 4X10^{-6}\frac{mV}{°C^2} * T(°C)^2$$

Cuando V es 6.3 MV se resuelve la cuadrática y se obtiene:

T = 153.1°C

83. Para calibrar los termopares se usan polinomios que relacionan a la temperatura en °C con el voltaje en mV de la forma:

$$V = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$$

En el laboratorio se registra:

t(°C)	25	100	175	250
V(mV)	1	4.095	7.139	10.151

Halle la temperatura que corresponde a 9 mV.

Solución:

Usando los datos de laboratorio se forma un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas:

1 mV = A + B*25°C + C*625°C^2 + D*15625°C^3
4.095 mV = A + B*100°C + C*10000°C^2 + D*1000000°C^3
7.139 mV = A + B*175°C + C*30625°C^2 + D*5359375°C^3
10.151 mV = A + B*250°C + C*62500°C^2 + D*15625000°C^3

Resolviendo:

$A = -0.04628\, mV$; $B = 0.04202 \frac{mV}{°C}$; $C = -6.785X10^{-6} \frac{mV}{°C^2}$ y $D = 7.506X10^{-9} \frac{mV}{°C^3}$

La ecuación de relación queda:

$$V(mV) = -0.04628\, mV + \left(0.04202 \frac{mV}{°C}\right) t + \left(-6.785X10^{-6} \frac{mV}{°C^2}\right) t^2 + \left(7.506X10^{-9} \frac{mV}{°C^3}\right) t^3$$

Cuando V es 9 mV, t es 221.3°C.

El mismo resultado se obtiene haciendo una interpolación lineal entre 175°C y 250°C.
Este problema se resuelve utilizando **MAPLE**.

84. Un termómetro de gas a volumen constante, inmerso en agua hirviente a 92 °C, indica 30 cmHg man. Cuando se sumerge en un fluido con una temperatura desconocida, indica 6 cmHg vac. Si el entorno estuviera a 58 cmHg y g = 9.78 m/s^2, indique la temperatura desconocida en °F.

Solución:

Como:

PV = mRT

entonces a volumen, m y R constantes se simplifica a:

$$T_2 = \frac{T_1 P_2}{P_1}$$

Calculando las presiones se obtiene:

P_1 = 30 cmHg + 58 cmHg = 88 cmHg

P_2 = 58 cmHg – 6 cmHg = 52 cmHg

La temperatura pedida es:

$$T_2 = 365\ K * \frac{52\ cmHg}{88\ cmHg}$$

$$T_2 = 215.68\ K$$

$$T_2 = -57.47\ °C$$

Utilizando la relación entre °C y °F se obtiene:

T_2 = (- 57.47°C)*1.8 + 32 = - 71.45°F

85. Se generan dos escalas nuevas de temperatura, cuyas expresiones analíticas son:

$$L(°C) = -6\ °C + 23\ \frac{°C}{°N} * L(°N)$$
$$L(°C) = 113\ °C - 61\frac{°C}{°M} * L(°M)$$

Calcule la temperatura, en °C en que coinciden las dos escalas nuevas.

Solución:

La condición del problema es que:

L(°N) = L(°M)

Despejando de la segunda ecuación se tiene:

$$L(°M) = \frac{[113\ °C - L(°C)]}{61\frac{°C}{°M}}$$

Al aprovechar la condición del problema y sustituyendo en la primera ecuación se obtiene:

$$L(°C) = -6\ °C + 23\frac{°C}{°N} * \frac{[113\ °C - L(°C)]}{61\ \frac{°C}{°M}}$$

Resolviendo se obtiene:

L(°C) = 26.58

86. En el centro de una pared de 15 cm de espesor se localiza un tubo de diámetro muy pequeño por el cual circula agua. La variación de la temperatura es lineal desde un extremo de la pared [a 20 °C] al otro [a – 7 °C]. Determine si el agua dentro del tubo se congela.

Solución:

Como la variación es lineal entonces:

T = ax + b

Con los datos se forma un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:
20°C = a(0) + b
- 7°C = a(15 cm) + b

Resolviendo se obtiene:

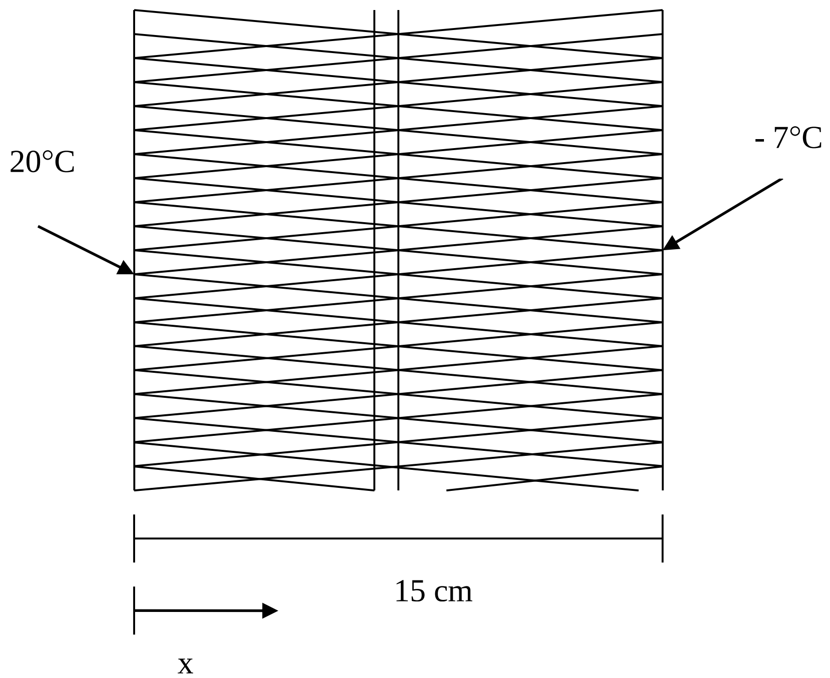
$a = -1.8\frac{°C}{cm}; b = 20\ °C$

La ecuación de variación es:

$$T = \left(-1.8\frac{°C}{cm}\right)x + 20\ °C$$

Cuando T = 0°C, x = 11.11 cm

Y como el tubo que lleva agua se localiza a $x = \frac{15}{2}cm = 7.5\ c$m, entonces el agua no se congela.



87. Se ha comprobado que en un cierto termómetro de bulbo, la relación existente entre la temperatura T y la longitud L de la columna de líquido se relaciona de la manera siguiente

$$T = a\, In(L) + b$$

Además, para la temperatura de fusión y de ebullición del agua se tiene 5 cm y 25 cm, respectivamente. Hállese la distancia en cm entre las temperaturas de 90°C y 100°C. Las condiciones del lugar son de 101.325 kPa y 9.81 m/s^2.

Solución:

Con los datos se forma un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

0°C = aln(5) + b; 100°C = aln(25) + b

Resolviendo se obtiene: a = 62.112°C y b = - 99.938°C

Cuando T = 90°C :

$$L_{90} = e^{\frac{90+99.938}{62.112}} = 21.285\ cm$$

Cuando T = 100°C:

$$L_{100} = e^{\frac{100+99.938}{62.112}} = 25\ cm$$

Entonces :

$\Delta L = L_{100} - L_{90}$ = (25 – 21.285) cm = 3.715 cm

Capítulo 2: Primera Ley

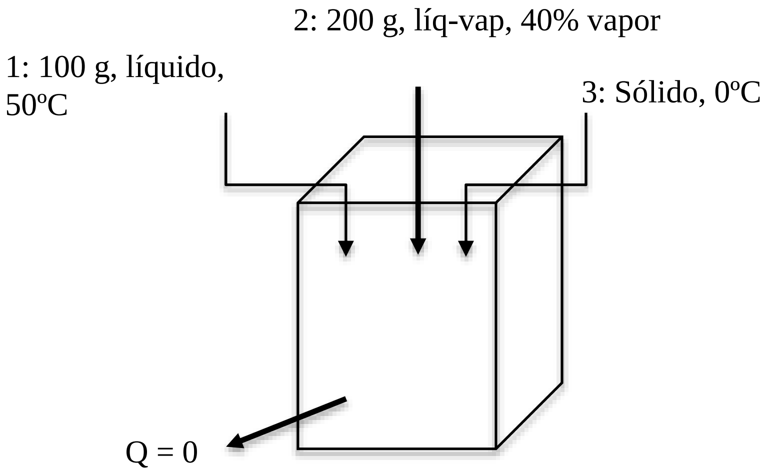
1. En un recipiente adiabático se mezclan 100 g de líquido a 50°C con 200 g de una mezcla de fases líquido-vapor [el 40 % de la masa corresponde al vapor]. ¿Cuánto sólido a 0°C debe agregarse para que en el equilibrio quede el triple de líquido que de sólido?

$$T_{fus} = 4.3°C\ ; T_{ebu} = 112.9°C$$

$$C_{sól} = 0.3\frac{cal}{g\ \Delta°C};\ C_{líqui} = 0.8\frac{cal}{g\ \Delta°C}$$

$$\lambda_{fus} = 56.2\frac{cal}{g};\ \lambda_{ebu} = 210\frac{cal}{g}$$

Solución:



La corriente 1 se enfría desde 50°C hasta 4.3°C (pierde energía):

$$100\ g * \left(\frac{0.8\ cal}{g\ \Delta^{\circ}C}\right) * (4.3 - 50)\Delta^{\circ}C = -3{,}656\ cal$$

La corriente 2 sufre la condensación de la fracción de vapor a 112.9°C y luego se enfría, todo el líquido, hasta 4.3°C (pierde energía):

$$-0.4 * 200g * 210\frac{cal}{g} + 200\ g * \left(0.8\frac{cal}{g\Delta^{\circ}C}\right) * (4.3 - 112.9)\Delta^{\circ}C = -34{,}176\ cal$$

La corriente 3 se calienta de 0°C a 4.3°C y se funde a 4.3°C (gana energía):

$$m_s = \left(0.3\frac{cal}{g\Delta^{\circ}C}\right) * (4.3 - 0)^{\circ}\Delta C + m_{s\to L} * 56.2\frac{cal}{g} = 1.29 * m_s + 56.2 * m_{s\to L}$$

Balance de energía:

Energía ganada + energía pérdida = 0

$$1.29\ m_s + 56.2 m_{s\to L} = 3{,}656\ cal + 34{,}176\ cal = 37{,}852\ cal$$

Como:

$$m_1 + m_2 + m_{s\to L} = 0.75 * m_{total}$$

$$m_s - m_{s\to L} = 0.25 * m_{total}$$

Entonces:

$$m_{s\to L} = \frac{3 * m_s - 300}{4}$$

Sustituyendo en el balance se obtiene:

$$1.29\ m_s + 56.2\left(\frac{3\ m_s - 300}{4}\right) = 37{,}832\ cal$$

Calculando resulta:

m_s = 967.933 g

2. Un combustible de valor caloríco igual a: 5.4 Mcal/kg, que cuesta 2 \$/kg, se usa para calentar diariamente 2,600 kg de agua, desde 12°C hasta 34°C. Si solamente llega al agua el 79 % del calor de la combustión, calcule cuánto dinero se desperdicia en un mes (de 30 días). Para el agua C= 1 kcal/kg ˚C.

Solución:

En un día de calentamiento de agua:

$$2{,}600\ kg * \left(1\,\frac{kcal}{kg\ {}^\circ C}\right) * (34 - 12)^\circ C = 57{,}200\ kcal$$

Masa de combustible útil:

$$m_c = \frac{57{,}200\ kcal}{\left[5.4\,\frac{Mcal}{kg\ *} * \frac{1{,}000\,kcal}{1 Mcal}\right]} = 10.593\ kg$$

Masa de combustible usada:

$$m_{c.usada} = \frac{10.593\ kg}{0.79} = 13.409\ kg$$

Masa de combustible desperdiciada:

$$m_{c.desp} = 0.21 * 13.409\ kg = 2.816\ kg$$

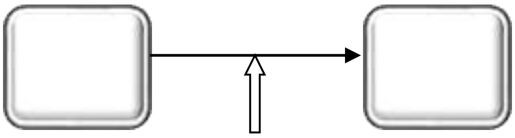
En un mes (30 días):

$$\$_{desp} = \left(2.186 \frac{kg}{día}\right)\left(\frac{30\ días}{1\ mes}\right) * 2 \frac{\$}{kg} = 168.96 \frac{\$}{mes}$$

3. Hay que producir una mezcla de líquido y vapor de agua, a 100°C, con cuatro veces más líquido que vapor. Se dispone de 200 kg de hielo a 0°C. Calcule el calor necesario en MJ. Tome los valores constantes:

$$\lambda_{fus} = 79.8 \frac{cal}{g};\ C_{agua} = 1 \frac{cal}{g^{\circ}C};\ \lambda_{ebu} = 539.1 \frac{cal}{g}$$

Solución:



200 kg de hielo, 0˚C   O

líquido-vapor, 100°C
líquido = 0.8*200 kg = 160 kg
vapor = 0.2*200 kg = 40 kg

Balance de energía:

$$Q = \Delta E$$

$$Q = \left(200\ kg * 79.8 \frac{kcal}{kg}\right) + \ 200\ kg * \left(\frac{1\ kcal}{kg\Delta^{\circ}C}\right) * (100 - 0)\Delta^{\circ}C + 40kg * 539.1 \frac{kcal}{kg}$$

$$Q = 57{,}524\ kcal$$

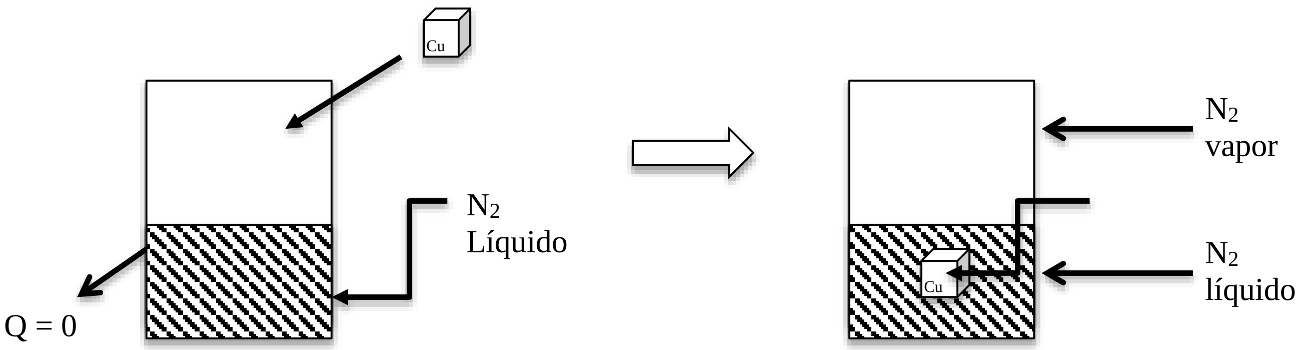
$$Q = 57{,}524\ kcal * \left(4.1868 \frac{kJ}{kcal}\right) * \left(\frac{1MJ}{1{,}000\ kJ}\right) = 240.8\ MJ$$

4. Un bloque de 1 kg de cobre a 20°C se deja caer en un recipiente adiabático con nitrógeno líquido a 77 K. ¿Cuántos litros de nitrógeno se evaporan durante el tiempo que le toma al cobre alcanzar 77 K?

Datos:

$$C_{int} = 0.21 \frac{kcal}{g\Delta^{\circ}C};\ C_{Cu} = 0.0915 \frac{kcal}{g\Delta^{\circ}C};\ \lambda_{ebu\ de\ N_2} = 48 \frac{kcal}{g} \text{ y } \rho_{N_2} = 0.8 \frac{g}{cm^3}$$

Solución:



Balance:

Energía ganada + Energía perdida = 0

El N_2 gana energía: $(m_{L\to v})\left(48\frac{kcal}{kg}\right)$

El cobre pierde energía: $(1\ kg) * \left(0.0915\frac{kcal}{kg\Delta^{\circ}C}\right) * (77 - 293)\Delta^{\circ}C$

$$(1\ kg) * \left(0.0915\frac{kcal}{kg\Delta^{\circ}C}\right) * (-216)\Delta^{\circ}C = -19.764\ kcal$$

ya que: $\Delta^{\circ}C = \Delta K = -19.764\ kcal$

Sustituyendo en el balance:

$$(m_{L\to v})\left(48\frac{kcal}{kg}\right) + (-19.764\ kcal) = 0$$

Calculando:

$$m_{L\to v} = 0.412 kg$$

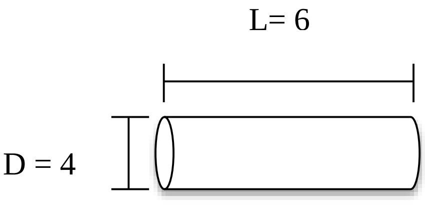
ó

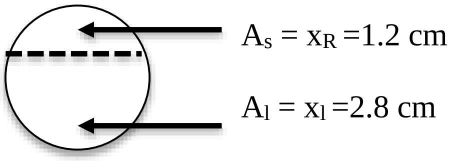
$$V_v = (0.412\ kg) * \left(\frac{1\ L}{0.8\ kg}\right) = 0.515\ L$$

5. En el laboratorio de Termodinámica de la FI, durante la práctica de la capacidad térmica específica de metales, el cilindro se coloca acostado sobre la parafina, a fin de minimizar las interacciones con el entorno. El cilindro se sumerge 2.8 cm. Calcule la masa exacta de

la parafina fundida. El radio y la longitud del cilindro son 2 cm y 6 cm, respectivamente. Considere para la parafina ρ_p = 875 kg/m^3.

Solución:





Para la parafina fundida:

$$m_f = V_f * \rho_p = L * A_l * \rho_p$$

El área transversal de la parafina se compone de:

$$A_{total} = A_s + A_l$$

De donde:

$$A_l = A_{total} - A_s = \left[\frac{\pi(4\ cm)^2}{4}\right] - A_s$$
$$A_l = 12.5664\ cm^2 - A_s$$

Para el área sólida:

$x^2 + y^2 = r^2$

Donde:

$y = A_s$

Despejando "y" y sustituyendo el radio:

$$y = \sqrt{r^2 - x^2} = \sqrt{4 - x^2}$$

Se sabe que:

$$A_s = 2\ A_s'$$

$$A_s = 2\int_{0.8}^{2}\int_{0}^{\sqrt{4-x^2}} 1\ dy\ dx$$

$$A_s = 2\int_{0.8}^{2} \sqrt{4 - x^2}\, dx$$

Integrando se determina el área sólida:

$$A_s = 2\left[\frac{x\sqrt{4 - x^2}}{2} + \frac{4}{2}\sin^{-1}\left(\frac{x}{2}\right)\right]_{0.8}^{2}$$

$$A_s = 2\left[\frac{1}{2}\sqrt{4 - x^2}\,(x) + (2)\sin^{-1}\left(\frac{x}{2}\right)\right]_{0.8}^{2}$$

Sustituyendo valores:

$$A_s = 2 * \left\{\frac{1}{2}\sqrt{4 - 2^2}\,(2) + 2\sin^{-1}\left(\frac{2}{2}\right) - \frac{1}{2}\sqrt{4 - 0.8^2}\,(0.8) + 2\sin^{-1}\left(\frac{0.8}{2}\right)\right\}$$
$$= 3.1706\ cm^2$$

Entonces el área que funde es:

$$A_l = 12.5664\ cm^2 - A_s$$
$$A_l = 12.5664\ cm^2 - 3.1706\ cm^2$$
$$A_l = 9.3958\ cm^2$$

Y la masa que funde es:

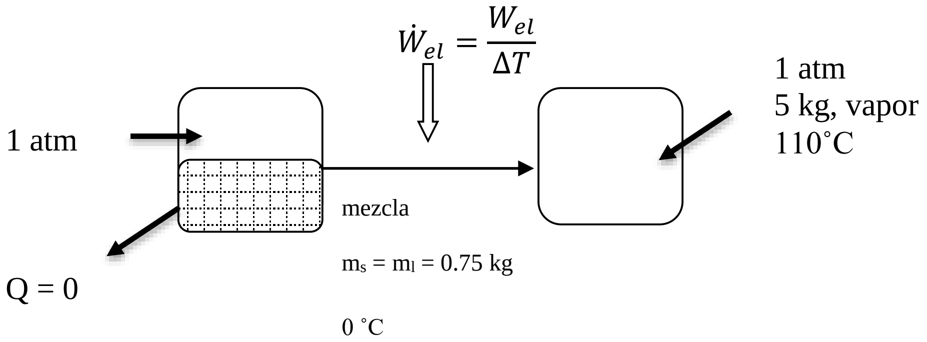
$$m_f = (0.06\ m) * \left[9.3958\ \ cm^2\left(\frac{0.0001\ m^2}{1\ cm^2}\right)\right] * \left(875\frac{kg}{m^3}\right) = 0.04933\ kg = 49.33\ g$$

6. En el laboratorio de Termodinámica de la FI de la Universidad Veracruzana se tiene un calentador eléctrico y adiabático para producir 1.5 kg de vapor de agua a 110°C a partir de una mezcla de partes iguales en masa de hielo y de agua. El calentador funciona a 110 V y 10 A. Calcule: A) el tiempo que trabaja el calentador, B) si por alguna falla, el calentador sólo funciona el 60% del tiempo calculado en A, indique cuál sería la situación de equilibrio en ese momento. Considere las propiedades:

$$C_{sól} = 2.302\frac{kJ}{kg\ \Delta_1°C}; C_{sól} = 4.1868\frac{kJ}{kg\ \Delta_1°C};\ C_{sól} = 2.093\frac{kJ}{kg\ \Delta_1°C}$$

$$\lambda_{fus} = 335\frac{kJ}{kg}; Temp.fus = 0\ ^{\circ}C;\ \lambda_{ebu} = 2257\frac{J}{kg}; Temp.ebu = 100\ ^{\circ}C$$

Solución:



La primera ley es:

$\Delta E = -(W_{el})$

Donde: $W_{el} = 100\ V * 10\ A * \Delta t = 1100 * \Delta t$, para Δt en segundos

Dentro del recipiente el sólido va a fundir a 0°C, el líquido se calentará y evaporará completamente a 100°C y el vapor se calentará hasta 110°C.

Utilizando la ecuación del balance se tiene:

$$1.5\ kg * \left[\left(0.5 * 335\frac{kJ}{kg}\right) + \left(4.1868\frac{kJ}{kg\ \Delta_1°C}\right) * (100-0)\Delta_1°C + 2257\frac{kJ}{kg} + \left(2.093\frac{kJ}{kg\ \Delta_1°C}\right) * (110-100)\Delta_1°C\right] = 1.1 * \Delta t\ kJ$$

Haciendo operaciones:

(251.25 + 628.02 + 3385.5 + 31.395) kJ = 1.1*Δt kJ

De donde:

Δt = 3,905.6 s = 1.085 h.

De acuerdo con la segunda pregunta el tiempo que trabaja el calentador eléctrico es:

Δt = 0.6*3,905.6 s = 2,343.36 s

$W_{el} = 100\ V * 10\ A * 2{,}343.36\ s$

$W_{el} = 2{,}577.696\ kJ$

Los cálculos muestran entonces que no evapora todo el líquido por lo que al final se tiene una mezcla líquido y vapor y la temperatura es de 100°C, entonces:

$$m_{l\to v} * 2257\frac{kJ}{kg} = (2577.696 - 628.02 - 251.25)\ kJ$$

De donde:

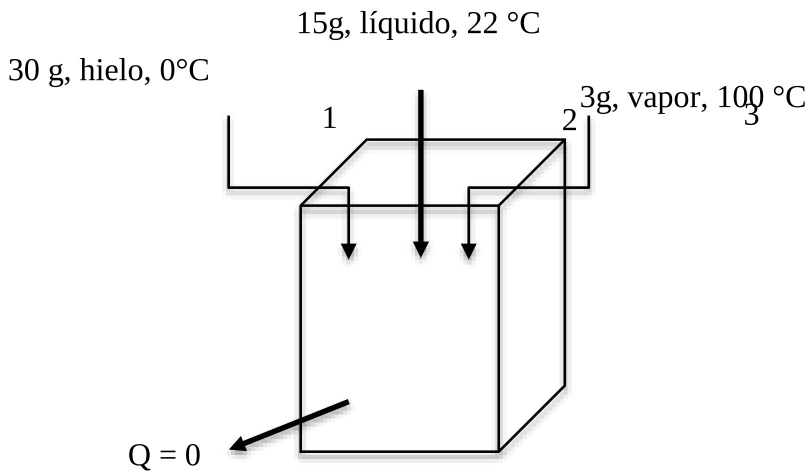
$$m_{l\rightarrow v} = \frac{1{,}698.426\ kJ}{2{,}257\,\frac{kJ}{kg}} = 0.7525\ kg\ (vapor)$$

$$m_l = 1.5 - 0.7525 = 0.7475\ kg\ (líquido)$$

7. En un recipiente de fronteras adiabáticas se mezclan 30 g de hielo a 0°C con 15 g de agua a 22°C y con 3 g de vapor a 100°C. Establezca la situación de equilibrio (temperatura y masa de cada fase). El proceso ocurre a 101.325 kPa. Considere los siguientes datos.

$$C_{líq} = 1\frac{cal}{g\ \Delta_1°C};\ \lambda_{fus} = 79.7\frac{cal}{g};\ \lambda_{ebu} = 539.1\frac{cal}{g}$$

Solución:



Balance:

Energía ganada + Energía pérdida = 0

La corriente 1 gana calor y se funde:

$$30g * 78.7\frac{cal}{g} = 2391\ cal$$

La corriente 2 se enfría y pierde energía:

$$15g * \left(1\frac{cal}{g\ \Delta_1°C}\right) * (0 - 22)\ \Delta_1°C = -330\ cal$$

La corriente 3 se condensa y se enfría como líquido (pierde energía):

$$-3\ g * 539.1\frac{cal}{g} + 3g * \left(1\frac{cal}{g\ \Delta_1 °C}\right) * (0-100)\ \Delta_1 °C = -1{,}917.3\ cal$$

Sustituyendo en el balance de energía:

$$2{,}391\ cal > 330\ cal + 1{,}917.3\ cal = 2{,}247.3$$

Como no se cumple la igualdad entonces no funde todo el hielo, entonces:

$$m_{s\to l} * 79.7\frac{cal}{g} = 2247.3\ cal$$

De donde:

$m_{s\to l} = 28.2\ (líquido)$
$m_s = (30 - 28.2)$
g = 1.8 g (sólido)

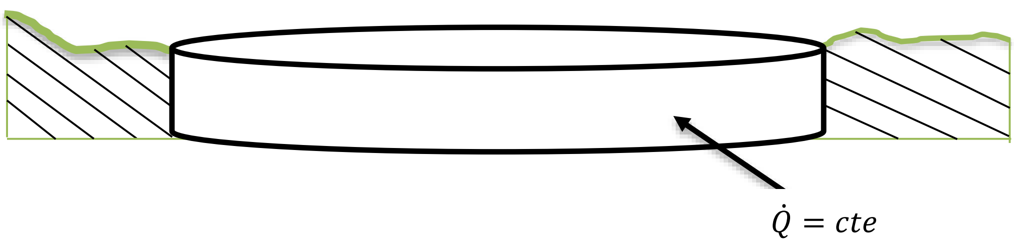
Al final hay:

(28.2 + 15 + 3) g = 46.2 g de líquido y 1.8 g de sólido; la temperatura final es de 0°C.

8. En una película de reciente estreno se dice que una laguna de 160 X 10^6 dm^3 de agua pasa de 22 °C a las 9:00 h a 82°C a las 15:00 h. Suponiendo que el suministro de calor sea constante, calcule cuánto tardaría en evaporarse totalmente el agua de la laguna. Considere los siguientes datos:

$$C = 4.1868\frac{J}{g\ \Delta_1 °C};\ \lambda_{ebu} = 2{,}257\frac{J}{g};\ T_{ebu} = 100\ °C;\ \rho_{agua} = 1{,}000\frac{kg}{m^3}$$

Solución:



De las 9:00 horas a las 15:00 horas el agua se calienta de 22°C a las 82°C, entonces:

$$\dot{Q} = mC\frac{\Delta T}{\Delta t} = 160\ X\ 10^6\ dm^3 * \left(\frac{1kg}{1\ dm^3}\right) * 4.1868\ \left(\frac{kJ}{kg\Delta_1 °C}\right) * \frac{(82-22)\Delta_1 °C}{6\ h}$$

$$\dot{Q} = 6.699\ X\ 10^9\frac{kJ}{h}$$

Para el calentamiento del agua hasta 100°C y su evaporación se calcula el tiempo de la siguiente expresión:

$6.699\ X\ 10^9 \frac{kJ}{h} * (\Delta t)h =$
$$160\ X\ 10^6\ dm^3 * \left(\frac{1kg}{1\ dm^3}\right) * \left[4.1868 \frac{kJ}{kg\ \Delta_1\ °C} * (100 - 82)\Delta_1 °C + 2257 \frac{kJ}{kg}\right] * (\Delta t)h$$

De donde:

Δt = 55.7 h ó 61.7 h desde el inicio.

9. En el experimento del laboratorio de la capacidad térmica específica de metales el cilindro de cobre se incrusta 28 mm en la parafina. ¿Cuánto se incrustaría el cilindro de plata?

Sustancia	Al	Ag	Cu
$C\left[\frac{J}{g\Delta_1 °C}\right]$	0.900	0.236	0.386

Solución:

Sea ε el espesor que según el problema es proporcional a la capacidad térmica, $\varepsilon \propto C$ ó $\varepsilon = kC$, con k = constante de proporcionalidad. Para el cobre y la plata se tiene:

$$\varepsilon_{Ag} = k\ C_{Ag}$$
$$\varepsilon_{Cu} = k\ C_{Cu}$$

Dividiendo se obtiene:

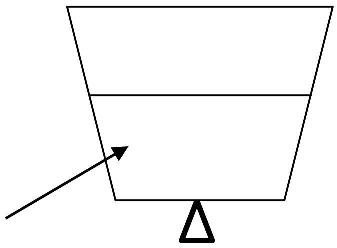
$$\frac{\varepsilon_{Ag}}{\varepsilon_{Cu}} = \frac{C_{Ag}}{C_{Cu}}$$

Entonces:

$$\varepsilon_{Ag} = \frac{\varepsilon_{Cu} * C_{Ag}}{C_{Cu}} = 28\ mm * \left(\frac{0.236 \frac{J}{g\Delta_1 °C}}{0.386 \frac{J}{g\Delta_1 °C}}\right) = 17.12\ mm$$

10. En una cacerola se pone agua, inicialmente a 18°C, a calentar en un fogón. El agua comienza a hervir después de 15 min. ¿Cuánto tardaría en evaporarse por completo? Considere 101.325 kPa, 9.81 m/s^2, 1 cal/g Δ_1°C, λ_{ebu} = 539.7 cal/g.

Solución:



$$\frac{\dot{Q}}{m} = \dot{q} = cte$$

Para el calentamiento:

$$\dot{q} = \frac{C\Delta T}{\Delta t}$$

$$\dot{q} = \left(1\,\frac{cal}{g\Delta_1 °C}\right) * \frac{(100-18)\Delta_1 °C}{15\ min} = 5.467\,\frac{cal}{g\ min}$$

Para la evaporación:

$$\Delta t * \dot{q} = 539.7\,\frac{cal}{g}$$

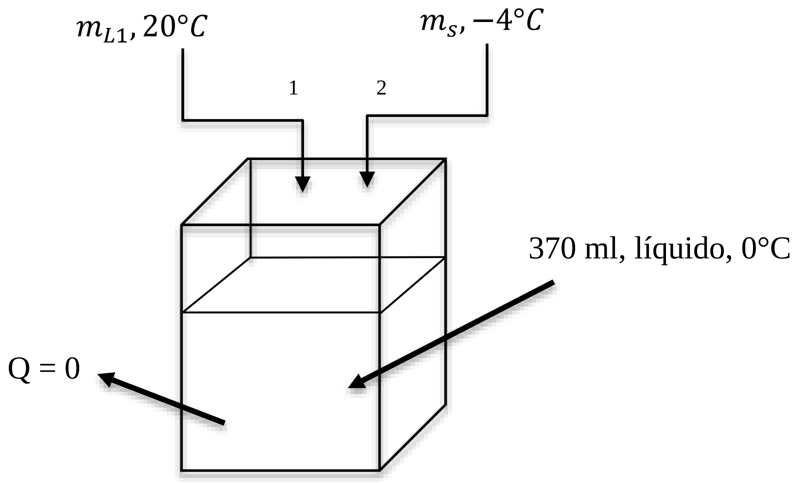
De donde:

$$\Delta t = \frac{\left(539.7\,\frac{cal}{g}\right)}{\left(5.467\,\frac{cal}{g\ min}\right)} = 98.72\ min$$

11. Se mezclan en un vaso adiabático agua líquida a 20°C con hielo a – 4°C en tal proporción que al final se tiene 370 ml de agua líquida a 0°C. Calcule la masa de hielo original, en gramos. Considere:

$$\rho_{líquido} = 1{,}000\ \frac{kg}{m^3};\ \ C_{sólido} = 1.86\ \frac{kJ}{kg * K};\ C_{líquido} = 4.1868\ \frac{kJ}{kg * K};\ \lambda_{fusión} = 335\,\frac{kJ}{kg}$$

Solución:



La corriente 1 se enfría desde 20°C hasta 0°C (pierde energía); la corriente 2 se calienta desde - 4°C hasta 0°C y se funde (gana energía). Al final:

$$m_{12} = 370\ ml = 370\ g$$

Entonces:

$$m_{L1} + m_s = 370\ g$$

$$m_{L1} = 370\ g - m_s$$

Balance de energía:

Energía ganada + Energía perdida = 0

$$m_s C_s \Delta T + m_s \lambda_{fusión} + m_{L1} C_1 \Delta T = 0$$

$$m_s C_s (T_2 - T_1) + m_s \lambda_{fusión} + m_{L1} C_1 (T_2 - T_3) = 0$$

$$m_s \left(C_s (T_2 - T_1) + \lambda_{fusión} \right) + m_{L1} C_1 (T_2 - T_3) = 0$$

Sustituyendo términos:

$$m_s * \left[1.86 \frac{kJ}{kg*K} (0 - (-4)K) + 335 \frac{kJ}{kg} \right] + (0.37\ kg - m_s) * \left[4.1868 \frac{kJ}{kg*K} (0 - 20)K \right] = 0$$

$$m_s \left(342.44 \frac{kJ}{K} \right) + (0.37\ kg - m_s) \left(-83.736\ \frac{kJ}{K} \right) = 0$$

$$m_s\left(342.44\frac{kJ}{K}\right)+m_s\left(83.736\ \frac{kJ}{K}\right)=(0.37\ kg)\left(83.736\ \frac{kJ}{K}\right)$$
$$m_s\left(342.44\frac{kJ}{K}+83.736\ \frac{kJ}{K}\right)=(0.37\ kg)\left(83.736\ \frac{kJ}{K}\right)$$

$$m_s=\left(\frac{83.736\ \frac{kJ}{K}}{426.176\ \frac{kJ}{K}}\right)(0.37\ kg)$$

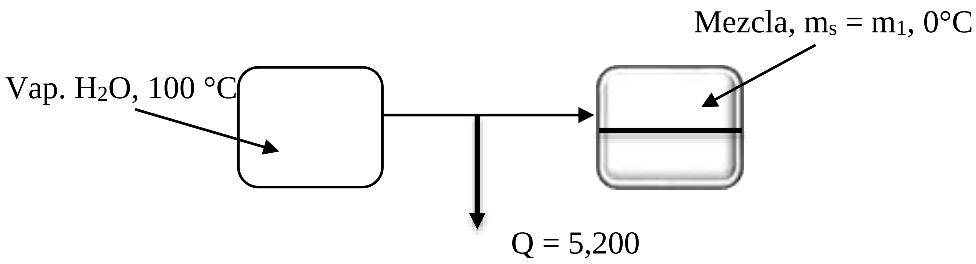
$$m_s=0.0727\ kg=72.7\ g$$

12. En un recipiente se encuentra vapor de agua a 100°C y 1.01325 atm. El vapor se enfría mediante la extracción de 5200 kJ de calor hasta que al final la mitad de la masa es hielo. Calcule la masa de hielo que se forma. Datos:

$$C_{líquido}=4.1868\frac{kJ}{kg*K};\ \lambda_{fg}\ =2{,}257\frac{kJ}{kg};\ \lambda_{sf}\ =\ 335\frac{kJ}{kg}$$

Considere que la presión es constante en todo el proceso.

Solución:



El vapor se condensa a 100°C, se enfría el líquido desde 100°C hasta 0°C y la mitad de la masa se solidifica. El balance de energía es:

- Q_{ext} = Energía perdida

Entonces:
$$-5{,}200\ kJ=m*\left[-2{,}257\frac{kJ}{kg}+4.1868\frac{kJ}{kg*K}(0-100)K-\left(0.5*335\frac{kJ}{kg}\right)\right]$$

De donde:

m = 1.829 kg

Y la masa de sólido es:

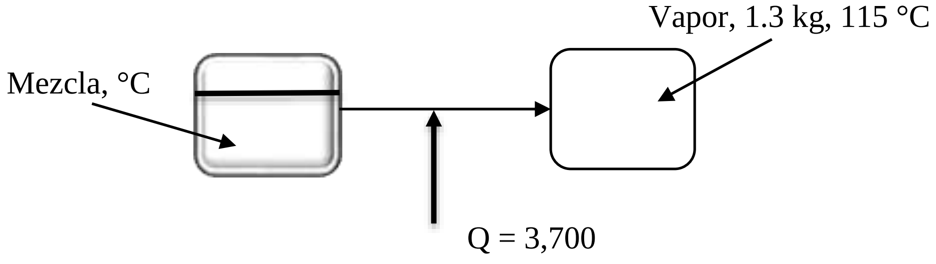
m_s = 0.915 kg

13. Se agregan 3700 kJ de calor a un recipiente que contiene inicialmente una mezcla líquido-sólido de agua. Al final se tiene 1.3 kg de vapor a 115°C. Determine la masa inicial de líquido, en kg. Use los siguientes datos:

$C_{líquido} = 4.1868 \frac{kJ}{kg*K}$; $C_{vapor} = 2.093 \frac{kJ}{kg*K}$; $\lambda_{fus} = 335 \frac{kJ}{kg}$; $\lambda_{fg} = 2{,}257 \frac{kJ}{kg}$

$P = 1\ atm\ (constante)$; $T_{ebu} = 100^o C$

Solución:



El sólido inicial se funde, el líquido se calienta desde 0°C hasta 100°C, se evapora a la misma temperatura y luego se calienta el vapor hasta 115°C. El balance de energía es:

Q = energía ganada

Se sabe que:

$\Delta T_1 = (100 - 0)K$
$\Delta T_2 = (115 - 100)K$

Entonces, con $m_{s\to l}$ la masa de sólido inicial, se tiene:

$$3{,}700\ kJ = m_{s\to l} * \lambda_{fus} + m_{vapor} * \left[C_{líquido}(\Delta T_1) + \lambda_{fg} * C_{vapor} * (\Delta T_2)\right]$$

$$3{,}700\ kJ = m_{s\to l} * 335 \frac{kJ}{kg} + 1.3\ kg * \left\{\left[4.1868 \frac{kJ}{kg*K} * (100 - 0)K\right] + 2{,}257 \frac{kJ}{kg} + \left[1.86 \frac{kJ}{kg*K} * (115 - 100)K\right]\right\}$$

Despejando $m_{s\to l}$:

$m_{s\to l} = 0.553$

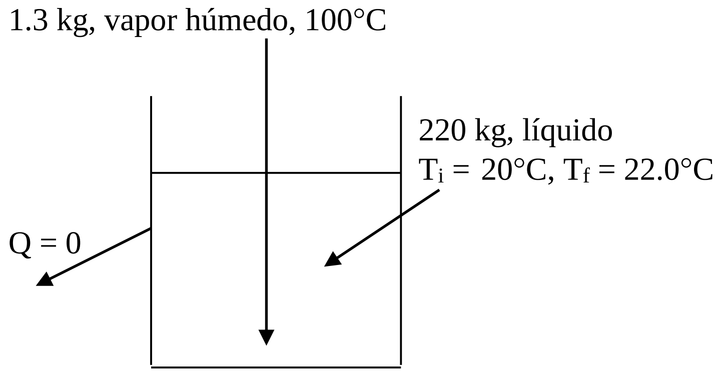
Entonces la masa inicial del líquido es:

$m_{i,l} = (1.3 - 0.553)kg = 0.747\ kg$

14. Se burbujean 1.3 kg de una mezcla de líquido y de vapor de agua a 100°C y 1 atm en 220 kg de agua a 20°C, de tal forma que al final se tiene agua a 22.0°C. Calcule el porcentaje en masa del líquido que acompaña al vapor. El proceso isobárico sucede dentro de fronteras adiabáticas. Use los siguientes datos:

$$C_{líquido} = 4.1868\,\frac{kJ}{kg * K}\ ;\ \ \lambda_{ebu} = 2{,}257\,\frac{kJ}{kg}$$

Solución:



El agua líquida se calienta desde 20°C hasta 22.0°C (gana energía); el agua líquida del vapor condensa a 100°C y el líquido se enfría hasta 22.0°C (pierde energía). El balance de energía es:

Energía ganada + Energía perdida = 0

Sea $m_{v\to l}$ la masa de vapor que acompaña al vapor húmedo; entonces:

$m_1 = 1.3\ kg\ (mezcla\ líquido - vapor)$
$T_1 = 100°C$

$m_2 = 220\ kg\ (agua\ líquida)$
$T_2 = 20°C$

$T_{final_{H2O}} = 22.0\ °C$

$\Delta T_1 = (22 - 20)K$
$\Delta T_2 = (22 - 100)K$

$$m_2 * C_{líquido} * \Delta T_1 - m_{v\to l} * \ \lambda_{ebu} + m_2 * C_{líquido} * \Delta T_1 = 0$$

$$220\ kg * \left(4.1868\,\frac{kJ}{kg*K}\right) * (22-20)K - m_{v\to l} * 2257\,\frac{kJ}{kg} + 1.3\ kg * \left(4.1868\,\frac{kJ}{kg*K}\right) * (22-100)K = 0$$

Resolviendo se obtiene que:

$m_{v \to l} = 0.628\ kg$

Y entonces el líquido en el vapor húmedo es:

$m_{v \to l} = 1.3\ kg - 0.628\ kg = 0.628\ kg$

Él porcentaje solicitado es:

$$\%\ líquido = \left(\frac{0.672\ kg}{1.3\ kg}\right) * 100 = 51.68\ \%$$

15. Una persona de 60 kg suda para bajar su temperatura en 2°C. ¿Cuánta agua debe tomar, en ml, para reponer el sudor que evapora? Use:

$$C_{persona} = 3.480 \frac{J}{g * \Delta_1 °C}\ ;\ \ \lambda_{sudor}\ = 2.42 \frac{J}{g}$$

Solución:

Para la persona:

$$Q_{persona} = mC\Delta T = 0.060\ g * \left(3.480 \frac{J}{g * \Delta_1 °C}\right) * 2\ \Delta_1 °C = 417.6\ kJ$$

Para el sudor:

$$Q_{sudor} = (m\lambda)_{sudor} = 2.420 \frac{J}{g} * m_{sudor}$$

Resolviendo:

$$Q_{persona} = 2.420 \frac{J}{g} * m_{sudor}$$

$$m_{sudor} = \frac{0.4176\ J}{2.420 \frac{J}{g}} = 0.17256$$

$m_{sudor} = 0.173\ kg$

Y como:

$\rho = \frac{1\ kg}{1\ L}$

Entonces:

$$V = \frac{0.173\ kg}{\left(\frac{1\ kg}{1\ L}\right)} = 0.173\ L = 173\ ml$$

16. En una planta productora de aluminio se tiene un canal con aluminio a 800°C y se desea producir láminas de aluminio a 20°C, mediante la extracción isobárica de calor. Calcula el calor extraído, en GJ, para la producción de una tonelada de aluminio. Datos a 1 atm de presión (constante):

$T_{eb} = 2{,}056\,℃;\ T_{fus} = 660\,℃;\ \lambda_{fus} = 395.86\frac{kJ}{kg};\ C_{líq} = 1.19\frac{kJ}{kg*K};\ C_{sól} = 0.816\ \frac{kJ}{kg*K}$

Solución:

Al inicio el aluminio es líquido; por tanto se enfría como líquido, se solidifica y se enfría como sólido. Entonces el calor extraído es:

$$Q_{ext} = m\left[C_l(T_2 - T_1) - \lambda_{fus} + C_s(T_3 - T_2)\right] = 1{,}000\ kg * \left\{\left[\left(1.19\frac{kJ}{kg*K}\right) * (660 - 800)K\right] - 395.86\frac{kJ}{kg} + \left[\left(0.816\frac{kJ}{kg*K}\right) * (20 - 660)K\right]\right\}$$

$$Q_{ext} = -1{,}084{,}700\ kJ = -1.085\ GJ$$

$$Q_{ext} = -1.085\ GJ$$

17. Calcule la cantidad de calor que se tiene que extraer del tanque del problema 32, del tema 1, si el estado final es líquido a 0°C. Los datos para el R134A son:

$$\lambda_{ebulli} = 187.85\frac{kJ}{kg}$$
$$C_{Líq} = 1.35\frac{kJ}{kg * K}$$

La presión permanece constante a 4.43 bares.

Solución:

De acuerdo con el problema anterior la temperatura inicial es de 12°C por lo que el vapor condensará a esa temperatura y el líquido se enfriará hasta 0°C; también la masa total inicial es de 7.6 kg y el vapor inicial es de 0.09*7.6 kg = 0.684 kg.

El calor extraído es:

$$Q = -m_{v\to L}\,\lambda_{ebulli} + m_{total}C_{Líq}\left(T_{fin} - Ti\right)$$

$$Q = -0.684\,kg\left(187.85\frac{kJ}{kg}\right) + \left[7.6\,kg * \left(1.35\frac{kJ}{kg*K}\right) * (0-12)K\right]$$

$$Q = (-128.49 - 123.12)kJ = -251.61\,kJ$$

18. Un tanque contiene una mezcla líquido vapor de agua, con 30% masa de vapor. Se agregan al tanque 2100 kJ/kg de calor. Calcule la temperatura final del agua. Considere lo siguiente:

$$P = 1\,atm;\ C_{Vap} = 2.093\frac{kJ}{kg*K};\ T_{evap} = 100\,℃$$

Solución:

El agregado de calor ocasionará que el líquido de la mezcla se evapore a 100°C y el vapor total se caliente. Sea la masa de vapor total m_{total} y como $q = \frac{Q}{m_{total}}$, entonces:

$$q = \frac{Q}{m_{total}} = 0.7\lambda_{evap} + C_{Vap}\left(T_{fin} - T_i\right)$$

$$q = 2100\frac{kJ}{kg} = 0.7 * 2257\frac{kJ}{kg} + \left(2.093\frac{kJ}{kg*K}\right) * \left(T_{fin} - 373\right)K$$

de donde:

$$T_{fin} = 621.5\,K = 348.5\,°C$$

19. En un recipiente adiabático se mezclan 200 g de vapor de agua en su punto de ebullición normal con 300 g de hielo en su punto de fusión y se espera el tiempo suficiente para que se alcance el equilibrio térmico. Establezca la situación final de equilibrio (temperatura y masa de cada fase). Considere:

$$\lambda_{fusión} = 79.7\frac{cal}{g};\ \lambda_{fusión} = 539.1\frac{cal}{g};\ C_L = 1\frac{kcal}{kg*K}$$

Solución:

El balance de energía es:

$$E_{gan} + E_{per} = 0$$

El vapor se condensa a 100°C (punto de ebullición normal) y el líquido se enfría hasta una temperatura de equilibrio. El hielo se funde a 0°C y el líquido se calienta hasta una temperatura de equilibrio. Para el agua líquida:

La energía perdida es:

$$E_{per} = -0.2\,kg * 539.1\frac{kcal}{kg} + 0.2\,kg\,C_{Líq}\left(T_{eq} - T_i\right)$$

$E_{per} = -107.82\ kcal\ +\ 0.2\ kg * C_{Líq}\left(T_{eq} - T_{iV}\right)$

La energía ganada es:

$$E_{gan} = \ 0.3\ kg * 79.3\frac{kcal}{kg}\ +\ 0.3\ kg * C_{Líq}(T_{eq} - T_{iL})$$
$$E_{gan} = 23.79\ kcal\ +\ 0.3\ kg *\ C_{Líq}(T_{eq} - T_{iL})$$

Se observa que el hielo no es suficiente para condensar todo el vapor. Entonces al final se tendrá una mezcla líquido vapor a 100°C. Sea $m_{v\rightarrow L}$ la masa del vapor que condensa, entonces:

$$m_{v\rightarrow L}\ * 539.1\frac{kJ}{kg} = 23.79\ kcal + \left(0.3\ kg * 1\frac{kcal}{kg * K}\right) * (373 - 273)K$$

De donde:

$$m_{v\rightarrow L}\ = 0.0998\ kg$$

Entonces al final se tendrá una masa de vapor de:

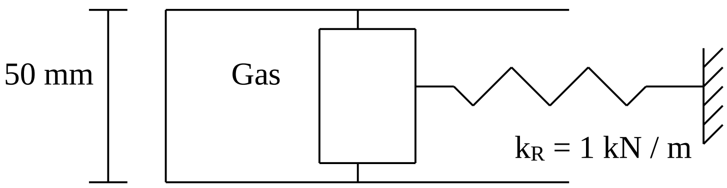
(0.2 – 0.0998) kg = 0.1 kg

Y una masa de líquido de:

(0.3 + 0.1) kg = 0.4 kg

20. Se agrega energía al gas contenido en un cilindro horizontal de diámetro igual a 50 mm con émbolo, que tiene adaptado un resorte para el cual $k_R\ = 1\frac{kN}{m}$, hasta que en el cilindro se llega a 400 kPa. Al principio el resorte no ejerce fuerza sobre el pistón. Calcule el trabajo hecho por el gas sobre el pistón. Use P_{atm} = 75 kPa. Considere que el émbolo carece de fricción.

Solución:



Ya que al inicio el resorte no ejerce fuerza sobre el pistón, entonces la presión inicial es la atmosférica, P_0 = 75 kPa; también se toma x_0 = 0. Al final se tiene entonces que:

$$P_1 = P_0 + \frac{k_R(x_1 - x_2)}{A}$$

$$x_1 = (4{,}00{,}000 - 75{,}000)Pa * \pi * \frac{\left(\frac{0.05}{2}\right)^2 m^2}{100\frac{N}{m}} = 0.64\ m$$

El trabajo hecho por el gas es de expansión y se calcula como:

$$W_{\exp} = \int PdV = \int Pd(Ax) = \int_{x_0}^{x_1} PAdx = \int_{x_0}^{x_1} (P_{atm}A + k_R x)dx = P_{atm}Ax_1 + \frac{k_R x_1^{\ 2}}{2}$$

$$W_{exp} = 75000\frac{N}{m^2} * \pi * \left(\frac{0.05}{2}\right)^2 m^2 * 0.64\ m + \frac{100\frac{N}{m}*(0.64\ m)^2}{2} = 299.05\ J\ (sale)$$

21. Un gas en un cilindro con pistón sufre un proceso politrópico y casiestático desde 7.5 bares y 250000 cm^3 hasta 1.8 bares y 750000 cm^3. Calcule el trabajo, en kJ, e indique su dirección.

Solución:

Para el trabajo politrópico se conoce que:

$PV^n = C$ y $W_{ec} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$

Obteniendo los logaritmos en la relación presión volumen se tiene:

$\ln P_1 + n*\ln V_1 = \ln P_2 + n*\ln V_2$

De donde:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{7.5\ \text{bares}}{1.8\ \text{bares}}\right)}{\ln\left(\frac{750{,}000\ \text{cm}^3}{250{,}000\ \text{cm}^3}\right)} = 1.3$$

Sustituyendo valores en la ecuación del cálculo del trabajo se tiene:

$$W_{ec} = \frac{7.5X10^2\ \text{kPa} * 250{,}000X10^{-6}\ \text{m}^3 - 1.8X10^2\ \text{kPa} * 750{,}000X10^{-6}\ \text{m}^3}{1.3-1} = 175\ \text{kJ (sale)}$$

22. Un globo esférico de 18 m de diámetro va a llenarse con el helio que está en un tanque a presión. El globo está inicialmente vacío, en una localidad donde la presión atmosférica es 80 kPa. Determine el trabajo que hace el helio mientras el globo se llena. La presión del gas en el globo varía con el radio r de acuerdo con:

$$P = 0.286\frac{kPa}{m^2} * r^2 + 80\ kPa$$

En donde r está en m y P está en kPa.

Solución:

Como: $V = \frac{4\pi r^3}{3}$

Entonces: $dV = 4\pi r^2\, dr$

El trabajo es de expansión (a presión constante) y se calcula como:

$$W_{exp} = \int P\, dV$$

$$W_{exp} = \int (ar^2 + P_0)(4\pi r^2\, dr) = 4\pi \int_0^9 (ar^4 + P_0 r^2) dr$$

$$W_{exp} = 4\pi \left(\frac{ar^5}{5} + \frac{P_0 r^3}{3} \right)_0^9$$

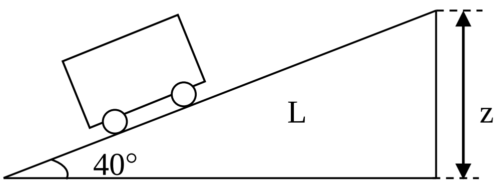
Sustituyendo valores, se tiene:

$$W_{\mathrm{exp}} = 4 * \pi * \left[\frac{0.286 \frac{\mathrm{kPa}}{\mathrm{m}^2} * (9\ \mathrm{m})^5}{5} + \frac{80\ \mathrm{kPa} * (9\ \mathrm{m})^3}{3} \right] = 2{,}867{,}35.13\ \mathrm{kJ} = 286.7\ \mathrm{MJ}$$

23. Un automóvil de 3,200 kg viaja con una velocidad constante de 90 km/h. Justo al iniciar el ascenso por un plano inclinado 40° con la horizontal, el chofer apaga el motor.

a) Calcule la distancia que recorrerá el coche antes de detenerse.
b) Calcule nuevamente, pero considere que las ruedas sufren una fricción con el pavimento del plano inclinado de 0.2 N/kg. Use el valor constante g = 9.78 m/s^2.

Solución:



a) La primera ley es:

$$\Delta E_c + \Delta E_p = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} + mg(z_1 - z_0) = 0$$

Tomando los valores de:

$v_2 = 0;\ v_1 = 90\frac{km}{h} = 25\frac{m}{s};\ z_0 = 0; z_1 = L\,Sen\ (40°)$

La primera ley se transforma en:

$$-\frac{v_1^2}{2} + gL\,Sen(40°) = 0$$

De donde, despejando L, se tiene:

$$L = \frac{\left(25\frac{m}{s}\right)^2}{\left[2 * 9.78\frac{m}{s^2} * Sen(40°)\right]} = 49.71\,m$$

b) En este caso la primera ley es:

$$\frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} + mg(z_1 - z_0) + mF_{fr}L = 0$$

Despejando L, se tiene:

$$L = \frac{\left(25\frac{m}{s}\right)^2}{\left\{2 * \left[9.78\frac{m}{s^2} * Sen(40°) + 0.2\frac{N}{kg}\right]\right\}} = 41.74\,m$$

24. Una bomba de bicicleta de 24 cm de carrera total y 5 cm de diámetro se usa para inflar una llanta de coche. La fuerza para el bombeo es proporcional a la carrera z:

$$F = K + Az$$

en donde A es 0.12 N/cm y K varía de acuerdo con el número de bombazos:

No. de bombazos	1	2	3	…
K (N)	1	5	9	…

y así sucesivamente. Si para inflar la llanta se necesitan 190 bombazos, halle el trabajo necesario.

Solución:

Para un bombazo:

$$W_j = \int_0^L F\, dz$$
$$W_j = \int_0^L (K + Az) dz$$

$$W_j = KL + \frac{AL^2}{2}$$

Para 190 bombazos:

$$W_t = \sum_{j=1}^{m=190} \left(KL + \frac{AL^2}{2} \right)$$

$$W_t = L \sum_{j=1}^{m=190} \left(L + \frac{AL^2 m}{2} \right)$$

Como:

$$K = 4j - 3$$

Entonces:

$$\sum_{j=1}^{m=190} K = \left(\frac{4 * 190 * 191}{2} \right) - 3 * 190 = 72{,}010\ N$$

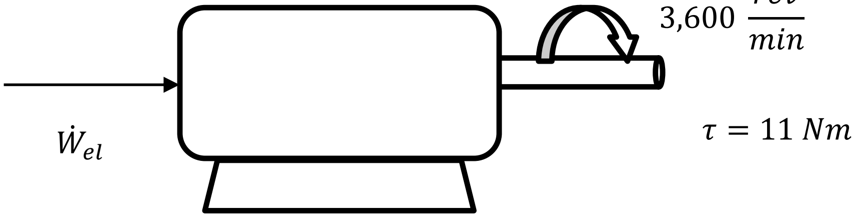
El trabajo necesario es:

$$W_t = 0.24\ m * 72{,}010\ N + 12 \frac{N}{m} * \frac{(0.24\ m)^2}{2} * 190$$

$$W_t = (17{,}282.4 + 65.664) J = 17{,}348.064\ J = 17.35\ kJ$$

25. Un motor mueve una flecha a 3,600 rev/min con un momento de torsión de 11 Nm. El 90% de la electricidad que recibe el motor sirve para mover la flecha. Calcule cuánto se paga de electricidad al año (330 días) si cuesta 0.06 $/kWh.

Solución:



Conociendo la relación entre torsión y potencia, se sabe que:

$\dot{W}_f = \tau\omega 2\pi$

Donde:

ω = frecuencia de rotación y τ = par

Entonces:

$$\dot{W}_f \ = \ 2 * \pi * 11\ N\ m * 3600\ \frac{rev}{min} * \left(\frac{1\ min}{60s}\right)\ = 4{,}169.90\ W$$

Entonces:

$$\dot{W}_{el} = \frac{\dot{W}_f}{0.9} = 4{,}607.67\ kW = 4.61\ kW$$

El costo es:

$$C = 4.61\ kW * \left(\frac{1\ h}{1\ h}\right) * \left(\frac{24\ h}{1\ día}\right) * \left(\frac{330\ días}{1\ año}\right) * \left(\frac{0.06\ \$}{kWh}\right) = 2{,}190.67\ \frac{\$}{año}$$

26. El aire encerrado en un cilindro con émbolo, carente de fricción, sufre una compresión según

$$\log(P) + 1.4\log(v) = constante$$

El fluido estaba al inicio del proceso casiéstatico a 78 kPa y 6 dm^3 y recibe 0.83 kJ de trabajo. Halle la presión final.

Solución:

Transformando la ecuación $\log(P) + 1.4\log(V) = C$ se tiene:

$PV^{1.4} = C = P_1V_1^{1.4} = P_2V_2^{1.4}$

El trabajo es politrópico y se calcula con la siguiente fórmula:

$$W_{com} = \frac{P_1\ V_1 - P_2V_2}{n-1}$$

Sustituyendo términos se resuelve el problema:

$$(1.4-1) * (-0.83\ kJ) = 78\ kPa * 0.006\ m^3 - 0.006\ m^3 * \left(\frac{78\ kPa}{P_2}\right)^{\frac{1}{1.4}} * P_2$$

$$-0.332\ kJ = 0.468 - 0.006 * (78)^{0.7143} * P_2^{0.2857}$$

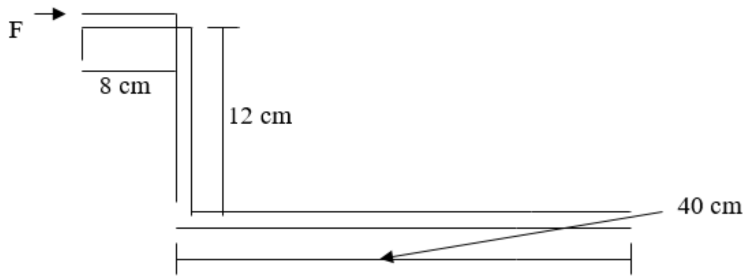
$P_2^{0.2857} = 5.9347$

Finalmente:

$P_2 = 509.21\ kPa$

27. Si en la manivela se aplican tangencialmente 150 N y se dan 325 vueltas, ¿cuánto trabajo se entrega?

Solución:



El trabajo es de flecha y se calcula de la siguiente manera:

$W_f = \tau\omega 2\pi$

$$W_f = (150\ N)(0.12\ m)(325\ vueltas)\left(\frac{2\pi}{vuelta}\right) = 36{,}757\ J = 36.757\ kJ$$

28. En un experimento con una sustancia compresible y simple se determina:

P[mmHg]	760	1,140	1,520	2,280	3,040	3,800
V[cm^3]	48.3	37.4	31.3	24.1	20	17.4

Calcule el trabajo necesario para que 760 g de la sustancia pasen casiestáticamente de 45 cm^3 a 18 cm^3.

Solución:

Sabiendo que 760 mmHg son igual a 101.325 kPa y que 1 m^3 es igual a 10^{-6} cm^3, se convierten los datos y para los volúmenes que pide el problema se realiza una interpolación lineal por lo que se obtienen los siguientes resultados:

P (kPa)	V X 10^{-6} (m^3)
101.325	48.3
116.6631	45

151.9875	37.4
202.65	31.3
303.975	24.1
405.3	20
483.2423	18
506.625	17.4

El trabajo buscado es del tipo:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

qué es el área bajo la curva obtenida al graficar los datos de presión y de volumen. El problema se puede resolver numéricamente utilizando la fórmula del rectángulo o del trapezoide que son:

$$W = \sum_{i=1}^{n} P_i(V_{i+1} - V_i) \quad (rectángulo)$$

$$W = \frac{1}{2} * \sum_{i=1}^{n-1} (P_i + P_{i+1})\,(V_{i+1} - V_i) \quad (trapezoide)$$

Utilizando la fórmula del rectángulo se produce el resultado de:

$$W = -0.005927\ kJ$$

ó

$$w = \frac{-0.005927\ kJ}{0.76\ kg} = -0.0078 \frac{kJ}{kg}$$

mientras que utilizando la fórmula del trapezoide produce los valores de:

$$W = -0.006896\ kJ$$

ó

$$w = \frac{-0.006896\ kJ}{0.76\ kg} = -0.009074 \frac{kJ}{kg}$$

siendo los primeros valores los más exactos.

29. Una fuerza constante de 500 N hace un ángulo θ con la horizontal. Esta fuerza se aplica en un cuerpo para desplazarlo horizontalmente 50 m. El ángulo θ varía con el desplazamiento x del objeto según:

$$Cos\ (\theta) = 0.1 + 15X10^{-3}x$$

en donde θ está en (grados) y *x* en m. Calcule el trabajo necesario.

Solución:

Considerando $x_0 = 0$, el trabajo se calcula como:

$$W = \int_0^{x_1} F\,dx = \int_0^{x_1} \big(500\,N * Cos(\,\theta)\big)dx$$

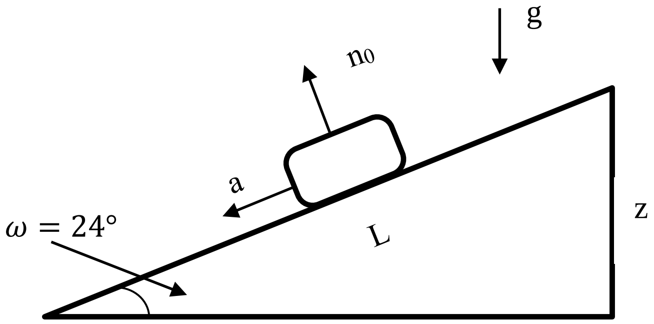
$$W = 500\,N \int_0^{50\,m} (0.1 + 15X10^{-3}x)dx$$

$$W = 500\,N * \left(0.1x + \frac{15X10^{-3}\,x^2}{2}\right)_0^{50\,m}$$

$$W = 2{,}518.75\,J = 2.52\,kJ$$

30. Hay que subir un objeto de 300 kg una altura de 3 m. Se coloca una rampa recta, inclinada 24° con la horizontal, con un coeficiente de fricción de μ=0.20. Si la velocidad del objeto fuese despreciable, calcule la eficiencia de esta "máquina simple".

Solución:



De la figura:

$$a = mgSen(\omega)$$

$$n_0 = mgCos(\omega)$$

$$L = \frac{z}{Sen(\omega)}$$

La suma de fuerzas sobre el objeto es:

$$\Sigma F = 0$$

$$F_{ext} - F_{fr} - ma = 0$$

de donde:

$$F_{ext} = F_{fr} + ma = mg\mu Cos(\omega) + mgSen(\omega)$$

Integrando el producto de la fuerza externa por la distancia recorrida se tiene el trabajo hecho:

$$W_h = \int_0^L F_{ext} dx = F_{ext}(x|_0^L) = F_{ext} * L$$

$$W_h = [mg\mu Cos(\omega) + mgSen(\omega)] * L$$

$$W_h = [mg\mu Cos(\omega) + mgSen(\omega)] * \frac{z}{Sen(\omega)}$$

El trabajo deseado es:

$$W_d = mgz$$

Y la eficiencia sería:

$$\eta = \frac{W_d}{W_h}$$

Entonces:

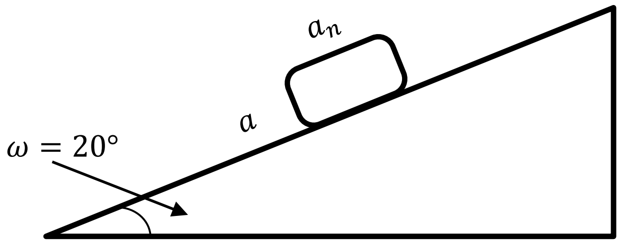
$$\eta = \frac{mgz}{[mg\mu Cos(\omega) + mgSen(\omega)] * \frac{z}{Sen(\omega)}} = \frac{Sen(\omega)}{\mu Cos(\omega) + Sen(\omega)}$$

$$\eta = \frac{Sen(24°)}{0.2 * Cos(24°) + Sen(°24)} = 0.69$$

$$\eta = 69\ \%$$

31. Un automóvil de 2700 kg asciende por una cuesta inclinada 20° con la horizontal a 60 km/h constantes. Las llantas sufren una fricción de 0.2 N/kg con el pavimento. Calcule la potencia que ejerce el motor del coche durante 10 s del ascenso. Considere: g = 9.8 m/s^2.

Solución:



De la figura:

$a = gSen(\omega)$

Para velocidad constante:

$F_{motor} = m_{coche}a + F_{fr}$

Y como:

$$F_{motor} = \frac{\dot{W}}{\mathrm{v}_{coche}}$$

Entonces:

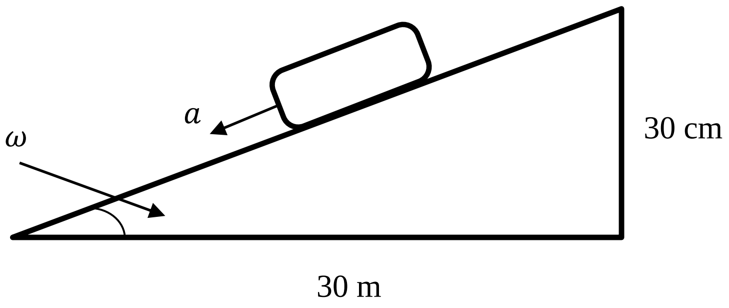
$\dot{W} = (m_{coche}a + m_{coche}\mu)\mathrm{v}_{coche} = [m_{coche}gSen(\omega) + m_{coche}\mu]\mathrm{v}_{coche}$

$\dot{W} = 2{,}700\ kg\left[9.8\frac{m}{s^2} * Sen(20°) + 0.2\frac{N}{kg}\right] * 60\frac{km}{h} * \frac{1h}{3600\ s} * \frac{1000\ m}{1\ km} = 159{,}830.88\ W$

$\dot{W} = \frac{159{,}830.88\ W}{746\ HP} = 214.25\ HP$

32. ¿Cuál es la potencia que desarrolla una locomotora que sube un tren a 50 km/h por una pendiente que se eleva 30 cm verticalmente cada 30 m medidos horizontalmente? La masa total de la locomotora y de los vagones es 4600 tones y la resistencia por fricción es 30 N/ton. Tome g = 9.8 m/s^2.

Solución:



De la figura:

$$Tan(\omega) = \frac{0.3\ m}{30\ m}$$

Entonces:

$\omega = 0.5729°$

Además:

$a = gSen(\omega)$

El balance de fuerzas es:

$F_{locom} - ma - F_{fr} = 0$

Entonces:

$F_{loco} = ma + F_{fr}$

$\dot{W}_{locom} = \left(ma + F_{fr}\right)\mathrm{v}_{tren} = m(a + \mu)\mathrm{v}_{tren}$

$$\dot{W}_{locom} = \left[4{,}600{,}000\ kg * 9.8\frac{m}{s^2} * Sen(0.5729°)\right] + 4{,}600\ ton * \left(\frac{30\ N}{ton}\right) * 13.8889\frac{m}{s}$$

$\dot{W}_{locom} = 8{,}177{,}048.431\ W = 8.177\ MW$

33. Un automóvil de 1460 kg se frena desde 90 km/h hasta el reposo a lo largo de 50 m mediante una fuerza colineal constante que se opone al movimiento. Calcule el valor de la fuerza, en N.

Solución:

El balance de energía es:

$$\Delta E_c = -W = -\int_{x_0}^{x_1} F\ dx$$

Que se convierte en:

$$\frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} = -F\Delta x$$

Considerando que:

$v_2 = 0;\ \Delta x = 50\ m$

Entonces:

$$F = \frac{mv_1^2}{2\Delta x} = 1460\ kg * \frac{\left[\left(\frac{90}{3.6}\frac{m}{s}\right)^2\right]}{(2 * 50\ )m} = \frac{\left(\frac{456{,}250\ kg\ m^2}{s^2}\right)}{50\ m} = 9{,}125\ N$$

34. Se dispara una pistola de 9 mm con cañón recortado y los gases explosivos empujan una bala de plomo fuera del cañón de la pistola. La presión se registra cuidadosamente conforme la bala se acelera hacia la salida. ¿Cuál es el trabajo realizado sobre la bala?

Posición de la bala

Distancia en el cañón [cm]	0	2	3	4	5	6	7	8

Presión en la cámara de la pistola atrás de la bala [bar]	23	25	24	22	17	10	6	4

Solución:

Como d = 9 mm entonces el área transversal del cañón es:

$$A = \pi r^2 = \pi * \left(\frac{9}{2} mm\right)^2 * \left(\frac{1\, m}{1{,}000\, mm}\right)^2 = 6.3617X10^{-5} m^2$$

y el volumen es: $V = Ax$

Donde:

x- es la posición de la bala

Calculando el volumen y convirtiendo los datos de presión (100 kPa = 1 bar) se construye la siguiente tabla:

P [kPa]	V X 10^{-6} [m^3]
2,300	0
2,500	1.272
2,400	1.908
2,200	2.544
1,700	3.18
1,000	3.817
600	4.453
400	5.089

El problema se resuelve numéricamente como el área bajo la curva, creada al graficar los datos de presión y volumen, que equivale a resolver la integral:

$$\int_{V_0}^{V_7} P\, dV$$

La solución por el método del rectángulo es:

W=0.00954 kJ

Y por el método del trapezoide es:

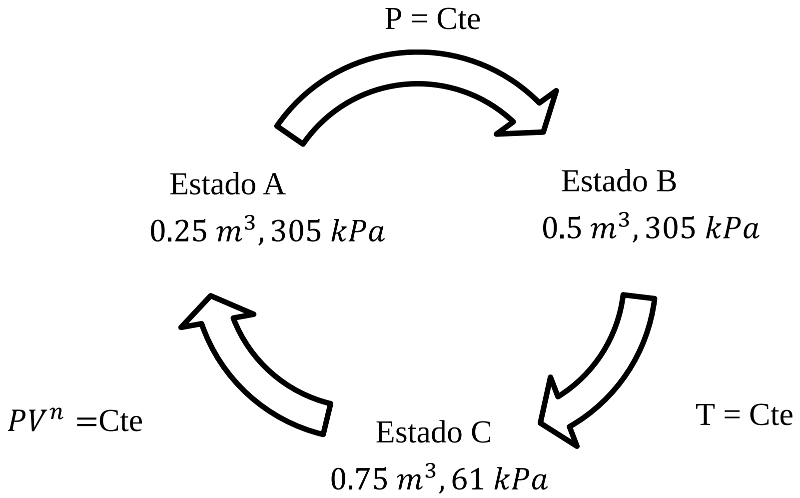
W= 0.009 kJ

(ver problema 28)

35. Una sustancia compresible y simple experimenta un ciclo dentro de un cilindro con émbolo carente de fricción. El primer proceso es isobárico y va desde 250 L y 305 kPa (estado A) hasta el doble del volumen inicial (estado B). El segundo proceso es isotérmico y finaliza cuando el volumen es el triple del volumen en (A) y la presión es un quinto de la de (A). El proceso último es politrópico. Si el calor neto del ciclo fuese 87 kJ, calcule el valor del exponente politrópico (n) para que se cumpla esta condición.

Solución:

De acuerdo con el problema se tiene:



Entonces para el proceso C-A se tiene:

$$n = \frac{In\left(\frac{P_A}{P_C}\right)}{In\left(\frac{V_C}{V_A}\right)}$$

$$n = \frac{In\left(\frac{305\ kPa}{61\ kPa}\right)}{In\left(\frac{0.75\ m^3}{0.25\ m^3}\right)} = 1.465$$

36. Una sustancia recibe trabajo de flecha y trabajo eléctrico. A la flecha se le aplica un par de 7.5 Nm a una velocidad de giro de 200 rpm durante 2 min. El trabajo eléctrico se debe a la intensidad de corriente I desde una fuente de 6 volts durante 4 min. Si el trabajo total es 26 kJ, determina la intensidad de corriente en amperes.

Solución:

El trabajo total:

$$W_t = W_{el} + W_f = VI\Delta t + \tau\omega * 2 * \pi\Delta t$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$26{,}000\,J = 7.5\,Nm * 200\,\frac{rev}{min} * 2 * \pi\,\frac{rad}{rev} * 2\,min + I * 6\,Volts * 4\,\mathrm{min}\left(\frac{60\,s}{1\,min}\right)$$

Despejando se tiene que:

$$I = 4.97\,Amperes$$

37. Una máquina de propulsión a chorro produce un empuje de 200 kN mientras que el avión se mueve con una velocidad de 300 m/s. Calcule la potencia desarrollada por la máquina, en MW, y el trabajo producido por la misma en 1 hora, en GJ.

Solución:

La potencia es:

$$\dot{W} = \frac{F\,dx}{dt} = Fv = 200{,}000\,N * 300\,\frac{m}{s} = 60{,}000{,}000\,\frac{Nm}{s} = 60\,MW$$

En una hora el trabajo es:

$$W = 60{,}000{,}000\,\frac{J}{s} * 3{,}600\,s = 216{,}000{,}000{,}000\,J = 216\,GJ$$

38. Un edificio de 60 m tiene un elevador que, para subir vacío desde la planta baja (PB) hasta cierto piso, necesita 75 kJ de trabajo. En ese piso lo abordan varias personas, que representan 270 kg y suben hasta el último piso. Para este trayecto se necesitan 560 kJ de trabajo. ¿A qué altura abordan las personas el elevador? Considere g = 9.78 m/s^2.

Solución:

La primera ley es:

$$\Delta E_p = mg\Delta z = -W$$

Del nivel 0 al 1:

$$m_{el}g(z_1 - z_0) = -(-75{,}000\,J)$$

Del nivel 1 al 2:

$$(m_{el} + 270\,kg)g(z_2 - z_1) = -(-560{,}000\,J)$$

Se obtienen dos ecuaciones con dos incógnitas: m_{el}, z_1

$m_{el}g(z_1 - z_0) = -(-75{,}000\,J)$……….(1)

$(m_{el} + 270\,kg)g(z_2 - z_1) = -(-560{,}000\,J)$……….(2)

De la ec. (1) se despeja m_{el}:

$$m_{el}: \frac{75{,}000}{gz_1}$$

Sustituyéndose en la ec. (2):

$$\left(\frac{75{,}000}{gz_1} + 270\,kg\right)g(z_2 - z_1) = 560{,}000\,J$$

Resolviendo y sustituyendo valores, $z_2 = 60\,m, g = 9.78\frac{m}{s^2}$, se tiene:

$$\left(\frac{44.01X10^6}{gz_1} + 158.436X10^3 - \frac{75{,}000\,gz_1}{gz_1} - 270gz_1 = 560{,}000\right)gz_1$$

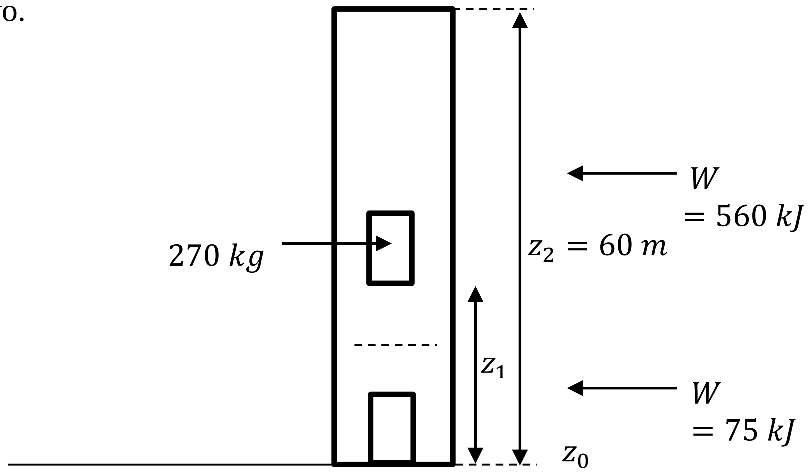
$$-270g^2z_1^2 - 476{,}564\,gz_1 + 44.01X10^6 = 0$$

$$\frac{-2{,}582.5\,z_1^2 - 4{,}660{,}795.92\,z_1 + 44.01X10^6 = 0}{-2{,}582.5}$$

Combinando las ecuaciones para la incógnita z_1 resulta una ecuación de segundo grado:

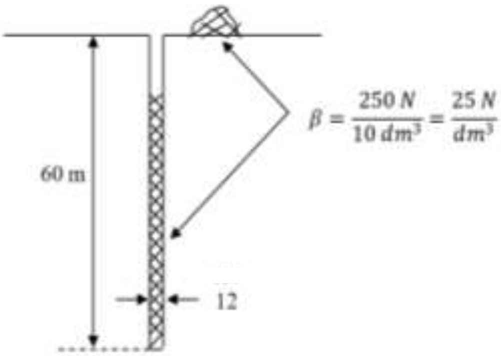
$$z_1^2 - 180.4756\,z_1 - 1{,}704.1582 = 0$$

Resolviendo se obtienen los valores de 8.99 m y –189.47 m, de los cuales se considera el valor positivo.



39. Se taladra un agujero de 12 cm de diámetro en la tierra hasta una profundidad de 90 m. Calcule el trabajo necesario para elevar los escombros a la superficie, si el peso promedio de 10 dm^3 de tierra es 250 N.

Solución:



La primera ley es:

$$\Delta E_p = mg\Delta z = -W$$

En este caso:

$$\Delta z = z_{prom} = \frac{z}{2}$$

$$\beta = \rho g = \frac{mg}{V}$$

$$V = Az$$

Sustituyendo en la primera ley se obtiene:

$$W = -\frac{\beta V g z_{prom}}{g} = -\frac{\beta A z z}{2} = -\frac{\beta \pi r^2 z^2}{2}$$

$$W = -\left(25\,\frac{N}{dm^3}\right) * \left(1{,}000\,\frac{dm^3}{m^3}\right) * \pi * \left(\frac{0.12}{2}\,m\right)^2 * \frac{(90\,m)^2}{2} = -1{,}145{,}111\,J$$

$$W = -1.145\ MJ\ (entra)$$

40. Una bala de 30 g de masa es disparada horizontalmente con una velocidad de 200 m/s y detenida por una placa gruesa de madera. La temperatura inicial del plomo (de la bala) es de 20°C. Calcula el estado final de equilibrio del plomo, despreciando los efectos del ambiente y de la placa de madera sobre el plomo. Para el plomo:

$$C_s = 0.126 \frac{kJ}{kg * K};\ T_{fus} = 327\ ℃;\ \lambda_{fusión} = 24.96 \frac{kJ}{kg}$$

Solución:

Se considera a la bala como el sistema y la primera ley es:

$$\Delta U + \Delta E_c = 0$$

ó

$$\frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} = -mC_s\Delta T - m\lambda_{fusión}$$

Sustituyendo datos:

$$\frac{\left[\left(0\frac{m}{s}\right)^2 - \left(200\frac{m}{s}\right)^2\right]}{2} = \left(-0.126\frac{kJ}{kg * K}\right)\left(T_f - 20°C\right) - 24.96\frac{kJ}{kg}$$

$$-\left(20{,}000\frac{m^2}{s^2}\right) * \left(\frac{1\frac{J}{kg}}{1\frac{m^2}{s^2}}\right) = \left(-126\frac{J}{kg*K}\right) * \Delta T * 24{,}960\frac{J}{kg}$$

$$-\left(20{,}000\frac{J}{kg}\right) = \left(-126\frac{J}{kg * K}\right) * \Delta T * 24{,}960\frac{J}{kg}$$

Se observa que el plomo únicamente se calienta y no llega a fundirse; entonces:

$$\Delta T = \left[\frac{-\left(20{,}000\frac{J}{kg}\right)}{-\left(126\frac{J}{kg * K}\right)}\right] = 158.73\ K$$

Y como:

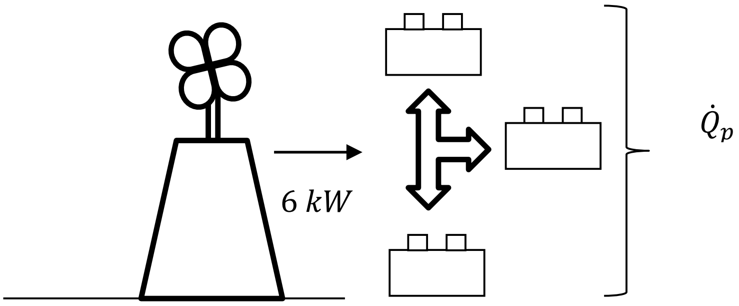
$$T_1 = 20°\ C = 273 + 20 = 293\ K$$

Entonces:

$$T_2 = 293\ K + 158.73\ K = 451.73\ K = 178.73°\ C$$

41. Un molino de viento produce 6 kW de potencia eléctrica promedio en un periodo de 8 horas. La electricidad se usa para cargar baterías de almacenamiento. Durante el proceso de carga la temperatura de las baterías aumenta, por lo que se pierden 0.5 kW de calor hacia los alrededores. Determine la energía total que se da a las baterías durante el periodo de 8 horas.

Solución:



La primera ley es:

$$\Delta\dot{U} = \dot{Q} - \left(\dot{W}_{bat} + \dot{W}_{el}\right)$$

ó

$$\Delta\dot{E}_{p,tot} = \dot{Q} - \dot{W}_{el}$$

Sustituyendo valores:

$$\Delta\dot{E}_{,tot} = -0.5\ kW - (-6\ kW) = 5.5\ kW$$

La energía almacenada durante 8 horas es:

$$\Delta E_{tot} = 5.5\frac{kJ}{s} * \frac{3600\ s}{1\ h} * 8\ h = 158{,}400\ kJ = 158.4\ MJ$$

También:

$$\Delta E_{tot} = \frac{5.5\ kWh}{h} * 8\ h = 44\ KWh$$

Durante 8 horas, la energía almacenada aumenta.

42. Un motor eléctrico toma una corriente de 10A con un voltaje de 110 V. La flecha del motor desarrolla un torque de 9.5 Nm a 1000 rpm. Determine la entrada neta de energía al motor en kWh durante 2 horas de operación.

Solución:

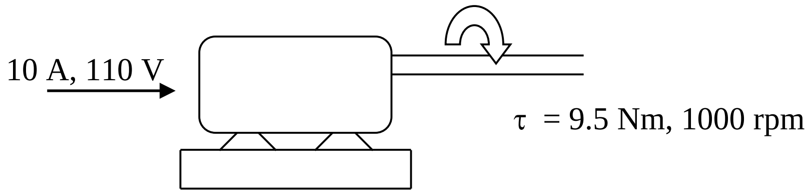
La primera ley es:

$$\Delta\dot{E}_{neta} = -\left(\dot{W}_{el} + \dot{W}_f\right) = -\left[(-10\ A * 110V) + \left(2\pi * 1{,}000\frac{rev}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} * 9.5\ Nm\right)\right]$$

$$\Delta\dot{E}_{neta} = 105.2\ W = 0.1052\ kW\ (aumenta)$$

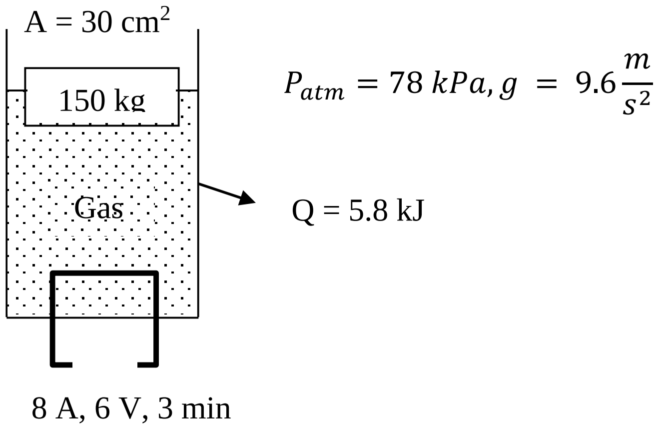
Durante dos horas la energía neta es:

$\Delta E_{neta} = 0.1052\ kW * 2\ h = 0.2104\ kWh$



43. En el interior de un cilindro vertical, que se cierra mediante un pistón de 150 kg, se encuentra un gas. Dentro del gas se encuentra un resistor, que toma 8 A de una pila externa de 6 V durante tres minutos. El gas pierde 5.8 kJ de calor y su energía interna aumenta en 2.4 kJ. Calcule la distancia que se mueve el pistón, en cm. El entorno está a 78 kPa y 9.6 m/s^2.

Solución:



Es un sistema cerrado y el gas es la sustancia de trabajo. La primera ley es:

$\Delta U = Q - (W_{el} + W_{ec})$

El trabajo eléctrico es:

$W_{el} = V * A * \Delta t = 8\ A * 6\ V * 3\ \mathrm{min}\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right) = 8{,}640\ J$

El trabajo de expansión es:

$W_{ec} = \int PdV = \int Pd(Ax) = \int PAdx = \int_{x_1}^{x_2} (P_{atm}A + mg)dx.$

Sustituyendo valores:

$$W_{ec} = \left[\left(78{,}000\ Pa * 30\ cm^2 \left(\frac{1\ m^2}{10{,}000\ cm^2}\right) + 150kg * 9.6\frac{m}{s^2}\right) * \Delta x\right] = 1{,}674 * \Delta x\ J$$

Entonces la primera ley es:

$$2{,}400\ J = -5{,}800J - (-8{,}640 + 1{,}674 * \Delta x)J$$

De donde, despejando Δx:

Δx = 0.263 m

44. Un sistema opera en un ciclo formado por dos procesos. Durante el primer proceso el sistema recibe 50 kJ de calor y entrega 70 kJ de trabajo. En el segundo proceso el sistema recibe 50 kJ de trabajo. Calcule:
(a) la transmisión de energía en forma de calor durante el segundo proceso
(b) el trabajo y el calor netos para el ciclo.

Solución:

La primera ley es:

$$\Delta E = Q - W$$

(a) Para el proceso 1-2 la ecuación es:

$\Delta E_{21} = {}_1Q_2 - {}_1W_2$ = (50 – 70) kJ = - 20 kJ (disminuye)

Para el proceso 2-1 la ecuación es:

$\Delta E_{12} = {}_2Q_1 - {}_2W_1$

De donde:

${}_2Q_1 = {}_2W_1 + (-\Delta E_{21})$ = (- 50 + 20) kJ = - 30 kJ (sale).

(b) W_{neto} = (70 – 50) kJ = 20 kJ (sale)

Q_{neto} = (50 – 30) kJ = 20 kJ (entra)

45. Un tanque adiabático de 0.25 m^3 recibe 4.3 W de potencia de agitación durante 30 min. El gas en el tanque tiene una densidad inicial de 1.25 kg/m^3. Calcule el volumen específico del gas en el estado final y el cambio en su energía interna específica, en kJ/kg.

Solución:

El sistema es cerrado y el gas es la sustancia de trabajo. La primera ley es:

$\Delta U = Q - (-W_{ag}) = 0$

$\Delta U = 0 - \left[-4.3 \frac{J}{s} * \left(\frac{60\ s}{1\ min}\right) * 30\ min\right] = 7{,}740\ J$

ó

$\Delta u = \frac{7{,}740\ J}{\left(0.25\ m^3 * 1.25 \frac{kg}{m^3}\right)} = 24{,}768 \frac{J}{kg} = 24.8 \frac{kJ}{kg}\ (aumenta)$

Ya que la masa y el volumen se consideran constantes entonces el volumen específico también lo es, por lo que:

$\nu_1 = \nu_2 = \frac{1}{\rho_1} = \frac{1}{1.25 \frac{kg}{m^3}} = 0.8 \frac{m^3}{kg}$

46. Se comprimen casiestáticamente 45 L de etileno gaseoso, originalmente a 95 kPa y 1.11 kg/m^3 hasta 300 kPa según PV = constante. El gas despide 2.96 kJ de energía en forma de calor durante el proceso. Calcule el cambio en el valor de la energía interna del gas.

Solución:

El etileno es la sustancia de trabajo y el sistema es cerrado.La primera ley es:

$\Delta U = Q - W_{ec}$

El trabajo es:

$W_{ec} = \int P\ dV$

Pero se sabe que:

$PV = Constante$

$P = \frac{C}{V}$

$W_{ec} = \int \frac{C}{V}\ dV = C \int \frac{1}{V}\ dV$

$W_{ec} = C \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = C(In\ V_2 - In\ V_1)$

$$W_{ec} = P_1V_1\left[In\left(\frac{V_2}{V_1}\right)\right]$$

Sustituyendo los valores:

$$W_{ec} = 95\ kPa * 0.045m^3\left[In\left(\frac{95\ kPa}{300\ kPa}\right)\right] = -4.916\ kJ$$

Sustituyendo en la primera ley:

$$\Delta U = -2.96\ kJ - (-4.916\ kJ) = 1.956\ kJ\ (aumenta)$$

47. Un sistema cerrado ejecuta un proceso reversible en el cual la presión y el volumen varían con $PV^n = C$. El sistema sufre una entrada de calor de 16.247 kJ y un cambio en la energía interna de + 47.475 kJ. Si $P_1 = 138$ kPa, $V_1 = 141.6$ L y $P_2 = 827.4$ kPa, encuentre los valores de n y de V_2.

Solución:

La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W_{ec}$$

El trabajo es:

$$W_{ec} = \int P\ dV$$

Pero se sabe que:

$$PV^n = Constante$$
$$P = \frac{C}{V^n}$$

Entonces:

$$W_{ec} = \int \frac{C}{V^n}\ dV = C\int \frac{1}{V^n}\ dV$$

$$W_{ec} = C\int_{V_1}^{V_2} V^{-n}\ dV$$

$$W_{ec} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1} = \frac{138\ kPa * 0.1416\ m^3 - 827.4\ kPa * V_2m^3}{n-1}$$

Sustituyendo en la primera ley se obtiene:

$$47.47\ kJ = 16.247\ kJ - \left(\frac{138\ kPa * 0.1416\ m^3 - 827.4\ kPa * V_2 m^3}{n-1}\right)$$

La otra ecuación necesaria es:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{V_2}{0.1416\ m^3}\right) = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = (0.167)^{\frac{1}{n}}$$

Resolviendo las dos ecuaciones se obtiene que:

n = 0.4363

V_2 = 0.002341 m^3

48. Un gas se comprime casiestáticamente en un cilindro con émbolo según:

P = A + BV

Desde 35 kPa y 120 litros hasta la mitad del volumen inicial y 80 kPa. La energía interna del fluido aumenta en 3.22 kJ. Calcule el calor y su dirección.

Solución:

El sistema es cerrado y el gas es la sustancia de trabajo. La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W_{ec}$$

$$W_{ec} = \int PdV = \int_{V_1}^{V_2} (A + BV)dV = A(V_2 - V_1) + \frac{B}{2}(V_2{}^2 - V_1{}^2).$$

Las constantes A y B se calculan de las ecuaciones siguientes:

35 kPa = A + 0.12 m^3*B; 80 kPa = A + 0.06 m^3*B

Resolviendo:

$$A = 125\ kPa$$

$$B = -\ 750 \frac{kPa}{m^3}$$

El trabajo es entonces:

$$W_{ec} = 125\ \text{kPa} * (0.06 - 0.12)\ \text{m}^3 - \frac{750\ \frac{\text{kPa}}{\text{m}^3}}{2} * \left[(0.06)^2 - (0.12)^2\ \text{m}^6\right] = -3.45\ \text{kJ}$$

El calor, a partir de la primera ley, es:

Q = (3.22 – 3.45) kJ = - 0.23 kJ (sale)

49. Un gas dentro de un cilindro con émbolo, libre de fricción, se expande casiestáticamente desde 2 bares, 60°C y 0.1 m^3, hasta que se cuadruplica el volumen, por la trayectoria $P^2V =$ constante. La energía en forma de calor que se da al fluido es 106 kJ. Calcule el cambio de la energía interna del gas, en kJ.

Solución:

El gas es la sustancia de trabajo y el sistema es cerrado. La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W_{ec}$$

El trabajo es:

$$W_{ec} = \int P\, dV$$

Pero se sabe que:

$$P^2V = Constante$$

$$P = \sqrt{\frac{C}{V}}$$

El trabajo de expansión es:

$$W_{ec} = \sqrt{C}\int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{\sqrt{V}}\, dV = 2(P_2V_2 - P_1V_1)$$

$$W_{ec} = 2 * (100\ kPa * 0.4\ m^3 - 200\ kPa - 0.1\ m^3) = 40\ kJ\ (sale)$$

Sustituyendo en la primera ley:

ΔU = (106 – 40) kJ = 66 kJ (aumenta)

50. Un émbolo de 5 kg encierra a un gas en un cilindro vertical adiabático de 100 cm^2 de sección transversal. En el interior del cilindro hay un resistor por el que fluye una corriente eléctrica, impulsada por una fuente a 110 V, durante 6 s. La energía interna del gas aumenta en 440 J y el émbolo se eleva 10 cm. Tome los valores para el ambiente 9.78 m/s^2, 77.17 kPa y 22 °C. Halle el valor de la corriente eléctrica.

Solución:

El sistema es cerrado y el gas es la sustancia de trabajo. La primera ley es:

$$\Delta U = -(W_{ec} + W_{el})$$

Ya que el proceso es adiabático. El trabajo de expansión es:

$$W_{ec} = P\int dV = PA\int_{x_1}^{x_2} dx$$

$$W_{ec} = PA\Delta x = \left(P_{atm} + \frac{mg}{A}\right)A\Delta x = \left(77{,}170\ Pa + \frac{5\ kg * 9.78\,\frac{m}{s^2}}{0.01\ m^2}\right) * 0.01\ m^2 * 0.1m$$

$$W_{ec} = 82.06\ J\ (sale)$$

El trabajo eléctrico es:

$$W_{el} = IV\Delta t$$

Y como entra se considera negativo. La primera ley se es entonces:

$IV\Delta t = \Delta U + W_{ec}$

Despejando a la intensidad de corriente se obtiene:

$$I = \frac{(440+82.06)\ J}{110\ V*6\ s} = 0.791\ A$$

51. En un cilindro con émbolo hay un fluido compresible con una energía interna de 12 kJ. Una fuerza promedio de 20 kN comprime al gas 60 cm. Durante el proceso se rechazan 28 kJ de calor a los alrededores, que están a 18 °C. Calcule el valor final de la energía interna del fluido.

Solución:

El sistema es cerrado y la primera ley es:

$$\Delta U = Q - W$$

El trabajo es:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx = 20\ \text{kN} * 0.6\ \text{m} = 12\ \text{kJ}.$$

Ya que el trabajo de compresión se hace sobre el sistema se debe considerar negativo. De la primera ley se obtiene:

$U_2 = U_1 + Q - W = 12\ kJ - 28\ kJ - (-\ 12\ kJ) = -\ 4\ kJ$ (disminuye)

52. Se expande agua en un ensamble cilindro pistón desde 35 bares hasta 7 bares. La relación presión volumen durante el proceso es $PV^2 = C$. La masa de agua es 2.3 kg. Las otras propiedades del agua son: $u_1 = 3282.1$ kJ/kg, $\nu_1 = 113.24$ cm^3/g y $u_2 = 2124.6$ kJ/kg.

Los cambios de energía cinética y energía potencial son despreciables. Calcule la transferencia de calor en kJ y su dirección.

Solución:

El sistema es cerrado y el agua es el fluido de trabajo. La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W_{ec}$$

ó

$$Q = \Delta U + W_{ec}$$

El trabajo es:

$$W_{ec} = \int P\, dV$$

Pero se sabe que:

$$PV^2 = C$$

$$P = \frac{C}{V^2}$$

Entonces:

$$W_{ec} = C\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^2} = C(P_1V_1 - P_2V_2)$$

Sustituyendo valores, se tiene:

$$W_{ec} = 3{,}500\ kPa * 0.11324\,\frac{m^3}{kg} * 2.3\ kg - 700\ kPa * 0.11324\,\frac{m^3}{kg} * 2.3\ kg * \sqrt{\frac{35\ bares}{7\ bares}}$$

$$W_{ec} = 503.91\ kJ$$

El calor es entonces es:

$$Q = \left[2.3kg * (2{,}124.6 - 3{,}282.1)\frac{kJ}{kg}\right] + 503.91\ kJ = -2{,}158.34\ kJ\ (sale)$$

53. Un ensamble cilindro pistón contiene un gas inicialmente a 3500 kPa con un volumen de 0.03 m^3. El gas es comprimido durante un proceso donde $PV^{1.25} = C$ hasta una presión de 8500 kPa. El gas cede 25 kJ de calor. Determine el cambio de energía interna, despreciando los cambios en energía cinética y potencial.

Solución:

El sistema es cerrado y la primera ley es:

$\Delta U = Q - W_{ec}$

El trabajo es:

$W_{ec} = \int P\, dV$

Pero se sabe que:

$PV^{1.5} = C$

$P = \frac{C}{V^{1.5}}$

$W_{ec} = C\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{1.5}} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{1.25 - 1}$

Sustituyendo valores, se tiene:

$$\frac{\left(300\ kPa * 0.03\ m^3 - 8{,}500\ kPa * 0.03\ m^3 * \left(\frac{3{,}500\ kPa}{8{,}500\ kPa}\right)^{\frac{1}{1.25}}\right)}{0.25} = -81.6\ kJ$$

El cambio de energía interna es:

ΔU = -25 kJ – (- 81.6 kJ) = 56.6 kJ (aumenta)

54. Un sistema cerrado contiene 1.7 kg de un gas que sufre un proceso en el cual el volumen específico varía de 0.08235 m^3/kg a 0.3235 m^3/kg y la energía interna disminuye 80 kJ. La presión es constante a 150 kPa. Calcule el flujo de calor, en Joules, y su dirección en el proceso.

Solución:

La primera ley para un proceso isobárico es:

$\Delta U = Q - P\Delta V$

de donde:

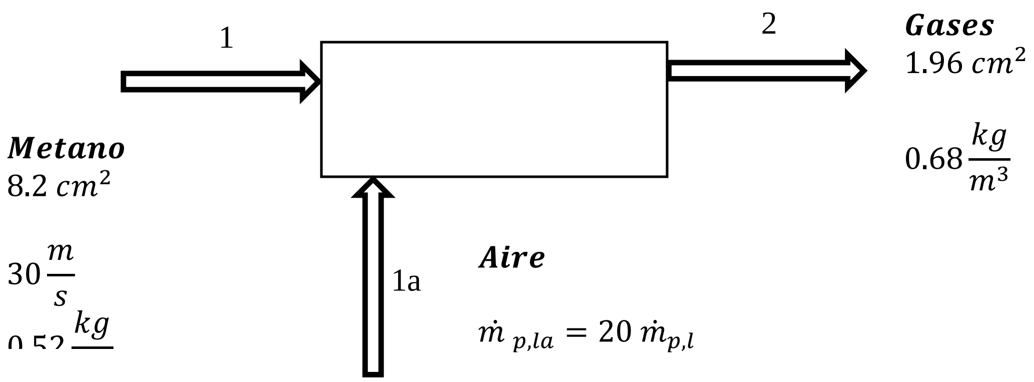
$Q = \Delta U + mP\Delta v$

$$Q = -80\ kJ + \left[1.7\ kg * 150\ kPa * (0.3235 - 0.08235)\frac{m^3}{kg}\ \right]$$

$$Q = -18{,}507\ J\ (disminuye)$$

55. Una corriente de metano entra en un quemador por una tubería de 8.2 cm^2 de sección transversal a 30 m/s y 0.520 kg/m^3. Por otra tubería entra aire al quemador con un gasto másico que es 20 veces el del metano. El gas de escape sale por un tubo de 196 cm^2 de sección transversal, a 0.68 kg/m^3. ¿A qué velocidad sale?

Solución:



La conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_{1a}\ +\ \dot{m}_1\ =\ \dot{m}_2$$

Ó

$$\dot{m}_1\ +\ 20\ \dot{m}_1\ = 21\ \dot{m}_1\ \dot{m}_2$$

Sustituyendo el gasto másico se obtiene:

$$21\ \mathrm{v}_1 A_1 \rho_1 = \mathrm{v}_2 A_2 \rho_2$$

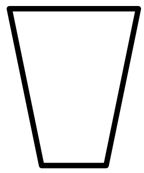
Despejando la velocidad pedida se resuelve el problema:

$$v_2 = \frac{\left(21 * 30\frac{m}{s} * 8.2\ cm^2 * 0.52\frac{kg}{m^3}\right)}{\left(196\ cm^2 * 0.68\frac{kg}{m^3}\ \right)} = 20.155\frac{m}{s}$$

56. Un estudiante de ingeniería encuentra a un jardinero que trata de ponerle la boquilla a una manguera de riego, para que el agua salga al triple de la velocidad con la que entra de la llave. Explique al señor jardinero, con las ecuaciones pertinentes, cómo debe conectarse la boquilla a la manguera.

Solución:

S



E

La conservación de masa establece que el gasto másico a la entrada es igual al gasto másico a la salida. Entonces:

$\dot{m}_1 = A_1\rho_1 = \mathrm{v}_2 A_2\rho_2 = \dot{m}_2$

Como:

$A = \pi r^2$ y la densidad es constante:

$\mathrm{v}_1 r_1^2 = 3\ \mathrm{v}_1 r_2^2$

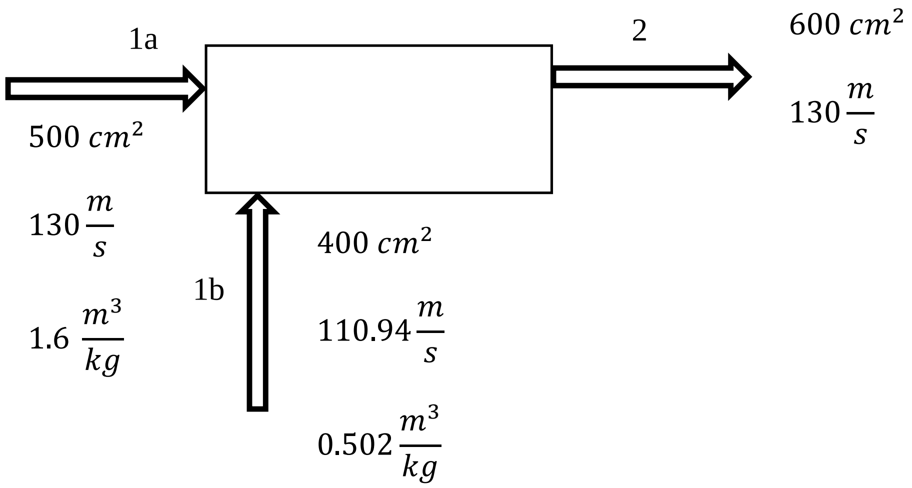
De donde:

$r_1 = 3^{0.5} * r_2 = 1.73\ r_2$

Entonces el agua entra por el lado marcado como S y sale por el marcado como E o sea que la boquilla se conecta a la manguera por el lado marcado como S.

57. Dos corrientes gaseosas de un mismo fluido entran en una cámara de mezclado y sale una sola corriente. La entrada 1a tiene las condiciones de 500 cm^2, 130 m/s, y 1.6 kg/m^3 y la entrada 1b tiene las condiciones de 400 cm^2, 110.94 m/s y 0.502 m^3/kg. Las condiciones de la corriente de salida son 130 m/s y 600 cm^2. Calcule la densidad de la corriente de salida, en kg/m^3.

Solución:



La conservación de masa establece que:

$\dot{m}_{1a} + \dot{m}_{1b} = \dot{m}_2$

ó

$A_{1a}\mathrm{v}_{1a}\rho_{1a} + A_{1b}\mathrm{v}_{1b}\rho_{1b} = A_2\mathrm{v}_2\rho_2$

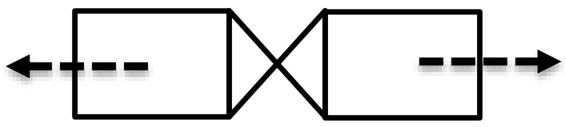
Despejando la densidad de salida se obtiene:

$$\rho_2 = \frac{(A_{1a}\mathrm{v}_{1a}\rho_{1a}+A_{1b}\mathrm{v}_{1b}\rho_{1b})}{A_2\mathrm{v}_2} = \frac{\left[500\ cm^2 * 130\frac{m}{s} * 1.6\ \frac{kg}{m^3} + 400\ cm^2 * 110.94\frac{m}{s} * \left(\frac{1}{0.502\frac{kg}{m^3}}\right)\right]}{600\ cm^2 * 130\frac{m}{s}} = 2.467\ \frac{kg}{m^3}$$

58. Una corriente de 40 kg/h de dióxido de azufre líquido entra en una válvula de expansión a 1394 kg/m^3 y 0.38 m/s. La sustancia se evapora parcialmente, por lo que sale a 11.9 kg/m^3. Las áreas de la entrada y de la salida son iguales y el flujo es permanente. Calcule:

a) el área de la entrada en (m^2).
b) la velocidad a la salida, en (m/s).

Solución:



$40 \frac{kg}{h}$

$11.9 \ \frac{kg}{m^3}$

$1,394 \frac{kg}{m^3}$

$0.38 \ \frac{m}{s}$

La conservación de masa establece que:

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$

ó

$A_2 \mathrm{v}_2 \rho_2 = A_1 \mathrm{v}_1 \rho_1$

La velocidad a la salida es entonces:

$$\mathrm{v}_2 = \frac{\mathrm{v}_1 \rho_1}{\rho_2} = \frac{\left(0.38 \frac{m}{s} * 1,394 \frac{kg}{m^3}\right)}{11.9 \frac{kg}{m^3}} = 44.505 \frac{m}{s}$$

El área a la entrada es:

$$A_1 = \frac{\dot{m}_{p,1}}{\mathrm{v}_1 \rho_1} = \frac{\left(40 \frac{kg}{h} * \frac{1 \ h}{3600 \ s}\right)}{\left(0.38 \frac{m}{s} * 1,394 \frac{kg}{m^3}\right)} = 2.098 \ X10^{-5} \ m^2$$

59. Entra aire a un secador con las condiciones de 2.6 kg/h, 0.85 cm^2 y 1.486 kg/m^3. Un material mojado es colocado dentro del secador y se seca con una velocidad de 5.5 g/min. Calcule el gasto másico del aire de salida del secador y la velocidad del aire seco a la entrada.

Solución:

La conservación de masa establece que:

$\dot{m}_{as} + \dot{m}_h = \dot{m}_{ah}$

ó

$$\dot{m}_{ah} = \left[2.6\,\frac{kg}{h} * \left(\frac{1\;h}{3600\;s}\right)\right] + \left[5.5\;\frac{g}{min} * \left(\frac{1\;kg}{1000\;g}\right) * \left(\frac{1\;min}{60\;s}\right)\right] = 8.14\;X10^{-4}\,\frac{kg}{s}$$

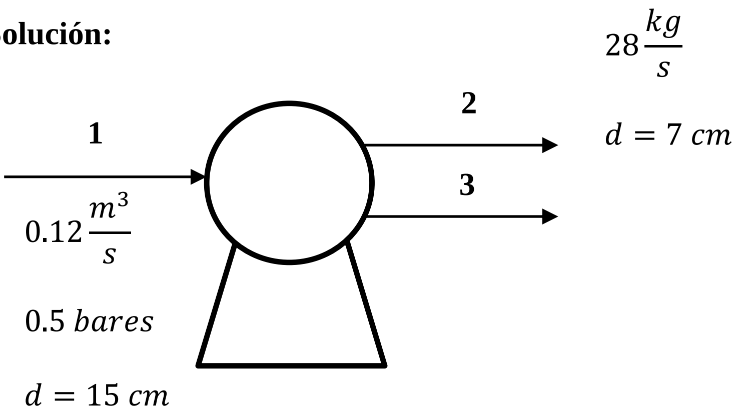
La velocidad a la entrada es:

$$\mathrm{v}_1 = \frac{\dot{m}_{as}}{A_{as}\rho_{as}}$$

$$\mathrm{v}_1 = \frac{\left[2.6\,\frac{kg}{h} * \left(\frac{1\;h}{3600\;s}\right)\right]}{\left(0.85\;X10^{-4}\;m^2 * 1.486\,\frac{kg}{m^3}\right)} = 5.718\,\frac{m}{s}$$

60. Un flujo volumétrico de 0.12 m^3/s de agua a 20 °C y 0.5 bares entra a una bomba a través de un conducto de 15 cm de diámetro. Antes de salir de la bomba el líquido se divide en dos corrientes que pasan por dos conductos de salida de 5 cm y 7 cm de diámetro. El gasto másico por el conducto de 7 cm es 28 kg/s. Determina la velocidad en el conducto de entrada y en los dos conductos de salida.

Solución:



La conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

A la entrada:

$$\mathrm{v}_1 = \frac{\dot{m}_1}{A_1\rho_1} = \frac{0.12\;\frac{m^3}{s} * \left(\frac{1{,}000\;kg}{1\;m^3}\right)}{\left[\pi * \left(\frac{0.15}{2}\;m\right)^2 * \frac{1{,}000\;kg}{1\;m^3}\right]} = 6.79\,\frac{m}{s}$$

A la salida por el conducto 2:

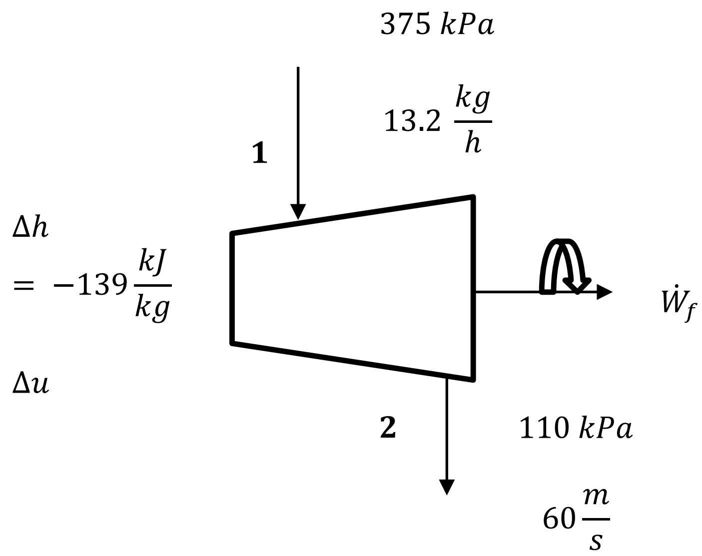
$$\text{v}_2 = \frac{\left(28 \frac{kg}{s}\right)}{\left[\pi * \left(\frac{0.07}{2}\ m\right)^2 * \frac{1{,}000\ kg}{1\ m^3}\right]} = 7.28 \frac{m}{s}$$

La salida por el conducto 3:

$$\text{v}_3 = \frac{\left[(120 - 28) \frac{kg}{s}\right]}{\left[\pi * \left(\frac{0.05}{2}\ m\right)^2 * \frac{1{,}000 kg}{1\ m^3}\right]} = 46.86 \frac{m}{s}$$

61. Una corriente de 13.2 kg/h de metano fluye por una turbina, expandiéndose desde 375 kPa hasta 110 kPa, de tal forma que $P\nu^{1.25} = 117$, con P en kPa y ν en m^3/kg. La velocidad en la entrada es muy baja, pero en la salida es 60 m/s. El cambio en la energía interna del gas es – 107 kJ/kg y en la entalpia es -139 kJ/kg. Calcule el calor y su dirección, en kJ/kg.

Solución:



El sistema es abierto y la primera ley es:

$$\dot{m}\left(\Delta h + \Delta E_c + \Delta E_p\right) = \dot{Q} - \dot{W}$$

Simplificando se obtiene:

$$q = \Delta h - \frac{v_2^2}{2{,}000} + \dot{W}_f$$

En este caso el trabajo mecánico se calcula como:

$$\dot{W}_f = -\int v\ dP$$

$$\dot{W}_f = -C^{\frac{1}{n}} \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P^{\frac{1}{n}}} = -\frac{n}{n-1}(P_2 v_2 - P_1 v_1)$$

El trabajo mecánico es entonces:

$$\dot{W}_f = -\left[\frac{1.25}{(1.25-1)}\right] * \left[-139\frac{kJ}{kg} - \left(-107\frac{kJ}{kg}\right)\right] = 160\frac{kJ}{kg}$$

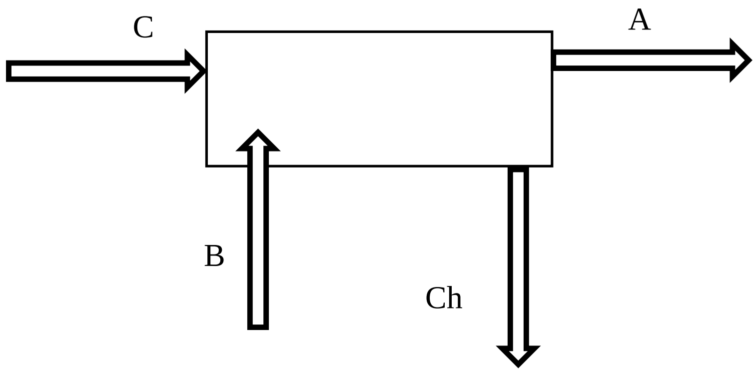
Sustituyendo en la primera ley se tiene:

$$q = -139\frac{kJ}{kg} - \left[\frac{(60)^2}{2{,}000}\right]\frac{kJ}{kg} + 160\frac{kJ}{kg} = 19.2\frac{kJ}{kg}\ (entra)$$

62. En un equipo adiabático que funciona en condiciones de flujo permanente y de estado estacionario entran las corrientes B y C, y salen las corrientes A y CH, todas a 409.11 kPa. Si $m_A = m_B$, $m_C = m_{CH}$ y m_C = 290 g/s, calcule m_A.

Corriente	T °C	v $\left[\frac{cm^3}{g}\right]$	$h\ \left[\frac{J}{g}\right]$
A	-1.3	290	1,442.0650
B	-1.3	203	353.4290
C	58.4	370	1,568.6882
Ch	-1.3	1.6	175.0991

Solución:



La conservación de masa establece que :

$$\dot{m}_C + \dot{m}_B = \dot{m}_A + \dot{m}_{Ch}$$

Que se simplifica a:

$$\dot{m}_C = \dot{m}_{Ch} = 290\frac{g}{s} = 0.29\frac{kg}{s}$$

El sistema es abierto y la primera ley es:

$$\dot{m}\left(\Delta h + \Delta E + \Delta E_p\right) = \dot{Q} - \dot{W}_f$$

Que se simplifica a:

$$\dot{m}\Delta h = 0$$

Es decir:

$$\dot{m}_A\, h_A + \dot{m}_{Ch}\, h_{Ch} - \dot{m}_C\, h_C - \dot{m}\, h_B = 0$$

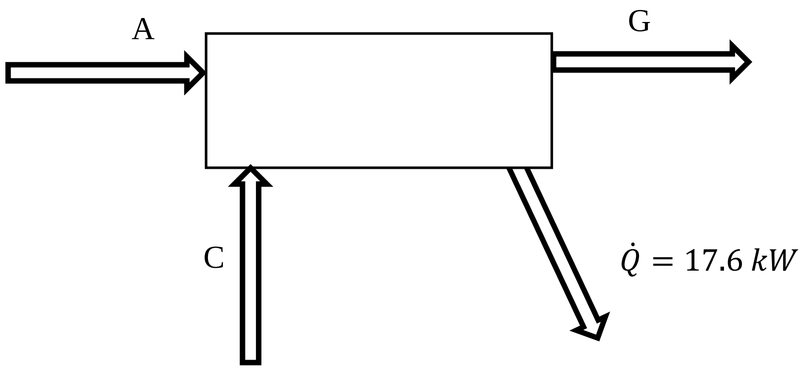
Despejando el gasto másico pedido se obtiene:

$$\dot{m}_A = \frac{\dot{m}_{,C}\,(h_C - h_{Ch})}{(h_A - h_B)}$$

$$\dot{m}_A = \frac{0.29\,\frac{kg}{s} * (1{,}568.6882 - 175.0991)\,\frac{kJ}{kg}}{(1{,}442.065 - 353.429)\,\frac{kJ}{kg}} = 0.371\,\frac{kg}{s}$$

63. En un quemador se juntan aire y combustible para producir gases de combustión. Las entalpías, en kJ/kg, son: 302 para el aire, 43,027 para el combustible y 616 para los gases de combustión. La combustión produce 17.6 kW de calor que se entregan a un fluido. Se sabe que cada kg de combustible requiere 17 kg de aire. Calcule los kg/día de combustible utilizado.

Solución:



La conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_A + \dot{m}_C = \dot{m}_G$$

Y la primera ley es, al ser un sistema abierto:

$$\dot{m}_G\, h_G - \dot{m}_A\, h_A - \dot{m}_C\, h_C = -17.6\, kW$$

Combinando las dos ecuaciones y usando el hecho de que:

$$\frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_C} = 17$$

Se obtiene que:

$$\dot{m}_C = -17.6 \frac{kW}{(18\, h_G - 17\, h_A - h_C)\ kJ} = -17.6 \frac{kW}{(18 * 616 - 17 * 302 - 43{,}027)\frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_C = 4.7474X10^{-4}\frac{kg}{s} = 41.018\frac{kg}{día}$$

64. Calcule la potencia de la bomba del problema 60, si las corrientes de salida están a 7 bares. Desprecie los cambios de la energía cinética y la energía potencial y considere flujo isotérmico y densidad del agua constante.

Solución:

La potencia pedida se calcula como:

$$W_f = -m\int_{P_1}^{P_2} v dP = -2.3\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} * 0.001\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}} * (700-100)\ \mathrm{kPa} = -1.38\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{s}} = -1.38\ \mathrm{kW}\ (\mathrm{entran})$$

65. Una regadera doméstica utiliza 12.5 L/min de agua a 35°C. Para esto se dispone de agua fría a 18°C y agua caliente a 70 °C. Calcule el gasto másico del agua caliente.

Solución:

La conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_u = \dot{m}_C + \dot{m}_F = 12.5\frac{L}{min} = 0.208\frac{kg}{s}$$

El balance de energía o primera ley es:

$$\dot{m}_u h_u - \dot{m}_C h_C - \dot{m}_F h_F = 0$$

Combinando las dos ecuaciones u usando el hecho de que:

h = CT

Se obtiene:

$$\dot{m}_C = \frac{0.208\,(T_F - T_u)}{(T_F - T_C)} = 0.208 * (18 - 35)°C * (18 - 70)°C$$

$$\dot{m}_C = 0.068\,\frac{kg}{s} = 0.068\,\frac{L}{s}$$

66. Considere que el agua caliente de la regadera del problema 65 se obtiene a partir de solamente agua fría a 18 °C mediante:

a) un calentador de resistencia de 220 Volts, calcule la intensidad de corriente en Amperes.

b) un agitador de 300 rpm, calcule el par o torque aplicado. Utilice: C = 4.1868 kJ/kg°C.

Solución:

En ambos casos se requieren:

$$0.208\,\frac{kg}{s} * 4.1868\,\frac{kJ}{kg\ °C} * (35 - 18)°C = 14.8\,\frac{kJ}{s} = 14.8\ kW$$

a) $14{,}800\,\frac{J}{s} = 220\ V * I$

   De donde:

   I= 67.27 A

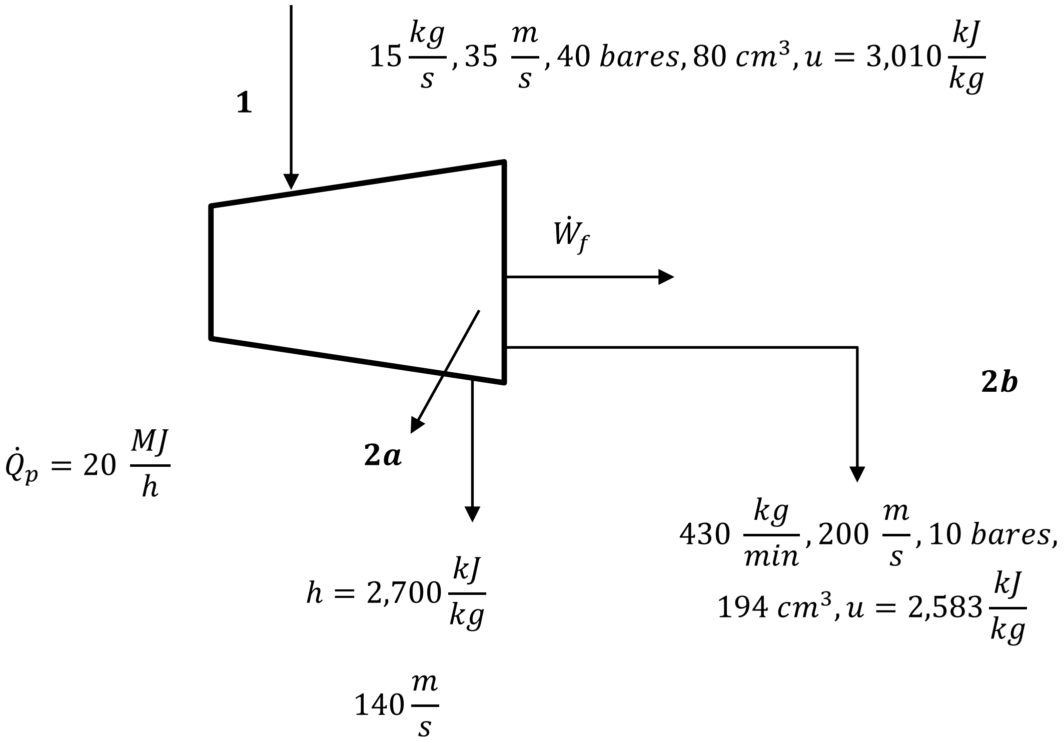
b) $14{,}800\,\frac{J}{s} = \tau * 2 * \pi * \omega = \tau * 2 * \pi \left(300\ \frac{rev}{min}\right) * \left(\frac{1\ min}{60\ s}\right)$

   De donde:

   τ = 471.1 N m.

67. Una turbina recibe una corriente de 15 kg/s de un fluido a 35 m/s, 40 bares, 80cm^3/g y 3010(J/g) de energía interna. Salen dos corrientes: una a 140 m/s, h = 30 J/g y otra a 430 kg/min, 10 bares, 200 m/s, 194 cm^3/g y u = 2583 kJ/kg. La turbina pierde 20 MJ/h de calor. Calcule la potencia mecánica que entrega la turbina.

Solución:



La conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{2a} + \dot{m}_{2b}$$

De donde:

$$\dot{m}_{p,2a} = 15\frac{kg}{s} * \left(430\ \frac{kg}{min} * \frac{1\ min}{60\ s}\right) = 7.83\frac{kg}{s}$$

El sistema es abierto y la primera ley es:

$$\dot{W}_f = \dot{Q}_p - \dot{m}_{p,2a}(h_{2a} + Ec_{2a}) - \dot{m}_{p,2b}(h_{2b} + Ec_{2b}) + \dot{m}_{p,1}(h_1 + Ec_1)$$

$$\dot{W}_f = -\left[20\frac{MJ}{h} * \left(1{,}000\frac{kJ}{1\ MJ}\right) * \left(\frac{1\ h}{3{,}600\ s}\right)\right] - 7.83\frac{kg}{s} * \left\{2{,}700\frac{kJ}{kg} + \left[\frac{(140)^2}{2{,}000}\right]\frac{kJ}{kg}\right\} - \left(\frac{430}{60}\right)\frac{kg}{s} * \left\{\left(2{,}583\frac{kJ}{kg}\right) + \left[1{,}000\ kPa * \left(\frac{194}{1{,}000}\right)\frac{m^3}{kg}\right] + \left[\frac{(200)^2}{2{,}000}\right]\frac{kJ}{kg}\right\} + 15\frac{kg}{s} * \left\{3{,}010\frac{kJ}{kg} + \left[400\ kPa * \left(\frac{80}{1{,}000}\right)\frac{m^3}{kg}\right] + \left[\frac{(35)^2}{2{,}000}\right]\frac{kJ}{kg}\right\} = 8{,}689.8\frac{kJ}{s}$$

$$\dot{W}_f = 8.7\ MW\ (sale)$$

Se ha hecho uso de que h = u + pν.

Capítulo 3: Propiedades de las Sustancias

1. Un tanque de acero de 2.5 m^3 contiene 5 kg de una mezcla de agua líquida con su vapor a 70 ºC. El tanque y su contenido se calientan hasta 200 ºC. Calcule la calidad inicial y el cambio en el valor de la presión a causa del proceso.

Solución:

Ya que el tanque es de acero entonces el volumen es constante; la sustancia es agua.

Condición 1 ó C1:

70ºC y V = 2.5 m^3

ó

$$\mathrm{v} = 2.5\,\frac{m^3}{kg} = 0.5\,\frac{m^3}{kg}$$

De la tabla A.1 (Agua saturada- Tabla de temperaturas), a 70°C:

$$P = 31.19\ kPa$$
$$\mathrm{v}_f = 0.001023\ \frac{m^3}{kg}$$
$$\mathrm{v}_g = 5.042\,\frac{m^3}{kg}$$

La calidad es:

$$x_1 = \frac{(0.5 - 0.001023)\,\frac{m^3}{kg}}{(5.042 - 0.001023)\,\frac{m^3}{kg}} = 0.099$$

Condición 2 ó C2:

$$200°C$$
$$\mathrm{v} = 5\,\frac{m^3}{kg}$$

De la misma tabla a 200°C: ν_g = 0.12736 m^3/kg, que es menor que 0.5 m^3/kg por lo que el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3:

T= 200°C

$v = 0.5342\,\dfrac{m^3}{kg}$	$0.4\ MPa$
$v = 0.5\,\dfrac{m^3}{kg}$	P
$v = 0.4249\,\dfrac{m^3}{kg}$	$0.5\ MPa$

Haciendo una interpolación lineal para:

$$\text{v} = 0.5\,\frac{m^3}{kg}$$

cc

$$P = \frac{(0.5 - 0.5342)(0.5 - 0.4)}{0.4249 - 0.5342} + 0.4$$

Se obtiene:

P = 0.4313 MPa

Entonces:
ΔP = (431.3 – 31.19) kPa = 400.11 kPa.

2. Un tanque rígido contiene amoniaco a 40 ºC y una presión desconocida. Cuando el tanque se enfría a 10 ºC el vapor empieza a condensarse. Calcule la presión inicial en el tanque.

Solución:

El volumen es constante ya que el tanque es rígido. La sustancia es amoniaco (NH_3). El enunciado del problema sugiere que el estado inicial es vapor sobrecalentado y que el final es vapor saturado seco (o sea justo cuando se empieza a formar el líquido).

C2: A 10ºC, ν_g = 0.2054 m^3/kg de la tabla E.1.

C1: 40ºC y 0.2054 m^3/kg: a esa temperatura, de la tabla E.3 se tiene

$v = 0.2054\,\dfrac{m^3}{kg}$	$\boldsymbol{P_1}$
$v = 0.2047\,\dfrac{m^3}{kg}$	$700\ kPa$
$v = 0.2412\,\dfrac{m^3}{kg}$	$600\ kPa$

$x_1 = 0.2047$	$y_1 = 700$

$x_2 = 0.2412$	$y_2 = 600$
$x = 0.2054$	$\boldsymbol{y}$

Haciendo una interpolación lineal para $\nu = 0.2054\ m^3/kg$ se obtiene:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(0.2054 - 0.2047)(600 - 700)}{(0.2412 - 0.2047)} + 700$$

$$P_1 = 698.08\ kPa$$

3. En un cilindro con émbolo, carente de fricción, hay R-12, originalmente a 50 ºC y 100 % de calidad. El fluido se expande casi estáticamente en un proceso $P = C\nu^{-1}$ hasta 100 kPa. Encuentre la temperatura final.

Solución:

El proceso es:

$P = C\nu^{-1}$

ó

$P\nu = P_1\nu_1 = P_2\nu_2 = C$

El fluido es R-12.

C1:

$$50°C$$
$$x = 1\ (vapor\ saturado\ seco)$$
$$\nu_1 = \nu_g = 0.01419\frac{m^3}{kg}$$
$$P_1 = 12.2025\ bares, interpolando\ de\ la\ tabla\ C.1$$

C2:

$$P_2 = 100\ kPa$$

$$\nu_2 = \frac{P_1\nu_1}{P_2} = \frac{1{,}220.25\ kPa * 0.01419\frac{m3}{kg}}{100\ kPa} = 0.1732\frac{m^3}{kg}$$

Como:
$v_g = 0.16\frac{m^3}{kg}$ a 100 kPa de la tabla C.2, el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla C.3:

Presión: 100 kPa

$0°C$	$0.1827\frac{m^3}{kg}$
$-20°C$	$0.1677\frac{m^3}{kg}$
$\boldsymbol{T_2}$	$0.1732\frac{m^3}{kg}$

$x_1 = 0.1827$	$y_1 = 0$
$x_2 = 0.1677$	$y_2 = -20$
$x = 0.1732$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando linealmente se obtiene:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(0.1732 - 0.1827)(-20 - 0)}{(0.1677 - 0.1827)} + 0$$

$$T_2 = -12.67°C$$

4. Un sistema de refrigeración usa R134A como refrigerante. El sistema se evacúa y luego se carga con refrigerante a una temperatura constante de 20 ºC. El volumen del sistema es 18 L. Determine la presión en el sistema cuando la masa que se carga es 0.4 kg.

Solución:

El fluido es R134A. Las condiciones son:

$20°C$
$$v = \frac{0.018\, m^3}{0.4\, kg} = 0.045\frac{m^3}{kg}$$

De la tabla B.1, a 20 ºC el volumen específico del vapor saturado seco es: $v_g = 0.0358\frac{m^3}{kg}$, por lo que el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla B.3 se tiene:

Temperatura: 20°C

$4\ bares$	$\nu = 0.05397\frac{m^3}{kg}$
$5\ bares$	$\nu = 0.04188\frac{m^3}{kg}$

$\boldsymbol{P}$	$\nu = 0.045\dfrac{m^3}{kg}$

$x_1 = 0.05397$	$y_1 = 4$
$x_2 = 0.04188$	$y_2 = 5$
$x = 0.045$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(0.045 - 0.05397)(5 - 4)}{(0.04188 - 0.05397)} + 4$$

P = 4.742 bar = 474.2 kPa.

5. Agua, inicialmente a 3 MPa y 400 ºC, se enfría a presión constante hasta 60 ºC. Calcule la Δh (el cambio en la entalpía específica) del fluido debido al proceso.

Solución:

El proceso de enfriamiento es isobárico y el fluido es agua.

C1: 3 MPa, 400 ºC; Como la temperatura es mayor que la crítica el estado es vapor sobrecalentado y h_1 = 3230.9 kJ/kg, de la tabla A.3.

C2: 3 MPa, 60 ºC; Como a 3 MPa la T_{sat} = 233.9 ºC, de la tabla A.2, entonces el estado es líquido comprimido.

De la tabla A.4 e interpolando:

$$h_2 = \frac{(170.1 + 337.3)\dfrac{kJ}{kg}}{2} = 253.7\frac{kJ}{kg}$$

Entonces:

$$\Delta h = (253.7 - 3{,}230.9)\frac{kJ}{kg} = -2{,}977.2\frac{kJ}{kg}(disminuye)$$

6. Un recipiente rígido de 10 L contiene 2 kg de R134A a 0 ºC. El fluido se calienta hasta convertirse en vapor saturado seco. Calcule el cambio en la entalpía del fluido debido al proceso, en kJ.

Solución:
El proceso es isométrico (recipiente rígido) y el fluido es R134A.

La primera condición o C1, es:

$$T_1 = 0°C$$
$$\nu_1 = \frac{0.01}{2} \frac{m^3}{kg} = 0.005 \frac{m^3}{kg}$$

De la tabla B.1, a 0ºC:

$$\nu_f = 0.0007721 \frac{m^3}{kg}$$
$$\nu_g = 0.0689 \frac{m^3}{kg}$$

Entonces el estado es vapor húmedo y:

$$x_1 = \frac{(0.005 - 0.0007721) \frac{m^3}{kg}}{(0.0689 - 0.0007721) \frac{m^3}{kg}} = 0.062$$

Y como, de la misma tabla:

$$h_f = 50.02 \frac{kJ}{kg}$$
$$h_{fg} = 197.21 \frac{kJ}{kg}$$

Entonces:

$$h_1 = h_f + x\, h_{fg}$$

$$h_1 = 50.02 \frac{kJ}{kg} + \left(0.062 * 197.21 \frac{kJ}{kg}\right) = 62.247 \frac{kJ}{kg}$$

La segunda condición o C2, es:

$$\nu = 0.005 \frac{m^3}{kg}$$

Que es vapor saturado seco; con datos de la misma tabla e interpolando:

$$\frac{(276.32 - 279.12) \frac{kJ}{kg}}{(0.0046 - 0.0064) \frac{m^3}{kg}} = \frac{(276.32 - h2) \frac{kJ}{kg}}{(0.0046 - 0.005) \frac{m^3}{kg}}$$

Se obtiene:

$$h_2 = 276.42 \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$\varDelta h = 2\ kg * (276.942 - 62.247) \frac{kJ}{kg} = 429.39\ kJ\ (aumenta).$$

7. Inicialmente una cierta masa de R12 se encuentra como líquido saturado a 28 ºC. ¿Cuál es la humedad final del fluido, si en un proceso isoentálpico el R12 llega a – 20 ºC?

Solución:
El proceso es isoentálpico y el fluido es R12.

C1:

Líquido saturado
$T_1 = 28°C$
$\mathrm{h}_1 = 62.63 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$ de la tabla C.1

C2:

$$h = 62.63 \frac{kJ}{kg}$$
$$T = -20ºC$$

de la misma tabla:

$$h_f = 17.82 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 160.92 \frac{kJ}{kg}$$

y entonces despejando x_2:

$$h_1 = h_f + x_2\ h_{fg}$$

$$x_2 = \frac{h_1 - h_f}{h_{fg}}$$

$$x_2 = \frac{(62.63 - 17.62) \frac{kJ}{kg}}{160.92\ \frac{kJ}{kg}} = 0.2796$$

8. Una corriente de amoniaco entra en un compresor como vapor saturado seco a 8 ºC y se comprime hasta 14 Bar y 71.1 ºC. Calcule el cambio en el volumen específico del amoniaco debido al proceso de compresión.

Solución:

El proceso es de compresión y el fluido es amoniaco.

C1:

Vapor saturado seco, 8ºC

$\nu_1 = 0.2195 \frac{m^3}{kg}$ de la tabla E.1.

C2:

14 bares

71.1 ºC

De la tabla E.2 a 14 bares: T_{sat} = 36.3 ºC

y entonces el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla E.3 e interpolando:

$$\frac{(0.1132 - 0.1042)\frac{m^3}{kg}}{(80-60)°C} = \frac{(0.1132 - \nu_2)\frac{m^3}{kg}}{(80-71.1)°C}$$

$$\nu_2 = 0.1092 \frac{m^3}{kg}$$

Calculando:

$$\Delta\nu = (0.1092 - 0.2195)\frac{m^3}{kg} = -0.1103 \frac{m^3}{kg} (disminuye)$$

9. En un cilindro con émbolo hay 500 L de agua a 400 kPa y 80 % de calidad. Debido a un proceso isobárico el agua llega a 100 ºC. Calcule el trabajo del proceso, en kJ, y su dirección.

Solución:

El proceso es a presión constante y el fluido es agua.

C1:

$400\ kPa$

$x = 0.8, de\ la\ tabla\ A.2$

$$\nu_f = 0.001084 \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.4625 \frac{m^3}{kg}$$

Entonces:

$$\nu_1 = 0.001084\frac{m^3}{kg} + 0.8 * (0.4625 - 0.001084)\frac{m^3}{kg} = 0.3702\frac{m^3}{kg}$$

La masa dentro del cilindro es:

$$m = \frac{0.5\,m^3}{0.3702\frac{m^3}{kg}} = 1.3506\,kg$$

C2:
400 kPa
100 ºC
como a 400 kPa la T_{sat} = 143.63ºC

Entonces el estado es líquido comprimido. Como no se cuenta con la tabla de líquido comprimido a esa presión se hará la simplificación de que el estado es líquido saturado a 100ºC, por lo que:

$\nu_2 = 0.001044\frac{m^3}{kg}$ de la tabla A.1.

El trabajo se calcula como:

$$W = mP(\nu_2 - \nu_1) = 1.3506\,kg * 400\,kPa * (0.001044 - 0.3702)\frac{m^3}{kg}$$
$$W = -199.433\,kJ\ (entra)$$

10. En un tanque rígido de 1.5 m^3 hay R134A a 200 kPa; el volumen se compone de 5 litros de líquido y el resto de vapor. Se agrega energía de tal forma que la presión se eleva hasta 0.4 MPa. Calcule el cambio en la energía interna del R134A debido al proceso, en kJ.

Solución:

El proceso es isométrico y el fluido es R134A.

C1:
200 kPa
0.005 m^3 de líquido
1.495 m^3 de vapor; a 200 kPa

$$\nu_f = 0.0007532\frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.0993\,\frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 36.69\frac{kJ}{kg}$$

$u_g = 221.43 \frac{kJ}{kg}$ de la tabla B.2.

La masa de líquido es:

$$m_{liq} = \frac{0.005\ m^3}{0.0007532 \frac{m^3}{kg}} = 6.638\ kg$$

y la masa de vapor es:

$$m_{vap} = \frac{1.495\ m^3}{0.0993 \frac{m^3}{kg}} = 15.055\ kg$$

y la calidad es:

$$x_1 = \frac{15.055\ kg}{(15.055 + 6.638)\ kg} = 0.694$$

El volumen específico y la energía interna de la mezcla son:

$$\nu_1 = v_f + x_1(v_g - v_f)$$

$$\nu_1 = 0.0007532\ \frac{m^3}{kg} + 0.694 * (0.0993 - 0.0007532)\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_1 = 0.06914\ \frac{m^3}{kg}$$

Entonces u_1:

$$u_1 = u_f + \nu_1(u_g - u_f)$$

$$u_1 = 36.69 \frac{kJ}{kg} + 0.694 * (221.43 - 36.69)\ \frac{kJ}{kg} = 164.9\ \frac{kJ}{kg}$$

C2:
400 kPa
$0.06914 \frac{m^3}{kg}$: de la tabla anterior a 400 kPa, $\nu_g = 0.0509\ \frac{m^3}{kg}$, entonces el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla B.3 se tiene:

P= 400 kPa

$u = 293.73 \frac{kJ}{kg}$	$\nu = 0.06873 \frac{m^3}{kg}$

$u = 302.84\,\frac{kJ}{kg}$	$\nu = 0.07102\,\frac{m^3}{kg}$
$\boldsymbol{u_2}$	$\nu = 0.06914\,\frac{m^3}{kg}$

$x_1 = 0.06873$	$y_1 = 293.73$
$x_2 = 0.07102$	$y_2 = 302.84$
$x = 0.06914$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando para $\nu = 0.06914\,\frac{m^3}{kg}$:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(0.06914 - 0.06873)(302.84 - 293.73)}{(0.07102 - 0.06873)} + 293.73$$

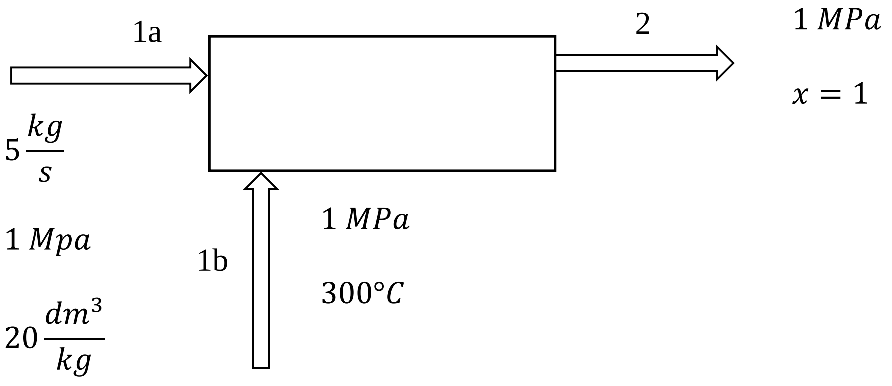
$$u_2 = 295.361\,\frac{kJ}{kg}$$

Entonces:

$$\Delta U = (6.638\ +\ 15.055)kg * (295.361 - 164.9)\,\frac{kJ}{kg} = 2830.09\ kJ\ (aumenta)$$

11. Entran dos corrientes de agua en un mezclador adiabático y sale una corriente. La condiciones de las corrientes de entrada son 5 kg/s, 1 MPa y 20 dm^3/kg para la primera y 1 MPa y 300 ºC para la segunda. Las condiciones de la corriente de salida son 1 MPa y 100 % de calidad. Calcule el gasto másico de la corriente de salida.

Solución:



El proceso es un mezclado adiabático y el fluido es agua.

C1a:
1 MPa
$$20\frac{dm^3}{kg} = 0.02\frac{m^3}{kg}$$

De la tabla A.2:
$$\nu_f = 0.001127\ \frac{m^3}{kg}$$
$$\nu_g = 0.19444\ \frac{m^3}{kg}$$
$$h_f = 762.81\frac{kJ}{kg}$$
$$h_{fg} = 2{,}015.3\frac{kJ}{kg}$$

El estado es vapor húmedo y la calidad es:

$$x_1 = \frac{(0.02 - 0.001127)\frac{m^3}{kg}}{(0.19444 - 0.001127)\ \frac{m^3}{kg}} = 0.0976$$

la entalpía de la mezcla es:

$$h_{1a} = h_f + x_1(h_{fg})$$

$$h_{1a} = 762.81\frac{kJ}{kg} + 0.0976 * 2{,}015.3\frac{kJ}{kg} = 959.503\frac{kJ}{kg}$$

C1b:
1 MPa

300ºC

de la tabla anterior a 1 MPa, la T_{sat} = 179 .91ºC entonces el estado es vapor sobrecalentado.

De la tabla A.3:

$$h_{1b} = 3051.2\frac{kJ}{kg}$$

C2:
1MPa
x = 1

de la tabla A.2:

$$h_2 = 2{,}778.1\frac{kJ}{kg}$$

La conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_{1a} + \dot{m}_{1b} = \dot{m}_2$$

La primera ley para el sistema (abierto) es:

$$\dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_{1a} h_{1a} - \dot{m}_{1b} h_{1b} = 0$$

Combinando las dos ecuaciones:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_{p,1a}\frac{(h_{1a} - h_{1b})}{(h_2 - h_{1b})}$$

$$\dot{m}_2 = 5\frac{kg}{s} * \frac{\left(959.503 - 3{,}051.2\frac{kJ}{kg}\right)}{(2{,}778.1 - 3{,}051.2)\frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_2 = 38.39\frac{kg}{s}$$

12. Un tanque rígido de 0.5 m^3 contiene refrigerante 12 a 200 kPa y una calidad de 40 por ciento. Después se le añade calor hasta que la presión se eleva hasta 400 kPa. Determine el cambio en la entalpía del refrigerante.

Solución:

El proceso es isométrico y el fluido es R12.

C1:
200 kPa
x = 0.4

A 200 kPa de la tabla C.2:

$$\nu_f = 0.0006962 \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.08354 \frac{m^3}{kg}$$

$$h_f = 24.57 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 157.5 \frac{kJ}{kg}$$

El volumen específico y la entalpía de la mezcla son:

$$\nu_1 = \nu_f + x(\nu_g - \nu_f)$$

$$\nu_1 = 0.0006962 \frac{m^3}{kg} + 0.4 * (0.08354 - 0.0006962) \frac{m^3}{kg} = 0.0338 \frac{m^3}{kg}$$

$$h_1 = h_f + x(h_{fg})$$

$$h_1 = 24.43 \frac{kJ}{kg} + 0.4 * 157.5 \frac{kJ}{kg} = 87.57 \frac{kJ}{kg}$$

Además :

$$m = \frac{0.5\, m^3}{0.0338 \frac{m^3}{kg}} = 14.793\, kg$$

C2:
400 kPa
0.0338 m^3/kg

De la tabla anterior, pero a 400 kPa:

$$\nu_f = 0.0007299 \frac{m^3}{kg}$$
$$\nu_g = 0.04321$$

$$h_f = 43.64 \frac{kJ}{kg}$$
$$h_{fg} = 147.33 \frac{kJ}{kg}$$

por lo que el estado es vapor húmedo:

$$x_2 = \frac{(0.0338 - 0.0007299)\ \frac{m^3}{kg}}{(0.04321 - 0.0007299)\frac{m^3}{kg}} = 0.7785$$

Además:

$$h_2 = h_f + x_2\left(h_{fg}\right)$$

$$h_2 = 43.64\frac{kJ}{kg} + 0.7785 * 147.33\frac{kJ}{kg} = 158.336\frac{kJ}{kg}$$

El cambio de entalpía es:

$$\Delta h = m(h_2 - h_1)$$

$$\Delta h = 14.793\ kg * (158.336 - 87.57)\frac{kJ}{kg} = 1046.84\ kJ\ (aumenta).$$

13. En un tanque de 150 L hay R134A a 600 kPa y 75 % de calidad. Por medio de un calentador eléctrico que funciona durante 1 min a 19 A se hace que el fluido alcance 90 % de calidad. Calcule la potencia, en Watts, y el voltaje, en volts, del calentador.

Solución:
El proceso es de calentamiento eléctrico en un tanque rígido y el fluido es R134A.

C1:
600 kPa
x = 0.75

A 600 kPa de la tabla B.2:

$$v_f = 0.0008196\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.0341\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 78.99\frac{kJ}{kg}$$

$$u_g = 238.74\frac{kJ}{kg}$$

El volumen específico y la energía interna de la mezcla son:

$$v_1 = v_f + x\left(v_g - v_f\right)$$

$$\nu_1 = 0.0008196\ \frac{m^3}{kg} + 0.75 * (0.0341 - 0.0008196)\ \frac{m^3}{kg} = 0.02578\frac{m^3}{kg}$$

$$u_1 = u_f + x(u_g - u_f)$$

$$u_1 = 78.99\frac{kJ}{kg} + 0.75 * (238.74 - 78.99)\frac{kJ}{kg} = 198.803\frac{kJ}{kg}$$

La masa que hay en el tanque es:

$$m = \frac{0.15\ m^3}{0.02578\ \frac{m^3}{kg}} = 5.818\ kg$$

C2:

$0.02578\frac{m^3}{kg}$

x = 0.9

Se cuenta con la ecuación:

$$0.02578\ \frac{m^3}{kg} = \nu_f + 0.9 * (\nu_g - \nu_f)$$

la cual se resuelve con los datos de la tabla B2.

Y cuando se satisface se tiene:

$$u_2 = u_f + 0.9 * (u_g - u_f)$$

Para calcular la energía interna de la mezcla, la cual si se puede, resulta ser:

$$u_2 = 225.86\frac{kJ}{kg}$$

La primera ley para el sistema (cerrado) es:

$$\Delta U = -(-\dot{W}_{el})$$

ó

$$m\Delta u = -(-\dot{W}_{el}\Delta t)$$

de donde:

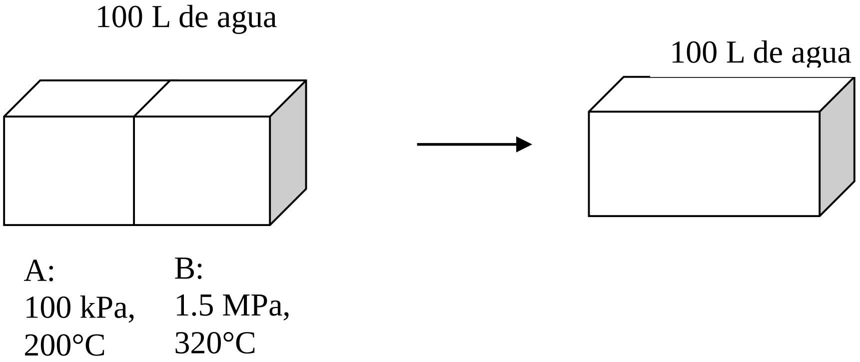
$$\dot{W}_{el} = 5.818\,kg * \frac{(225.86 - 198.803)\,\frac{kJ}{kg}}{60\,s} = 2.624\,kW = 2{,}624\,W$$

Además:

$$V = \frac{2{,}624\,W}{19\,A} = 138\,Volts.$$

14. Un tanque adiabático de 100 L contiene dos cámaras iguales, separadas por una pared adiabática. En una cámara hay agua a 100 kPa y 200 ºC y en la otra hay agua a 1.5 MPa y 320 ºC. En un momento dado se suprime la pared intermedia y los contenidos de cada cámara se mezclan. Calcule la temperatura en el equilibrio.

Solución:



C1A:
100 kPa
200°C

Ya que a 100 kPa la temperatura de ebullición es un poco menor que 100°C, entonces el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$v_{1A} = 2.172\,\frac{m^3}{kg}$$

$$u_{1A} = 2658.1\,\frac{kJ}{kg}$$

C1B:
1.5 MPa
320°C; ya que a 1.5 MPa la temperatura de ebullición es 198.32°C

Entonces el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$u_{1B} = 2816.95\,\frac{kJ}{kg}$$

$$v_{1B} = 0.1772\,\frac{m^3}{kg}$$

Interpolando las masas al inicio son:

$$m_{1B} = \frac{0.05\ m^3}{0.1772\ \frac{m^3}{kg}} = 0.2822\ kg$$

$$m_{1A} = \frac{0.05\ m^3}{2.172\frac{m^3}{kg}} = 0.02302\ kg$$

C2:
$m_2 = (0.2822 + 0.02302)\ kg = 0.3052\ kg$

$$\nu_2 = \frac{0.1\ m^3}{0.3052\ kg} = 0.3277\ \frac{m^3}{kg}$$

La primera ley para el proceso es:

$\Delta U = 0$

ó

$m_2 u_2 - m_{1A} u_{1A} - m_{1B} u_{1B} = 0$

De donde :

$$u_2 = \frac{[(0.2822\ kg*2816.92\frac{kJ}{kg}) + (0.02302\ kg*2658.1\frac{kJ}{kg})]}{0.3052\ kg} = 2{,}805.15\frac{kJ}{kg}$$

Con los datos de la tabla A.3 se tiene

	600 kPa	800 kPa	1000 kPa
300°C	u = 2801 kJ/kg,	u = 2797.2 kJ/kg	u = 2793.2 kJ/kg
	ν = 0.4344 m^3/kg	ν = 0.3241 m^3/kg	ν = 0.2579 m^3/kg
350°C	u = 2881.2 kJ/kg	u = 2878.2 kJ/kg	u = 2793.2 kJ/kg
	ν = 0.4742 m^3/kg	ν = 0.3544 m^3/kg	ν = 0.2875.2 m^3/kg

Iterando para:
$\nu_2 = 0.3277\frac{m^3}{kg}$
$u_2 = 2{,}805.15\frac{kJ}{kg}$
Se obtiene finalmente:
$T_2 \approx 305°C$
$P_2 \approx 800$ kPa.

15. Una masa de 3 kg de vapor de amoniaco se expande isotérmicamente en un cilindro (que tiene un émbolo carente de fricción) desde 1400 kPa y 80 ºC hasta 100 kPa. Determine el trabajo del sistema.

Solución:
El proceso es la expansión isotérmica de amoniaco en un cilindro pistón.
C1:
1400 kPa
80ºC
De la tabla E.2, a 1400 kPa la T_{sat} =36.3ºC
Entonces el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla E.3:

$$\nu_1 = 0.1132 \frac{m^3}{kg}$$

C2:
100 kPa
80ºC
Nuevamente el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla E.3:

$$\nu_2 = 1.7148 \frac{m^3}{kg}$$

Para el proceso isotérmico Pν = C y entonces:

$$W = \int \frac{P}{v}\, dv$$

$$W = \int_{v_1}^{v_2} \frac{1}{v}\, dv = mP_1v_1\, In\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

$$W = 3\ kg * 1{,}400\ kPa * 0.1132 \frac{m^3}{kg} * In\left(\frac{1.7148\ \frac{m^3}{kg}}{0.1132\ \frac{m^3}{kg}}\right)$$

$$W = 1{,}292.196\ kJ\ (sale)$$

16. Igual que el problema 15, pero el fluido es R12.

Solución:

C1:
1400 kPa
80ºC

De la tabla C.2, a 1400 kPa la T_{sat} = 56.09 ºC

Entonces el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla C.3:

ν_1 = 0.01425 m^3/kg.

C2:
100 kPa

80 ºC
Nuevamente el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla C.3,

$$\nu_2 = 0.2401 \frac{m^3}{kg}$$

Entonces:

$$W = 3\,\text{kg} * 1400\,\text{kPa} * 0.01425\,\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * \ln\left(\frac{0.2401\,\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{0.01425\,\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}\right) = 169.034\,\text{kJ}\,(\text{sale})$$

17. Un tanque rígido de 500 L contiene vapor de agua saturado seco a 300 kPa y se le transfiere calor hasta que alcanza la presión de 1000 kPa. Determine:

(a) la temperatura final
(b) el cambio de energía interna.

Solución:
El proceso es isométrico y el fluido es agua.

C1:
vapor de agua saturado seco
300 kPa

$$\nu_1 = 0.6058 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_1 = 2543.6 \frac{kJ}{kg}$$

De la tabla A.2. Entonces la masa dentro del tanque es:

$$m = \frac{0.5\, m^3}{0.6058\, \frac{m^3}{kg}} = 0.8254\, kg$$

C2:
1,000 kPa

$$0.6058 \frac{m^3}{kg}$$

De la tabla A.2, a 1000 kPa :

$$\nu_g = 0.19444 \frac{m^3}{kg}$$

Entonces el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3 se tiene

P = 1,000 kPa		
1,000°C	ν = 0.5871 $\frac{m^3}{kg}$	u = 4,050.5 $\frac{kJ}{kg}$
1,100°C	ν = 0.6335 $\frac{m^3}{kg}$	u = 4,255.1 $\frac{kJ}{kg}$

Interpolando para 0.6058 m^3/kg:

$x_1 = 0.5871$	$y_1 = 4{,}050.5$
$x_2 = 0.6335$	$y_2 = 4{,}255.1$
$x = 0.6058$	$\boldsymbol{y}$

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$u_2 = \frac{(0.6058 - 0.5871)(4{,}255.1 - 4{,}050.5)}{(0.6335 - 0.5871)} + 4{,}050.5$$

$$u_2 = 4{,}132.954 \frac{kJ}{kg}$$

Interpolando para T_2:

$x_1 = 0.5871$	$y_1 = 1{,}000$
$x_2 = 0.6335$	$y_2 = 1{,}100$
$x = 0.6058$	$\boldsymbol{y}$

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$T_2 = \frac{(0.6058 - 0.5871)(1{,}100 - 1{,}000)}{(0.6335 - 0.5871)} + 1{,}000$$

T_2 = 1040.3°C

Calculando el cambio de energía interna se obtiene:

$$\Delta U = 0.8254\, kg * (4132.954 - 2543.6) \frac{kJ}{kg} = 1311.823\, kJ\ (aumenta)$$

18. Cuando se analiza termodinámicamente un proceso casiestático se establece:

$$u = 793.4231\frac{kJ}{kg} - 337.231\ kPa*\nu$$

Si en las condiciones de equilibrio se tiene para la sustancia:

T[°C]	$\nu\left[\frac{m^3}{kg}\right]$	$u\left[\frac{J}{g}\right]$
150	0.47084	564.5
200	0.53422	646.8
250	0.59512	726.1
300	0.65484	804.8

¿A qué temperatura está la sustancia?

Solución:

De la expresión analítica, a 150°C:

$$u = 793.4231\frac{kJ}{kg} - \left(337.231\ kPa * 0.47084\frac{m^3}{kg}\right) = 634.64\frac{kJ}{kg}$$

A 200°C:

$$u = 793.4231\frac{kJ}{kg} - \left(337.231\ kPa * 0.53422\frac{m^3}{kg}\right) = 613.268\frac{kJ}{kg}$$

Entonces de la tabla se observa que la temperatura se encuentra entre:

150 y 200°C

Puesto que $\mu_{teó} = 634.64\ kJ$ difiere de la tabla $\mu_{tabla} = 564.5\frac{J}{g}$ porque es mayor, mientras que $\mu_{tab} = 613.268\ kJ$ difiere de la tabla $\mu_{tabla} = 646.8\ \frac{J}{g}$ porque es menor.

Sea $u = a + b\nu$; usando los datos de la tabla se forma el siguiente sistema:

$$564.5\frac{kJ}{kg} = a + \left(b * 0.47084\ \frac{m^3}{kg}\right)$$

$$646.8\frac{kJ}{kg} = a + \left(b * 0.53422\ \frac{m^3}{kg}\right)$$

Calculando a y b:

$a = -46.8936$

$b = 1{,}298.519$

Sustituyendo se obtiene:

$$u = \left[\frac{1{,}298.52 \ \frac{kJ}{kg}}{\frac{m^3}{kg}} \right] * \nu \left[\frac{m^3}{kg} \right] - 46.9 \frac{kJ}{kg}$$

Resolviendo simultáneamente ésta ecuación y la analítica se calcula:

$$\nu = 0.5137 \frac{m^3}{kg}$$

Interpolando en la tabla, la temperatura buscada es:

T = 183.8°C.

19. Un recipiente rígido de 500 L contiene una mezcla líquido-vapor de agua saturada a 100 ºC. El agua se calienta hasta alcanzar el estado crítico. Determine la masa de agua líquida y el volumen que ocupa el líquido en el estado inicial.

Solución:

El proceso es isométrico y el fluido es agua.

C2:
Estado crítico (22.09 MPa, 374.14°C); de la tabla A.1:

$$\nu_2 = 0.003155 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$m = \frac{0.5 \ m^3}{0.003155 \ \frac{m^3}{kg}} = 158.479 \ kg$$

C1:
100°C
$0.003155 \ \frac{m^3}{kg}$
A 100 kPa de la tabla A.1:

$$\nu_f = 0.001044 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 1.6729 \ \frac{m^3}{kg}$$

Como es una mezcla:

$$x_1 = \frac{(0.003155 - 0.001044)\frac{m^3}{kg}}{(1.6729 - 0.001044)\frac{m^3}{kg}} = 0.001263$$

Calculando:

$$m_{liq} = 158.479\ kg * (1 - 0.001263) = 158.279\ kg$$

$$V_{liq} = 158.279\ kg * 0.001044\ \frac{m^3}{kg} = 0.1652\ m^3$$

20. Un recipiente rígido de 170 L contiene agua a 200 kPa y 200ºC. Establezca hasta cuál temperatura debe enfriarse el agua para que su calidad sea 0.9.

Solución:

El proceso es isométrico y el fluido es agua.

C1:
200 kPa
200ºC; de la tabla A.2 a 200 kPa la T_{sat} = 120.23ºC

Entonces el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3:

$$\nu_1 = 1.0803\ \frac{m^3}{kg}$$

C2:
$1.0803\ \frac{m^3}{kg}$
x = 0.9

Utilizando datos de la tabla A.1 e interpolando se obtiene a 110.2ºC:

$$\nu_f = 0.00105216\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 1.203256\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_2 = 0.00105216\frac{m^3}{kg} + 0.9 * (1.203256 - 0.00105216)\ \frac{m^3}{kg} = 1.08304\ \frac{m^3}{kg}$$

A 110.3ºC:

$$\nu_f = 0.00105224\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 1.199784\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_2 = 0.00105224\ \frac{m^3}{kg} + 0.9 * (1.199784 - 0.00105224)\frac{m^3}{kg} = 1.0799\ \frac{m^3}{kg}$$

Para:

$$\nu_1 = 1.0803\ \frac{m^3}{kg}$$

Interpolando se obtiene:

T = 110.29ºC

21. Agua a 300 kPa y x = 0.7 es sometida a un proceso isobárico en el cual Δu = 1800(kJ/kg). Calcula la ΔT del proceso.

Solución:

El proceso es isobárico y el fluido es agua.

C1:
300 kPa
x = 0.7
De la tabla A.2, T_{sat} = 133.55ºC:

$$u_f = 561.15\frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}982.4\frac{kJ}{kg}$$

$$u_1 = 561.15\frac{kJ}{kg} + 0.7 * 1{,}982.4\frac{kJ}{kg} = 1{,}948.83\frac{kJ}{kg}$$

C2:
300 kPa

$$u_2 = (1{,}800 + 1{,}948.83)\ \frac{kJ}{kg} = 3{,}748.83\frac{kJ}{kg}$$

El estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3 se obtiene:

P = 300 kPa	
T = 800ºC	u = 3,662.9 $\frac{kJ}{kg}$
T = 900ºC	u = 3,854.2 $\frac{kJ}{kg}$

$x_1 = 3{,}662.9$	$y_1 = 800$
$x_2 = 3{,}854.2$	$y_2 = 900$
$x = 3{,}748.83$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando :

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(3{,}748.83 - 3{,}662.9)(900 - 800)}{(3{,}854.2 - 3{,}662.9)} + 800$$

T_2 = 844.92ºC

ΔT = (844.92 – 133.55)ºC = 711.37ºC

22. Entra agua a un volumen de control a 20 MPa y 550 ºC. El agua sufre un proceso isoentrópico. Calcule la temperatura a la cual el agua es vapor saturado seco.

Solución:

El proceso es isoentrópico y el fluido es agua.

C1:
20 MPa
550ºC

Como a 20 MPa la T_{sat} = 365.8ºC de la tabla A.2, entonces el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$s_1 = 6.3348 \frac{kJ}{kg\ K}$$

C2:
$s_2 = 6.3348 \frac{kJ}{kg\ K}$, vapor saturado seco; de la tabla A.1 se obtiene:

210ºC	s_g = 6.3585 kJ/kg K
215ºC	s_g = 6.3221 kJ/kg K

$x_1 = 6.3585$	$y_1 = 210$
$x_2 = 6.3221$	$y_2 = 215$
$x = 6.3348$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(6.3348 - 6.3585)(215 - 210)}{(6.3221 - 6.3585)} + 210$$

T_2 = 213.26ºC

23. Un tanque rígido contiene una mezcla líquido vapor de agua a 65ºC. El tanque tiene un volumen de 0.5 m^3 y el líquido ocupa el 30% del volumen. Calcule la Δu del proceso, si la presión se eleva a 35 MPa.

Solución:

El proceso es isométrico y el fluido es agua.

C1:
65ºC; a esta temperatura y de la tabla A.1:

$$v_f = 0.00102 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 6.197 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 272.02 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 2{,}191.1 \frac{KJ}{kg}$$

Como:

$$V_{líq} = 0.5\, m^3 * 0.3 = 0.15\, m^3$$

$$V_g = (0.5 - 0.15) m^3 = 0.35\, m^3$$

Entonces:

$$m_{líq} = \frac{0.15\, m3}{0.00102\, \frac{m^3}{kg}} = 147.06\, kg$$

$$m_{vap} = \frac{0.35\ m^3}{6.197\ \frac{m^3}{kg}} = 0.0565\ kg$$

y la calidad es:

$$x1 = \frac{0.0565\ kg}{(147.06 + 0.0565)\ kg} = 0.000384$$

y la energía interna es:

$$u_1 = 272.02 \frac{kJ}{kg} + \left(0.000384 * 2{,}191.1 \frac{kJ}{kg}\right) = 272.8615 \frac{kJ}{kg}$$

C2:

35 MPa

$$\nu = \frac{0.5\ m}{3147.1165\ kg} = 0.0034\ \frac{m^3}{kg}$$

El estado es vapor sobrecalentado porque la presión es mayor que la crítica. De la tabla A.3 se obtiene:

P = 35 MPa	
u = 1914.1 $\frac{kJ}{kg}$	ν = 0.0021 $\frac{m^3}{kg}$
u = 2253.4 $\frac{kJ}{kg}$	ν = 0.003428 $\frac{m^3}{kg}$

$x_1 = 0.0021$	$y_1 = 1{,}914.1$
$x_2 = 0.003428$	$y_2 = 2{,}253.4$
$x = 0.0034$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(0.0034 - 0.0021)(2{,}253.4 - 1{,}914.1)}{(0.003428 - 0.0021)} + 1{,}914.1$$

$$u_2 = 2{,}246.246 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta u = (2{,}246.246 - 272.8615)\frac{kJ}{kg} = 1{,}973.385\frac{kJ}{kg}\ (aumenta)$$

24. Una mezcla líquido vapor de R12 a 0.4 MPa pasa a 50 ºC en un proceso isobárico, en el cual la Δh es 70 kJ/kg. Calcule la Δs del proceso.

Solución:

El fluido es R12 y el proceso es isobárico.

C2:
0.4 MPa
50ºC; de la tabla C.2 a 4 bares la T_{sat} = 8.15ºC

Entonces el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla C.3:

$$h_2 = 218.94\frac{kJ}{kg}$$
$$s_2 = 0.7855\frac{kJ}{kg*K}$$

C1:
0.4 MPa

$$h_1 = 218.94\frac{kJ}{kg} - 70\frac{kJ}{kg} = 148.94\frac{kJ}{kg}$$

y como dice el problema, el estado es una mezcla saturada. De la tabla C.2:

$$h_f = 43.64\frac{kJ}{kg}$$
$$h_{fg} = 147.33\frac{kJ}{kg}$$

$$s_f = 0.1691\frac{kJ}{kg*K}$$

$$s_g = 0.6928\frac{kJ}{kg*K}$$

Entonces:

$$x_1 = \frac{(148.94 - 43.64)\frac{kJ}{kg}}{147.33\frac{kJ}{kg}} = 0.7147$$

$$s_1 = 0.1691 \frac{kJ}{kg * K} + 0.7147 * (0.6928 - 0.1691) \frac{kJ}{kg * K} = 0.5434 \frac{kJ}{kg * K}$$

La diferencia de entropía del proceso es:

$$\Delta s = (0.7855 - 0.5434) \frac{kJ}{kg * K} = 0.2421 \frac{kJ}{kg * K} \ (aumenta)$$

25. Un tanque rígido de 0.2 m^3 contiene vapor de agua saturado seco a 5 bares. El agua se enfría hasta alcanzar la presión de 1 bar. Calcule la razón masa de líquido a la masa de vapor al final del proceso.

Solución:

El proceso es isométrico y el fluido es agua.

C1:
vapor saturado seco, 5 bares: de la tabla A.2:

$$\nu_g = \nu_1 = 0.3749 \frac{m^3}{kg}$$

C2:
1 bar
$\nu_2 = 0.3749 \frac{m^3}{kg}$; a 1 bar de la tabla anterior:

$$\nu_f = 0.001043 \frac{m^3}{kg}$$
$$\nu_g = 1.694 \frac{m^3}{kg}$$

La calidad es:

$$x_2 = \frac{(0.3749 - 0.001043) \frac{m^3}{kg}}{(1.694 - 0.001043) \frac{m^3}{kg}} = 0.2208$$

La masa total es:

$$m_{total} = \frac{0.2 \, m^3}{0.3749 \frac{m^3}{kg}} = 0.5335 \, kg$$

El vapor es:

$$m_{vap} = 0.2208 * 0.5335 \, kg = 0.1178 \, kg$$

Y el líquido es:

$m_{líq} = (0.5335 - 0.1178)\ kg = 0.4157\ kg$

La razón buscada es:

$$r = \frac{0.4157\ kg}{0.1178\ kg} = 3.53$$

26. Un dispositivo cilindro pistón contiene 2 kg de agua a 350 ºC. La sustancia realiza un proceso a temperatura constante durante el cual el volumen específico cambia de 0.02 m^3/kg a 0.17 m^3/kg. Determine el cambio de entropía del proceso.

Solución:

Es un proceso isotérmico y el fluido es agua.

C1:
350ºC
$0.02\ \frac{m^3}{kg}$
A esa temperatura:

$\nu_g = 0.008813\ \frac{m^3}{kg}$ de la tabla A.1

Entonces el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3 se obtiene:

	12.5 MPa	10 MPa
350ºC	$\nu = 0.0166126\ \frac{m^3}{kg}$	$\nu = 0.02242\ \frac{m^3}{kg}$
	$s = 5.7118\ \frac{kJ}{kg*K}$	$s = 5.9443\ \frac{kJ}{kg*K}$

$x_1 = 0.0166126$	$y_1 = 5.7118$
$x_2 = 0.02242$	$y_2 = 5.9443$
$x = 0.02$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(0.02 - 0.0166126)(5.9443 - 5.7118)}{(0.02242 - 0.016126)} + 5.7118$$

$s = 5.853 \frac{kJ}{kg * K}$

C2:
350ºC
$0.17 \frac{m^3}{kg}$

Nuevamente es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3 se obtiene:

	1.6 Mpa	1.8 MPa
350ºC	ν = 0.17456 $\frac{m^3}{kg}$	ν = 0.15457 $\frac{m^3}{kg}$
	s = 7.0694 $\frac{kJ}{kg*K}$	s = 7.01 $\frac{kJ}{kg*K}$

$x_1 = 0.15457$	$y_1 = 7.01$
$x_2 = 0.17456$	$y_2 = 7.0694$
$x = 0.17$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(0.17 - 0.15457)(7.0694 - 7.01)}{(0.17456 - 0.15457)} + 7.01$$

$$s_2 = 7.0559 \frac{kJ}{kg * K}$$

La diferencia de entropía es:

$$\Delta S = 2\ kg * (7.0559 - 5.853) \frac{kJ}{kg * K} = 2.406 \frac{kJ}{K}\ (aumenta)$$

27. Refrigerante R134A a 1.4 bares y h =269.13 kJ/kg sufre un proceso a presión constante hasta h = 20 kJ/kg. Calcule la ΔT del proceso.

Solución:

El proceso es isobárico y el fluido es R134A.

C1:

1.4 bares

$h = 269.13 \frac{kJ}{kg}$; a 1.4 bares de la tabla B.2:

$$h_f = 25.77 \frac{kJ}{kg}$$
$$h_g = 236.04 \frac{kJ}{kg}$$

Entonces el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla B.3, T_1 = 20ºC.

C2:
1.4 bares
$h = 20 \frac{kJ}{kg}$; de la tabla B.2

El estado es líquido comprimido; como no se cuenta con tabla de líquido comprimido se considera que el estado es líquido saturado a:

$$h_f = 20 \frac{kJ}{kg}$$

y la temperatura es – 23.46ºC (interpolando entre - 22ºC y - 24ºC).

Entonces la diferencia de temperatura es:

ΔT = (- 23.46 – 20)ºC = - 43.46ºC.

28. Amoniaco a 900 kPa y x = 0 sufre un proceso isoentálpíco hasta 120 kPa, Calcule la $\Delta\nu$ del proceso.

Solución:
El proceso es isoentálpico y el fluido es amoniaco.

C1:
900 kPa
x = 0
$$h_1 = h_f = 301.5 \frac{kJ}{kg}$$
$\nu_1 = \nu_f = 0.001645 \frac{m^3}{kg}$, de la tabla E.2.

C2:
120 kPa
$h_2 = 301.5 \frac{kJ}{kg}$; de la misma tabla anterior y a 120 kPa:

$$h_f = 63 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 1360.8 \frac{kJ}{kg}$$

$$v_f = 0.001476 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_{fg} = 0.9582 \frac{m^3}{kg}$$

Y el estado es vapor húmedo. Calculando la calidad se tiene:

$$x_2 = \frac{(301.5 - 63)\frac{kJ}{kg}}{1360.8\frac{kJ}{kg}} = 0.1753$$

Y el volumen específico de la mezcla es:

$$v_2 = v_f + x(v_{fg})$$

$$v_2 = 0.001476\frac{m^3}{kg} + 0.1753 * 0.9582 \frac{m^3}{kg} = 0.1694 \frac{m^3}{kg}$$

Finalmente el cambio del volumen específico es:

$$\Delta v = (0.1694 - 0.001645) \frac{m^3}{kg} = 0.1678 \frac{m^3}{kg}$$

29. Un tanque rígido sellado de 2 m^3 contiene una mezcla líquido vapor de R134A a 10 ºC. Si la mezcla se calienta a 50 ºC la fase líquida desaparece. Encuentre la masa inicial de líquido.

Solución:

El proceso es isométrico y el fluido es R134A.

C2:
50ºC; al desaparecer la fase líquida entonces el estado es vapor saturado seco y:

$v2 = vg = 0.01505 \frac{m^3}{kg}$ de la tabla B.1.

C1:
0.01505 m^3/kg
10ºC; de la misma tabla anterior :

$$v_f = 0.0007928 \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.04925\ \frac{m^3}{kg}$$

la calidad es:

$$x_1 = \frac{(0.01505 - 0.0007928)\frac{m^3}{kg}}{(0.04925 - 0.0007928)\ \frac{m^3}{kg}} = 0.2942$$

La masa inicial de la sustancia es:

$$\frac{2\ m^3}{0.01505\ \frac{m^3}{kg}} = 132.89\ kg$$

y la masa de líquido es:

$$m_{líq} = 132.89\ kg * (1 - 0.2942) = 93.79\ kg$$

30. Un dispositivo cilindro pistón que contiene agua a 350 ºC y 700 kPa sufre un proceso a presión constante hasta que la calidad es 70%. Determine el cambio del producto Pν.

Solución:

El proceso es isobárico y el fluido es agua.

C1:
350ºC
700 kPa; como a 700 kPa la T_{sat} = 164.97ºC, de la tabla A.2, entonces el estado es vapor sobrecalentado y ν_1 = 0.4143 m^3/kg que resulta de interpolar entre los datos mostrados en la tabla A.3.

	600 kPa	800 kPa
350ºC	ν = 0.4742 $\frac{m^3}{kg}$	ν = 0.3544 $\frac{m^3}{kg}$

C2:
700 kPa
x = 0.7

A 700 kpa se tiene:

$$\nu_f = 0.001108\ \frac{m^3}{kg}$$

$\nu_g = 0.2729 \frac{m^3}{kg}$ de la tabla A.2

Entonces el volumen específico es:

$$\nu_2 = 0.001108 \frac{m^3}{kg} + 0.7 * (0.2729 - 0.001108) \frac{m^3}{kg} = 0.1914 \frac{m^3}{kg}$$

El cambio buscado es:

$$\Delta(P\nu) = P_2\nu_2 - P_1\nu_1$$

$$\Delta(P\nu) = P(\nu 2 - \nu 1)$$

$$\Delta(P\nu) = 700\ kPa * (0.1914 - 0.4143) \frac{m^3}{kg} = -156.03\ kJ/kg\ (disminuye)$$

31. Un dispositivo cilindro pistón contiene vapor saturado seco de amoniaco a 500 kPa. Ocurre una expansión del tipo Pν = C hasta 150 kPa. Determine el cambio de entropía del proceso.

Solución:

El proceso es una expansión Pν = C y el fluido es amoniaco.

C1:
Vapor saturado seco, 500 kPa; a 500 kPa:

$$\nu_1 = \nu_g = 0.2503 \frac{m^3}{kg}$$

$s_1 = s_g = 5.5668 \frac{kJ}{kg*K}$, de la tabla E.2

C2:
150 kPa

$$\nu_2 = \frac{P_1\nu_1}{P_2} = \frac{500\ kPa * 0.2503 \frac{m^3}{kg}}{150\ kPa} = 0.8343 \frac{m^3}{kg}$$

De la tabla anterior a 150 kPa:

$$\nu_g = 0.7819 \frac{m^3}{kg}\ (interpolando)$$

Y entonces el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla E.3 se obtiene:

150 kPa	
ν = 0.8338 $\frac{m^3}{kg}$	s = 6.1241 $\frac{kJ}{kg*K}$
ν = 0.86901 $\frac{m^3}{kg}$	s = 6.2082 $\frac{kJ}{kg*K}$

$x_1 = 0.8338$	$y_1 = 6.1241$
$x_2 = 0.86901$	$y_2 = 6.2082$
$x = 0.8343$	$\boldsymbol{y}$

Interpolando:

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

$$y = \frac{(0.8343 - 0.8338)(6.2082 - 6.1241)}{(0.86901 - 0.8338)} + 6.1241$$

$$s_2 = 6.1253 \frac{kJ}{kg * K}$$

El cambio de entropía es:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = (6.1253 - 5.5668) \frac{kJ}{kg * K} = 0.5585 \frac{kJ}{kg * K} \ (aumenta)$$

32. Un humano adulto absorbe 500 cm^3 de aire en cada inhalación a 101.325 kPa y 22 ºC y hace 28 inhalaciones cada minuto. ¿Qué tan rápidamente debe respirarse en la cima de una montaña a 65 kPa y – 20 ºC, si ha de ingresar la misma cantidad de aire que al nivel del mar?

Solución:

Se trata con aire que se considera gas ideal, entonces:

$$PV = mRT$$

$$R = 0.287 \frac{kJ}{kg * K}$$

A 101.325 kPa y 22°C:

$$m = \frac{101.325\ kPa * (500\ X\ 10{-}6 \frac{m^3}{inh}) * (28 \frac{inh}{min})}{0.287 \frac{kJ}{kg*K} * 295\ K}$$

$$m = 0.01675 \frac{kg}{min}$$

A 65 kPa y a -20°C, debe aspirarse el mismo gasto másico, pero más rápido:

$$65\ kPa * \left(500\ X\ 10^{-6} \frac{m^3}{inh}\right) * \left(\boldsymbol{y} \frac{inh}{min}\right) = \left(0.01675 \frac{kg}{min}\right) * \left(0.287 \frac{kJ}{kg}\ K * 253\ K\right)$$

De donde, despejando “y”:

$$y = 37.42 \frac{inh}{min}$$

33. En un recipiente cónico de 35 cm de diámetro en la base y de 11 cm de altura se tienen 2.5 g de un gas desconocido a 875 kPa y 25 ºC. ¿De qué gas se trata?

Solución:

Se almacena un gas que se supone ideal, entonces:

$PV = nR^*T$

Con:

$$R = 8.3145 \frac{kJ}{kmol * K}$$

Donde:
n = número de moles = m/PM
PM = peso o masa molecular.

Para un cono $V = \frac{\pi d2h}{12}$; sustituyendo en la ecuación del gas ideal:

$$PM = \frac{(0.0025\ kg)\left(8.3145 \frac{kJ}{kmol*K}\right)(298\ K)}{[875\ kPa*\pi*(0.35)2\ m^2*(\frac{0.11\ m}{12})]} = 2.0067 \frac{kg}{kmol}$$

Probablemente se trata de hidrógeno (H_2).

34. Un globo esférico y elástico que se usa en meteorología tiene un diámetro de 3 m y contiene helio a 27 ºC y 101.325 kPa. El globo se eleva a una altura en la cual las condiciones son 15 kPa y – 17 ºC. Calcule el cambio en el volumen del globo, en m^3.

Solución:

Se trata de helio un gas que se supone ideal, entonces PV = mRT.

De la ecuación del gas ideal:

$$V_2 - V_1 = \left(\frac{m_2RT_2}{P_2}\right) - \left(\frac{m_1RT_1}{P_1}\right)$$

Pero :

$$m_1 = m_2 = \frac{P_1 V_1}{R T_1}$$

Entonces :

$$\Delta V = \left(\frac{P_1 V_1 R}{R T_1})\right)\left[\left(\frac{T_2}{P_2}\right) - \left(\frac{T_1}{P_1}\right)\right] = V_1\left[\left(\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}\right) - 1\right]$$

$$\Delta V = \left(\frac{\pi * (3\ m)^3}{6}\right) * \left[\left(\frac{101.325\ kPa * 256\ K}{15\ kPa} * 300\ K\right) - 1\right] = 67.35\ m^3$$

35. El octano gaseoso (que se considera ideal) aumenta su energía interna en 30 kJ/kg, partiendo de una temperatura inicial de 27 ºC. Calcule la temperatura final. Para el octano: R = 72.9 J/kg K y $C_p(T) = 0.29 + 3.97 \text{ X } 10^{-3}$ T con C_p en kJ/kg K y T en kélvines.

Solución:

Como:

dh = du +d(Pv) = du + RdT

Sustituyendo la expresión para C_P y R se obtiene:

$$30\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0.29\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}(T_2 - 300) + \frac{3.97x10^{-3}}{2}\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}^2} * (T_2^{\,2} - 300^2)\ \text{K}^2 - 0.0729\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}(T_2 - 300)\ \text{K}$$

$$T_2^{\,2} + 109.3702 * T_2 - 137{,}924.433 = 0$$

Resolviendo T_2 = 320.701 K y – 430.072 K.

Se considera el primer valor. Problema resuelto con **MAPLE**.

36. Repita el problema 35 para acetileno: R = 0.3195(kJ/kg K), $C_p(T) = 1.921 + 7.06 \text{ X } 10^{-4}\ T - 3.73 \text{ X } 10^4\ T^{-2}$ con C_p en (kJ/kg K) y T en kélvines.

Solución:

$$30\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = \int_{300}^{T_2} (1.921\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} + 7.06X10^{-4}\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}^2} * T - 3.73X10^{-4}\,\frac{\text{kJ K}}{\text{kg}} * T^{-2})dT - 0.3195\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}\int_{300}^{T_2} dT$$

$$30\,\frac{kJ}{kg} = 1.921\,\frac{kJ}{kg} * K(T_2 - 300)K + \frac{7.06X10^{-4}}{2}\frac{kJ}{kg*K^2} * (T_2^2 - 300^2)K^2 - 3.73X10^{-4}\,\frac{kJK}{kg}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{300}\right)K^{-1} - 0.3195\,\frac{kJ}{kg*K}(T_2 - 300)K$$

$$T_2^{\,3} + 4536.8272 * T_2^{\,2} - 1888252.1247 * T_2 + 105665722.38 = 0.$$

La ecuación anterior se resolvió utilizando **MAPLE** y los resultados fueron:

320.93 K,
- 4924.62 K
66.86 K

Se considera correcto el primer resultado.

Para el acetileno se sabe que:

$C_V = 1.3753 \frac{kJ}{kg*K}$ de la tabla F.1; entonces:

$$30\frac{kJ}{kg} = 1.3753\frac{kJ}{kg*K} * (T_2 - 300)\ K$$

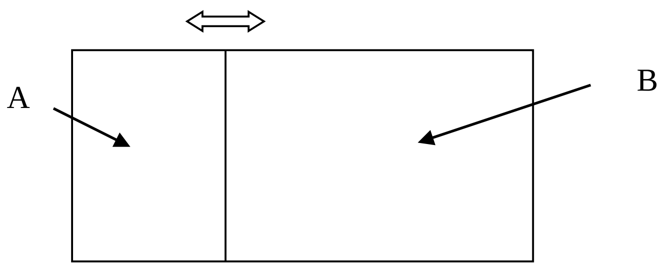
de donde:

T_2 = 321.81 K, valor cercano al anterior.

37. Un kg de aire [R = 0.287 J/g*K, k =1.4], inicialmente a 5 bares y 77 ºC y 3 kg de otro gas [R = 2.08 J/g*K, k = 5/3], inicialmente a 2 bares y 177 ºC, se hallan en lados opuestos dentro un tanque rígido y separados por una partición diatérmica y que se mueve libremente. Determine la presión final de cada gas, en (bares), si la temperatura final es 150 ºC.

Solución:

Se trata de gases ideales.



	1 kg	3 kg
inicial:	350 K, 500 kPa	450 K, 200 kPa
final:	423 K	423 K

Como:

$V_{Ai} + V_{Bi} = V_{Af} + V_{Bf}$

Entonces:

$$\left(\frac{m_{Ai}R_AT_{Ai}}{P_{Ai}}\right)+\left(\frac{m_{Bi}R_BT_{Bi}}{P_{Bi}}\right)=\left(\frac{M_{Af}R_AT_{Af}}{P_{Af}}\right)+\left(\frac{m_{Bf}R_BT_{Bf}}{P_{Bf}}\right)$$

De acuerdo con el problema:

$$m_{Ai} = m_{Af}$$
$$m_{Bi} = m_{Bf}$$
$$T_{Af} = T_{Bf}$$
$$P_{Af} = P_{Bf} = P$$

Entonces :

$$P = \frac{T_{Af}\left(R_Am_{Af} + R_Bm_{Bf}\right)}{\left[\frac{m_{Ai}R_AT_{Ai}}{P_{Ai}} + \frac{m_{Bi}R_BT_{Bi}}{P_{Bi}}\right]}$$

$$P = 423\ K * \frac{\left[\left(\frac{0.287\frac{kJ}{kg*K}}{1\ kg}\right)+\left(\frac{2.08\frac{kJ}{kg*K}}{3kg}\right)\right]}{\left[1\ kg*0.287\ \frac{kJ}{kg*K}*\frac{350K}{500\ kPa}+\left(3kg*2.08\ \frac{kJ}{kg*K}*\frac{450K}{200\ kPa}\right)\right]}$$

$$P = \frac{2{,}760.921\ kJ}{(0.2009 + 14.04)\frac{kJ}{kPa}} = 193.873\ kPa$$

38. Un tanque de 6 m^3 contiene helio [R = 2.1 J/g*K), k = 5/3] a 127 ºC. Del tanque se escapa gas, desde 760 mmHg hasta 740 mmHg, con la temperatura constante. Calcule la masa de helio que escapó.

Solución:

Se trata helio que se considera gas ideal. Por conservación de masa:

$$m_{esc} = m_i - m_f = \left(\frac{P_iV_i}{RT_i}\right) - \left(\frac{P_fV_f}{RT_f}\right)$$

Como:

$$V_i = V_f$$

$$T_i = T_f$$

Entonces:

$$m_{esc} = \left(\frac{V}{RT}\right)\left(P_i - P_f\right)$$

$$m_{esc} = \left[\frac{6m^3}{\left(2.1\ \frac{kJ}{kg * K} * 400\ K\right)}\right] * (760 - 740)\ mmHg * \left(\frac{101.325 kPa}{760\ mmHg}\right)$$

$$m_{esc} = 0.01905\ kg$$

39. Una corriente de aire (R = 0.287 J/g*K), k = 1.4) entra en un equipo termodinámico a 4 MPa, 300 ºC y 150 m/s por un conducto de 100 cm^2. El fluido sale a 400 kPa y 100 ºC por un tubo de 50 cm^2. Determine el gasto másico en la entrada y la velocidad en la salida. El flujo es permanente.

Solución:

Es un sistema abierto y el problema trata de la conservación de masa. El fluido es aire que se considera gas ideal, entonces:

PV = mRT

ó

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

Por conservación de masa:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

A la entrada:

$$\dot{m}_1 = A_1 \mathrm{v}_1 \rho_1 = \frac{A_1 \mathrm{v}_1 P_1}{RT_1}$$

$$\dot{m}_1 = \frac{\left(100X10^{-4}\ m^2 * 150\frac{m}{s} * 4{,}000\ kPa\right)}{\left(0.287\ \frac{kJ}{kg * K} * 573\ K\right)} = 36.485\frac{kg}{s}$$

A la salida:

$$\mathrm{v}_2 = \frac{\dot{m}_2}{A_2\rho_2} = \frac{\dot{m}_2 R T_2}{A_2 P_2}$$

$$v_2 = \frac{\left(36.485\frac{kg}{s} * 0.287\ \frac{kJ}{kg * K} * 373\ K\right)}{(50X10^{-4}\ m^2 * 400\ kPa)} = 1{,}952\frac{m}{s}$$

40. En un cilindro con un émbolo que se mueve sin fricción hay aire (R = 0.287 J /g*K), k = 1.4 a 1.5(bares), 20 ºC y 1 m^3. El gas sufre una compresión casiestática según $PV^n = C$ hasta 6(bares) y 120 ºC. Determine (a) el valor de n, (b) el trabajo, en (kJ).

Solución:

El proceso es una compresión politrópica de aire, gas ideal. Por conservación de masa:

$$m_i = m_f$$

$$\frac{P_iV_i}{RT_i} = \frac{P_fV_f}{RT_f}$$

De donde:

$$V_f = \frac{P_iV_iT_f}{T_iP_f} = \frac{150\ kPa * 1\ m^3 * 393K}{293\ K * 600\ kPa} = 0.3353\ m^3$$

Como:

$PV^n = C$

Entonces:

$$n = \frac{In\left(\frac{P_i}{P_f}\right)}{In\left(\frac{V_f}{V_i}\right)} = \frac{In\left(\frac{150\ kPa}{600\ kPa}\right)}{In\left(\frac{0.3353\ m^3}{1\ m^3}\right)} = 1.2687$$

(b) El trabajo politrópico se calcula como:

$$W = \frac{\left(\frac{P_iV_i}{P_fV_f}\right)}{n-1}$$

$$W = \frac{(150\ kPa * 1\ m^3) - (600\ kPa * 0.3353\ m^3)}{1.2687 - 1} = 190.473\ kJ\ (entra)$$

41. Una masa de aire [R = 0.287 J/g*K), k = 1.4] se encuentra contenida en un dispositivo de cilindro y émbolo de 2.8(litros), a 37 ºC y 100 kPa. El gas sufre una compresión casiestática según $PV^k = C$ hasta que el volumen final es una tercera parte del volumen inicial. Calcule:

a) la temperatura final
b) la presión final
c) el trabajo requerido

Solución:

b) Se trata de una compresión adiabática de aire, gas ideal. Como $PV^k = C$, entonces:

$$P_f = P_i \left(\frac{V_i}{V_f}\right)^k = 100\ kPa * \left(\frac{2.81}{\left(\frac{2.81}{3}\right)}\right)^{1.4} = 465.554\ kPa$$

a) Como $m_i = m_f$, entonces:

$$T_f = \frac{P_f V_f T_i}{P_i V_i} = 465.554\ kPa * \left(\frac{2.8\ \ell}{3}\right) * \frac{310\ K}{(100\ kPa * 2.8\ \ell)} = 481.072\ K$$

c) El trabajo se calcula como:

$$W = \frac{\left(P_i V_i - P_f V_f\right)}{(k-1)}$$

$$W = \frac{\left[(100\ kPa * 0.0028\ m^3) - \left(465.554\ kPa * \frac{0.0028\ m^3}{3}\right)\right]}{(1.4-1)}$$

$$W = -0.386\ kJ\ (entra)$$

42. Un tanque adiabático de 100 L contiene dos cámaras iguales, separadas por una pared adiabática. En una cámara hay un gas ideal a 100 kPa y 200 ºC y en la otra hay una cantidad del mismo gas ideal a 1.5 MPa y 320ºC. En un momento dado se suprime la pared intermedia y los contenidos de cada cámara se mezclan. Considere para el gas ideal R = 0.231 J/g*K y k = 1.4. Calcule la presión en el equilibrio.

Solución:

Se trata de la mezcla de dos porciones de un gas ideal. De la conservación de masa:

$$m_{Ai} + m_{Bi} = m_f$$

Sustituyendo la expresión del gas ideal se obtiene:

$$\frac{P_{Ai}V_{Ai}}{RT_{Ai}} + \frac{P_{Bi}V_{Bi}}{RT_{Bi}} = \left(\frac{100\ kPa*0.05\ m^3}{R*473\ K}\right) + \left(\frac{1{,}500\ kPa*0.05\ m^3}{R*593\ K}\right) = \frac{P_f V_f}{RT_f} = \frac{P_f*0.1\ m^3}{RT_f}$$

Ccalculando:

$$\frac{P_f}{T_f} = 1.3705\,\frac{kPa}{K}$$

De la primera ley para sistemas cerrados:

$$\Delta U = 0$$

ó

$$U_f - (U_{Ai} - U_{Bi}) = 0$$

Sustituyendo la expresión de la energía interna para un gas ideal:

$$m_f C_v T_f - m_{Ai} C_v T_{Ai} + m_{Bi} C_v T_{Bi} = 0$$

De donde:

$$T_f = \frac{(m_{Ai} T_{Ai} - m_{Bi} T_{Bi})}{m_f}$$

$$T_f = \frac{(0.04576\ kg * 473\ K + 0.5475\ kg 593\ K)}{0.5933\ kg} = 583.705\ K$$

Entonces:

$$P_f = 1.3705\,\frac{kPa}{K} * 583.705\ K = 799.97\ kPa$$

43. Una burbuja de aire con un volumen de 0.15 cm^3 está atrapada bajo una columna de 30m de agua. La burbuja se suelta y sube hasta la superficie. ¿Cuál es el volumen de la burbuja en la superficie? La presión atmosférica es 101.325 kPa.

Solución:

En el fondo $P_1V_1 = mRT_1$ y en la superficie $P_2V_2 = mRT_2$; igualando se obtiene $P_1V_1 = P_2V_2$, haciendo la consideración de que el aire en la burbuja se comporta isotérmicamente. Despejando el volumen en la superficie:

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = (P_{atm} + \rho g z)\frac{V_1}{P_{atm}} = \left[101{,}325\ Pa + \left(1000\,\frac{kg}{m^3} * 9.81\,\frac{m}{s^2} * 30m\right)\right] *$$

$$\left(\frac{0.15\ cm^3}{101{,}325\ Pa}\right) = 0.586\ cm^3$$

44. Un gas ideal con un C_P = 1.0048 kJ/kg*K, sufre un proceso de 850 kPa y 0.28 m^3 a 280 kPa y 0.66 m^3 en el cual ΔU = - 123 kJ. Calcule ΔH, R y C_V para el gas.

Solución:

Como H = U + PV, entonces:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$$

$$-123\ kJ + (280\ kPa * 0.66\ m^3 - 850\ kPa * 0.28\ m^3) = -176.2\ kJ$$

También:

$\Delta H = mC_P\Delta T$

de donde:

$$m\Delta T = \frac{\Delta H}{C_p} = \frac{-176.2\ kJ}{1.0048\,\frac{kJ}{kg * K}}$$

El cambio de energía interna es:

$\Delta U = mC_V\Delta T$

de donde:

$$C_{\mathrm{v}} = \frac{\Delta U}{m\Delta T} = \frac{-123\ kJ}{-175.36\ kg * K} = 0.7014\,\frac{kJ}{kg * K}$$

Finalmente:

$$R = C_p - C_{\mathrm{v}} = (1.0048 - 0.7014)\frac{kJ}{kg * K}$$

$$R = 0.3034\ \frac{kJ}{kg * K}$$

45. Se almacena aire (gas ideal) a 200 mmHg (vacío) y 25 °C en un tanque cilíndrico de 0.2 m de diámetro y 0.6 m de altura. En el ambiente: P = 585 mmHg y g = 9.78m/s^2. Calcule las moles y el peso del aire en el tanque.

Solución:

La presión en el tanque es:

$$P = (85 - 200)mmHg * \frac{101.325\ kPa}{760\ mmHg} = 51.329\ kPa$$

El volumen del tanque es:

$$V = \pi r^2 h = \pi * \left(\frac{0.2}{2}\right)^2 m^2 * 0.6\, m = 0.0188\, m^3$$

La masa contenida en el tanque es:

$$m = \frac{PV}{RT}$$

$$m = \frac{51.329\, kPa * 0.0188\, m^3}{0.287 \frac{kJ}{kg * K} * 298\, K} = 0.0113\, kg$$

Y las moles son:

$$\frac{0.0113\, kg}{28.97 \frac{kg}{kmol}} = 0.00039\, kmol$$

El peso del aire es:

$$\gamma = mg = 0.0113\, kg * 9.78 \frac{m}{s^2} = 0.1105\, N$$

46. Un gas ideal tiene las constantes de C_P = 1.0298 kJ/kg*K y C_V = 0.6179 kJ/kg*K. Si el cambio del producto Pν es – 401 kJ/kg, calcule el cambio de temperatura.

Solución:

La ley del gas ideal es:

$$PV = mRT$$

ó

Pν = RT

Para dos estados se obtiene:

$$P_2 \nu_2 - P_1 \nu_1 = \Delta(P\nu) = R\Delta T$$

De donde :

$$\Delta T = \frac{\Delta(P\nu)}{R} = \frac{\Delta(P\nu)}{C_p - C_v}$$

$$\Delta T = \frac{-401\,\frac{kJ}{kg}}{(1.0298 - 0.6179)\,\frac{kJ}{kg * K}} = -973.54\,K\ (disminuye)$$

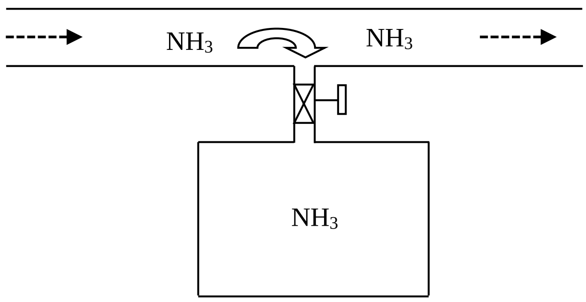
Capítulo 4: Balances de Energía

Situación transitoria

1. Un tanque rígido de 1 m^3 contiene amoníaco a 200 kPa y 30ºC. El tanque se conecta a una línea, por la cual fluye amoníaco a 1,200 kPa y 60ºC. Se abre la válvula y la masa fluye hacia el tanque hasta que la mitad del volumen lo ocupa el líquido a 30ºC. El volumen restante lo ocupa el vapor. Calcule la energía que se transmite en forma de calor y su dirección, en kJ, durante este proceso.

Solución:

Es una carga de amoniaco desde una línea hacia un tanque rígido.



Inicio ó i:

200 kPa, 30ºC: es vapor sobrecalentado, por lo tanto $u_i = 1{,}406.6\,\frac{kJ}{kg}$, $v_i = 0.7255\,\frac{m^3}{kg}$, de la tabla E.3.

Las tablas termodinámicas se localizan en el apéndice A

Final ó fin: mezcla, 30ºC, $V_{liq} = \frac{V}{2} = \frac{1\,m^3}{2} = 0.5\,m^3$

De la tabla E.1: $v_f = 0.00168\,\frac{m^3}{kg}$, $v_g = 0.1105\,\frac{m^3}{kg}$. $u_f = 340.48\,\frac{kJ}{kg}$, $u_{fg} = 1{,}016.7\,\frac{kJ}{kg}$

Entonces:

$$m_{liq} = \frac{0.5\,m^3}{0.00168\,\frac{m^3}{kg}} = 297.619\,kg$$

$$m_{vap} = \frac{0.5\ m^3}{0.1105\,\frac{m^3}{kg}} \ =\ 4.525\ kg$$

$$m_{tot} = m_{liq} + m_{vap} =\ 302.144\ kg$$

$$x_{fin} = \frac{m_{vap}}{m_{tot}} = \frac{4.525\ kg}{302.144\ kg} = 0.015$$

$$u_{fin} = u_f + x_{fin}\left(u_{fg}\right)$$

$$u_{fin} = 340.48\ kg + 0.015\left(1{,}016.7\,\frac{kJ}{kg}\right) = 355.73\,\frac{kJ}{kg}$$

Entrada ó 1: 1,200 kPa, 60ºC

Es vapor sobrecalentado: $h_1 = 1{,}573.1\,\frac{kJ}{kg}$ de la tabla E.3.

La conservación de masa establece que:

$$m_{fin} = m_i + m_1$$

La primera ley es:

$$Q = -\ m_1 h_1 \ +\ m_{fin} u_{fin} - m_i u_i$$

Combinando se obtiene que:

$$Q = m_{fin}\left(u_{fin} - h_1\right) +\ m_i(h_1 - u_i)$$

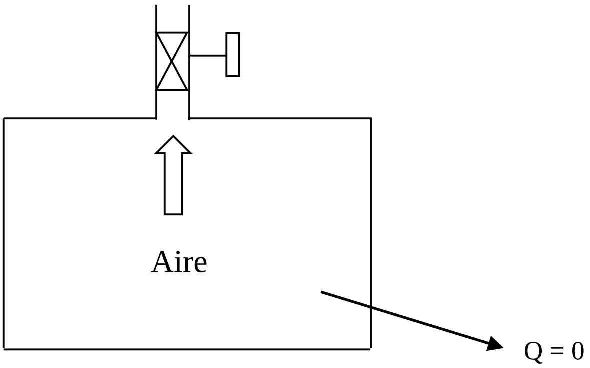
$$Q =\ 302.144\ kg * (355.73 - 1573.1)\,\frac{kJ}{kg}\ \ +\ 1.378\ kg * (1{,}573.1 - 1{,}406.6)\,\frac{kJ}{kg}$$

$$Q = -\ 367{,}591.604\ kJ\ \ =\ -\ 367.6\ MJ\ (sale)$$

2. Un tanque adiabático de 500 L contiene aire [R = 0.287 J/g*K, k = 1.4] a 40ºC y 2 MPa. Se abre una válvula y se mantiene así hasta que se escapa la mitad de la masa original. ¿Cuál es la presión final en el tanque?

Solución:

Es una descarga adiabática de aire (gas ideal) desde un tanque rígido (volumen constante).



i: 40ºC = 313 K, 2000 kPa

$P_iV_i = m_iRT_i$

$V_i = V_{fin}$

fin: $m_{fin} = \frac{mi}{2}$

$P_{fin}V_{fin} = m_{fin}RT_{fin} = \left(\frac{mi}{2}\right)RT_{fin}$

$$P_{fin} = \left(\frac{P_iV_i}{RT_i}\right)\frac{RT_{fin}}{2V_{fin}} = \frac{P_i\,T_{fin}}{2T_i}$$

Salida ó 2: $m_2 = \frac{m_i}{2}$

Se supone que:

$$T_2 = \frac{T_{fin} + T_i}{2}$$

La primera ley establece que:

$m_2h_2 + m_{fin}u_{fin} - m_iu_i = 0$

Sustituyendo condiciones y los calores específicos:

$$\left[\left(\frac{m_i}{2}\right)C_PT_2\right] + \left[\left(\frac{m_i}{2}\right)C_VT_{fin}\right] - m_iC_VT_i = 0$$

Como:

$$k = \frac{C_P}{C_V}$$

Entonces:

$$kT_{fin} + kT_i + 2T_{fin} - 4T_i = 0$$

ó

$$T_{fin} = \frac{4T_i - kT_i}{k + 2} = 313\ K * \frac{4 - 1.4}{1.4 + 2} = 239.35\ K$$

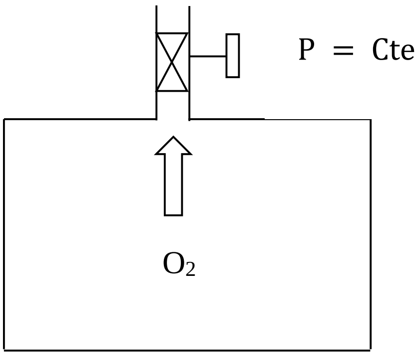
La presión final sería entonces:

$$P_{fin} = \frac{2{,}000\ kPa * 239.35\ K}{2 * 313\ K} = 764.7\ kPa$$

3. Un tanque rígido de 0.14 m^3 contiene oxígeno [R = 0.2598 J/g*K, k = 1.4] inicialmente a 7 bares y 40ºC. El tanque tiene una válvula reguladora que mantiene la presión constante, mientras se deja escapar el gas. Calcule la energía en forma de calor, en kJ, y su dirección durante el proceso, si la temperatura del oxígeno que queda en el tanque aumenta hasta 280 ºC.

Solución:

Es una descarga isobárica de oxígeno, considerado un gas ideal (PV = mRT).



$$C_p = 0.9185\ \frac{kJ}{kg * K}$$

$$R = 0.2598\ \frac{kJ}{kg * K}$$

i: 700 kPa, 40°C = 313 K;

$$P_i = P_{fin}$$

$$V_i = V_{fin}$$

fin: 280°C = 553 K.

2: Se supone que $T_2 = \frac{(T_i + T_{fin})}{2} = \frac{(313 + 553)K}{2} = 433\ K$

Balance de masa:

$$m_{fin} = m_i - m_2$$

y el balance de energía es:

$$Q = m_2 h_2 + m_{fin} u_{fin} - m_i u_i$$

Combinando las dos ecuaciones se obtiene:

$$Q = (m_i - m_{fin}) h_2 + m_{fin} u_{fin} - m_i u_i = m_{fin}(u_{fin} - h_2) + m_i (h_2 - u_i)$$

$$Q = \left(\frac{P_{fin} V_{fin}}{R T_{fin}}\right)\left[(C_V T_{fin}) - (C_P T_2)\right] + \left(\frac{P_i V_i}{R T_i}\right)\left[(C_P T_2) - (C_V T_i)\right]$$

$$Q = \left(\frac{PV}{R}\right)\left[C_V - \left(\frac{C_P T_2}{T_{fin}}\right) + \left(\frac{C_P T_2}{T_i}\right) - C_V\right]$$

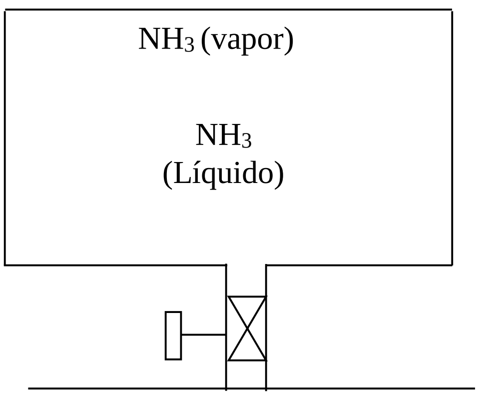
$$Q = \left(\frac{PV C_P T_2}{R}\right)\left[\left(\frac{1}{T_i}\right) - \left(\frac{1}{T_{fin}}\right)\right]$$

$$Q = \left(700\,kPa * 0.14\,m^3 * 433\,K * \frac{0.9185\,\frac{kJ}{kg*K}}{0.2598\,\frac{kJ}{kg*K}} \right) * \left[\left(\frac{1}{313\,K}\right) - \left(\frac{1}{553\,K}\right)\right] = 208.02\,kJ\,(entra)$$

4. Un recipiente rígido de 1.45 m^3 contiene inicialmente una mezcla de amoníaco líquido en equilibrio con su vapor. El 80 % del volumen corresponde al líquido a – 25ºC y el resto al vapor. El líquido sale a través de una válvula mientras se agrega calor para mantener la temperatura a – 25ºC. La masa final de líquido en el recipiente es 1/3 de la masa inicial del líquido. Calcule la cantidad de energía en forma de calor que debe agregarse.

Solución:

Es una descarga isotérmica de amoníaco desde un recipiente rígido.



i: mezcla, - 25°C; de la tabla E.1:

$$v_f = 0.00149 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.7722 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 85.245 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}228.75 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_f = 85.45 \frac{kJ}{kg}$$

De acuerdo con las condiciones del problema:

$$V_{líq} = 0.8 * 1.45\, m^3 = 1.16\, m^3$$

$$V_{vap} = (1.45 - 1.16)\, m^3 = 0.29\, m^3$$

$$m_{líq} = \frac{1.16\, m^3}{0.00149 \; \frac{m^3}{kg}} = 778.523\, kg$$

$$m_{vap} = \frac{0.29\, m^3}{0.7722 \; \frac{m^3}{kg}} = 0.376\, kg$$

$$m_{tot} = m_{líq} + m_{vap} = 778.523\, kg + 0.376\, kg$$

$$m_{tot} = 778.899\, kg$$

$$x_i = \frac{0.376\, kg}{778.899\, kg} = 0.000483$$

$$u_i = 85.245 \frac{kJ}{kg} + 0.000483 * 1{,}228.75 \frac{kJ}{kg} = 85.838 \frac{kJ}{kg}$$

fin: mezcla, - 25°C

$$m_{líq} = \frac{778.523\, kg}{3} = 259.508\, kg$$

$$V_{líq} = 259.08\ kg * 0.00149\ \frac{m^3}{kg} = 0.386\ m^3$$

$$V_{vap} = (1.45 – 0.387)\ m^3 = 1.064\ m^3$$

$$m_{vap} = \frac{1.064\ m^3}{0.7722\ \frac{m^3}{kg}} = 1.378\ kg$$

$$m_{tot} = 260.886\ kg$$

$$x_{fin} = \frac{1.377\ kg}{260.886\ kg} = 0.00528$$

$$u_{fin} = u_i + \left(x_{fin} * u_{fg}\right)$$

$$u_{fin} = 85.245\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.00528 * 1{,}228.72\ \frac{kJ}{kg}\right) = 91.733\ \frac{kJ}{kg}$$

2: $h_2 = 85.45 \frac{kJ}{kg}$

El balance de masa es:

$$m_{fin} = m_i – m_2$$

Y el balance de energía es:

$$Q = m_2 h_2 + m_{fin} u_{fin} – m_i u_i$$

Combinando las ecuaciones:

$$Q = m_{fin}\left(u_{fin} – h_2\right) + m_i(h_2 - u_i)$$

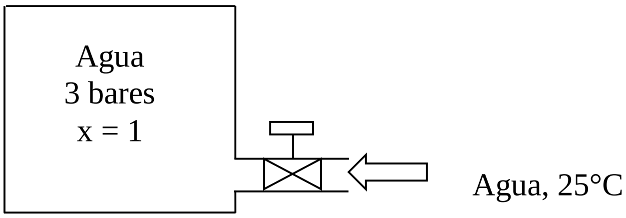
$$Q = 260.886\ kg * (91.733 - 85.45) \frac{kJ}{kg} + 778.899\ kg * (85.45 – 85.838) \frac{kJ}{kg}$$

$$Q = 1{,}639.147\ kJ – 302.213\ kJ = 1{,}336.934\ kJ\ (entra)$$

5. Un tanque de acero de 300 L contiene inicialmente agua a 3 bares y x = 1. Desde el exterior se inyecta agua a 25ºC hasta que en el tanque se llega a una calidad de 15% y 90°C. Calcule el calor y su dirección.

Solución:

Se trata de una carga de agua líquida hacia un tanque rígido.



i: 3 bares, $x = 1$, $v_g = v_i = 0.6058 \frac{m^3}{kg}$, $u_g = u_i = 2{,}543.6 \frac{kJ}{kg}$ de la tabla A.2.

fin: x = 0.15, 90ºC; de la tabla A.1:

$$v_g = 2.361 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_f = 0.001036 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 376.85 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 2{,}117.7 \frac{kJ}{kg}$$

Calculando se obtiene:

$$v_{fin} = 0.001036 \frac{m^3}{kg} + \left(0.15 * (2.361 \quad - 0.001036) \frac{m^3}{kg} \right) = 0.355 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_{fin} = u_f + (x * u_{fg})$$

$$u_{fin} = 376.85 \frac{kJ}{kg} + 0.15 * 2{,}117.7 \frac{kJ}{kg} = 694.505 \frac{kJ}{kg}$$

$$m_{fin} = \frac{300\ L}{v_{fin}} \left(\frac{0.001\ m^3}{1\ L} \right) = \frac{0.3\ m^3}{v_{fin}}$$

$$m_{fin} = \frac{0.3\ m^3}{0.355 \frac{m^3}{kg}} = 0.845\ kg$$

1: 25°C y se supone líquido saturado, $h_1 = 104.89 \frac{kJ}{kg}$, de la tabla A.1.

La conservación de masa establece que:

$m_{fin} = m_i + m_1$

Y el balance de energía es:

$- m_1 h_1 + m_{fin} u_{fin} - m_i u_i = Q$

Combinando las dos ecuaciones se obtiene:

$Q = m_{fin}\left(u_{fin} - h_1\right) + m_i(h_1 - u_i)$

$$Q = 0.845\ kg * (694.505 - 104.89)\frac{kJ}{kg} + 0.4952\ kg * (104.89 - 2543.6)\frac{kJ}{kg}$$

$Q = -709.424\ kJ\ (sale)$

6. Un tanque a presión contiene 1.5 kg de agua a 40 bares y 260ºC. Se permite que el fluido salga del tanque hasta que se llega a 6 bares. Durante el proceso se da calor al tanque para mantener constante la temperatura. Calcule la masa que sale.

Solución:

Es una descarga isotérmica de agua desde un tanque rígido.

i: 40 bares, 260ºC. es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3 e interpolando, se obtiene:

$$\frac{(0.05457 - 0.04978)\frac{m^3}{kg}}{(275 - 250.4)°C} = \frac{(0.05457 - v_i)\frac{m^3}{kg}}{(275 - 260)°C}$$

$-v_i + 0.05457 = 15(1.94715X10^{-4})$

$$v_i = 0.05165\frac{m^3}{kg}$$

$$V_{tanque} = 1.5\ kg * 0.05165\ \frac{m^3}{kg} = 0.075\ m^3$$

fin: 6 bares, 260ºC; es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3 e interpolando:

$$\frac{(0.4344 - 0.3928)\frac{m^3}{kg}}{(300 - 250)°C} = \frac{(0.4344 - v_{fin})\frac{m^3}{kg}}{(300 - 275)°C}$$

$$-V_{fin} + 0.4344 = 25\left(\frac{0.0416}{50}\right)$$

$$v_{fin} = 0.4136\ \frac{m^3}{kg}$$

$$m_{fin} = \frac{0.0775\ m^3}{0.4136\ \frac{m^3}{kg}} = 0.1874\ kg$$

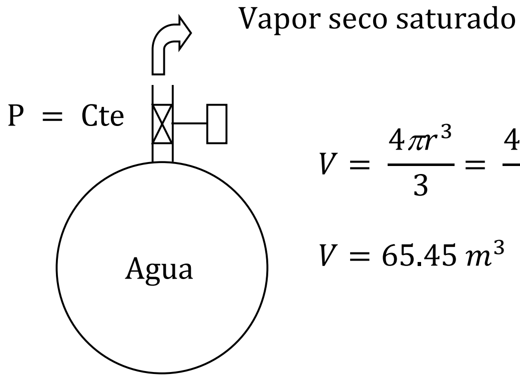
Del balance de masa, la masa que sale es:

$$m_2 = m_i - m_{fin} = (1.5 - 0.1874)\ kg = 1.3126\ kg$$

7. Un tanque esférico de 5 m de diámetro tiene inicialmente agua a 10 MPa y x= 10%. El recipiente se calienta, pero se permite simultáneamente la salida de vapor saturado y seco, de tal manera que la presión en el tanque no cambia, hasta que la masa final del líquido es el 35% del líquido original. Calcule el calor necesario, en GJ.

Solución:

Es una descarga isobárica de vapor saturado seco de agua desde un recipiente esférico rígido.



$$V = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi\,(2.5)^3\ m^3}{3}$$

$$V = 65.45\ m^3$$

i: 10 MPa, x=0.1. De la tabla A.2:

$$v_f = 0.001452\,\frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.018026\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 1{,}393.04\,\frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}151.4\ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$\nu_1 = 0.001452\ \frac{m^3}{kg} + 0.1 * (0.018026 - 0.001452)\ \frac{m^3}{kg} = 0.003109\ \frac{m^3}{kg}$$

$$m_i = \frac{65.45\ m^3}{0.003109\ \frac{m^3}{kg}} = 21{,}051.79\ kg$$

$$m_{líq} = 0.9 * 21{,}051.79\ kg = 18{,}946.611\ kg$$

$$u_i = u_f + \left(x * u_{fg}\right)$$

$$u_i = 1{,}393.04\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.1 * 1{,}151.4\ \frac{kJ}{kg}\right) = 1{,}508.18 \frac{kJ}{kg}$$

fin: 10 MPa, mezcla saturada:

$$m_{líq} = 0.35 * 18{,}946.611\ kg = 6{,}631.314\ kg$$

$$V_{líq} = 6{,}631.314\ kg * 0.001452\ \frac{m^3}{kg} = 9.629\ m^3$$

$$V_{vap} = (65.45 - 9.629) m^3 = 55.821\ m^3$$

$$m_{vap} = \frac{v_{vap}}{\nu_g}$$

$$m_{vap} = \frac{55.821\ m^3}{0.018026\ \frac{m^3}{kg}} = 3{,}096.693\ kg$$

$$m_{vap} + m_{líq} = 3{,}096.693\ \mathrm{kg} + 6{,}631.314\ kg$$

$$m_{fin} = 9{,}728.007\ kg$$

$$x_{fin} = \frac{m_{vap}}{m_{fin}}$$

$$x_{fin} = \frac{3{,}096.693\ kg}{9{,}728.007\ kg} = 0.3183$$

$$u_{fin} = 1{,}393.04\ \frac{kJ}{kg} + 0.3183 * 1151.4\ \frac{kJ}{kg} = 1{,}759.531\ \frac{kJ}{kg}$$

2: 10 MPa, vapor saturado seco, $h_2 = 2{,}724.7\ \frac{kJ}{kg}$

La conservación de masa establece que:

$m_{fin} = m_i - m_2$

y la primera ley es:

$Q = m_2 h_2 + m_{fin} u_{fin} - m_i u_i$

Combinando las dos ecuaciones se obtiene:

$Q = m_{fin}(u_{fin} - h_2) + m_i(h_2 - u_i)$

$Q = 9{,}728.007\ kg * (1{,}759.531 - 2{,}724.7)\frac{kJ}{k} + 21{,}051.79\ kg\ (2{,}724.7 - 1{,}508.18)\ \frac{kJ}{kg}$

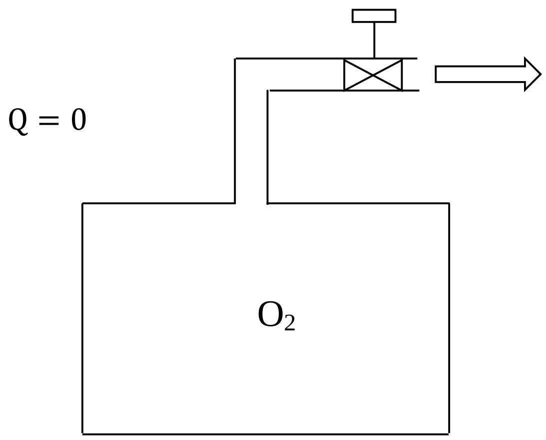
$Q = (-9{,}389{,}170.788 + 25{,}609{,}923.57)\ kJ$

$Q = 16{,}220{,}752.78\ kJ = 16.22\ GJ\ \ (entra)$

8. Un tanque de almacenamiento de acero contiene 7 kg de oxígeno [R = 0.2598 J/g*K, k = 1.4] a 2.5 bares y 20°C. Se abre por accidente, durante unos pocos segundos, una válvula, por la que se escapa algo del oxígeno al entorno. Si al cerrarse la válvula el oxígeno del tanque estaba a 1.9 bares, ¿cuánto oxígeno queda en el tanque?

Solución:

Es una descarga de oxígeno (gas ideal) desde un tanque rígido. Por ser rápido el proceso se considera adiabático.



i: 7 kg, 2.5 bares:

$P_i V_i = m_i R T_i$

$V_i = V_{fin}$

fin: 1.9 bares, $P_{fin}V_{fin} = m_{fin}RT_{fin}$

2: Se admite que: $T_2 = \frac{(T_i + T_{fin})}{2}$

El balance de masa es:

$m_{fin} = m_i - m_2$

y el de energía:

$m_2h_2 + m_{fin}u_{fin} - m_iu_i = 0$

Combinado:

$$m_{fin}(u_{fin} - h_2) + m_i(h_2 - u_i) = \left(\frac{P_{fin}V_{fin}}{RT_{fin}}\right)\left\{C_VT_{fin} - C_P\left[\frac{(T_i+T_{fin})}{2}\right] + \left(\frac{Pi\,Vi}{RTi}\right)\{C_P\left[\frac{(T_i+T_{fin})}{2}\right] - C_VT_i\right\}$$

$$2P_{fin} - \frac{P_{fin}T_ik}{T_{fin}} - P_{fin}k + P_ik + \frac{P_iT_{fin}k}{T_i} - 2P_i = 0$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$T_{fin}^2 - 30.14 * T_{fin} - 65247.384 = 0$$

Resolviendo:

$T_{fin1} = 270.95K,\ T_{fin2} = -240.81K$. Se considera el primer valor. Como:

$V_i = V_{fin},$ se obtiene:

$$\frac{m_iRT_i}{Pi} = \frac{m_{fin}RT_{fin}}{P_{fin}}$$

Despejando la masa final el resultado es:

$$m_{fin} = \frac{m_iT_iP_{fin}}{P_iT_{fin}} = \frac{(7\ kg)(293\ K)(190\ kPa)}{(250\ kPa)(270.95\ K)} = 5.753\ kg$$

9. Un recipiente rígido y adiabático de 30 litros está completamente evacuado y rodeado por aire atmosférico a 77.17 kPa y 22°C. El recipiente se perfora y entra aire [R = 0.287 J/g*K, k = 1.4]. Calcule la masa que ingresa, si en el tanque se alcanzan 77.17 kPa.

Solución:

Es una entrada adiabática de aire (gas ideal) hacia un tanque que se perfora.

El balance de masa es:

$m_{fin} = m_1$

y el de energía es:

$- m_1 h_1 + m_{fin} u_{fin} = 0$

Combinando se obtiene:

$-m_{fin} h_1 + m_{fin} u_{fin} = 0$

$-m_{fin}(h_1 - u_{fin}) = 0$

$m_{fin}(u_{fin} - h_1) = (C_V T_{fin} - C_P T_1) = 0$

de donde:

$T_{fin} = kT_1 = 1.4 * 295\ K = 413\ K$

Y de la ecuación del gas ideal para el estado final:

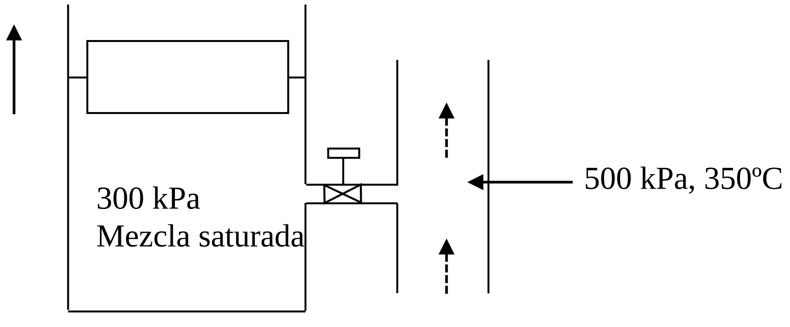
$$m = \frac{PV}{RT}$$

$$m_{fin} = m_1 = \frac{P_{fin} V_{fin}}{RT_{fin}} = \frac{77.17\ kPa * 0.03\ m^3}{\left(0.287\ \frac{kJ}{kg*K}\right)(413\ K)} = 0.0195\ kg$$

10. Un cilindro vertical, de paredes adiabáticas, provisto de un émbolo libre de fricción, contiene 10 kg de agua, con 2 de esos kilogramos en la fase líquida, a 300 kPa. Se inyecta agua proveniente de una gran línea de alimentación, a 500 kPa y 350ºC, hasta que el líquido en el cilindro se evapora completamente. Calcule el trabajo y su sentido.

Solución:

Se trata de la inyección adiabática de agua hacia un cilindro que contiene inicialmente una mezcla saturada de agua, encerrada por un émbolo.



i: 300 kPa, mezcla saturada; de la tabla A.2:

$$v_f = 0.001073 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.6058 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 561.15 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}982.4 \ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$x_i = \frac{8\ kg}{10\ kg} = 0.8$$

$$v_i = 0.001073 \ \frac{m^3}{kg} + 0.8 * (0.6058 - 0.001073) \frac{m^3}{kg} = 0.4849 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_i = 561.15 \ \frac{kJ}{kg} + 0.8 * 1982.4 \ \frac{kJ}{kg} = 2147.07 \ \frac{kJ}{kg}$$

fin: 300 kPa, vapor saturado seco; de la tabla anterior:

$$u_{fin} = 2543.6 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$v_{fin} = 0.6058 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$h_{fin} = 2725.3 \ \frac{kJ}{kg}$$

1: 500 kPa, 350ºC; es vapor sobrecalentado y:

$h_1 = 3{,}167.7 \ \frac{kJ}{kg}$, de la tabla A.3.

El balance de masa es:

$$m_{fin} = m_i + m$$

y el de energía es:

$- \ m_1 h_1 + \ m_{fin} u_{fin} - \ m_i u_i = -W$

Combinando las ecuaciones se obtiene:

$-m_1 h_1 + (m_1 + m) u_{fin} - \ m_i u_i = -W$

$m_{fin}(u_{fin} - \ h_1) \ - m_i(u_i - h_1) = - \ W$

Utilizando el hecho de que:

h = u + Pν

la ecuación anterior se transforma en:

$m_{fin}\left(h_{fin} - h_1\right) - m_i(h_i - \ h_1) = -W \ + m_{fin} P_{fin} \nu_{fin} - m_i P_i \nu_i = 0$

Efectuando cálculos:

$$m_{fin} = \frac{m_i(h_i - h_1)}{(hfin - h1)} = \frac{10 \ kg * (2{,}292.51 - 3{,}167.7) \frac{kJ}{kg}}{(2{,}725.3 - 3{,}167.7) \frac{kJ}{kg}} \ = \ 19.78 \ kg$$

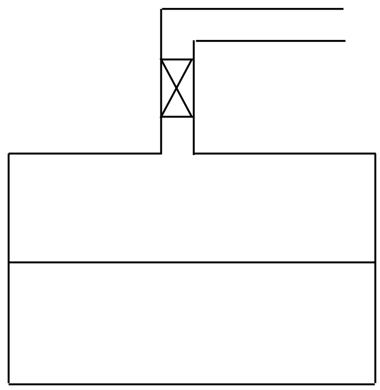
$$W = m_{fin} P_{fin} \nu_{fin} - m_i P_i \nu_i$$
$$= 300 \ kPa * \left(19.78 \ kg * 0.6058 \ \frac{m^3}{kg} - 10 \ kg * 0.4848 \ \frac{m^3}{kg}\right)$$

$W = \ 2{,}140.417 \ kJ \ = \ 2.14 \ MJ \ (sale)$

11. Un tanque de acero de 500 dm^3 contiene 250 dm^3 de agua líquida y el resto, de vapor en equilibrio a 3 MPa. El tanque se calienta hasta gasificar la mitad del líquido original. Por la parte superior se regula la salida de la fase gaseosa, de tal manera que la presión dentro del tanque no cambia. ¿Cuánta masa sale del tanque?

Solución:

Es la descarga isobárica de vapor saturado seco de agua desde un tanque rígido.



Vapor saturado seco

$$V = 500\ dm^3 = 0.5\ m^3$$
$$P = 3\ MPa\ (constante)$$

i: 3 MPa, mezcla saturada; de la tabla A.2:

$$\nu_f = 0.001217\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.06668\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 1{,}004.78\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}599.3\frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$m_{líq} = \frac{0.25\ m^3}{0.001217\ \frac{m^3}{kg}} = 205.423\ kg$$

$$m_{vap} = \frac{0.25\ m^3}{0.06668\ \frac{m^3}{kg}} = 3.7493\ kg$$

$$m_i = 209.172\ kg$$

fin: 3 MPa, mezcla saturada:

$$m_{líq} = \frac{205.423\ kg}{2} = 102.712\ kg$$

$$V_{líq} = 102.712\ kg * 0.001217\ \frac{m^3}{kg} = 0.125m^3$$

$$V_{vap} = (0.5 - 0.125)\ m^3 = 0.375\ m^3$$

$$m_{vap} = \frac{0.375\ m^3}{0.06668\ \frac{m^3}{kg}} = 5.624\ kg$$

$$m_{fin} = 108.336\ kg$$

Entonces la masa que salió es:

$$m_2 = (209.172 - 108.336)\ kg = 100.836\ kg$$

12. ¿Cuánta energía en forma de calor se necesita en el problema 11?

Solución:

i: $x_i = \frac{3.7493\ kg}{209.172\ kg} = 0.01792$

$$u_i = 1{,}004.78\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.01792 * 1{,}599.3\ \frac{kJ}{kg}\right) = 1{,}033.439\frac{kJ}{kg}$$

fin: $x_{fin} = \frac{5.624\ kg}{108.336\ kg} = 0.05191$

$$u_{fin} = 1{,}004.78\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.05191 * 1{,}599.3\ \frac{kJ}{kg}\right) = 1{,}087.8\ \frac{kJ}{kg}$$

2: 3 MPa, vapor saturado seco, $h_2 = 2{,}804.2\ \frac{kJ}{kg}$, de la tabla A.2

El balance de energía es:

$$Q = m_2 h_2 + m_{fin} u_{fin} - m_i u_i$$

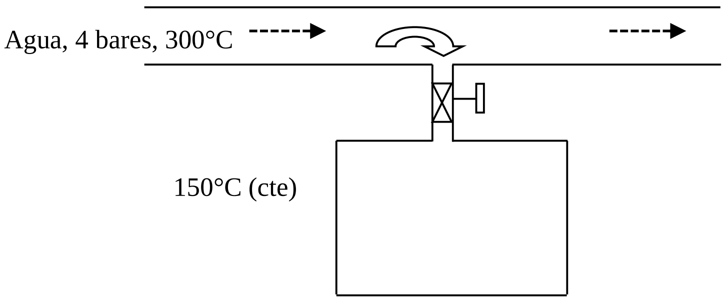
$$Q = 100.836 kg * 2{,}804.2 \frac{kJ}{kg} + \left(108.336 kg * 1{,}087.8 \frac{kJ}{kg}\right) - \left(209.172 kg * 1{,}033.439 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$Q = 184{,}445.71\ kJ = 184.4\ MJ\ (entra)$$

13. Un tanque de acero de 60 dm^3 contiene agua, inicialmente a 2 bares y 150°C. El tanque se conecta a una gran tubería por la que fluye el agua a 4 bares y 300°C. Se permite que el agua entre en el tanque tan lentamente que el fluido de su interior se mantiene a 150°C. El proceso termina cuando el agua del tanque llega a 375 kPa. ¿Cuánta masa entra en el tanque durante el proceso?

Solución:

Es una carga isotérmica de agua hacia un tanque rígido.



i: 2 bares, 150°C; es vapor sobrecalentado, de la tabla A.3:

$$v_i = 0.9596 \frac{m^3}{kg}$$

$$m_i = \frac{0.06\ m^3}{0.9596 \frac{m^3}{kg}} = 0.06253\ kg$$

fin: 375 kPa, 150°C; es vapor sobrecalentado, de la tabla anterior e interpolando:

$$\frac{\left(0.6339 - 0.4708\ \frac{m^3}{kg}\right)}{(300 - 400)\ kPa} = \frac{(0.6339\ -\ v_{fin})}{(300 - 375)\ kPa}$$

$$-v_{fin} + 0.6339 = -75(-0.001631)$$

$$v_{fin} = 0.512 \frac{m^3}{kg}$$

$$m_{fin} = \frac{60\ dm^3}{v_{fin}}\left(\frac{0.001\ m^3}{1\ dm^3}\right) = \frac{0.06\ m^3}{v_{fin}}$$

$$m_{fin} = \frac{0.06\ m^3}{0.512\ \frac{m^3}{kg}} = 0.117\ kg$$

El balance de masa establece que:

$$m_1 = m_{fin} - m_i = (0.117 - 0.06253)\ kg = 0.05447\ kg$$

14. Un tanquecito de acero de 50 litros está inicialmente vacío. Un tanquezote de oxígeno O_2, a 2.5 MPa y 22°C se usa como fuente para llenar el tanquecito a 2 MPa. La interacción calorífica puede despreciarse si el llenado es lo suficientemente rápido. Si el volumen de cada tanque fuese invariable, calcule la temperatura final en el tanquecito. Considere R = 0.2598(J/g*K) y k = 1.395.

Solución:

Es una carga adiabática de oxígeno (gas ideal) de un tanque inicialmente vacío.

El balance de masa sería: $m_{fn} = m_1$

y el de energía: $- m_1 h_1 + m_{fin} u_{fin} = 0$

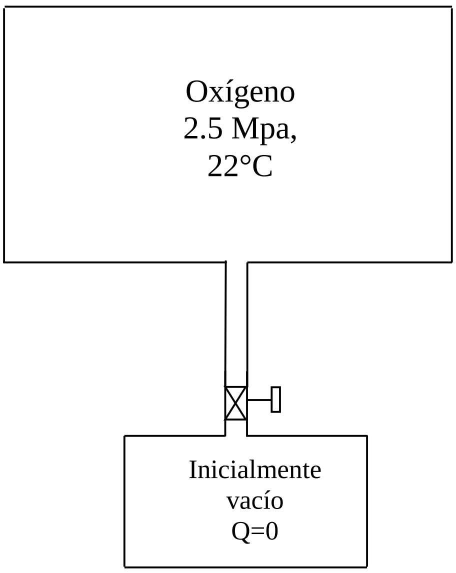
Combinando se obtiene:

$$m_{fin}(u_{fin} - h_1) = 0$$

ó $u_{fin} = C_V T_{fin} = C_P T_1$

de donde:

$$T_{fin} = \frac{C_P T_1}{C_V} = kT_1 = 1.395 * 295\ K = 411.53\ K = 138.53°C$$



15. Un tanque esférico de 50 m^3 de volumen contiene una mezcla saturada de agua a 1 bar tal que el 25% del volumen lo ocupa el líquido. El tanque se comunica con una turbina adiabática mediante una válvula de paso que se abrirá cuando la presión en el interior del tanque sea de 20 bares permitiendo la salida de vapor saturado seco y conservando la presión constante. A la salida de la turbina el vapor de agua es saturado seco a 1 bar. Se entrega calor al tanque hasta que salga el 60% de la masa total contenida inicialmente. Determine:

a) El calor entregado al tanque.

b) Si el calor proviene de concentradores solares que entregan 0.4 kW/m^2 durante 6 horas de operación, calcule al área de concentración.

c) La potencia de la turbina, en (kW).

Solución:

Hay dos tipos de procesos: el primero es un calentamiento a volumen constante en estado permanente y en el segundo hay un calentamiento transitorio con salida simultánea de vapor.

Calentamiento a volumen constante

1: 1 bar, mezcla saturada; de la tabla A.2:

$$v_f = 0.001043 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 1.694 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 417.36 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 2{,}088.7 \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$V_{líq} = \frac{50\, m^3}{4} = 12.5\, m^3$$

$$V_{vap} = 37.5\, m^3$$

$$m_{líq} = \frac{12.5\, m^3}{0.001043 \frac{m^3}{kg}} = 11{,}984.66\, kg$$

$$m_{vap} = \frac{37.5\, m^3}{1.694 \frac{m^3}{kg}} = 22.14\, kg$$

$$x_1 = \frac{22.14\, kg}{12{,}006.8\, kg} = 0.001844$$

$$u_1 = 417.36\frac{kJ}{kg} + \left(0.001844 * 2{,}088.7\ \frac{kJ}{kg}\right) = 421.21\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\nu_1 = 0.001043\ \frac{m^3}{kg} + \left(0.001844 * (1.694 - 0.001043)\ \frac{m^3}{kg}\right) = 0.004165\ \frac{m^3}{kg}$$

$$h_1 = 2{,}675.5\frac{kJ}{kg}$$

2: 20 bares, mezcla saturada de la tabla A2

$$\nu_2 = 0.004165\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_f = 0.001177\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.09963\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 906.44\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}693.8\ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$x_2 = \frac{(0.004165 - 0.001177)\ \frac{m^3}{kg}}{(0.09963 - 0.001177)\ \frac{m^3}{kg}} = 0.03035$$

$$u_2 = 906.44\frac{kJ}{kg} + 0.03035 * 1{,}693.8\ \frac{kJ}{kg} = 957.85\frac{kJ}{kg}$$

En este caso la primera ley es:

$$Q_{vc} = m(u_2 - u_1) = 12{,}006.8\ kg * (957.85 - 421.1)\ \frac{kJ}{kg} = 6{,}443{,}329.152\ kJ$$

Calentamiento transitorio

i: 20 bares, mezcla saturada:

$$\nu_i = 0.004165\ \frac{m^3}{kg}$$

$x_i = 0.03035$

$u_i = 957.85 \dfrac{kJ}{kg}$

fin: 20 bares, mezcla saturada

$m_{fin} = 0.4 * 12{,}006.8\, kg = 4{,}802.72\, kg$

$$v_{fin} = \frac{50\, m^3}{4802.72\, kg} = 0.01041 \frac{m^3}{kg}$$

$$x_{fin} = \frac{(0.01041 - 0.001177) \frac{m^3}{kg}}{(0.09963 - 0.001177) \frac{m^3}{kg}} = 0.09435$$

$$u_{fin} = 906.44 \frac{kJ}{kg} + \left(0.0938 * 1{,}693.8 \frac{kJ}{kg}\right) = 1{,}065.318 \frac{kJ}{kg}$$

2: 20 bares, vapor saturado seco:

$m_2 = (12{,}006.8 - 4{,}802.72) kg = 7{,}204.08\, kg$

$h_2 = 2{,}799.5 \frac{kJ}{kg}$ de la tabla A.2.

El balance de energía sería:

$$Q_{ct} = m_2 h_2 + m_{fin} u_{fin} - m_i u_i$$

$$Q_{ct} = 7{,}204.08\, kg * 2799.5 \frac{kJ}{kg} + \left(4{,}802.72\, kg * 1{,}065.318 \frac{kJ}{kg}\right) - 12{,}006.8\, kg * 957.85 \frac{kJ}{kg}$$

$Q_{ct} = 13{,}783{,}532.64\, kJ$

a) El calor total sería:

$$Q_{tot} = Q_{vc} + Q_{ct}$$

$$Q_{tot} = (6{,}443{,}329.152 + 13{,}783{,}532.64)\, kJ = 20{,}226{,}861.79\, kJ = 20.227\, GJ\ (entra)$$

b) Para 6 horas de operación los concentradores entregarían la energía por área igual a:

$$\frac{Q}{A} = \left(0.4\ \frac{kJ}{s}\right) * \left(3{,}600\ \frac{s}{h}\right) * \left(6\frac{h}{m^2}\right) = 8{,}640\frac{kJ}{m^2}$$

El área para el calentamiento total sería:

$$A = \frac{20{,}226{,}861.79\ kJ}{8640\frac{kJ}{m^2}} = 2{,}341.072\ m^2$$

c) De las 6 horas de operación el calentamiento a volumen constante tomaría:

$$6{,}443{,}329.152\ kJ * \frac{6\ h}{20{,}226{,}861.79\ kJ} = 1.91\ h$$

Entonces el calentamiento transitorio tomaría:

6 – 1.91 h = 4.09 h

La potencia de la turbina sería:

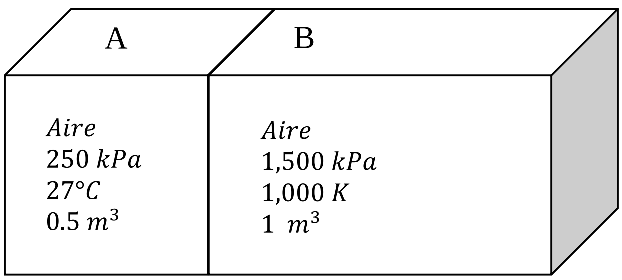
$$W_{Pf} = \frac{m(h_1 - h_2)}{\Delta t})$$

$$W_{Pf} = 7{,}204.08\ kg * (2{,}799.5 - 2{,}675.5)\frac{kJ}{kg}4.09\ h = 218{,}412.205\frac{kJ}{h}$$

$$W_{Pf} = 60.67\frac{kJ}{s} = 60.67\ kW\ (sale)$$

Balances de energía: Sistemas cerrados

16. Un tanque de paredes rígidas y adiabáticas se divide en dos partes por una placa rígida. La sección A contiene 500 L de aire a 250 kPa y 27ºC; la B contiene 1 m^3 de aire a 150 kPa y mil (K). La placa se quita y todo el aire se mezcla. Encuentre la presión y la temperatura finales. Para el aire R = 0.287 J/g* K y k =1.4.



Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso es un mezclado adiabático de aire, considerado un gas ideal. La conservación de masa es:

$m_{Ai} + m_{Bi} = m_{final}$

Sustituyendo la ecuación del gas ideal se obtiene:

$$\frac{P_{Ai}V_{Ai}}{RT_{Ai}} + \frac{P_{Bi}V_{Bi}}{RT_{Bi}} = \frac{P_{fin}V_{fin}}{RT_{fin}}$$

también se sabe que:

$$V_{Ai} + V_{Bi} = V_{fin} \ = 1.5\ m^3$$

La primera ley se reduce a:

$m\Delta U = 0$

ó

$$m_{fin}u_{fin} - m_{Ai}u_{Ai} - m_{Bi}u_{Bi} = 0$$

Para un gas ideal la ecuación se convierte a:

$$\left(\frac{P_{fin}V_{fin}C_vT_{fin}}{RT_{fin}}\right) - \left(\frac{P_{Ai}V_{Ai}C_vT_{Ai}}{RT_{Ai}}\right) - \left(\frac{P_{Bi}V_{Bi}C_vTB_i}{RT_{Bi}}\right) \ = \ 0$$

Simplificando se obtiene:

$$P_{fin} = \frac{(P_{Ai}V_{Ai} + \ P_{Bi}V_{Bi})}{V_{fin}} \ = \frac{(250\ kPa * 0.5\ m^3 + \ 150\ kPa * 1\ m^3)}{1.5\ m^3} \ = \ 183.33\ kPa$$

Utilizando la conservación de masa se obtiene la temperatura final:

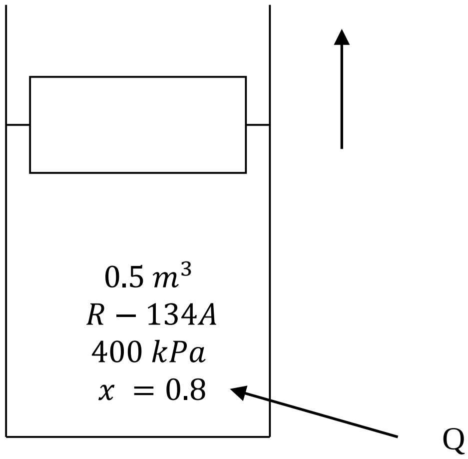
$$T_{fin} = \frac{P_{fin}V_{fin}}{\left[\left(\frac{P_{Ai}V_{Ai}}{T_{Ai}}\right) + \left(\frac{P_{Bi}V_{Bi}}{T_{Bi}}\right)\right]}$$

$$T_{fin} = \frac{183.33\ kPa * 1.5\ m^3}{\left[\left(250\ kPa * 0.5\,\frac{m^3}{300}K\right) + \ \left(150\ kPa * 1\,\frac{m^3}{1000}K\right)\right]}$$

$$T_{fin} = 485\ K$$

17. En un cilindro con un pistón carente de fricción hay 500 L de R-134A a 400 kPa y x = 0.8. Se agrega calor hasta que la temperatura llega a 50 ºC en un proceso isobárico y casiestático. Calcule la energía en forma de calor, en kJ.

Solución:



Análisis: el sistema es cerrado y el proceso es un calentamiento isobárico de R-134A. La primera ley es:

$\Delta U = Q - W$

El trabajo es una expansión isobárica por lo que se expresa como:

$$W\ =\ P(V_2 - V_1) = mP(v_2 - v_1)$$

Combinando se obtiene:

$$Q\ =\ m(u_2 + P\,v_2 - u_1 - P\,v_1)\ = m(h_2 - h_1)$$

1: 400 kPa, x = 0.8; de la tabla B.2:

$$v_f = 0.0007904\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.0509\ \frac{m^3}{kg}$$

$$h_f\ = 62\,\frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg}\ =\ 190.32\ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$\nu_1 = 0.0007904\,\frac{m^3}{kg} + 0.8 * \left(0.0509\;\frac{m^3}{kg} - 0.0007904\,\frac{m^3}{kg}\right)$$

$$\nu_1 = 0.0409\;\frac{kJ}{kg}$$

$$h_1 = 62\;\frac{kJ}{kg} + 0.8 * 190.32\;\frac{kJ}{kg} = 214.256\,\frac{kJ}{kg}$$

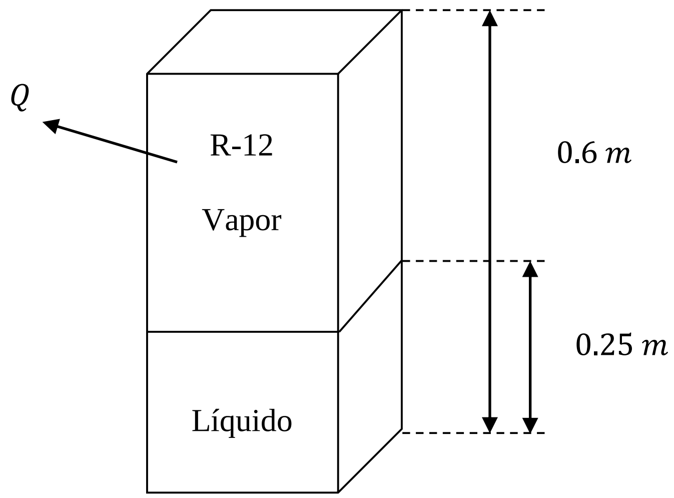
2: 400 kPa, 50ºC: es vapor sobrecalentado. De la tabla B.3 $h_2 = 291.79\,\frac{kJ}{kg}$

El calor es entonces:

$$Q = \left(\frac{0.5\,m^3}{0.0409\;\frac{m^3}{kg}}\right) * (291.79 - 214.256)\;\frac{kJ}{kg} = 947.85\;kJ$$

18. Un tanque de almacenamiento de R12 tiene un área de la sección transversal de 0.15 m^2 y una altura de 0.6 m. El refrigerante está inicialmente a 30ºC y el nivel del líquido es 0.25 m. Algún tiempo después se nota que la temperatura es 20ºC. Determine el flujo de calor, en kJ, y su dirección.

Solución:



Análisis: la masa es constante; es un sistema cerrado; no hay trabajo; ΔE_C, $\Delta E_P \approx 0$; la temperatura disminuye, el fluido se enfría. La primera ley es:

$m\Delta u = Q$

Inicio: Mezcla, 30°C; de la tabla C.1:

$$v_f = 0.0007739 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.02351 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 64.01 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_g = 182.11 \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$m_{líq} = \frac{0.15\ m^2 * 0.25\ m}{0.0007739\ \frac{m^3}{kg}} = 48.46\ kg$$

$$m_{vap} = \frac{0.15\ m^2 * 0.35\ m}{0.02351\ \frac{m^3}{kg}} = 2.23\ kg$$

$$m_i = m_{vap} + m_{líq}$$

$$m_i = 48.46\ kg + 2.23\ kg$$

$$x_i = \frac{m_{vap}}{m_i}$$

$$x_i = \frac{2.23\ kg}{50.69\ kg} = 0.044$$

$$u_i = 64.01 \frac{kJ}{kg} + 0.044 * (182.11 - 64.01) \frac{kJ}{kg} = 69.21 \frac{kJ}{kg}$$

Final: Mezcla, 20°C; de la tabla anterior:

$$v_f = 0.0007525\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.03078\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 54.44 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_g = 178.32\ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$v_{fin} = \frac{0.15\ m^2 * 0.6\ m}{50.69\ kg} = 0.00178\frac{m^3}{kg}$$

$$x_{fin} = \frac{(0.00178 - 0.0007525)\frac{m^3}{kg}}{(0.03078 - 0.0007525)\ \frac{m^3}{kg}} = 0.0342$$

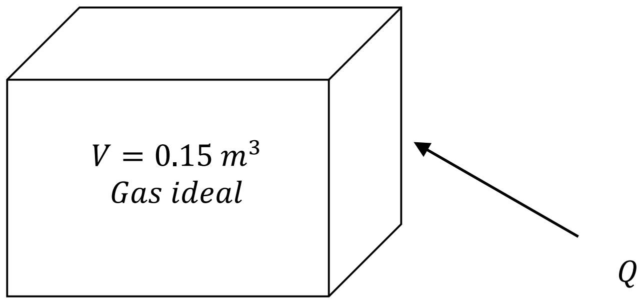
$$u_{fin} = 54.44\frac{kJ}{kg} + 0.0342 * (178.32 - 54.44)\ \frac{kJ}{kg} = 58.68\ \frac{kJ}{kg}$$

El calor es entonces:

$$Q = 50.69\ kg * (58.68 - 69.21)\frac{kJ}{kg} = -533.77\ kJ\ (sale)$$

19. En un tanque rígido de 150 L se calienta un gas ideal [R = 0.286 J/g*K, k = 1.4] desde 100 kPa y 127ºC hasta 750 kPa. Calcule el calor necesario, en kJ.

Solución:



Análisis: Es un calentamiento de un gas ideal en un tanque rígido o sea de volumen constante. La primera ley es:

mΔu = Q

y para un gas ideal:

PV = mRT

$$C_V = \frac{R}{(k - 1)}$$

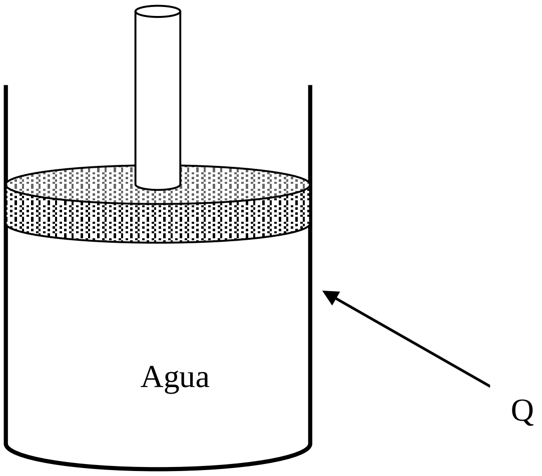
Sustituyendo en la primera ley se obtiene:

$$mC_V(T_2 - T_1) = \frac{mR}{(k-1)}\left[\left(\frac{P_2V}{mR}\right) - \left(\frac{P_1V}{mR}\right)\right]$$

$$\left[\frac{V}{(k-1)\,(P_2 - P_1)}\right] = \left[\frac{0.15\ m^3}{(1.4-1)}\right] * (750 - 100)kPa = 243.75\ kJ = Q$$

20. Un cilindro que tiene un pistón contiene un kilogramo de agua en 150 L a 0.5 MPa. Se agrega calor al agua para elevar su temperatura hasta 600ºC en un proceso casiestático a presión constante. Determine el flujo de calor, en kJ.

Solución:



Análisis: Es el calentamiento de agua contenida en cilindro pistón (sistema cerrado), que sufre una expansión isobárica. La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W = Q - \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = Q - P(V_2 - V_1)$$

ó

$$Q = U_2 + PV_2 - U_1 - PV_1 = H_2 - H_1 = m(h_2 - h_1)$$

1: 0.5 MPa, $v_1 = \frac{0.15\ m^3}{1\ kg} = 0.15\ \frac{m^3}{kg}$

de la tabla A.2:

$$v_f = 0.001093\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.3749\ \frac{m^3}{kg}$$

$$h_f = 640.23 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}108.5 \frac{kJ}{kg}$$

El estado es vapor húmedo y:

$$x_1 = \frac{(0.15 - 0.001093)\frac{m^3}{kg}}{(0.3749 - 0.001093)\frac{m^3}{kg}} = 0.3984$$

$$h_1 = 640.23 \frac{kJ}{kg} + \left(0.3984 * 2108.5 \frac{kJ}{kg}\right) = 1{,}480.256 \frac{kJ}{kg}$$

2:

0.5 MPa, 600°C; es vapor sobrecalentado porque la temperatura es mayor que la crítica. De
la tabla A.3:

$$h_2 = 3{,}701.7 \frac{kJ}{kg}$$

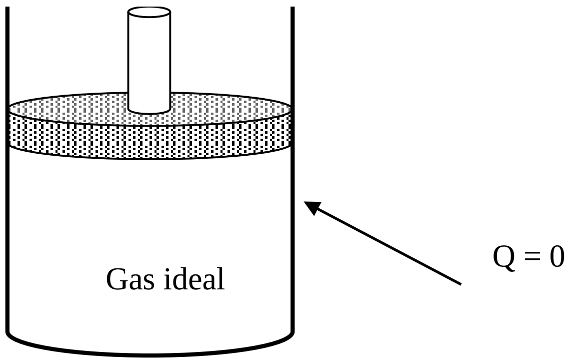
El calor es entonces:

$$Q = 1\ kg * (3701.7 - 1480.256) \frac{kJ}{kg} = 2{,}221.444\ kJ$$

21. Dentro de un cilindro con émbolo hay 900 g de un gas ideal que se expande casiestática y adiabáticamente desde 35°C hasta – 40°F, duplicando su volumen. El trabajo del proceso es 53 kJ. Calcule la C_v del fluido.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y hay la expansión adiabática de un gas ideal; el trabajo de expansión se produce sobre los alrededores y es positivo. Ya que:



$PV = mRT$

$CV = \frac{R}{k - 1}$

Y T_2 = - 40°F = - 40°C = 233 K

Entonces de la fórmula del trabajo adiabático:

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{k - 1} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{k - 1}) = mC_V(T_1 - T_2)$$

Despejando C_V se obtiene que:

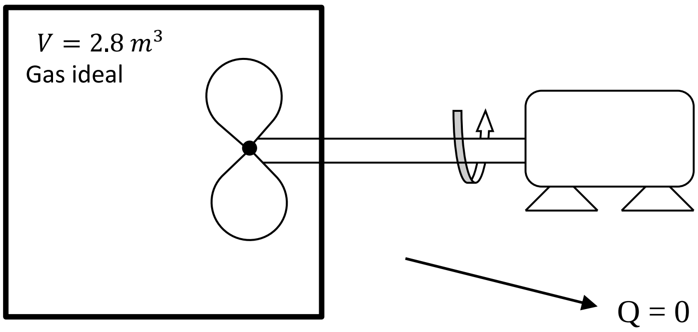
$$C_V = \frac{W}{m(T_1 - T_2)} = \frac{53\ kJ}{0.9\ kg*(308 - 233)\ K} = 0.785 \frac{kJ}{kg*K}$$

22. Un tanque de paredes rígidas, inmóviles y adiabáticas, de 2.8 m^3, contiene a un gas perfecto, a 100 kPa y 20°C. Un motor eléctrico externo activa a una rueda con aspas en el interior del tanque, hasta que el gas llega a 313°C. Calcule la energía en forma de trabajo que recibe el gas. Considere los valores constantes R = 0.2969 J/g*K y k = 1.4.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y hay un calentamiento de un gas ideal a volumen constante debido al ingreso de un trabajo de flecha o de agitación. La primera ley es:

$\Delta U = - W_{ag}$



Utilizando las relaciones del gas ideal se obtiene:

$$mC_V \Delta T = \frac{\left(\frac{P_1 V_1}{RT_1}\right) R\Delta T}{(k - 1)} = -W_{ag}$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$W_{ag} = \left(\frac{100\ kPa * 2.8\ m^3}{293\ K}\right) * \left[\frac{(293\ -\ 586)\ K}{(1.4 - 1)}\right] = -700\ kJ\ (entra)$$

23. Un cilindro con un émbolo libre de fricción contiene 0.1 m^3 de agua a 1 MPa y una calidad de 0.5. El agua sufre un proceso casiestático que se describe según PV = constante. El proceso termina cuando el agua llega a 100 kPa. Calcule el calor y su dirección.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el agua encerrada en el cilindro pistón sufre un proceso PV = C.

La primera ley es:

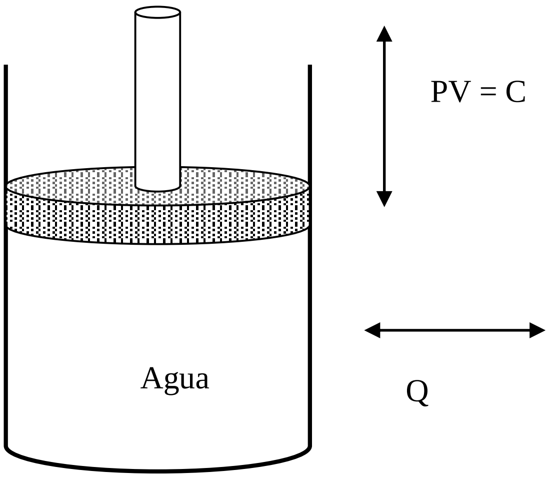
$$\Delta U = Q - W$$

ó

$$Q = \Delta U + \int_{V_1}^{V_2} P\, dV = \Delta U + P_1 V_1 ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = m\left[(u_2 - u_1) + P_1 \nu_1 ln\left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right)\right]$$

1: 1 MPa, x = 0.5; de la tabla A.2:

$$\nu_f = 0.001127 \frac{m^3}{kg}$$



$$\nu_g = 0.19444\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 761.68\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}822.0\ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$\nu_1 = v_f + \left(x * \left(v_g - v_f\right)\right)$$

$$\nu_1 = 0.001127\ \frac{m^3}{kg} + 0.5 * (0.19444 - 0.001127)\frac{m^3}{kg} = 0.0978\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_1 = u_f + \left(x * u_{fg}\right)$$

$$u_1 = 761.68\ \frac{kJ}{kg} + 0.5 * 1{,}822.0\frac{kJ}{kg} = 1{,}672.68\ \frac{kJ}{kg}$$

$$m_1 = \frac{0.1\ m^3}{v_1}$$

$$m_1 = \frac{0.1\ m^3}{0.0978\ \frac{m^3}{kg}} = 1.022\ kg$$

2: Como PV = C, $V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = 1{,}000\,kPa * \frac{0.1m^3}{100\,kPa} = 1m^3$

$$\nu_2 = \frac{1\ m^3}{1.022\ kg} = 0.978\ \frac{m^3}{kg}$$

Además P_2 = 100 kPa

A esta presión, de la tabla A.2:

$$v_{f_2} = 0.001043 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_{g_2} = 1.694 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_{f_2} = 417.36 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg_2} = 2{,}088.7 \frac{kJ}{kg}$$

El estado es vapor húmedo y:

$$x_2 = \frac{v_2 - v_{f_2}}{v_{g_2} - v_{f_2}}$$

$$x_2 = \frac{(0.978 - 0.001043)\frac{m^3}{kg}}{(1.694 - 0.001043)\frac{m^3}{kg}} = 0.577$$

$$u_2 = u_{f_2} + (x_2 * u_{fg_2})$$

$$u_2 = 417.36 \frac{kJ}{kg} + 0.577 * 2{,}088.7 \frac{kJ}{kg} = 1{,}622.54 \frac{kJ}{kg}$$

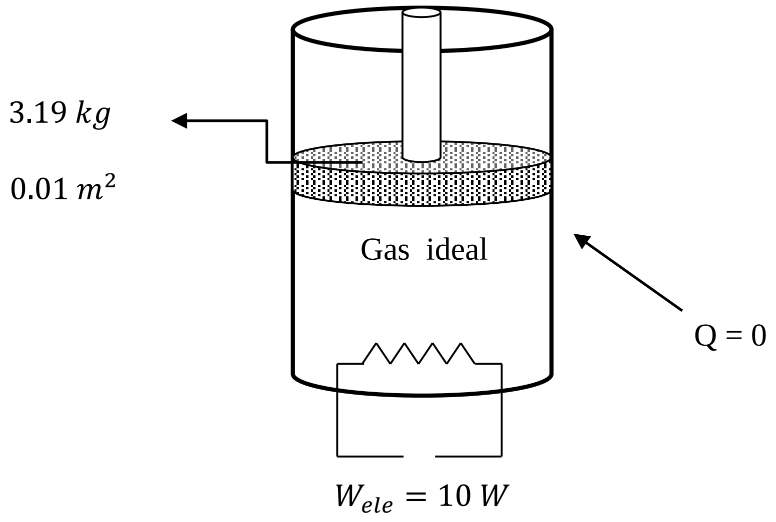
Calculando, el calor es:

$$Q = 1.022\,kg * \left\{ (1{,}622.54 - 1{,}672.68)\frac{kJ}{kg} + \left[1{,}000\,kPa * 0.0978 \frac{m^3}{kg} * ln\left(\frac{0.978 \frac{m^3}{kg}}{0.0978 \frac{m^3}{kg}} \right) \right] \right\}$$

$$Q = 179.08\ kJ\ (entra)$$

24. En un cilindro adiabático vertical, con un pistón libre de fricción, hay un gas perfecto [R = 0.2968 J/g*K, k = 1.4]. Al gas lo calienta un resistor de 10 W. El pistón tiene 3.19 kg y 1 dm^2 de sección transversal. ¿Cuánto tiempo dura el calentamiento, si el pistón se eleva 20 cm con respecto a su posición original? La presión atmosférica es 78 kPa y g = 9.78 m/s^2.

Solución:



Análisis: el sistema es cerrado, el fluido es un gas ideal, hay entrada de trabajo eléctrico y el proceso es una expansión adiabática e isobárica. La primera ley es:

$$\Delta U \ = \ -\left(W_{ele} + W_{ec}\right)$$

ó

$$-\ W_{ele} = \Delta U + W_{ec} = mC_V\Delta T + P(V_2 - V_1)$$

Como para el gas ideal PV = mRT, $C_V \ = \frac{R}{k\ -\ 1}$ entonces:

$$-\ W_{ele} = PA\Delta x\left\{1\ +\ \left[\frac{1}{k\ -\ 1}\right]\right\}$$

La presión es:

$$P \ = \ P_{atm} + \left(\frac{mg}{A}\right) \ = \ 78{,}000\ Pa\ + \left(\frac{3.19\ kg * 9.78\,\frac{m}{s^2}}{0.01\ m^2}\right) \ = \ 81{,}119.82$$

$$Pa \ = \ 81.12\ kPa$$

Sustituyendo en la primera ley se obtiene:

$$-\ W_{ele} = PA\Delta x\left\{1\ +\ \left[\frac{1}{k\ -\ 1}\right]\right\}$$

$$-\ W_{ele} = \ 81.12\ kPa * 0.01\ m^2 * 0.2\ m * \left\{1\ +\ \left[\frac{1}{1.4\ -\ 1}\right]\right\} \ = \ 0.568\ kJ \ = \ 568\ J$$

Como:

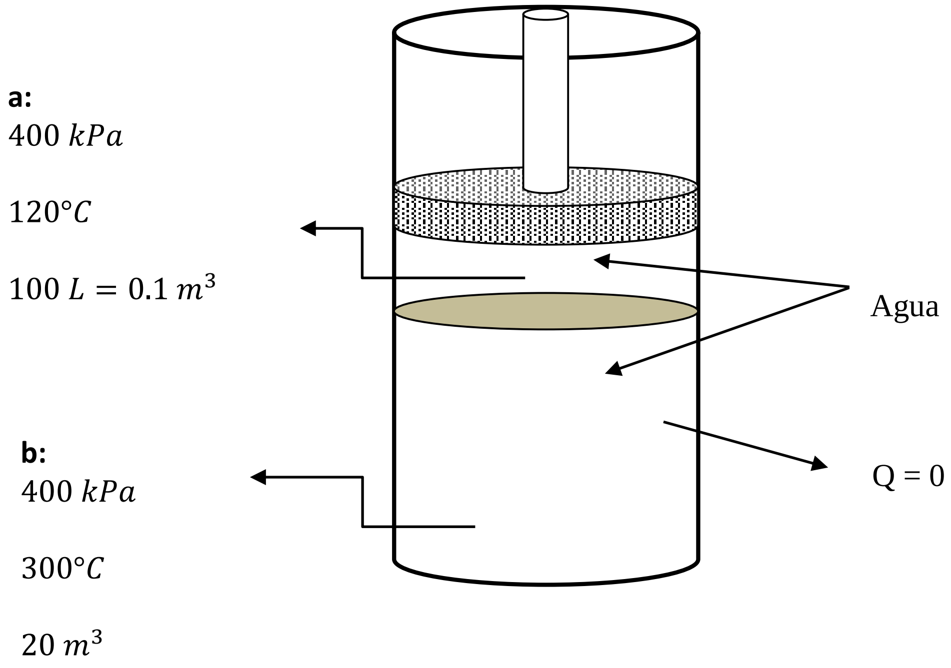
$W_{ele} = -\dot{W}_{ele} t$, entonces:

$$\Delta t \ = \ \frac{568\,J}{10\frac{J}{s}} = \ 56.8\ s$$

25. En un cilindro adiabático y vertical, con un émbolo sin fricción, hay dos cantidades de agua, separadas por un diafragma. El diafragma se rompe y la mezcla llega al equilibrio casiestáticamente. Calcule la altura final del émbolo. El entorno está a 77.17 kPa, 23ºC y 9.78 m/s^2. El diámetro del tanque es 2 m. El fluido bajo el émbolo está a 400 kPa, 120ºC y ocupa 100 L y el fluido bajo el diafragma está a 400 kPa, 300ºC y ocupa 20 m^3.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y hay un mezclado adiabático e isobárico de dos porciones de agu



La primera ley es:

$$\Delta U \ = \ -W_{ec}$$

El trabajo es:

$$W_{ec} \ = \ P(V_2 - V_1) = \ P[m_{tot}\, v_2 - (m_{1a}\, v_{1a} + m_{1b}\, v_{1b})]$$

y el cambio de energía interna es:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = m_{tot}u_2 - (m_{1a}u_{1a} + m_{1b}u_{1b})$$

Combinando se obtiene:

$$m_{tot}(u_2 + P\,v_2) - [m_{1a}(u_{1a} + P\,v_{1a}) + m_{1b}(u_{1b} + P\,v_{1b})] = 0$$

ó

$$m_{tot}h_2 - (m_{1a}h_{1a} + m_{1b}h_{1b}) = 0$$

de donde:

$$h_2 = \frac{(m_{1a}h_{1a} + m_{1b}h_{1b})}{m_{tot}}$$

1a: de la tabla A.1 a 120°C, la presión de saturación es 198.53 kPa, entonces el estado es líquido comprimido. Tomando líquido saturado a 120°C:

$$h_{1a} = 503.71\,\frac{kJ}{kg}$$

$$v_{1a} = 0.00106\,\frac{m^3}{kg}$$

$$m_{1a} = \frac{0.1\,m^3}{0.00106\,\frac{m^3}{kg}} = 94.34\,kg$$

1b: de la tabla A.2, la temperatura de saturación es 143.63°C a 400 kPa, entonces el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3:

$$h_{1b} = 3{,}066.8\,\frac{kJ}{kg}$$

$$v_{1b} = 0.6548\,\frac{m^3}{kg}$$

$$m_{1b} = \frac{20\,m^3}{v_{1b}}$$

$$m_{1b} = \frac{20\,m^3}{0.6548\,\frac{m^3}{kg}} = 30.54\,kg$$

La masa total es: 124.88 kg

Sustituyendo en la primera ley se obtiene:

$$h_2 = \frac{\left(94.34\ kg * 503.71\ \frac{kJ}{kg}\right) + \left(30.54\ kg * 3{,}066.8\ \frac{kJ}{kg}\right)}{124.88\ kg} = 1{,}130.53\ \frac{kJ}{kg}$$

La presión al final es 400 kPa. Entonces a 400 kPa y $h_2 = 1{,}130.53 \frac{kJ}{kg}$ el estado es vapor húmedo ya que:

$$h_f = 604.74\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}133.8\ \frac{kJ}{kg}$$

además:

$$v_f = 0.001084\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.4625\ \frac{m^3}{kg}$$

Calculando se obtiene:

$$h_2 = h_f + \left(x * h_{fg}\right)$$

$$x_2 = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}}$$

$$x_2 = \frac{(1{,}130.53 - 604.74)\ \frac{kJ}{kg}}{2{,}133.8 \frac{kJ}{kg}} = 0.2464$$

$$v_2 = v_f + \left[x_2 * \left(v_g - v_f\right)\right]$$

$$v_2 = 0.0010854\ \frac{m^3}{kg} + \left[0.2464 * (0.4625 - 0.0010854)\ \frac{m^3}{kg}\right] = 0.1148\ \frac{m^3}{kg}$$

El volumen final es:

$$V_2 = m_{tot}\, v_2 = 124.88\ kg * 0.1148 \frac{m^3}{kg} = 14.336\ m^3$$

Entonces la altura ocupada por la mezcla es:

$$z_2 = \frac{V_2}{A} = \frac{14.336\ m^3}{\left[\pi * \left(\frac{2}{2}\right)^2\ m^2\right]} = 4.563\ m$$

26. El radiador de un sistema de calefacción de 70 dm^3 contiene agua a x = 1 y 1.5 bares. Luego de cerrar las válvulas el fluido del equipo trasmite calor a los alrededores, hasta que llega a 1 bar. Calcule la masa de líquido que habrá al final dentro del radiador.

Solución:

El sistema (cerrado) consiste de una tubería (usualmente un banco de tubos) de volumen total (constante) de 0.07 m^3 y el proceso es un enfriamiento isométrico de agua.

La conservación de masa establece que masa inicial = masa final.

Inicio: 1.5 bares, vapor seco y saturado; de la tabla A.2 $v_i = 1.1593\ \frac{m^3}{kg}$

$$m = \frac{70\ dm^3}{v_i}\left(\frac{0.001\ m^3}{1\ dm^3}\right) = \frac{0.07\ m^3}{v_i}$$

$$m = \frac{0.07 m^3}{1.1593\ \frac{m^3}{kg}} = 0.06038\ kg$$

Final: de la tabla anterior, a 1 bar:

$$v_f = 0.001043\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 1.694\ \frac{m^3}{kg}$$

Y el estado es vapor húmedo. Calculando:

$$x_{final} = \frac{v_i - v_f}{v_g - v_f}$$

$$x_{final} = \frac{(1.1593 - 0.001043)\ \frac{m^3}{kg}}{(1.694 - 0.001043)\ \frac{m^3}{kg}} = 0.6842$$

Y la masa de líquido es:

$$m_{líq} = (1 - 0.6842) * (0.06038\ kg) = 0.01907\ kg$$

27. La energía interna de una sustancia compresible y simple se expresa según:

u = 3.2 + 0.9615(Pν)

en donde u está en J/g, P en kPa y ν en m^3/kg. Durante un proceso casiestático y adiabático el fluido pasa a de 1.3 m^3 y 77 kPa hasta 2.6 m^3/kg. Calcule la presión final.

Solución:

La primera ley es:

$$\Delta U = -W_{ec}$$

$$du = -Pd\nu$$

Diferenciando la expresión dada por el problema se obtiene:

$$du = bPd\nu + b\nu dP$$

sustituyendo en la ec. anterior

$$bPd\nu + b\nu dP = -Pd\nu$$

$$\frac{bdP}{P} = \frac{-(1 + b)d\nu}{\nu}$$

Integrando:

$$bln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = -(1 + b)ln\left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right)$$

Despejando la presión final se obtiene:

$$P_2 = P_1\left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right)^{-\frac{(1+b)}{b}}$$

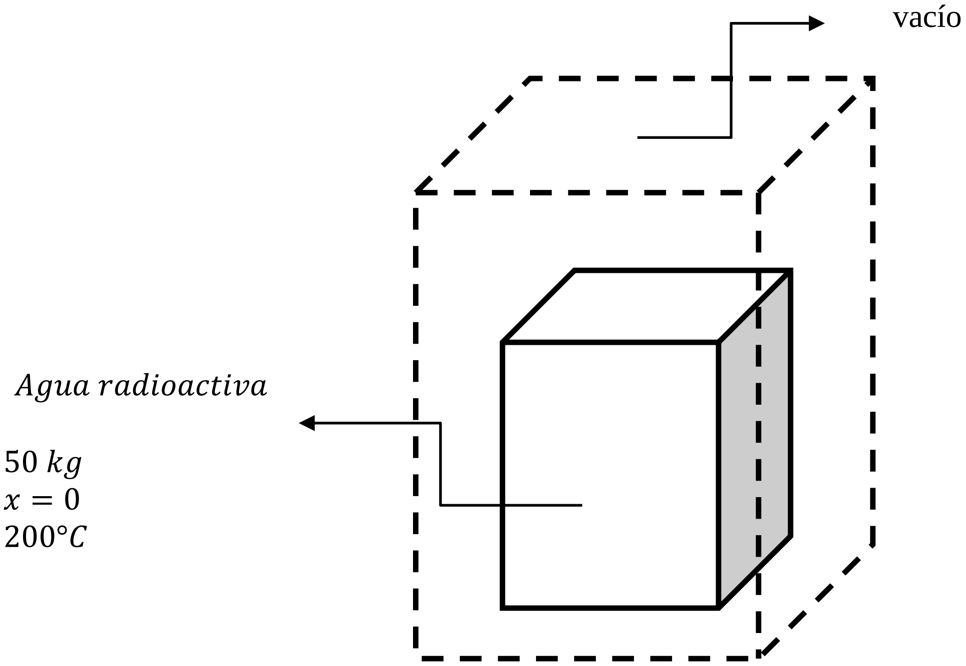
$$P_2 = 77\ kPa * \left(\frac{2.6\ \frac{m^3}{kg}}{1.3\ \frac{m^3}{kg}}\right)^{-\frac{1+0.9615}{0.9615}}$$

$$P_2 = 18.72\ kPa$$

28. Un tanque a presión contiene 50 kg de agua radiactiva [líquido a 200°C y x = 0]. Por razones de seguridad, el tanque se rodea de un segundo tanque. Entre el tanque a presión y el tanque de seguridad se hace el vacío. Las dimensiones del tanque de seguridad son tales

que en caso de ruptura del tanque a presión no se rebasen en su interior 272 kPa_{man}. ¿Cuál ha de ser la capacidad del tanque de seguridad? El entorno está a 9.78 m/s^2, 19°C y 78 kPa. Ambos tanques son adiabáticos.

Solución:



El sistema es cerrado y el proceso consiste en la ocupación del tanque grande por el agua radiactiva del tanque pequeño, considerando que la presión al final es la de ruptura del tanque grande.

La primera ley es:

$\Delta U = 0$

ó $m_2 u_2 - m_{1,tp} u_{1,tp} - m_{1,tg} u_{1,tg} = 0$

Como $m_{1,tg} = 0$

Entonces $m_2 u_2 - m_{1,tp} u_{1,tp} = 0$

Además como $m_2 = m_{1,tp}$ entonces $u_2 = u_{1,tp}$

1: 200°C. x = 0; de la tabla A.1:

$$u_{1,tp} = 850.65 \frac{kJ}{kg}$$

2: 350 kPa, $u_2 = 850.65 \frac{kJ}{kg}$, de la tabla A.2:

$$u_f = 583.95 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}965 \frac{kJ}{kg}$$

$$\nu_f = 0.00179 \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.5243 \frac{m^3}{kg}$$

Entonces el estado es vapor húmedo. La humedad y el volumen específico son:

$$u_{1,tp} = u_f + (x_2 * u_{fg})$$

$$x_2 = \frac{u_{1,tp} - u_f}{u_{fg}}$$

$$x_2 = \frac{(850.65 - 583.95) \frac{kJ}{kg}}{1{,}965 \frac{kJ}{kg}} = 0.1357$$

$$\nu_2 = \nu_f + [x_2 * (\nu_g - \nu_f)]$$

$$\nu_2 = 0.00179 \frac{m^3}{kg} + 0.1357 * (0.5243 - 0.001079) \frac{m^3}{kg} = 0.073 \frac{m^3}{kg}$$

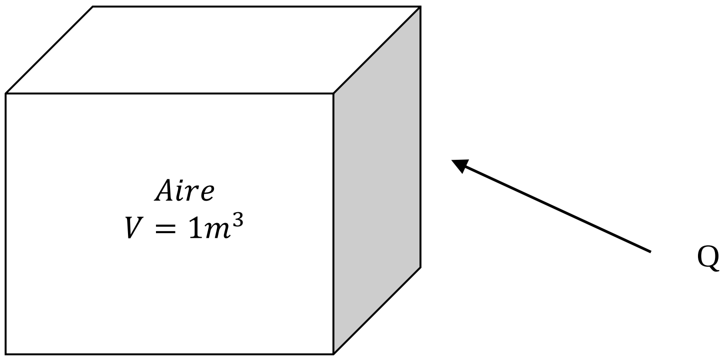
El volumen del tanque grande es:

$$V_2 = m\nu_2 = 50\, kg * 0.072 \frac{m^3}{kg} = 3.65\, m^3$$

29. Un recipiente cerrado rígido tiene una capacidad de 1 m^3 y contiene aire [R = 0.287 J/g*K, k = 1.4] a 344.8 kPa y 273 K. Se le suministra calor hasta que su temperatura llega a 600 K. Evalúe el calor en kJ y la presión final en bares.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en el calentamiento isométrico de aire, considerado gas ideal.



La primera ley es ΔU = Q

ó $mC_V \Delta T \ = \ Q$

Como $C_V = \frac{R}{k-1}$, $PV \ = \ mRT$, entonces

$$Q = \left(\frac{P_1V_1}{RT_1}\right)\left[\frac{R}{k-1}\right]T = \left(\frac{344\,kPa * 1\ m^3}{273\,K}\right) * \left[\frac{1}{1.4-1}\right] * (600-273)K = 1,030.11\,kJ$$

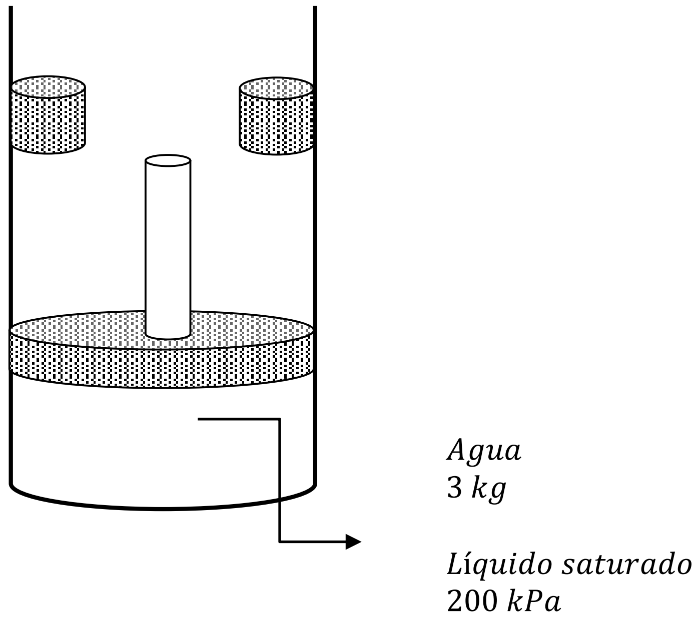
Como el proceso es isométrico:

$$P_2 = \frac{P_1T_1}{T_2} \ = \ \frac{600\ kPa\ * 344.8\ K}{273\ K} = \ 757.802\ kPa$$

30. Un cilindro vertical tiene un émbolo y un conjunto de topes en la parte superior. En el cilindro hay 3 kg de agua líquida saturada a 200 kPa. Se le da calor al agua, lo cual provoca que una parte del líquido se evapore y se mueva el émbolo hacia arriba. Cuando el émbolo alcanza los topes el volumen encerrado es 60 L. Se añade más calor hasta que se duplica la presión. Determine el trabajo y el calor totales, en kJ.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en la expansión isobárica (1-2) seguida del calentamiento isométrico (2-3) del agua o sea que hay dos procesos.



La primera ley para el proceso 1-2 es:

$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$

Como: $\Delta U = m(u_2 - u_1),\ W_{12} = mP_1(\nu_2 - \nu_1)$

Entonces:

$Q_{12} = m\{(u_2 - u_1) + [P_1(\nu_2 - \nu_1)]\}$

Para el suproceso 2-3 se obtiene:

$\Delta U = Q_{23}$

ó $Q_{23} = m(u_3 - u_2)$

Para el proceso total se obtiene entonces:

$W_{total} = mP_1(\nu_2 - \nu_1)$

$Q_{total} = m\{(u_2 - u_1 + [P_1(\nu_2 - \nu_1)]\} + m(u_3 - u_2) = m[(u_3 - h_1) + P_1 \nu_2]$

1: 200 kPa, líquido saturado; de la tabla A.2:

$$\nu_1 = 0.001061 \frac{m^3}{kg}$$

$$h_1 = 504.7 \frac{kJ}{kg}$$

2: $200\ kPa$

$$\nu_2 = \frac{60\ L}{3\ kg}\left(\frac{0.001\ m^3}{1\ L}\right)$$

$$\nu_2 = \frac{0.06\ m^3}{3\ kg} = 0.02\ \frac{m^3}{kg}$$

3: 400 kPa, $\nu = 0.02\ \frac{m^3}{kg}$, de la tabla anterior:

$$\nu_f = 0.001084\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.4625\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 604.31\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}949.3\ \frac{kJ}{kg}$$

por lo que el estado es vapor húmedo. Calculando:

$$x_3 = \frac{\nu - \nu_f}{\nu_g - \nu_f}$$

$$x_3 = \frac{(0.02 - 0.001084)\ \frac{m^3}{kg}}{(0.4625 - 0.001084)\ \frac{m^3}{kg}} = 0.041$$

$$u_3 = u_f + \left(x * u_{fg}\right)$$

$$u_3 = 604.31\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.041 * 1{,}949.3 \frac{kJ}{kg}\ =\right) 684.231\ \frac{kJ}{kg}$$

Las incógnitas son:

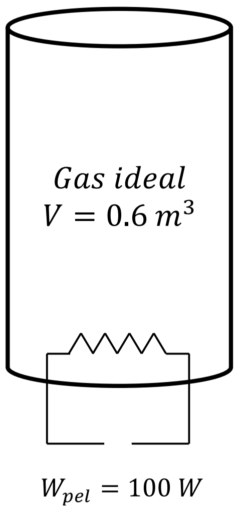
$$W_{total} = mP_1(\nu_2 - \nu_1)$$

$$W_{total} = 3\ kg * 200\ kPa * (0.02 - 0.001061)\frac{m^3}{kg} = 11.36\ kJ\ (sale)$$

$$Q_{total} = 3\,kg * \left[200\,kPa * 0.02\frac{m^3}{kg} + (684.231 - 504.7)\frac{kJ}{kg}\right] = 550.593\,kJ\ (entra)$$

31. En un tanque de paredes rígidas, inmóviles y adiabáticas de 600 litros, se tiene un gas ideal (R = 0.143 J/g*K, k = 1.10), inicialmente a 77.17 kPa y 22°C. En el interior hay un calentador eléctrico de 100 W. ¿Cuánto tiempo debe funcionar el calentador para que el gas alcance 100 kPa?

Solución:



Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en el calentamiento isométrico de un gas ideal. La primera ley es:

$$dU = -W_{el} = -\dot{W}_{el}dt$$

Como para el gas ideal:

$$\Delta U = mC_v\Delta T\ ,\ C_v = \frac{R}{k-1}\ , PV = mRT$$

Entonces:

$$\Delta t = \frac{\left[\frac{mR}{k-1}\right]\left[\frac{(P_2V_2 - P_1V_1)}{mR}\right]}{-W_{pel}} = \frac{\left[\frac{V(P_2 - P_1)}{k-1}\right]}{-W_{pel}}$$

$$\Delta t = \frac{\left[\frac{0.6\ m^3 * (100{,}000 - 77{,}170)Pa}{1.1 - 1}\right]}{-\left(-100\frac{J}{s}\right)}$$

$$\Delta t = 1{,}369.8\ s \left(\frac{1\ h}{3{,}600\ s}\right) = 0.3805\ h$$

32. En un cilindro vertical que cuenta con un émbolo sin fricción hay 200 g de agua con 40 % de calidad. El cilindro está en el D.F. y la masa del émbolo es tal que el fluido en su interior está a 900 kPa. Desde un depósito térmico se da calor al cilindro, hasta que la calidad se hace uno. Calcule el trabajo de expansión durante el proceso.

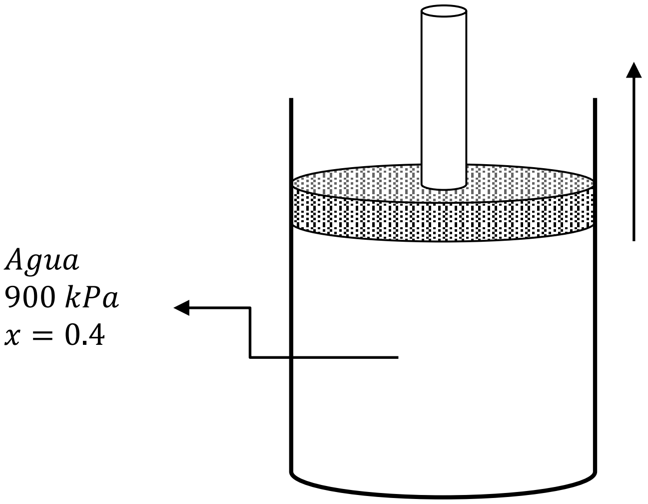
Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso es la adición isobárica de calor que ocasiona la expansión del agua.

El trabajo de expansión isobárico es $W_{exp} = P(V_2 - V_1) = P_m(\nu_2 - \nu_1)$

1: 900 kPa, x = 0.4, de la tabla A.2:

$$\nu_f = 0.001121\ \frac{m^3}{kg}$$



$$\nu_g = 0.215\ \frac{m^3}{kg}$$

El volumen específico es:

$$\nu_1 = \nu_f + [x * (\nu_g - \nu_f)]$$

$$\nu_1 = 0.001121\ \frac{m^3}{kg} + \left(0.4 * (0.215 - 0.001121)\ \frac{m^3}{kg}\right) = 0.0867\ \frac{m^3}{kg}$$

2: 900 kPa, vapor saturado y seco, de la tabla anterior $\nu_2 = 0.215\ \frac{m^3}{kg}$

Calculando el trabajo se obtiene:

$$W_{exp} = 0.2\, kg * 900\, kPa * (0.215 - 0.0867)\, \frac{m^3}{kg} = 23.094\, kJ\ (sale)$$

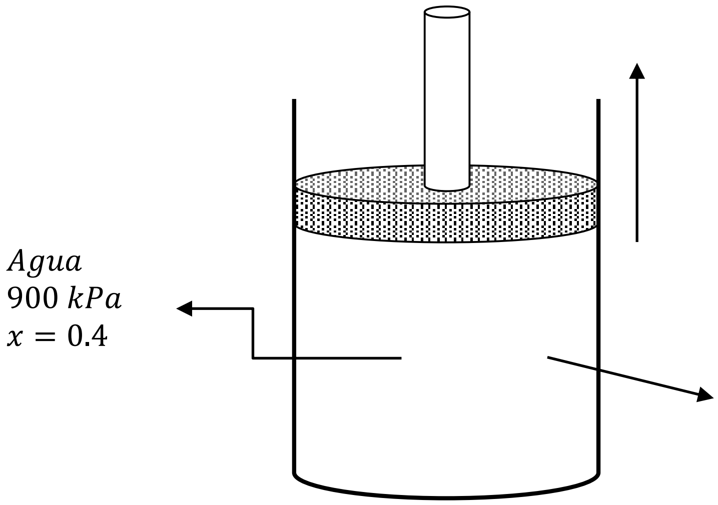
33. En un cilindro con un émbolo que se mueve sin fricción hay 3 kg de agua, originalmente en el estado crítico. Mediante un proceso casiestático y politrópico se llega a 700 kPa y x = 1. Calcule el calor y su dirección.

Solución:

Análisis: El sistema es cerrado y el proceso es la interacción de calor que ocasiona un trabajo politrópico ($PV^n = C$) en el agua. La primera ley es:

$\Delta U = Q - W_{ec}$

Como el trabajo politrópico, es:



$$W_{ec} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{n - 1} = \frac{m(P_1 v_1 - P_2 v_2)}{n - 1}$$

entonces el calor es:

$$Q = m\left\{(u_2 - u_1) + \left[\frac{P_1 v_1 - P_2 v_2}{n - 1}\right]\right\}$$

1: en el estado crítico, de la tabla A.1 ó A.2 $P_1 = 22.09\ MPa.\ \nu_1 = 0.003155\ \frac{m^3}{kg}$, $u_1 = 2{,}029.6\ \frac{kJ}{kg}$.

2: 700 kPa, x = 1, de la tabla A.2:

$$\nu_2 = 0.2729\frac{m^3}{kg}$$

$$u_2 = 2{,}572.5\frac{kJ}{kg}$$

El exponente politrópico se calcula como:

$$n = \frac{ln\left(\frac{P_1}{P2}\right)}{ln\left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right)} = \frac{ln\left(\frac{22.09\ MPa}{0.7\ Mpa}\right)}{ln\left(\frac{0.2729\ \frac{m^3}{kg}}{0.003155\ \frac{m^3}{kg}}\right)} = 0.7739$$

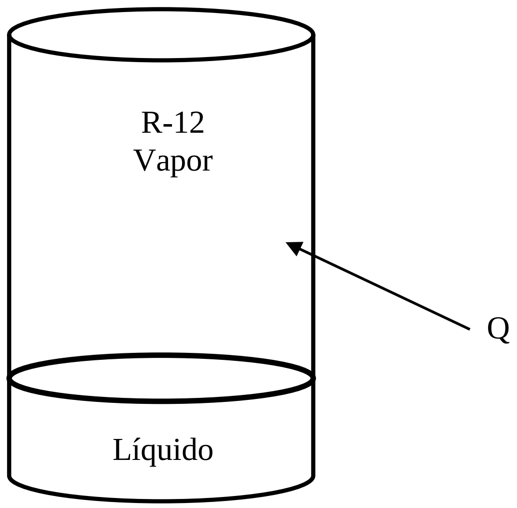
El calor solicitado es:

$$Q = 3\ kg * \left[(2{,}572.5 - 2{,}029.6)\frac{kJ}{kg} + \frac{22{,}090\ kPa*0.003155\frac{m^3}{kg} - 700\ kPa*0.2729\frac{m^3}{kg}}{(0.7739 - 1)}\right]$$

$$Q = 3{,}238.643\ kJ\ (entra)$$

34. En un tanque de 0.8 m^3 de paredes rígidas e inmóviles hay cien litros de freón 12 líquido a 20°C, en equilibrio con su vapor, que ocupa el volumen restante. Calcule el calor necesario para evaporar totalmente el líquido original.

Solución:



Análisis: el sistema es cerrado y el proceso es el calentamiento isométrico de un vapor húmedo de R12 para producir vapor saturado y seco.

La primera ley es $Q = \Delta U = m(u_2 - u_1)$

1: vapor húmedo, 20°C; de la tabla C.1:

$$v_f = 0.0007525\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.03078\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 54.44\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_g = 178.32\ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$m_{líq} = \frac{100\ L}{v_f}\left(\frac{0.001\ m^3}{1\ L}\right)$$

$$m_{líq} = \frac{0.1\ m^3}{0.0007525\ \frac{m^3}{kg}} = 132.89\ kg$$

$$m_{vap} = \frac{0.7\ m^3}{v_g}$$

$$m_{vap} = \frac{0.7\ m^3}{0.03078\ \frac{m^3}{kg}} = 22.742\ kg$$

$$x_1 = \frac{m_{vap}}{m_{líq} + m_{vap}}$$

$$x_1 = \frac{22.742\ kg}{(132.89\ +\ 22.742)\ kg} = 0.1461$$

$$u_1 = u_f + [x_1 * (u_g - u_f)]$$

$$u_1 = 54.44\ \frac{kJ}{kg} + \left[0.1461 * (178.32 - 54.44)\ \frac{kJ}{kg}\right] = 72.539 \frac{kJ}{kg}$$

2: vapor saturado y seco y $v_2 = \frac{0.8\ m^3}{155.632\ kg} = 0.00514\ \frac{m^3}{kg}$

De la tabla anterior e interpolando:

$$\frac{(192.31 - 175.98)\frac{kJ}{kg}}{(0.01111 - 0.00179)\frac{m^3}{kg}} = \frac{(192.31 - u_2)\frac{kJ}{kg}}{(0.0111 - 0.00514)\ \frac{m^3}{kg}}$$

Se obtiene:

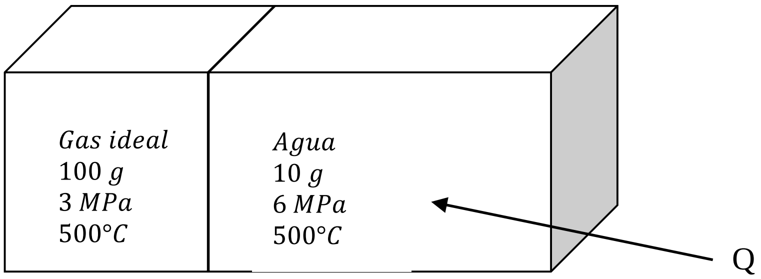
$$u_2 = 181.85\ \frac{kJ}{kg}$$

El calor solicitado es:

$$Q = 155.632\ kg * (181.85 - 72.539)\frac{kJ}{kg} = 17{,}012.29\ kJ\ (entra)$$

35. Un tanque de acero se divide mediante una pared rígida y diatérmica: en un lado hay 100 g de un gas ideal [R = 0.2969 J/g*K, k = 1.4] inicialmente a 3 MPa y 500°C, y en el otro hay 10 g de agua, inicialmente a 6 MPa y 500°C. Se establece un intercambio térmico hasta que se llega al equilibrio, con 230°C de cada lado. Calcule el calor total durante el proceso.

Solución:



Análisis: el sistema es cerrado y el proceso es el enfriamiento isométrico de ambas partes del tanque; los volúmenes que ocupan los fluidos son constantes.

Para el gas ideal $C_V = \frac{R}{k-1}$

La primera ley es:

$$Q = \Delta U = m_2 u_2 - m_1 u_1 = m_a(u_{2a} - u_{1a}) + m_b(u_{2b} - u_{1b})$$

$$Q = m_a C_V(T_{2a} - T_{1a}) + m_b(u_{2b} - u_{1b})$$

1b: 6 MPa, 500°C; el estado es vapor sobrecalentado porque la temperatura es mayor que la crítica. De la tabla A.3:

$$u_{1b} = 3{,}082.2\ \frac{kJ}{kg}$$

$$v_{1b} = 0.05665\ \frac{m^3}{kg}$$

2b: 230°C, $v_{2b} = 0.05665\ \frac{m^3}{kg}$; de la tabla A.1:

$$v_f = 0.001209\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.07158\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 986.74\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}617.2\ \frac{kJ}{kg}$$

por lo que el estado es vapor húmedo. Calculando:

$$x_{2b} = \frac{v_{2b} - v_f}{v_g - v_f}$$

$$x_{2b} = \frac{(0.05665 - 0.001209)\ \frac{m^3}{kg}}{(0.07158 - 0.001209)\frac{m^3}{kg}} = 0.7878$$

$$u_{2b} = u_f + \left(x_{2b} * u_{fg}\right)$$
$$u_{2b} = 986.74\ \frac{kJ}{kg} + 0.7878 * 1{,}617.2\ \frac{kJ}{kg} = 2{,}260.77\ \frac{kJ}{kg}$$

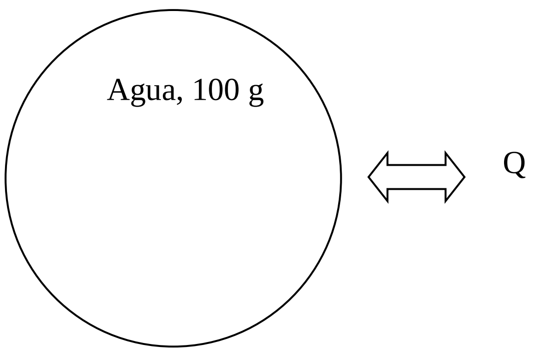
El calor pedido es:

$$Q = 0.1\ kg * \left[\frac{0.2969\,\frac{kJ}{kg*K}}{(1.4\ -1}\right] * (503 - 773)\ K + 0.01\ kg$$
$$* (2{,}260.77 - 3{,}082.2)\ \frac{kJ}{kg}$$

$$Q = -28.225\ kJ\ (sale)$$

36. Una membrana esférica elástica contiene 100 g de agua. La membrana soporta una presión interna proporcional a su diámetro. El agua estaba inicialmente a 110°C y x = 1 y se calienta hasta 200 kPa. Calcule el calor y su dirección.

Solución:



Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en la expansión del agua por el calentamiento.

La primera ley es $\Delta U = Q - W_{ec}$

De acuerdo con el problema la presión interna es proporcional al diámetro de la esfera, P ∝ θ ó P = kθ, donde k es una constante de proporcionalidad. El volumen de la esfera es:

$$V = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{\pi \theta^3}{6}$$

derivando se obtiene:

$$dV = \frac{\pi\theta^2 d\theta}{2}$$

por tanto el trabajo sería:

$$W_{ec} = \int_{V_1}^{V_2} P\, dV$$

$$W_{ec} = \frac{k\pi}{2}\int_{\theta_1}^{\theta_2} \theta^3\, d\theta = \frac{P_1\pi}{8\theta_1}\left(\theta_2^4 - \theta_1^4\right)$$

El calor se calcula como:

$$Q = m(u_2 - u_1) + \left[\left(\frac{P_1\pi}{8\theta_1}\right)\left(\theta_2^4 - \theta_1^4\right)\right]$$

1: 110°C, x = 1; de la tabla A.1:

$$P_1 = 143.27\ kPa$$

$$\nu_1 = 1.2102\ \frac{m^3}{kg}$$

$$V_1 = 0.1\ kg * 1.2102\ \frac{m^3}{kg} = 0.121\ m^3$$

Despejando θ_1:

$$V = \frac{\pi\theta^3}{6}$$

$$\theta_1 = \left(\frac{6 * V_1}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{6 * 0.121 m^3}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} = 0.614 m$$

2: 200 kPa; como $\frac{P_1}{P_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$, entonces:

$$\theta_2 = \frac{0.6137\ m * 200\ kPa}{143.27\ kPa} = 0.857\ m$$

$$V_2 = \frac{\pi * (0.857\ m)^3}{6} = \ 0.329\ m^3$$

$\nu_2 = \ 3.292\ \frac{m^3}{kg}$, que junto con la presión indica que el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3 e interpolando se obtiene:

$$\frac{(4{,}467.5 - \ 4{,}257)\ \frac{kJ}{kg}}{(3.399 - \ 3.168)\ \frac{m^3}{kg}} = \frac{(4{,}467.5 - \ u_2)}{(3.399 - \ 3.292)\ \frac{m^3}{kg}}$$

$$u_2 \ = \ 4{,}369.9957\ \frac{kJ}{kg}$$

El calor pedido es:

$$Q \ = \ 0.1\ kg * (4{,}369.9957 - \ 2{,}118.19) \frac{kJ}{kg} \ + \ \left(\frac{143.27\ kPa*\pi}{8*0.614\ m}\right) * [(0.857)^4 - \ (0.614)^4] m^4$$

$$Q = \ 228.821 \ \ kJ\ (entra)$$

37. En un cilindro con émbolo hay mil gramos de un gas perfecto a 345 kPa. El fluido recibe calor y hace 105 kJ de trabajo isobáricamente, por lo que la temperatura se eleva 70°C y la energía interna aumenta en 211 kJ. Calcule el valor del exponente adiabático del gas.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en un calentamiento isobárico de un gas ideal.

La primera ley es:

$$\Delta U \ = \ Q - \ W$$

de donde:

$$Q \ = mC_P \Delta T \ = \Delta U + W$$

calculando se obtiene:

$$mC_P = \ \frac{(211 \ + \ 105)\ kJ}{70\ K} = \ 4.5143 \frac{kJ}{K}$$

Utilizando la fórmula del cálculo del cambio de energía interna de un gas ideal se obtiene:

$$mC_V = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{211\ kJ}{70\ K} = 3.0143\frac{kJ}{K}$$

El coeficiente adiabático es entonces:

$$k = \frac{mC_P}{mC_V} = \frac{4.5143\frac{kJ}{K}}{3.0143\ \frac{kJ}{K}} = 1.4976$$

38. En un cilindro con émbolo hay 221 g de freón 12 a 600 kPa y 50°C. Se transmite calor isobárica y casiestáticamente hasta un estado final con una calidad del 8%. Calcule la magnitud del calor que se transmite.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y consiste en la interacción isobárica de calor del R12 encerrado en el cilindro émbolo.

La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W = Q - P(V_2 - V_1)$$

$$Q = m(h_2 - h_1)$$

1: 600 kPa, 50°C; de la tabla C.3, el estado es vapor sobrecalentado $h_1 = 216.3\ \frac{kJ}{kg}$

2: 600 kPa, x = 0.08; de la tabla C.2:

$$h_f = 56.8\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 139.77\ \frac{kJ}{kg}$$

entonces:

$$h_2 = 56.8\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.08 * 139.77\ \frac{kJ}{kg}\right) = 67.982\ \frac{kJ}{kg}$$

El calor se calcula como:

$$Q = 0.221\ kg * \left[(67.982 - 216.3)\ \frac{kJ}{kg}\right] = -32.78\ kJ\ (sale)$$

39. Un tanque de paredes rígidas y adiabáticas de 30 dm^3 contiene 240 g de agua a 6 bares. El tanque se conecta mediante una válvula con otro, también de paredes rígidas y

adiabáticas de 70 dm^3, inicialmente evacuado del todo. Cuando se abre la válvula el fluido ocupa ambos recipientes. Calcule la temperatura final.

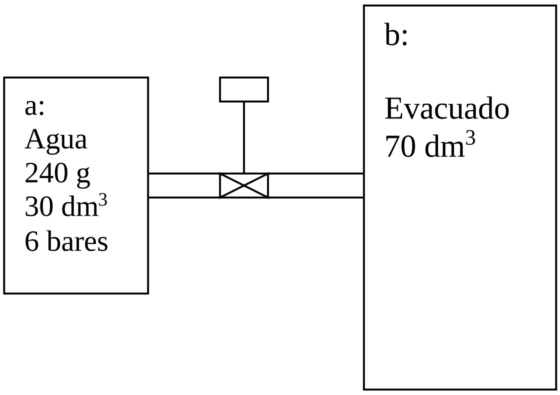
Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en la expansión adiabática de agua, pero sin la producción de trabajo.

La primera ley es $m\Delta U = 0$

$m_2u_2 - m_{1a}u_{1a} - m_{1b}u_{1b} = 0$

de donde $u_2 = u_{1a}$



1a: 6 bares, $v_{1a} = \frac{0.03\ m^3}{0.24\ kg} = 0.125\ \frac{m^3}{kg}$; de la tabla A.2:

$$v_f = 0.001101\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.3157\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 669.9\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}897.5\ \frac{kJ}{kg}$$

por lo que el estado es vapor húmedo. Calculando:

$$x_{1a} = \frac{v_{1a} - v_f}{v_g - v_f}$$

$$x_{1a} = \frac{(0.125 - 0.001101)\ \frac{m^3}{kg}}{(0.3157 - 0.001101)\ \frac{m^3}{kg}} = 0.3938$$

$$u_{1a} = u_f + (x_{1a} * u_{fg})$$

$$u_{1a} = 669.9 + (0.3938 * 1{,}897.5)\ \frac{kJ}{kg} = 1417.14\ \frac{kJ}{kg}$$

2: $u_2 = 1{,}417.14\ \frac{kJ}{kg}$

$$v_2 = \frac{30\ dm^3 + 70 dm^3}{240\ g}$$

$$v_2 = \frac{(0.03 + 0.07) m^3}{0.24\ kg} = 0.417\ (0.3157 - 0.001101)\ \frac{m^3}{kg}$$

La presión tiene que ser menor que 6 bares y el estado es vapor húmedo; entonces:

$$x_{2,i} = \frac{\left(1417.14\ \frac{kJ}{kg} - u_f\right)}{u_{fg}}$$

$$x_{2,j} = \frac{0.417\ \frac{m^3}{kg} - v_f}{v_{fg}}$$

Con valores obtenidos a partir de la tabla anterior se calcula iterativamente según se muestra en la tabla de abajo hasta que las dos ecuaciones coinciden. Se asume un valor de $T_2 \approx 119°C$.

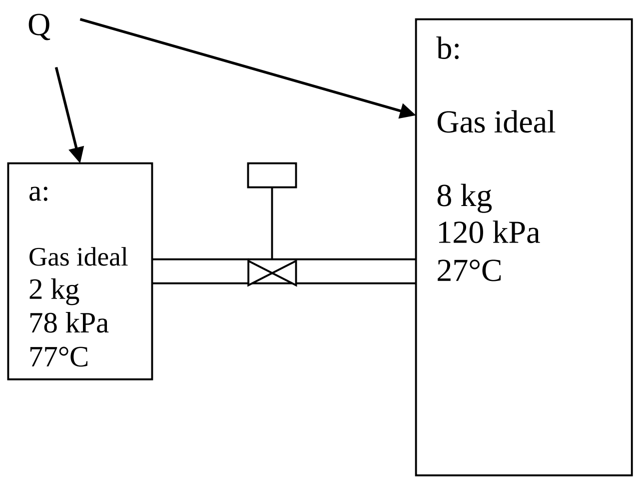
P, kPa	T, °C	$v_f\ \left[\frac{m^3}{kg}\right]$	$v_g\ \left[\frac{m^3}{kg}\right]$	$u_f\ \left[\frac{kJ}{kg}\right]$	$u_{fg}\ \left[\frac{kJ}{kg}\right]$	x_{2i}	x_{2j}
300	133.8	0.001074	0.60593	561.358	1,981.221	0.43206	0.6876
200	120.4	0.001061	0.88593	504.988	2,022.814	0.45104	0.47006
195	119.6	0.00106	0.90772	501.5785	2,025.8035	0.4526	0.4588
192.5	119.2	0.0010595	0.918615	499.8738	2,027.2983	0.45256	0.45331
190	118.8	0.001059	0.92951	498.169	2,028.793	0.45307	0.448

40. Se conectan dos tanques mediante una válvula, originalmente cerrada. Un tanque contiene dos kg de un gas perfecto a 77°C y 78 kPa; el otro contiene 8 kg del mismo gas a 27°C y 120 kPa. La válvula se abre, las masas del gas se mezclan, y el equilibrio se alcanza a 45°C. Considere para el gas los valores constantes R= 0.2969 J/g*K) y k = 1.4. Calcule el calor y su dirección.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en el mezclado de dos porciones de un gas ideal.

La primera ley es $\Delta U = Q$



$$Q = m_2 u_2 - m_{1a} u_{1a} - m_{1b} u_{1b}$$

Para el gas ideal:

$$C_V = \frac{R}{k - 1}$$

Calculando:

$$Q = \left[\frac{0.2969 \frac{kJ}{kg * K}}{(1.4 - 1)}\right] * [(10 * 318) - (2 * 350) - (8 * 300)] kg * K$$

$$= 59.384\ kJ\ (entra)$$

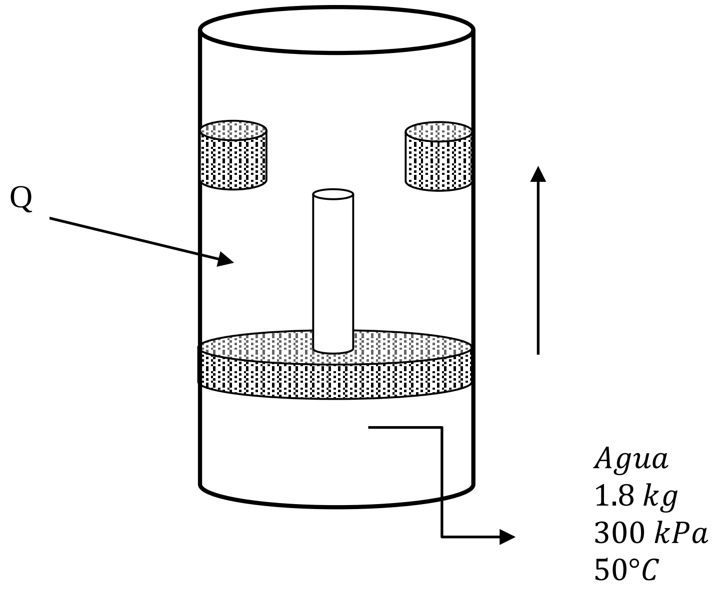
41. En un cilindro con émbolo hay 1.8 kg de agua a 300 kPa y 50°C, la que se calienta isobáricamente hasta que el volumen se duplica. Posteriormente se inmoviliza el émbolo y el agua se calienta isométricamente, hasta que la presión se duplica. Si ambos procesos fuesen casiestáticos, calcule el calor necesario.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso total consiste en dos procesos, el 1-2 es una expansión isobárica hasta tocar los topes y el 2-3 es un calentamiento isométrico hasta duplicar la presión.

La primera ley es para el proceso:

$1-2 \;\; \rightarrow \varDelta U \; = \; Q_{12} - W_{ec}$



La primera ley es, para $Q_{12} - W_{ec}$

$Q_{12} = \; \varDelta H = \; m(h_2 - h_1)$

y para el subproceso $2-3 \;\; \varDelta U \; = \; Q_{23}$

$Q_{23} = \; m(u_3 - u_2)$

Combinando, el calor total es:

$Q_{total} = \; m(h_2 - h_1 + u_3 - u_2 = m[(P_2 \nu_2) - \; h_1 + u_3]$

1: 300 kPa, 50°C; de la tabla A.1 se observa que el estado es líquido comprimido. Considerando liquido saturado a 50°C, entonces:

$$h_1 = \; 209.33 \; \frac{kJ}{kg}$$

$$\nu_1 = \; 0.001012 \frac{m^3}{kg}$$

2: 300 kPa, $\nu_2 = 2\nu_1 = 2 * 001012\ \frac{m^3}{kg} = 0.002024\ \frac{m^3}{kg}$

3: 600 kPa, $\nu_2 = 0.002024\ \frac{m^3}{kg}$, de la tabla A.2 se observa que:

$$\nu_f = 0.001101 \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.3157\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 669.9 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}897.5\ \frac{kJ}{kg}$$

por lo que el estado es vapor húmedo; calculando:

$$x_3 = \frac{\nu_2 - \nu f}{\nu_g - \nu f}$$

$$x_3 = \frac{(0.002024 - 0.001101)\frac{m^3}{kg}}{(0.3157 - 0.001101)\frac{m^3}{kg}} = 0.003007$$

$$u_3 = u_f + (x_3 * u_{fg})$$

$$u_3 = 669.9 + (0.003007 * 1{,}897.5)\frac{kJ}{kg} = 675.6058 \frac{kJ}{kg}$$

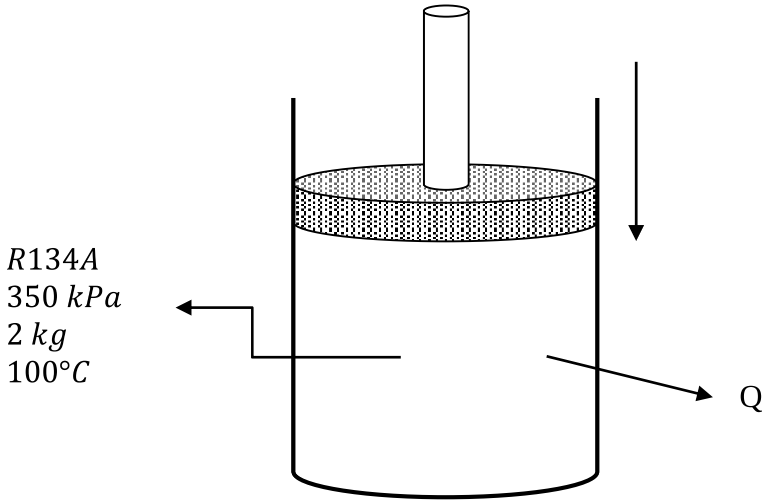
El calor total es:

$$Q_{total} = 1.8\,kg * \left[\left(300\,kPa * 0.002024 \frac{m^3}{kg}\right) - (209.33 + 675.6058)\frac{kJ}{kg}\right] = 1{,}591.7915\,kJ$$

42. Un cilindro ajustado con un pistón contiene 2 kg de R134A a 350 kPa, 100°C. El cilindro es enfriado a presión constante hasta que el refrigerante alcanza una humedad de 25%. Calcula la transferencia de calor en el proceso, en kJ.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en el enfriamiento isobárico del R134A hasta producir un vapor húmedo.



la primera ley es $\Delta U = Q - W_{ec}$

$$Q = m(u_2 - u_1) + mP_1(\nu_2 - \nu_1) = m(h_2 - h_1)$$

1: 350 kPa, 100°C; de la tabla B.1 se observa que el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla B.3 se obtiene $h_1 = 341.9\ \frac{kJ}{kg}\ (interpolando)$

2: 350 kPa, x = 0.75; de la tabla B.2, se obtiene:

$h_2 = 201.749\ \frac{kJ}{kg}$ (interpolando y aplicando la fórmula para el cálculo de la entalpia de un vapor húmedo).

El calor es entonces:

$$Q = m(h_2 - h_1)$$

$$Q = 2\ kg * (201.749 - 341.9)\ \frac{kJ}{kg} = -280.302\ kJ\ (sale)$$

43. En un tanque de acero hay agua, inicialmente a 300 kPa y 150°C. El tanque se introduce en un baño térmico de 15 kg de hielo a 265.15 K. El equilibrio térmico se alcanza a 60°C. Calcule la masa de agua dentro del tanque. Considere para el baño $C_{sólido}$ = 2.1143 J/g Δ_1°C, $\lambda_{fusión}$ = 333.7298 J/g, $C_{líquido}$ = 4.1868 J/g Δ_1°C.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en la interacción de calor entre el agua (del tanque) y el hielo (del baño), hasta una temperatura de equilibrio.

La primera ley para el hielo es:

$$Q_{hielo} = Q_{sólido} + Q_{cf} + Q_{líquido} = m_h C_{sólido}\left(T_2 - T_1\right) + m_{h\ fusión} + m_L C_{líquido}\left(T_{eq} - T_2\right)$$

y para el agua en el tanque es $Q_{agua} = m_a(u_2 - u_1)$

1: 300 kPa, 150°C; de la tabla A.2, se observa que el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3, se obtiene:

$$u_1 = 2{,}570.8\ \frac{kJ}{kg}$$

$$v_1 = 0.6339\ \frac{m^3}{kg}$$

2: 60°C, $v_2 = 0.6339\ \frac{m^3}{kg}$; de la tabla A.1:

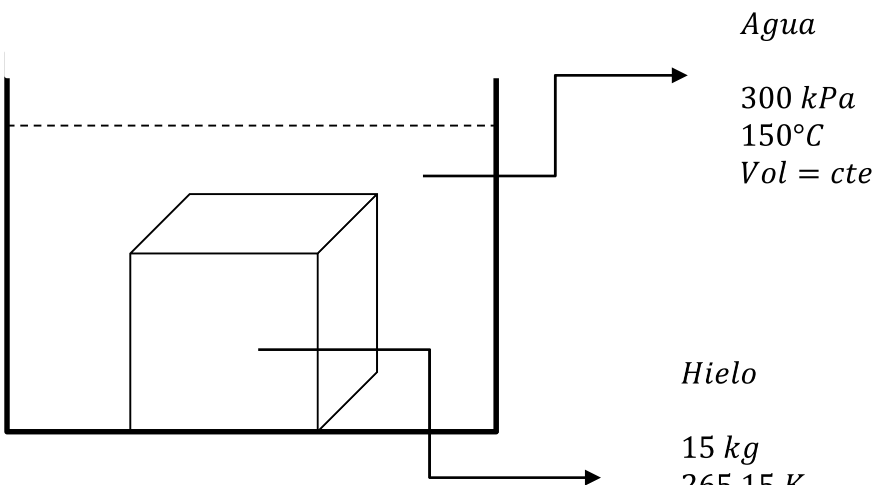
$$v_f = 0.001017\ \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 7.671\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 251.11\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 2{,}205.5\ \frac{kJ}{kg}$$

por lo que el estado es vapor húmedo.



Calculando:

$$x_2 = \frac{v_1 - v_f}{v_g - v_1}$$

$$x_2 = \frac{(0.6339 - 0.001017)\ \frac{m^3}{kg}}{(7.671 - 0.001017)\ \frac{m^3}{kg}} = 0.08251$$

$$u_2 = u_f + (x * u_{fg})$$

$$u_2 = 251.11\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.08251 * 2{,}205.5 \frac{kJ}{kg} \right) = 433.086\ \frac{kJ}{kg}$$

El balance de calor es:

$Q_{hielo} = - Q_{agua}$

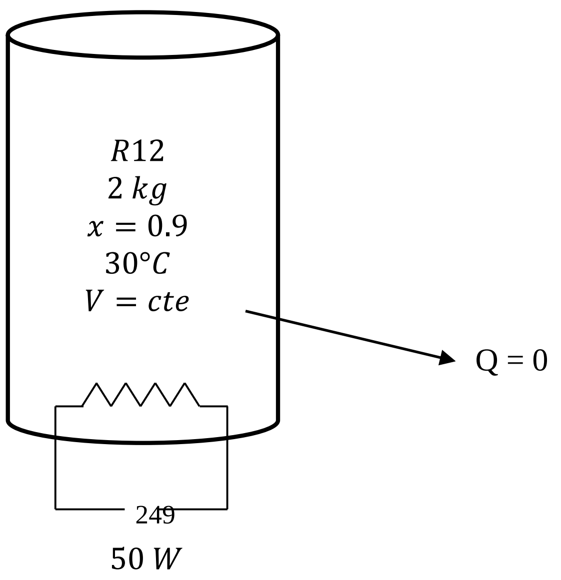
Calculando:

$$m_a = 15\ kg * \left[\frac{2.1143 \frac{kJ}{kg \Delta_1 * K} * (273.15 - 265.15) \Delta_1 * K + 333.7298\ \frac{kJ}{kg} + 4.1868\ \frac{kJ}{kg \Delta_1 * K} * (333.15 - 273.15)\ \Delta_1 * K}{\left[- (433.086 - 2570.8)\ \frac{kJ}{kg} \right]} \right]$$

$$m_a = 4.2231\ kg$$

44. En el interior de un tanque de paredes rígidas y adiabáticas hay un calentador eléctrico de 50 W, sumergido en 2 kg de freón 12 a 30°C y x = 0.9. Luego de que se enciende el calentador la sustancia dentro del tanque llega a 100°C. ¿Cuánto tiempo dura el proceso?

Solución:



Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en el calentamiento del freón 12 mediante el calentador eléctrico.

La primera ley es:

$$\Delta U = -(-W_{el})$$

$$W_{p,el}\Delta t = m(u_2 - u_1)$$

1: 30°C, x = 0.9; de la tabla C.1:

$$v_f = 0.0007739 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.02351 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 64.01 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_g = 182.11 \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$v_1 = v_f + [x * (v_g - v_f)]$$

$$v_1 = 0.0007739 \frac{m^3}{kg} + \left[0.9 * (0.02351 - 0.0007739) \frac{m^3}{kg}\right] = 0.02124 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_1 = \mathrm{u_f} + [x * (u_g - u_f)]$$

$$u_1 = 64.01 \frac{kJ}{kg} + \left[0.9 * (182.11 - 64.01) \frac{kJ}{kg}\right] = 170.3 \frac{kJ}{kg}$$

2: $v_1 = 0.02124 \frac{m^3}{kg}$, $100°C$, de la tabla anterior:

$$v_f = 0.0015765 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.00394 \frac{m^3}{kg}$$

(interpolando) por lo que el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla C.3 (interpolando entre 10 y 12 bares):

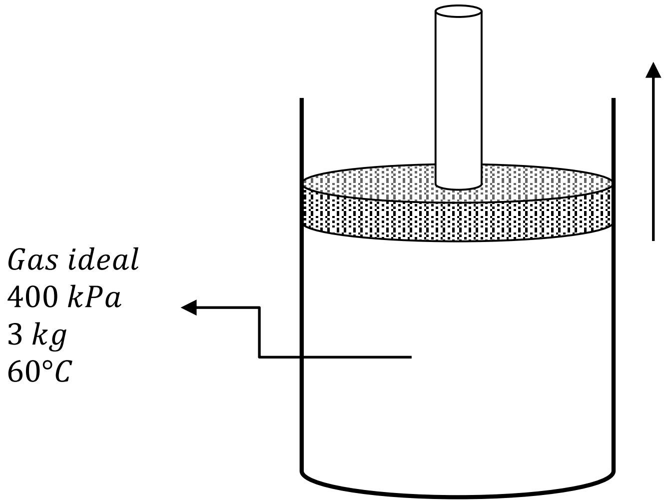
$$u_2 = 223.89 \frac{kJ}{kg}$$

El tiempo pedido es:

$$\Delta t = \frac{2\ kg * (2{,}23.89 - 170.3)\ \frac{kJ}{kg}}{\left(50\ \frac{J}{s} * \frac{1kJ}{1000\ J}\right)} = 2{,}143.6\ s = 0.6\ h$$

45. Dentro de un cilindro con émbolo, carente de fricción, hay 3 kg de un gas ideal [R = 188.55 J/g Δ_1°C, k = 1.26] que pasan casiestáticamente desde 400 kPa y 60°C hasta 350 kPa y 4°C. Calcule el cambio en la entalpia y, si fuese posible, calcule el calor.

Solución:



Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en la expansión del gas ideal. Una forma de resolver el problema es suponer que la expansión ocurre a una presión promedio constante:

$$P_{prom} = \frac{(350 + 400)kPa}{2} = 375\ kPa$$

Para un gas ideal:

$PV = mRT$

$C_V = \frac{R}{k-1}, C_P = \frac{kR}{k-1}$

El cambio de entalpia es:

$$\Delta H = mC_P\Delta T = 3\ kg * 1.126 * \frac{0.18855\frac{kJ}{kg\Delta_1°C}}{1.126-1} * (4-60)\Delta_1°C = -283.076\ kJ$$

La primera ley para el proceso de expansión es:

$Q = \Delta U + W_{ec}$

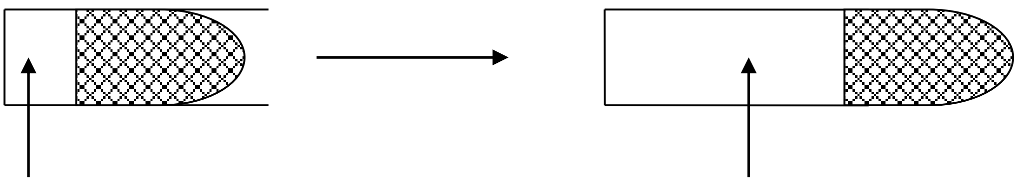
$Q = mC_V\Delta T + P_{promm}R\left[\left(\frac{T_2}{P_2} - \frac{T_1}{P_1}\right)\right]$

$$Q = 3\ kg * \left\{\left[\frac{0.18855\frac{kJ}{kg\Delta_1°C}}{(1.126-1)*(4-60)\Delta_1°C}\right] + \left(0.18855\ \frac{kJ}{kg\Delta_1 K} * 375\ kPa\right) * \left[\left(\frac{277}{350}\right) - \left(\frac{333}{400}\right)\frac{\Delta_1 K}{kPa}\right]\right\}$$

$Q = -260.112\ kJ\ (sale)$

46. En el cilindro de una pistola el aire [R = 0.287 J/g Δ_1°C, k = 1.4] está a 1 MPa, 27°C y 1 ml. La bala de 15 g funge como un pistón, que se detiene mediante un seguro. Al disparar, se suelta el seguro y el aire se expande casiestática e isotérmicamente, impulsando a la bala. Justamente cuando la bala sale del cañón al aire alcanza 77.17 kPa, el valor ambiental. Calcule la velocidad de la bala en ese instante.

Solución:



$Aire,$

$1\ cm^3$
$1\ MPa$
$27\ ℃$

$Aire$

$77.17\ kPa$
$27\ ℃$

Análisis: tanto el aire, encerrado en el cilindro, como la bala son sistemas cerrados y el proceso es la expansión isotérmica del aire que produce un trabajo sobre la bala y sobre la atmósfera.
El aire es un gas ideal y cumple la ecuación $PV = mRT$

Para el proceso isotérmico $P_1V_1 = P_2V_2$

La primera ley es:

$$\Delta EC = -(W_{bala}) = -(-W_{ec} + W_{atm}) = -\left[-P_1V_1 ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + P_{atm}(V_2 - V_1)\right]$$

El balance de energía es entonces:

$$\frac{m_b v_2{}^2}{2,000} = -\left\{-P_1V_1 ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + P_{atm}\left(V_2 - V_1\right)\right\}$$

de donde:

$$v_2^2 = -2,000\frac{\left[-1,000\ kPa*1\ X\ 10^{-6}\ m^3*ln\left(\frac{1,000\ kPa}{77.17\ kPa}\right) + 77.17\ kPa*(12.96-1)V\ 10^{-6}\ m^3\right]}{0.015\ kg}$$

$$v_2^2 = 218.53\frac{m^2}{s^2}$$

$$v_2 = 14.783\frac{m}{s}$$

47. Un dispositivo de cilindro émbolo aislado contiene 5 L de agua líquida saturada a una presión constante de 150 kPa. El agua se agita por medio de una hélice mientras una corriente de 8 A circula durante 45 min por una resistencia de inmersión colocada en el agua. Si la mitad del líquido se evapora durante este proceso y el trabajo aportado por la hélice es de 300 kJ. ¿Cuál es el voltaje de la fuente?

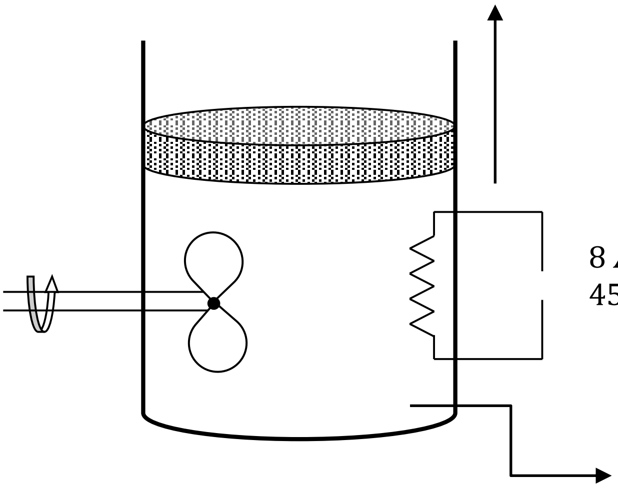
Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en la evaporación parcial de agua líquida por el agregado de trabajos de agitación y eléctrico.

La primera ley es $\Delta U = -(W_{ag} + W_{el} + W_{ec})$

$$m[(u_2 - u_1) + P(\nu_2 - \nu_1)] = m(h_2 - h_1) = -(-W_{ag} - VA\Delta t)$$

1: líquido saturado, 150 kPa, de la tabla A.2:



$$h_1 = 467.11 \frac{kJ}{kg}$$

$$\nu_1 = 0.001053 \frac{m^3}{kg}$$

$$m = \frac{0.005\ m^3}{0.001053\ \frac{m^3}{kg}} = 4.748\ kg$$

2: 150 kPa, $m_{vap} = 2.374\ kg$, $m_{líq} = 2.374\ kg$, $x = 0.5$, de la tabla anterior:

$$h_f = 467.11\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}226.5\ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$h_2 = 467.11\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.5 * 2{,}226.5\ \frac{kJ}{kg}\right) = 1{,}580.36\ \frac{kJ}{kg}$$

De la primera ley:

$$V = \frac{4.748\ kg * (1{,}580.36 - 467.11)\frac{kJ}{kg} - (300\ kJ)}{8\ A * 45\ min * \left(\frac{60\ s}{1\ min}\right) * \left(\frac{1\ kJ}{1000\ J}\right)} = 230.82\ Volts$$

48. En un cilindro émbolo se expanden casiestática y adiabáticamente 600 g de un gas perfecto desde 35°C hasta - 40°C, duplicando su volumen. El gas entrega un trabajo de 58.15 J/g. Calcule el valor del C_P del gas.

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en la expansión adiabática de un gas ideal.

Para un gas ideal $PV = mRT$, $C_V = \frac{R}{k-1}$, $k = \frac{C_P}{C_V}$, y para el proceso $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1}$

De donde $k - 1 = \frac{ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$

La primera ley es: $\Delta U = m\Delta u = -W$

$\Delta u = C_V \Delta T = -w$

Sustituyendo las relaciones del gas ideal y del proceso se obtiene:

$$\frac{C_P \Delta T}{k} = -w$$

$de\ donde$:

$$C_P = -\frac{kw}{\Delta T}$$

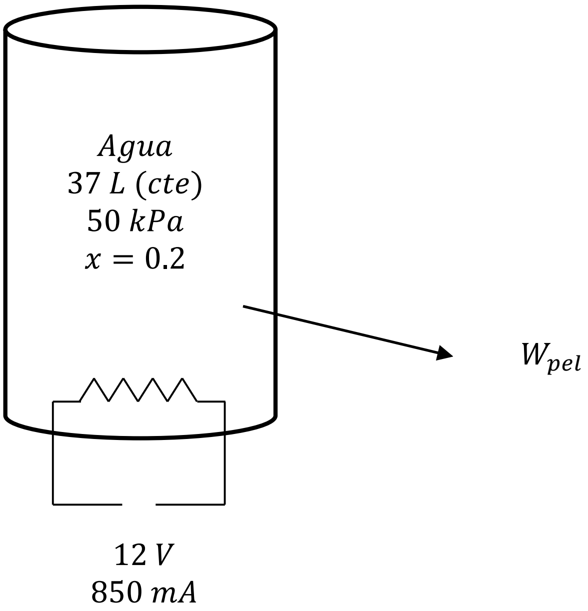
$$C_P = -\frac{\left[\frac{ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} + 1\right]w}{\Delta T}$$

$$C_P = -\frac{\left[\frac{ln\left(\frac{308}{233}\right)}{ln\left(2 * \frac{V_1}{V_1}\right)} + 1\right] * \left(58.15\frac{J}{g}\right)}{(233 - 308)K} = 1.0873\frac{J}{g * K}$$

49. En un tanque de acero de 37 L hay agua a 50 kPa y x = 0.2. Un resistor de 12 V y 850 mA hace que el fluido llegue a 500 kPa. Por las paredes se escapa el 15% de la energía que aporta el resistor. ¿Cuánto dura la operación?

Solución:

Análisis: el sistema es cerrado y el proceso consiste en el calentamiento isométrico del agua en virtud del trabajo eléctrico que entra.



La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W_{el}$$

$$m(u_2 - u_1) = -0.15\ W_{el} - (-W_{el}) = 0.85\ W_{el} = 0.85\ VA\Delta t$$

1: 50 kPa, x = 0.2; de la tabla A.2:

$$v_f = 0.00103 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 3.24 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 340.44 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 2143.4 \frac{kJ}{kg}$$

Calculando:

$$\nu_1 = 0.00103\ \frac{m^3}{kg} + 0.2 * (3.24 - 0.00103)\frac{m^3}{kg} = 0.6488\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_1 = 340.44\ \frac{kJ}{kg} + 0.2 * 2143.4\ \frac{kJ}{kg} = 769.12\ \frac{kJ}{kg}$$

$$m = \frac{0.037\ m^3}{0.6488\ \frac{m^3}{kg}} = 0.05703\ kg$$

2: 500 kPa, ν = 0.6488 m^3/kg; de la tabla anterior se observa que el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3 e interpolando se obtiene:

$$\frac{(3128.4 - 2963.2)\ \frac{kJ}{kg}}{(0.7109 - 0.6173)\ \frac{m^3}{kg}} = \frac{(3128.4 - u_2)\ \frac{kJ}{kg}}{(0.7109 - 0.6488)\ \frac{m^3}{kg}}$$

$$u_2 = 3018.796\ \frac{kJ}{kg}$$

Usando la primera ley se obtiene el tiempo pedido:

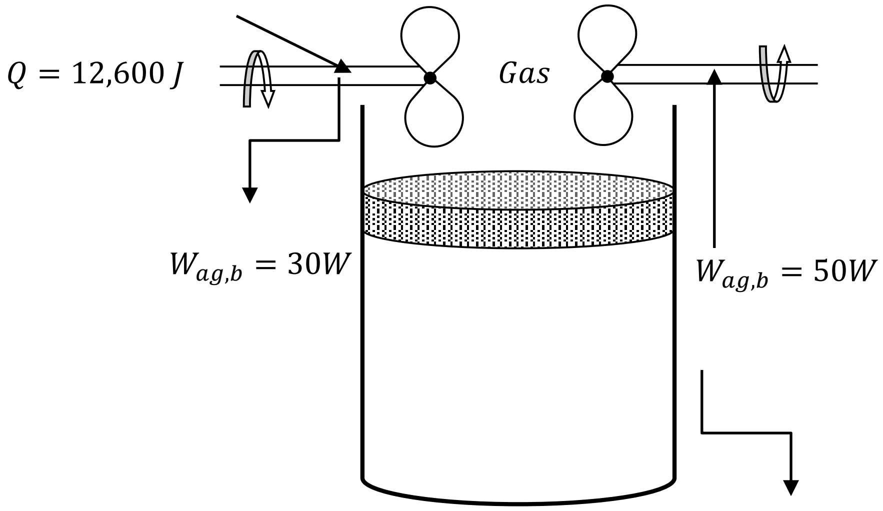
$$\Delta t = \frac{m(u_2 - u_1)}{0.85VA}$$

$$\Delta t = \frac{0.05703\ kg * (3{,}018.796 - 769.12)\ \frac{kJ}{kg} * \left(\frac{1{,}000\ J}{1\ kJ}\right)}{(0.85 * 12\ V * 0.85\ A)} = 14{,}798.0418\ s = 4.1106\ h$$

50. Un gas contenido en un recipiente recibe calor, produciéndose una expansión contra la presión exterior de 2 Pa. Dos agitadores actúan en el sistema moviéndose accionados por dos motores eléctricos que absorben 30 W y 50 W. El calor absorbido en 15 s (tiempo en el que trabajan los agitadores) es de 12600 J y la variación en el volumen del sistema es de 20 L. ¿Cuál es la variación neta en la energía interna del sistema?

Solución:

Análisis: El sistema es cerrado y consiste en la expansión isobárica del gas por la introducción de calor y de trabajo, de los agitadores.



La primera ley es:

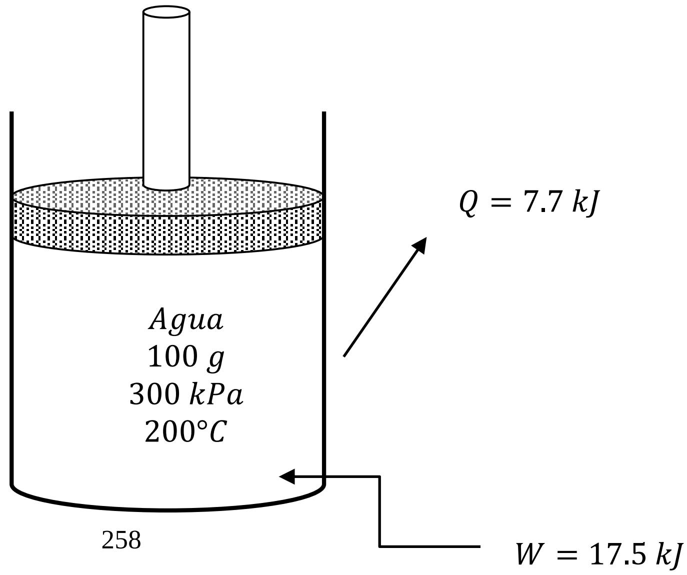
$$\Delta U = Q - (W_{ag,a} + W_{ag,b} + W_{ec}) = Q - (-W_{P,ag,a} - W_{p,ag,b})\Delta t - W_{ec}$$

Calculando:

$$\Delta U = 12{,}600\,J - \left[(-30 - 50)\frac{J}{s} * 15\,s\right] - (2\,Pa * 0.02\,m^3) = 13{,}800\,J\ (aumenta)$$

51. Un cilindro de acero horizontal tiene un émbolo carente de fricción. En el cilindro hay 100 g de agua a 300 kPa y 200°C. Se determinan experimentalmente los flujos de energía en forma de calor hacia el entorno [7.7 kJ] y de trabajo hacia el agua [(17.5 kJ]. Si el agua acabase a 1 MPa, halle su densidad final.

Solución:



Análisis: El sistema es cerrado y el proceso consiste en el cambio de las condiciones del agua por las interacciones de calor y trabajo.

La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W$$

ó

$$u_2 = u_1 - \left[\frac{Q - W}{m}\right]$$

1: 300 kPa, 200°C; del la tabla A.2, se observa que el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3, se obtiene:

$$u_1 = 2{,}650.7\,\frac{kJ}{kg}$$

2: de la primera ley:

$$u_2 = 2{,}650.7\,\frac{kJ}{kg} - \left[\frac{-7.7\,kJ + 17.5\,kJ}{0.1\,kg}\right] = 2{,}748.7\,\frac{kJ}{kg}$$

además la presión es 1 MPa; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3 e interpolando se obtiene:

$$\frac{(0.2579 - 0.2327)\,\frac{m^3}{kg}}{(2{,}793.2 - 2{,}709.9)\,\frac{kJ}{kg}} = \frac{(0.2579 - \nu_2)}{(2{,}793.2 - 2{,}748.7)\,\frac{kJ}{kg}}$$

$$\nu_2 = 0.2444\,\frac{m^3}{kg}$$

ó

$$\rho_2 = \frac{1}{\nu_2} = 4.091\,\frac{kg}{m^3}$$

52. En un cilindro con émbolo libre de fricción se expanden 900 g de agua desde 400 kPa y una calidad de 0.85 hasta 1 bar. El proceso es casiestático y politrópico, con un exponente de 1.05. Halle el calor y su dirección.

Solución:

Análisis: El sistema es cerrado y el proceso consiste en la expansión politrópica del agua.

La primera ley es:

$$\Delta U = Q - W_{ec}$$

De donde:

$$Q = m\left[(u_2 - u_1) + \frac{P_1\nu_1 - P_2\nu_2}{n - 1}\right]$$

1:
400 kPa, x = 0.85; de la tabla A.2:

$$u_f = 604.31\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 1{,}949.3\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\nu_f = 0.001084\ \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 0.4625\ \frac{m^3}{kg}$$

Calculando:

$$u_1 = u_f + \left(x * u_{fg}\right)$$

$$u_1 = 604.31\ \frac{kJ}{kg} + 0.85 * 1{,}949.3\ \frac{kJ}{kg} = 2{,}261.22\frac{kJ}{kg}$$

$$\nu_1 = \nu_f + \left[x * \left(\nu_g - \nu_f\right)\right]$$

$$\nu_1 = 0.001084\ \frac{m^3}{kg} + 0.85 * (0.4625 - 0.001084)\ \frac{m^3}{kg} = 0.3933\ \frac{m^3}{kg}$$

2:
como $P\nu^n = C$, entonces:

$$\nu_2 = \nu_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.3933\ \frac{m^3}{kg} * \left(\frac{400\ kPa}{100\ kPa}\right)^{\frac{1}{1.05}} = 1.4727\ \frac{m^3}{kg}$$

además la presión es 1 bar; de la tabla anterior:

$$\nu_f = 0.001043 \frac{m^3}{kg}$$

$$\nu_g = 1.694 \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 417.36 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{fg} = 2{,}088.7 \frac{kJ}{kg}$$

por lo que el estado es vapor húmedo. Calculando:

$$x_2 = \frac{\nu_2 - \nu_f}{\nu_g - \nu_f}$$

$$x_2 = \frac{(1.4727 - 0.001043) \frac{m^3}{kg}}{(1.694 - 0.001043) \frac{m^3}{kg}} = 0.8693$$

$$u_2 = u_f + \left(x_2 * u_{fg}\right)$$

$$u_2 = 417.36 \frac{kJ}{kg} + \left(0.8693 * 2{,}088.7 \frac{kJ}{kg}\right) = 2233.07 \frac{kJ}{kg}$$

De la primera ley se obtiene el calor:

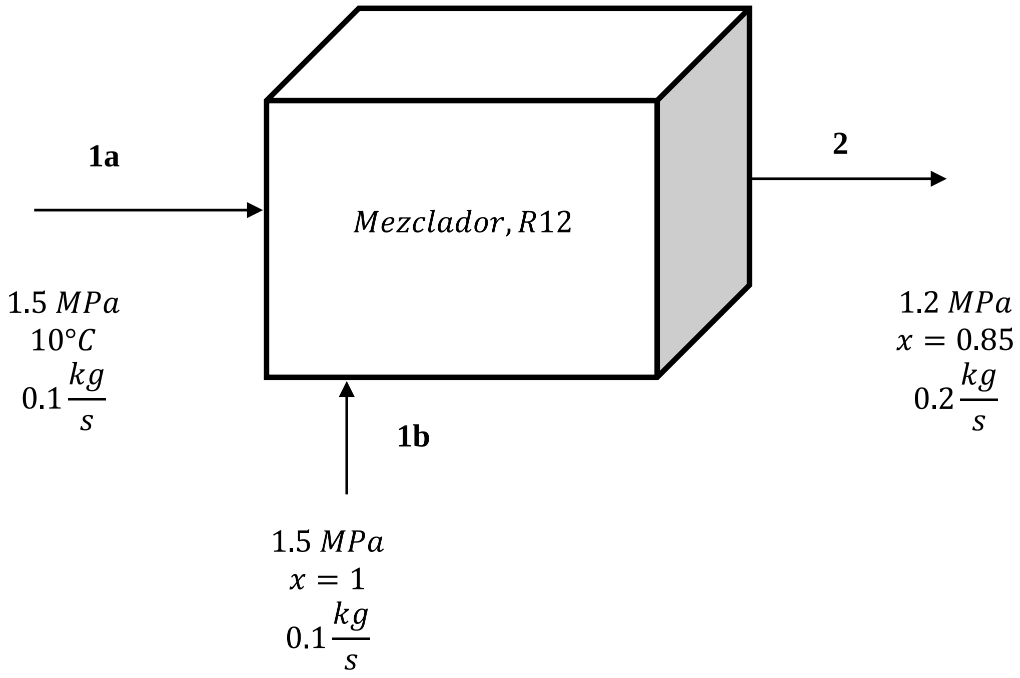
$$Q = 0.9\, kg * \left[(2{,}233.07 - 2{,}261.22) \frac{kJ}{kg} + \frac{\left(400\, kPa * 0.3933 \frac{m^3}{kg}\right) - \left(100\, kPa * 1.4727 \frac{m^3}{kg}\right)}{1.05 - 1}\right]$$

$$Q = 155.565\, kJ\ (entra)$$

Balances de energía: Sistemas abiertos

53. Una corriente de R12 a 1.5 MPa y 10 ºC se mezcla en un proceso estacionario con otra corriente de R12 a 1.5 MPa y x = 1. Cada corriente tiene un gasto másico de 0.1 kg/s. La corriente resultante de R12 sale a 1.2 MPa y x = 0.85. Calcule el calor asociado con este proceso de mezclado, en kW.

Solución:



Análisis: hay entrada y salida de masa por lo que el sistema es abierto y el proceso es un mezclado de dos corriente de R12.

La primera ley es:

$$\dot{m}\Delta h \;=\; \dot{Q} \;\text{ó}\; \dot{Q} \;=\; \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_{1a} h_{1a} - \dot{m}_{1b} h_{1b}$$

1a: 1.5 MPa, 10°C; de la tabla C.1, se observa que la presión de saturación es de 423.9 kPa, por lo que el estado es líquido comprimido. Haciendo la simplificación de que el estado es líquido saturado a 10°C, se obtiene de la misma tabla:

$$h_{1a} = \;45.38\;\frac{kJ}{kg}$$

1b: 1.5 MPa, x =1; de la tabla C.2:

$$h_{1b} = \;209.015\frac{kJ}{kg}$$

2: 1.2 MPa, x = 0.85; de la tabla anterior:

$$h_f = \;84.21\;\frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = \;122.03\frac{kJ}{kg}$$

por lo que:

$$h_2 = h_f + \left(x - h_{fg}\right)$$

$$h_2 = 84.21 \, \frac{kJ}{kg} + \left(0.85 * 122.03 \frac{kJ}{kg} \right) = 187.936 \frac{kJ}{kg}$$

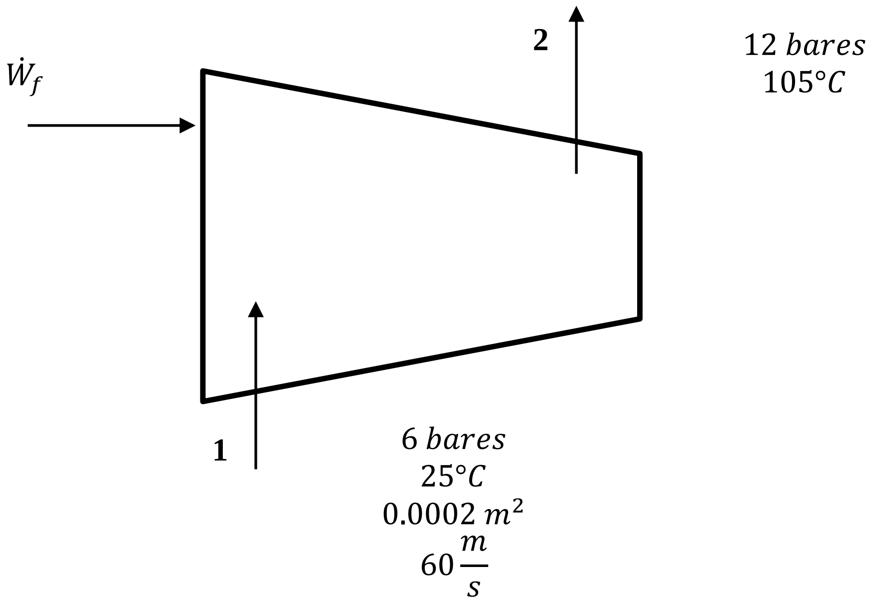
El calor es entonces:

$$\dot{Q} = 0.2 \, \frac{kg}{s} * 187.936 \frac{kJ}{kg} - 0.1 \, \frac{kg}{s} * 45.38 \, \frac{kJ}{kg} - 0.1 \, k \frac{kg}{s} * 209.015 \, \frac{kJ}{kg}$$
$$= 12.148 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{Q} = 12.148 \, kW \, (entra)$$

54. Un compresor adiabático recibe R12 a 6 bares y 25ºC. En la entrada el área es de 2X10^{-4} m^2 2X10^{-4} m^2 y la velocidad es de 60 m/s. A la salida las condiciones son 12 bares y 105ºC. Calcule la potencia necesaria, en kW. Desprecie las variaciones cinéticas y potenciales.

Solución:



Análisis: Hay entrada y salida de masa por lo que el sistema es abierto y el proceso es la compresión adiabática de R12.

La primera ley es:

$$\dot{m}(h_2 - h_1) = -\dot{W}_f$$

y la conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{\mathrm{v}_1 A_1}{v_1}$$

1: 6 bares, 25°C; de la tabla C.2, se observa que la temperatura de saturación es de 22°C por lo que el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla C.3 e interpolando se obtiene:

$$\frac{(202.26 - 196.57)\ \frac{kJ}{kg}}{(30 - 22)\ ℃} = \frac{(202.26 - h_1)}{(30 - 25)\ ℃}$$

$$h_1 = 198.704\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\frac{(0.03042 - 0.02913)\ \frac{m^3}{kg}}{(30 - 22)\ ℃} = \frac{(0.03042 - v_1)}{(30 - 25)\ ℃}$$

$$v_1 = 0.02961\ \frac{m^3}{kg}$$

2:
12 bares, 105°C; de la tabla C.2, se observa que la temperatura de saturación es de 49.31°C, por lo que el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla C.3 e interpolando:

$$\frac{(260.63 - 245.7)\frac{kJ}{kg}}{(120 - 100)\ ℃} = \frac{(260.63 - h_2)}{(120 - 105)\ ℃}$$

$$h_2 = 249.433\frac{kJ}{kg}$$

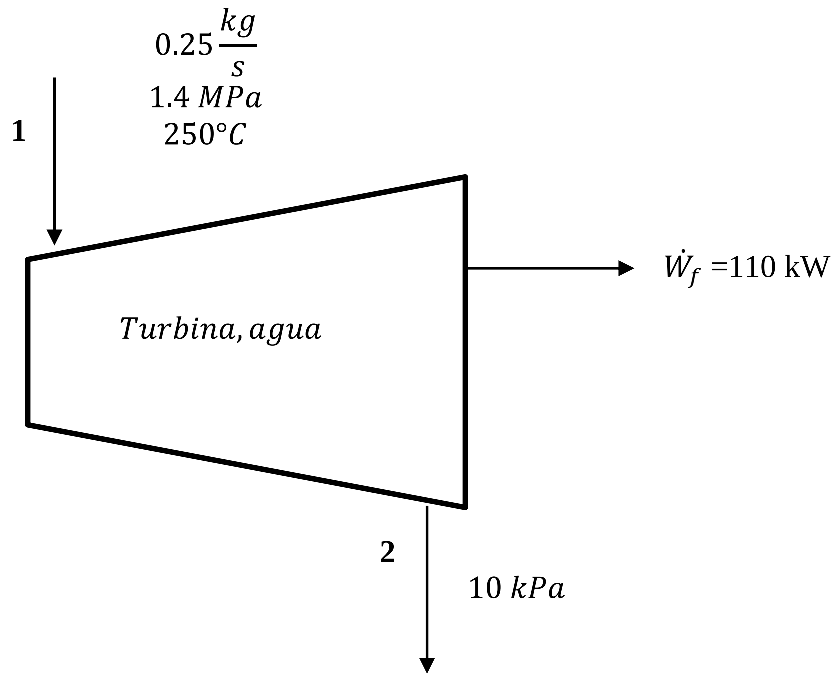
La potencia se calcula usando la primera ley:

$$\dot{W}_f = \left[\frac{(60\frac{m}{s} * 0.0002\ m^2)}{(0.02961\ \frac{m^3}{kg}}\right] * (198.704 - 249.433)\ \frac{kJ}{kg} = -20.559\frac{kJ}{s}$$

$$\dot{W}_f = -20.559\ kW\ (entra)$$

55. Una turbina adiabática funciona con 0.25 kg/s de agua a 1.4 MPa y 250ºC, los que entrega a 10 kPa. Si la turbina produce 110 kW, calcule la calidad del agua en la salida.

Solución:



Análisis: hay entrada y salida de masa por lo que el sistema es abierto y el proceso es la expansión adiabática de agua en una turbina.

La primera ley es:

$$\dot{m}(h_2 - h_1) = -\dot{W}_f$$

1: 1.4 MPa, 250°C; de la tabla A.2 se observa que a 1.4 MPa la temperatura de saturación esa 195.07°C, por lo que el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3:

$$h_1 = 2{,}927.2\ \frac{kJ}{kg}$$

2:
a 10 kPa, de la tabla A.2:

$$h_f = 191.83\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}392.8\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_g = 2{,}584.7\ \frac{kJ}{kg}$$

De la primera ley:

$$h_2 = h_1 - \left(\frac{\dot{W}_f}{m_P}\right) = 2{,}927.2\ \frac{kJ}{kg} - \left(\frac{110\,\frac{kJ}{s}}{0.25\,\frac{kg}{s}}\right) = 2{,}487.2\ \frac{kJ}{kg}$$

Entonces el estado es vapor húmedo y:

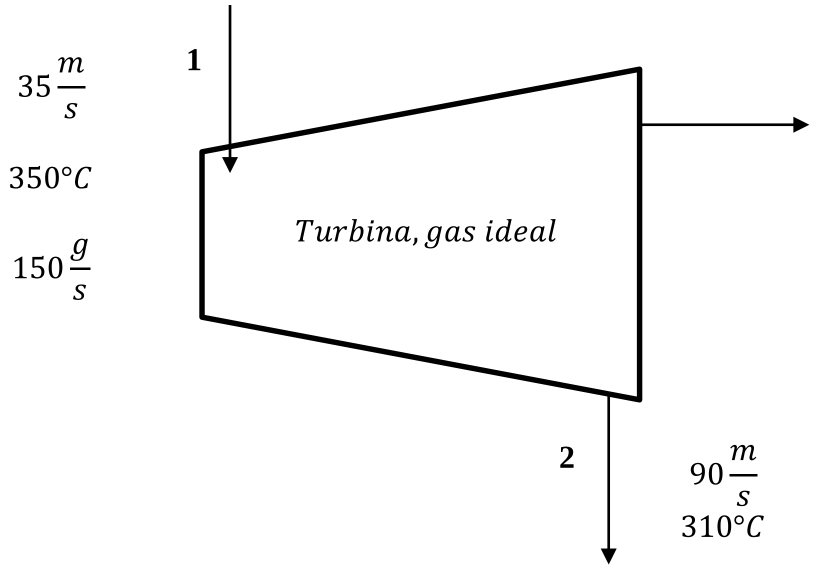
$$h_2 = h_f + \left(x_2 * h_{fg}\right)$$

$$x_2 = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}}$$

$$x_2 = \frac{2{,}487.2\ \frac{kJ}{kg} - 191.83\ \frac{kJ}{kg}}{2{,}392.8\ \frac{kJ}{kg}} = 0.9593$$

56. Una turbina adiabática que trabaja con un gas perfecto [R = 2.079 J/g*K), k = 5/3] tiene a la entrada 35 m/s y 530ºC. En la salida las condiciones son 90 m/s y 310ºC. Calcule la potencia que producirían 150 g/s del gas.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es la expansión adiabática de un gas ideal en una turbina.

Para el gas ideal:

$$C_P = \frac{kR}{k - 1}$$

La primera ley es:

$$-\dot{W}_f = -\dot{m}\left\{(h_2 - h_1) + \left[\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2}\right]\right\}$$

$$-\dot{W}_f = -\dot{m}\left[C_P(T_2 - T_1) + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2{,}000}\right]$$

$$-\dot{W}_f = -0.15\frac{kg}{s} * \left\{\left[\frac{1.667 * 2.079\frac{kJ}{kg*K}}{1.667 - 1}\right] * (583 - 803)K + \frac{\left[(90)^2 - (35)^2 \ \frac{m^2}{s^2}\right]}{2} * \frac{1\frac{kJ}{kg}}{1000\ \frac{m^2}{s^2}}\right\}\frac{kJ}{kg}$$

$$-\dot{W}_f = -170.95\frac{kJ}{s} = -170.95\ kW\ (sale)$$

57. Entra un gas ideal en una tubería de $5X10^{-2}$ m^2 $5X10^{-2}$ m^2 de área transversal a 200ºC, 175 kPa y 60 m/s y sale de la tubería a 80 kPa, 150ºC e igual velocidad. La tubería transfiere 6 kW de potencia hacia los alrededores. Calcula el flujo de calor, en kJ/kg, y su dirección. Considere los valores constantes R = 0.189 J/g*K y k = 1.54.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso es un flujo de gas ideal en una tubería, con interacciones de calor y trabajo.

Para el gas ideal:

$$PV = mRT$$

$$C_P = \frac{kR}{k - 1}$$

La primera ley es:

$$\dot{m}[(h_2 - h_1) + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2}] = \dot{Q} - \dot{W}_f$$

ó

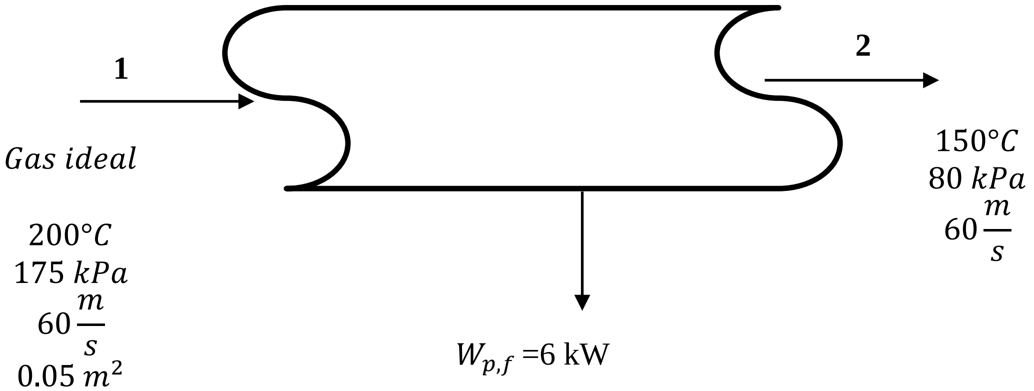
$$q = C_P(T_2 - T_1) + \left(\frac{\dot{W}_f}{\dot{m}}\right)$$

La conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = A_1 v_1 \nu_1 = \frac{A_1\,\mathrm{v}_1 P_1}{RT_1} = \frac{0.05\ m^2 * 60\,\frac{m}{s} * 175\ kPa}{0.189\,\frac{kJ}{kg * K} * 473\ K} = 5.873\,\frac{kg}{s}$$

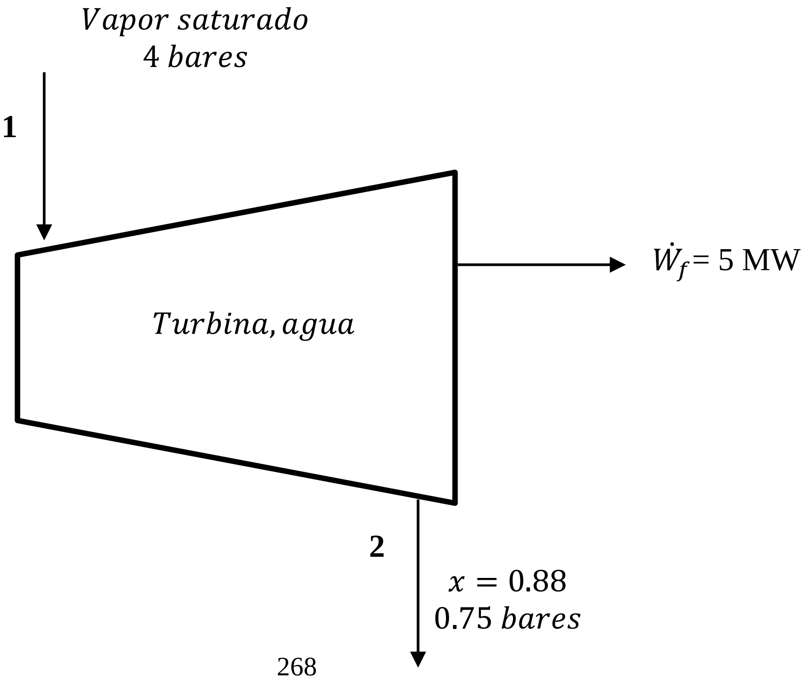
Utilizando la primera ley se obtiene el flujo de calor:

$$q = \left(\frac{1.54 * 0.189\frac{kJ}{kg*K}}{1.54 - 1}\right) * (423 - 473)K + \left[\frac{\left(6\frac{kJ}{s}\right)}{\left(5.873\,\frac{kJ}{s}\right)}\right] = -25.928\,\frac{kJ}{kg}\ (sale)$$



58. En un separador se produce una corriente de vapor de agua, saturado y seco, a 4 bares que se introduce en una turbina adiabática, en la cual se expande hasta 0.75 bares y x = 0.88. La turbina produce una potencia de 5 MW. Calcule el gasto másico de vapor, en ton/h.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es una expansión adiabática de agua en una turbina.

La primera ley es:

$$\dot{m}(h_2 - h_1) = -\dot{W}_f$$

ó

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_f}{h_1} - h_2$$

1:vapor saturado seco, 4 bares; de la tabla A.2:

$$h_1 = 2{,}738.6 \frac{kJ}{kg}$$

2: x = 0.88, 0.75 bares; de la tabla anterior:

$$h_f = 384.39 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}278.6 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 = h_f + \left(x * h_{fg}\right)$$

$$h_2 = 384.39 \frac{kJ}{kg} + \left(0.88 * 2{,}278.6 \frac{kJ}{kg}\right) = 2{,}389.558 \frac{kJ}{kg}$$

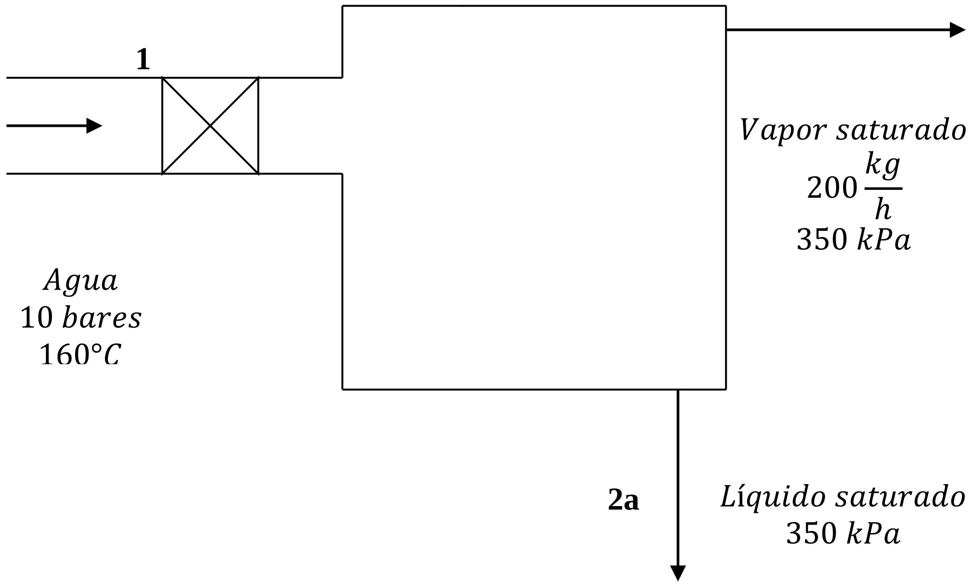
El gasto másico es:

$$\dot{m} = \frac{5\ MW}{h_{fg} - h_2}$$

$$\dot{m} = \frac{5{,}000 \frac{kJ}{s}}{(2{,}738.6 - 2{,}389.558) \frac{kJ}{kg}} = \left(14.325 \frac{kg}{s}\right) * \left(\frac{3.6 \frac{ton}{h}}{1 \frac{kg}{s}}\right) = 51.57 \frac{ton}{h}$$

59. En una planta se dispone de agua a 160 °C y 10 bares. A partir de ella, mediante estrangulación, hay que producir 200 kg/h de vapor saturado y seco a 350 kPa. Halle el gasto másico del líquido saturado que se produce conjuntamente.

Solución: **2**



Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en la estrangulación de agua y la posterior separación de vapor y líquido, que se asumen saturados a la presión del separador.

La primera ley es:

$$\dot{m}\Delta h = 0$$

ó

$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_{2a} h_{2a} - \dot{m}_1 h_1 = 0$$

La conservación de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{2\mathrm{a}}$$

Combinando ambas ecuaciones:

$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_{2\mathrm{a}} h_{2a} - (\dot{m}_2 + \dot{m}_{2\mathrm{a}}) h_1 = 0$$

de donde:

$$\dot{m}_{2\mathrm{a}} = \dot{m}_2 \left(\frac{h_1 - h_2}{h_{2a} - h_1} \right)$$

1: 10 bares, 160°C; de la tabla A.2, la temperatura de saturación es 179.91°C, por lo que el estado es líquido comprimido y de la tabla A.4:

$$h_1 = 675.7 \frac{kJ}{kg}$$

2 y 2a:

350 kPa; de la tabla A.2:

$$h_f = h_{2a} = 584.33\ \frac{kJ}{kg}$$

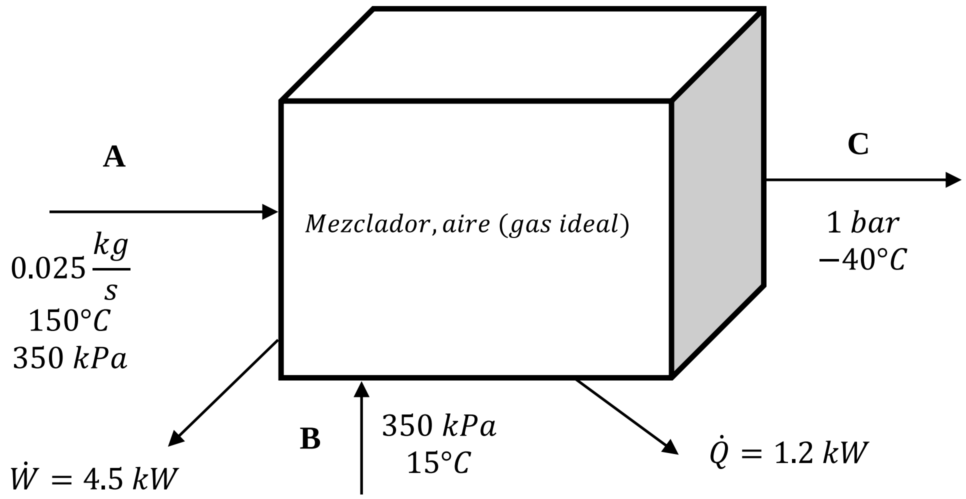
$$h_g = h_2 = 2{,}732.4\ \frac{kJ}{kg}$$

Sustituyendo en la primera ley:

$$\dot{m}_{2a} = 200\frac{kg}{h}\left(\frac{(675.7 - 2{,}732.4)\ \frac{kJ}{kg}}{(584.33 - 675.7)\ \frac{kJ}{kg}}\right) = 4{,}501.915\frac{kg}{h}$$

60. Se produce una corriente de aire [R= 0.287 J/g*K, k = 1.4] a 1 bar y – 40°C gracias a que en un equipo se mezclan dos corrientes de aire: la A, de 25 g/s, a 350 kPa y 150°C y la B, a 350 kPa y 15°C. Durante el proceso se rechazan 1.2 kW de calor a los alrededores y se entregan 4.5 kW de trabajo de flecha. Calcule el gasto volumétrico de la corriente que se produce.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el mezclado de dos corrientes aire (supuesto gas ideal) con interacciones de calor y trabajo.

Para el gas ideal:

$$PV = mRT$$

$PV_P = \dot{m}RT$

$$C_P = \frac{kR}{k - 1}$$

La primera ley es:

$\dot{m}\Delta h = \dot{Q} - \dot{W}_f$

ó

$\dot{m}_c h_C - \dot{m}_A h_A - \dot{m}_B h_B = C_P(\dot{m}_c T_C - \dot{m}_A T_A - \dot{m}_B T_B) = \dot{Q} - \dot{W}_f$

La conservación de masa establece que:

$\dot{m}_A + \dot{m}_B = \dot{m}_c$

Combinando las ecuaciones se obtiene:

$$\dot{m}_c = \frac{\frac{\dot{Q} - \dot{W}_f}{C_P} + \dot{m}_A(T_A - T_B)}{T_C - T_B}$$

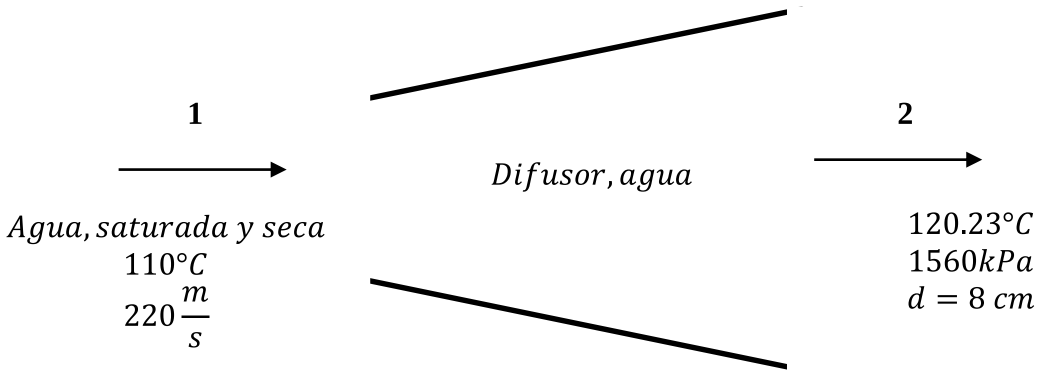
$$\dot{m}_c = \frac{\frac{(-1.2 - 4.5)\frac{kJ}{s}}{\left[\frac{1.4*0.287\frac{kJ}{kg*K}}{(1.4-1)}\right]} + \left[0.025\,\frac{kg}{s}*(423 - 288)\right]K}{(233 - 288)\,K} = 0.04179\,\frac{kg}{s}$$

Utilizando la ecuación del gas ideal:

$$\dot{V} = \frac{0.04179\,\frac{kg}{s} * 0.287\,\frac{kJ}{kg * K} * 233\,K}{100\,kPa} = 0.02794\,\frac{m^3}{s}$$

61. Un difusor adiabático recibe una corriente de agua, saturada y seca, a 110°C y 220 m/s. Si el fluido saliese a 150 kPa y 120.23°C por un conducto de 8 cm de diámetro, calcule el gasto másico que fluye por el difusor.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es un flujo de agua a través de un difusor adiabático.

La primera ley es:

$$h_2 - h_1 + \frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2} = 0$$

y la conservación de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

ó

$$\dot{m} = \frac{\mathrm{v}_2 A_2}{v_2}$$

Combinando ambas ecuaciones se obtiene:

$$\dot{m} = \left(\frac{A_2}{v_2}\right)[\mathrm{v}_1^2 + 2(h_1 - h_2)]^{0.5}$$

1: 110°C, saturada y seca; de la tabla A.1:

$$h_g = h_1 = 2{,}691.5\frac{kJ}{kg}$$

2: 120.23°C, 150 kPa; de la tabla A.2, se observa que a 150 kPa la temperatura de Saturación es 111.37°C, por lo que el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3 se obtiene (interpolando):

$$h_2 = 2{,}711.49\ \frac{kJ}{kg}$$

$$v_2 = 1.339\,\frac{m^3}{kg}$$

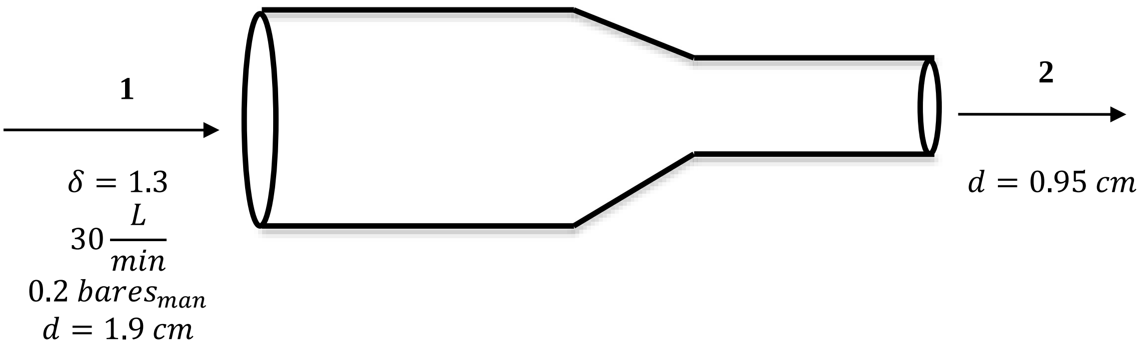
Calculando de la primera ley se obtiene:

$$\dot{m} = \left[\frac{\pi * \left(\frac{0.08}{2}\right)^2\ m^2}{1.339\ \frac{m^3}{kg}}\right] * \left[(220)^2\frac{m^2}{s^2} + (2) * (2691.5 - 2711.49)\frac{kJ}{kg} * \left(\frac{1{,}000\ \frac{m^2}{s^2}}{1\ \frac{kJ}{kg}}\right)\right]^{0.5}$$

$$\dot{m} = 0.344\ \frac{kg}{s}$$

62. Una corriente de 30 L/min de un líquido, δ = 1.3, fluye por un tubo de Venturi horizontal. El diámetro en la entrada es 1.9 cm y en la garganta es 0.95 cm. La presión manométrica en la entrada es 0.2 bares. Considere los valores constantes 9.78 m/s^2, ρ_{agua}= 998.04 kg/m^3, 77.17 kPa y calcule la presión relativa en la garganta.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el flujo incompresible de un líquido a través de un tubo (llamado de Venturi).

La primera ley es:

$$\nu \Delta P + \frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2} = 0$$

La conservación de masa establece que:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = A_1\mathrm{v}_1 = A_2\mathrm{v}_2 = 30\,\frac{L}{min}$$

Combinando ambas ecuaciones se obtiene:

$$\nu(P_2 - P_1) \;+\; \left(\frac{\dot{V}^2}{2}\right)\left(\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2}\right) \;=\; 0$$

de donde:

$$P_2 = P_1 - \left(\frac{\rho\dot{V}^2 * 16}{2 * \pi^2}\right) * [\left(\frac{1}{d_2^4}\right) - \left(\frac{1}{d_1^4}\right)]$$

$$P_2 = \; 97.17\; kPa - \left\{\left[\frac{\left(1.3*998.04\frac{kg}{m^3}*16*\left(30\frac{L}{min}\right)^2*\left(\frac{1\; min}{60\; s}\right)^2*\left(\frac{1\; m^3}{1000\; L}\right)^2\right.}{(2*\pi^2)}\right] * \left[\frac{1}{(0.0095)^4} - \frac{1}{(0.019)^4}\right]\; m^4\right\} * \left(\frac{1\; kPa}{1{,}000\; Pa}\right)$$

$$P_2 = \; (97.17 - \; 30.26)\; kPa \; = \; 66.91\; kPa$$

ó

P_{man} = 10.26 kPa

63. Una corriente de diez toneladas por hora de un metal líquido [C = 1.25 J/g*K] entra en un intercambiador de calor adiabático a 200 kPa y 400°C, y sale a 320°C. El enfriamiento se logra mediante un flujo de agua, que entra en el equipo a 10 MPa y 49°C y que sale a 100 bares, con x = 1. Halle el gasto másico del agua.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el intercambio adiabático (con el exterior) de calor entre un metal líquido (que pierde calor) y agua (que gana calor).

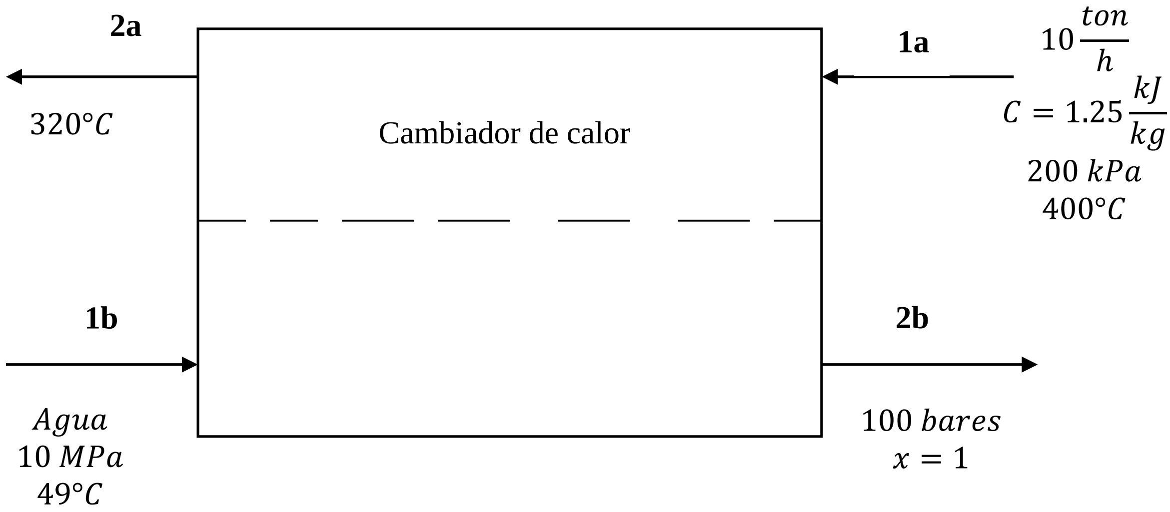
La primera ley es:

Del lado del metal líquido, $Q_{Pml} = mP_{ml}C(T_{2a} - T_{1a})$, y del lado del agua, $\dot{Q}_a = mP_a(h_{2b} - h_{1b})$ y el balance de calor es $Q_{Pa} = -\, Q_{Pml}$

1b:10 MPa, 49°C ; el estado es líquido comprimido ; asumiendo que es líquido saturado 49°C, se obtiene interpolando de la tabla A.1:

$$\frac{(209.33 - \; 188.45)\,\frac{kJ}{kg}}{(50 - \; 45)\,℃} = \frac{(209.33 - \; h_{1b})\,\frac{kJ}{kg}}{(50 - \; 49)\,℃}$$

$$h_{1b} = 205.154\; \frac{kJ}{kg}$$



2b: 100 bares, x = 1; de la tabla A.2:

$$h_g = h_{2b} = 2{,}724.7\ \frac{kJ}{kg}$$

Calculando con las ecuaciones de los balances se obtiene:

$$\dot{m}_a = \frac{-\,10{,}000\,\frac{kg}{h} * 1.25\,\frac{kJ}{kg * K} * (593 - 673)\ K}{(2{,}724.7 - 205.154)\,\frac{kJ}{kg} = 396.9\,\frac{kg}{h}} = 0.1103\,\frac{kg}{s}$$

64. Un mezclador tiene dos entradas y una salida. Las entradas son 76.5 kg/h de agua a 200 kPa y 70°C y 37.4 kg/h de agua a 2 bares y 200°C. La salida está a 2 bares. El equipo recibe 15 kW de potencia mecánica y despide 1500 J/s de potencia calorífica. Determine el estado de la corriente de salida.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el mezclado isobárico de dos corrientes de agua.

La primera ley:

$$\dot{m}\Delta h = \dot{Q} - \dot{W}$$

ó

$$\dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_{1a} h_{1a} - \dot{m}_{1b} h_{1b} = \dot{Q} - \dot{W}$$

El balance de masa es:

$$\dot{m}_{1a} + \dot{m}_{1b} = \dot{m}_2$$

Combinando:

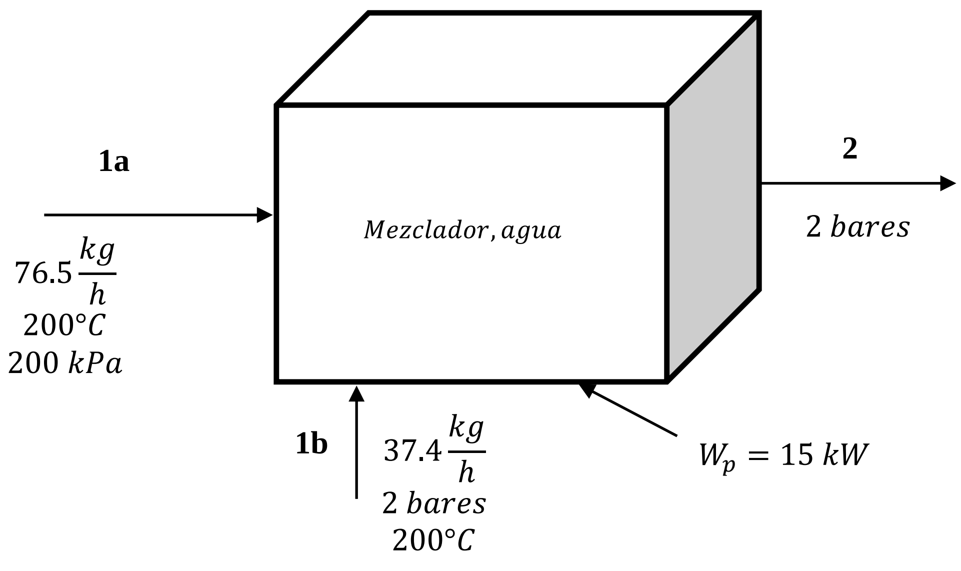
$$h_2 = \frac{\dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{1a}h_{1a} + \dot{m}_{1b}h_{1b}}{\dot{m}_{1a} + \dot{m}_{1b}}$$

1a:
200 kPa, 70°C; de la tabla A.2 a 200 kPa la temperatura de saturación es de 120.23°C, entonces el estado es líquido comprimido. Simplificando a líquido saturado a 70°C:

$h_{1a} = 292.98 \frac{kJ}{kg}$ de la tabla A.1.

1b: 2 bares, 200 °C. de acuerdo con lo anterior se observa que el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_{1b} = 2{,}870.5 \ \frac{kJ}{kg}$$



2:
calculando de la primera ley:

$$h_2 = \frac{\left(-1.5\frac{kJ}{s}+15\frac{kJ}{s}\right)*3,600\frac{s}{h}+76.5\frac{kg}{h}*292.98\frac{kJ}{kg}+37.4\frac{kg}{h}*2870.5\frac{kJ}{kg}}{113.9\frac{kg}{h}} = 1,566.02\ \frac{kJ}{kg}$$

Como la presión es de 200 kPa, se obtiene de la tabla A.2:

$$h_f = 504.7\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2,201.9\ \frac{kJ}{kg}$$

y se observa que el estado es vapor húmedo con calidad:

$$x_2 = \frac{(1,566.02 - 504.7)\frac{kJ}{kg}}{201.9\frac{kJ}{kg}} = 0.482$$

65. El corazón de una persona en una situación normal se esquematiza en la figura. En una situación de tensión o de angustia el trabajo del corazón se quintuplica. Calcule el trabajo del corazón en el D.F. en un momento de angustia. Considere los datos mostrados en el dibujo y tome las propiedades de la sangre como las del agua.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el flujo incompresible de sangre (cuyas propiedades se suponen las del agua) a través del corazón.

La primera ley es:

$$m_P[\Delta(\nu_P) + \Delta E_C) = -W_{Pf}$$

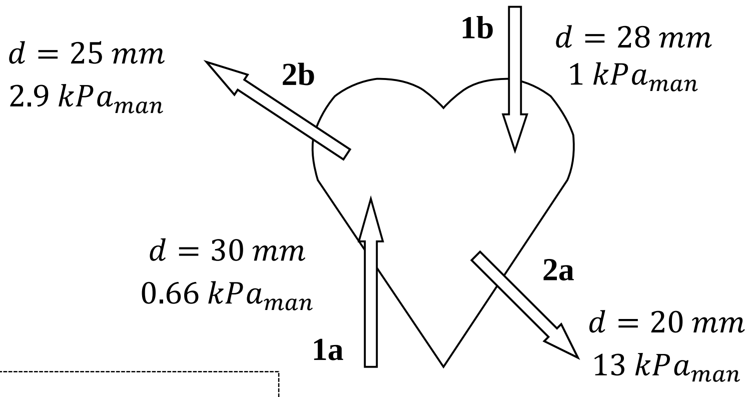
ó

$$\dot{V}(P_{2a} + P_{2b} - P_{1a} - P_{1b}) + \dot{m}\left[\frac{\left(\mathrm{v}_{2a}^2 + \mathrm{v}_{2b}^2 - \mathrm{v}_{1a}^2 - \mathrm{v}_{1b}^2\right)}{2}\right] = -\dot{W}_f$$

El balance de masa es:

$$\dot{m}_{1a} + \dot{m}_{1b} = \dot{m}_{2a} + \dot{m}_{2b}$$

$\dot{m}_{1a} = \dot{m}_{1b} = \dot{m}_{2a} = \dot{m}_{2b}$



$90\dfrac{ml}{s}\ por\ cada\ conducto$

$P_{atm} = 78\ kPa$

Realizando cálculos considerando:

$$\rho_{agua} = 998\frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m} = 0.08982\frac{kg}{s}$$

$$A = \pi r^2$$

$$A_{1a} = 0.0007069\ m^2$$

$$A_{2a} = 0.0003142\ m^2$$

$$A_{1b} = 0.000616\ m^2$$

$$A_{2b} = 0.0004909\ m^2$$

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man}\ P_{1a} = 78.66\ kPa$$

$$P_{1b} = 79\ kPa$$

$$P_{2a} = 91\ kPa$$

$$P_{2b} = 80.9\ kPa$$

$$\mathrm{v} = \frac{\dot{m}}{A\rho}$$

$$\mathrm{v}_{1a} = 0.1273\,\frac{m}{s}$$

$$\mathrm{v}_{1b} = 0.1461\,\frac{m}{s}$$

$$\mathrm{v}_{2a} = 0.2864\,\frac{m}{s}$$

$$\mathrm{v}_{2b} = 0.1833\,\frac{m}{s}$$

La potencia es entonces:

$$\dot{W}_f = \left[-90X10^{-6}\ \frac{m^3}{s} * (91 + 80.9 - 78.66 - 79)\ kPa\right] - \left\{(0.08982\,\frac{kg}{s}) * \left[\frac{(0.28642 + 0.18332 - 0.14612 - 0.12732)\frac{m^2}{s^2}}{2}\right] * \left(\frac{1\frac{kJ}{kg}}{1{,}000\frac{m^2}{s^2}}\right)\right\}$$

$$\dot{W}_f = -0.001286\ kW = -1.286\ W\ (entra)$$

En estado de angustia:

$$\dot{W}_f = -5 * 1.286\ W = -6.43\ W\ (entra)$$

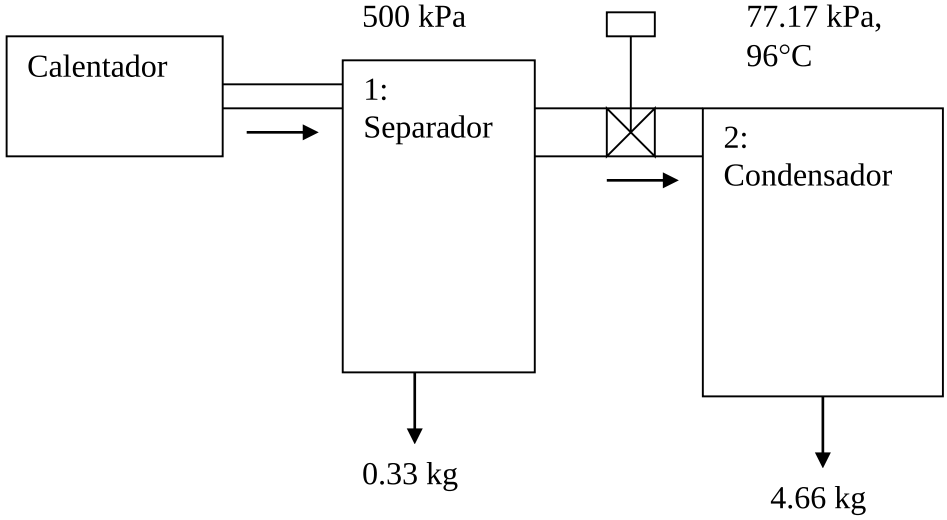
66*[1]. En el laboratorio de Termodinámica de la FI se modifica la práctica del calentador, pues el vapor que se produce es excesivamente húmedo: se coloca un separador mecánico de líquido antes de la válvula, se estrangula el resto de la mezcla y se mide la masa de esta última. El separador retira 330.0 g de líquido, se estrangulan 4.66 kg de mezcla desde 500 kPa hasta 96°C y 77.17 kPa. Calcule la humedad en el calentador.

Solución:

Análisis: el sistema esa abierto y el proceso consiste en determinación de la calidad de un vapor separando mecánicamente la humedad y estrangulando el vapor húmedo.

---

*Los problemas con un asterisco han sido resueltos con el programa EES y se muestran al final del capítulo.



En la válvula de estrangulamiento $h_1 = h_2$.

2:
77.17 kPa, 96°C; con datos de la tabla A.2 y A.3 se prepara la siguiente tabla de valores:

	75 kPa		77.17 kPa		100 kPa	
T_{sat} [°C], entalpía $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	91.78	2,663	92.46	2664.09	99.63	2,675.5
Entalpía a 100°C	2,679.53		2,679.24		2,676.2	

Interpolando:

$$h_2 = 2{,}671.2\ \frac{kJ}{kg}$$

1: 500 kPa, $h_1 = 2{,}671.2\frac{kJ}{kg}$; de la tabla A.2:

$$h_f = 640.23\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}108.5\frac{kJ}{kg}$$

y el estado es vapor húmedo con calidad:

$$x_1 = \frac{(2{,}671.2 - 640.23)\ \frac{kJ}{kg}}{2108.5\,\frac{kJ}{kg}} = 0.9632$$

La masa de vapor en el separador es:

$$0.9632 * 4.66\ kg = 4.489\ kg$$

y de líquido 0.171 kg

En el calentador la masa de líquido total es:

$$0.171 + 0.33\ kg = 0.501\ kg$$

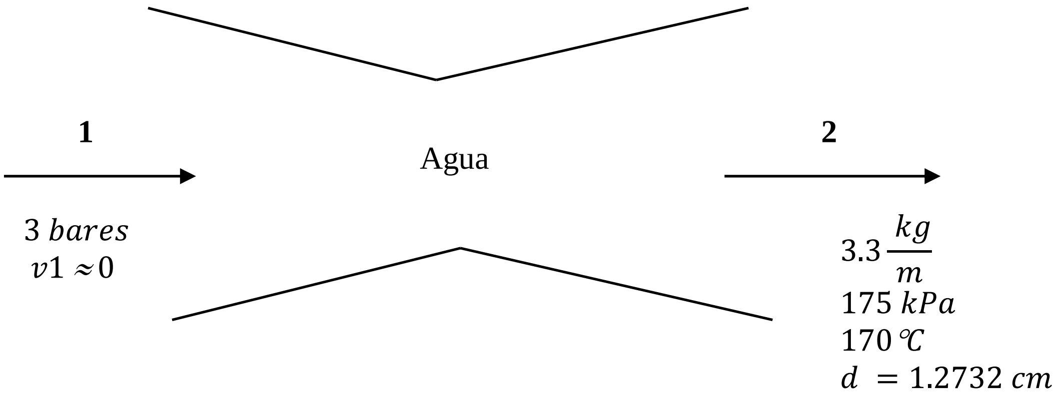
y la calidad del vapor es:

$$x_{cal} = \frac{4.489\ kg}{(4.66 + 0.33)\ kg} = 0.8996$$

67. Una tobera adiabática descarga 3.3 kg/min de agua a 175 kPa y 170°C por una salida de 1.2732 cm de diámetro. El agua ingresa a 3 bares con una velocidad despreciable. Calcule la temperatura del agua en la entrada.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el flujo de agua a través de una tobera adiabática.



La primera ley:

$$\Delta h + \Delta E_C = 0$$

ó

$$h_2 - h_1 + \frac{\mathrm{v}_2^2}{2} = 0$$

La conservación de masa es:

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{\mathrm{v}_2 A_2}{v_2}$$

2: 175 kPa, 170°C; De la tabla A.2, la temperatura de saturación a 175 kPa es 116.06°C, entonces el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_2 = 2{,}811.1 \frac{kJ}{kg}$$

$v_2 = 1.2636 \frac{m^3}{kg}$ (haciendo 6 interpolaciones)

De la primera ley:

$$h_1 = 2{,}811.1 \ \frac{kJ}{kg} + \left\{ \frac{\left(3.3 \frac{kg}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} * 1.2636 \ \frac{m^3}{kg}\right)^2}{\left[\pi * \left(\frac{0.012732}{2}\ m\right)^2\right] * 2} \right\} * \left(\frac{1 \frac{kJ}{kg}}{1{,}000 \frac{m^2}{s^2}} \right) \frac{kJ}{kg}$$

$$h_1 = 2{,}960.133 \ \frac{kJ}{kg}$$

1: 3 bares, $h_1 = 2{,}960.133 \frac{kJ}{kg}$; de la tabla A.2, a 3 bares $h_g = 2{,}725.3 \frac{kJ}{kg}$ y el estado es vapor sobrecalentado, por lo que usando la tabla A.3, se obtiene T_2 = 246.34°C (interpolando).

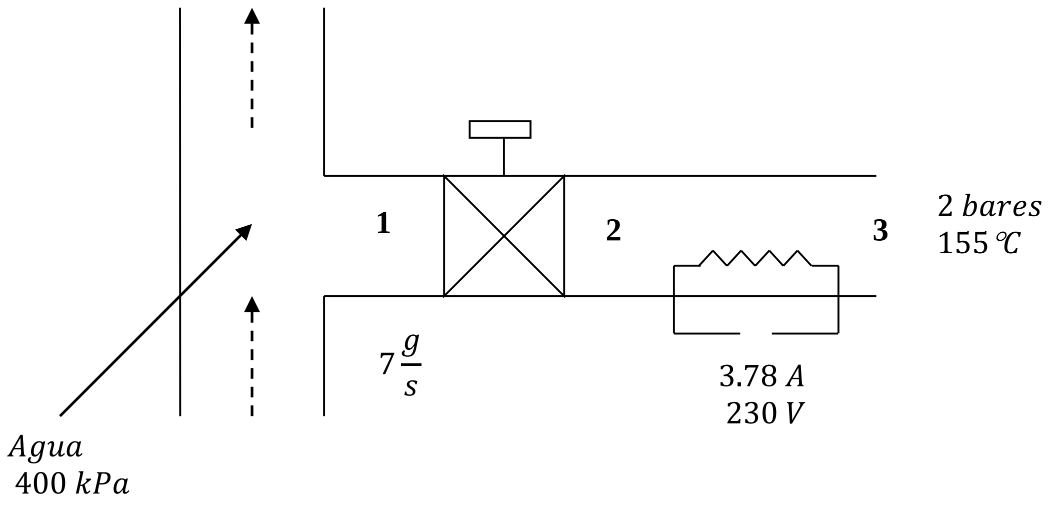
68. De una tubería que conduce agua a 400 kPa se extrae una muestra de 7 g/s, para pasarla por una válvula adiabática parcialmente abierta y luego por un conducto, donde hay un resistor por donde fluyen 3.78 A a 230 V. La muestra llega a 2 bares y 155°C luego de su paso por el resistor. Calcule la calidad del agua en la tubería.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y consiste en la determinación de la calidad de un vapor circulando por una tubería.

La primera ley en la tubería es $h_1 = h_2$ y a través del resistor:

$$\dot{m}(h_3 - h_2) = -(-\dot{W}_{ele})$$



3: 2 bares, 155°C; de la tabla A.2, a 200 kPa la temperatura de saturación es 120.23°C y por
lo tanto el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3:

$$h_3 = 2{,}778.97\ \frac{kJ}{kg}$$

2:
utilizando la primera ley:

$$h_2 = 2{,}778.97\ \frac{kJ}{kg} - \frac{(3.78\ A * 230\ V)\left(\frac{1\frac{kJ}{s}}{1000\ A * V}\right)}{0.007\frac{kg}{s}} = 2654.77\ \frac{kJ}{kg}$$

1: 400 kPa y $h_1 = 2{,}654.77\frac{kJ}{kg}$; de la tabla A.2, a 400 kPa:

$$hf = 604.74\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}133.8\ \frac{kJ}{kg}$$

por lo que la calidad es:

$$x_1 = \frac{(2{,}654.77 - 604.74)\,\frac{kJ}{kg}}{2{,}133.8\ \frac{kJ}{kg}} = 0.9607$$

69. Una turbina adiabática produce 750 MW y recibe 850 kg/s de agua a 800 kPa y 500°C. Se le extrae una corriente a 200 kPa y 295°C y la corriente principal sale a 5 kPa y x = 0.98. Calcule el gasto másico que se extrae.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso es la expansión de agua en una turbina adiabática.

La primera ley es:

$$\dot{m}\Delta h = -\dot{W}_f$$

ó

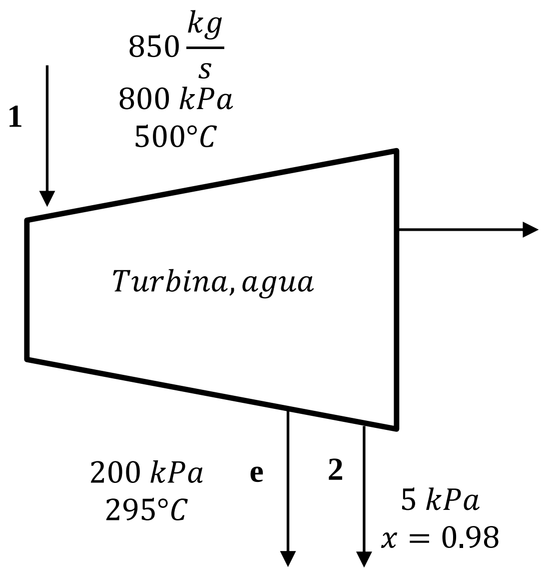
$$\dot{m}_e h_e + \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_1 h_1 = -\dot{W}_f$$

El balance de masa es:

$$\dot{m}_e + \dot{m} = \dot{m}_1$$

Combinando las ecuaciones se obtiene:

$$\dot{m}_e = \frac{\left[-\dot{W}_f + \dot{m}_1(h_1 - h_2)\right]}{h_e - h_2}$$



1: 800 kPa, 500°C; el estado es vapor sobrecalentado porque la temperatura excede la crítica y de la tabla A.3:

$$h_1 = 3{,}480.6 \ \frac{kJ}{kg}$$

2: 5 kPa, x = 0.98; de la tabla A.2, a 5 kPa:

$$h_f = 137.82 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}423.7 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 = 137.82 \ \frac{kJ}{kg} + \left(0.98 * 2423.7 \ \frac{kJ}{kg}\right) = 2{,}513.046 \ \frac{kJ}{kg}$$

e:
200 kPa, 295°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_e = 3{,}061.72 \ \frac{kJ}{kg}$$

Utilizando la primera ley se obtiene el gasto másico de la corriente extraída:

$$m_e = \frac{\left[-750{,}000 \frac{kJ}{s} + 850 \frac{kg}{s} * (3{,}480.6 - 2{,}513.046) \ \frac{kJ}{kg}\right]}{(3{,}061.2 - 2{,}513.046) \ \frac{kJ}{kg}}$$

$$m_e = 132.118 \frac{kg}{s}$$

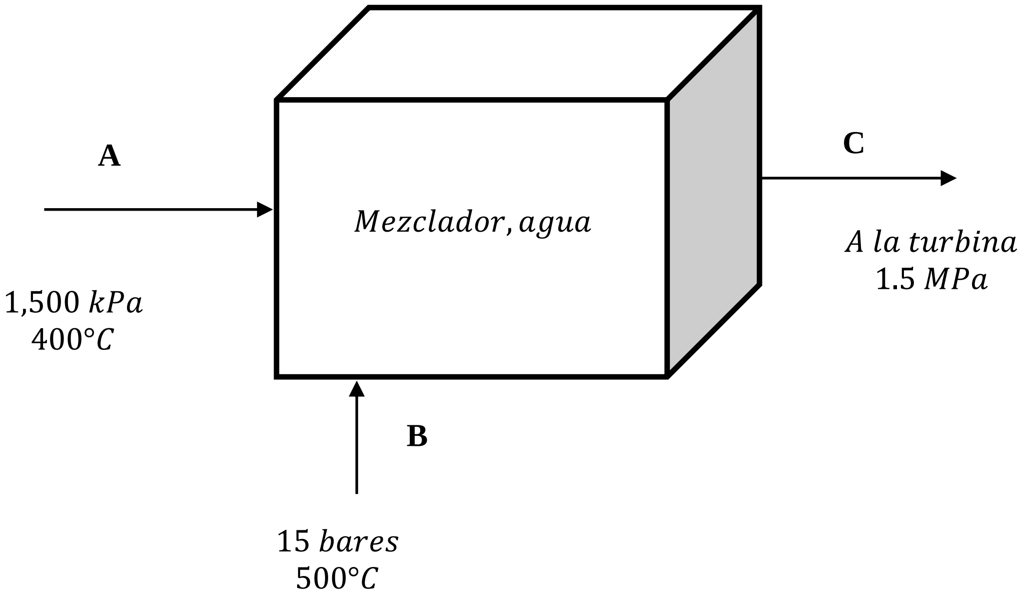
y la fracción extraída es:

$$y = \frac{132.118 \frac{kg}{s}}{850 \frac{kg}{s}} = 0.1554$$

70. Una turbina recibe agua de un mezclador adiabático que combina el agua de dos calderas. La caldera A produce el agua a 1500 kPa y 400°C, mientras que la caldera B la produce a 15 bares y 500°C. El gasto másico que envía A es la tercera parte del que envía B. La entrada de la turbina está a 1.5 MPa. ¿Cuál es la temperatura de la corriente de entrada a la caldera?

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el mezclado (supuesto adiabático) de dos corrientes de agua.



La primera ley:

$$\dot{m}\Delta h = 0$$

ó

$$\dot{m}_C h_C - \dot{m}_A h_A - \dot{m}_B h_B = 0$$

La conservación de masa es:

$$\dot{m}_C = \dot{m}_A + \dot{m}_B = \frac{\dot{m}_B}{3} + \dot{m}_B = \frac{4\dot{m}_B}{3}$$

Combinando las ecuaciones se obtiene:

$$h_C = \frac{h_A + 3h_B}{4}$$

A: 1500 kPa, 400°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_A = 3{,}255.85 \frac{kJ}{kg}\ (interpolando)$$

B: 15 bares, 500°C; nuevamente es vapor sobrecalentado y:

$$h_B = 3{,}473.05\ \frac{kJ}{kg}$$

De la primera ley:

$$h_C = \frac{(3{,}255.85\ +\ 3 * 3{,}473.05)\ \frac{kJ}{kg}}{4}\ =\ 3{,}418.75\ \frac{kJ}{kg}$$

C: 1.5 MPa, $h_C = 3{,}418.75\ \frac{kJ}{kg}$; es vapor sobrecalentado y:

T_C = 475°C (interpolando)

71*. De un tanque mezclador salen 3500 l/min de freón 12 como líquido saturado a 800 kPa. Al tanque se alimentan las corrientes:

(a) freón 12 a 8 bares y 60°C
(b) freón 12 a 8bares y 10°C
(c) freón 12 a 1 MPa y 90°C

Esta última se estrangula hasta la presión de funcionamiento del tanque. Los gastos másicos de (a) y de (c) son iguales. Calcule el gasto másico de (b).

Solución

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el mezclado isobárico (supuesto adiabático) de tres corrientes de R12.

La primera ley:

$$\dot{m}\Delta h = 0$$

ó

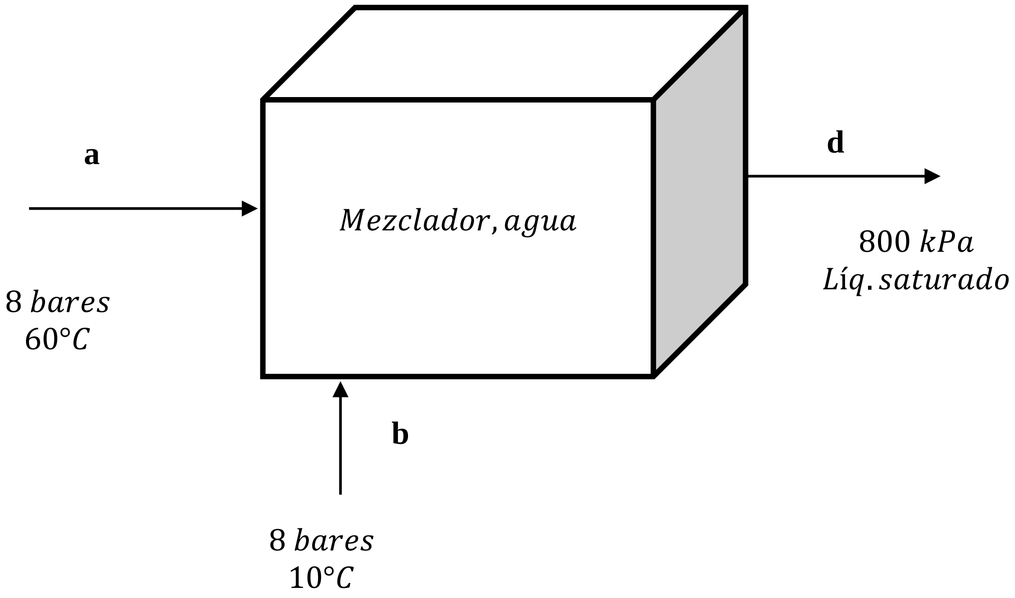
$$\dot{m}_d h_d - \dot{m}_a h_a - \dot{m}_b h_b - \dot{m}_c h_c = 0$$

y la conservación de masa es:

$$\dot{m}_d = \dot{m}_a + \dot{m}_b + \dot{m}_c = 2\dot{m}_a + \dot{m}_b$$

Combinando ambas ecuaciones se obtiene:

$$\dot{m}_b = \frac{m_d(h_a + h_c - 2h_d)}{h_a + h_c - 2h_b}$$



72. Una corriente de agua entra en un difusor a un vacío de 8 kPa, 160°C y 200 m/s por una sección de 95 cm^2. El fluido sale a 100 kPa y 60 m/s. Si la pérdida calorífica fuese 0.8 J/g, calcule el área de la sección en la salida. El entorno está a 78 kPa y 10°C.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el flujo de una corriente de agua a través de un difusor.

La primera ley:

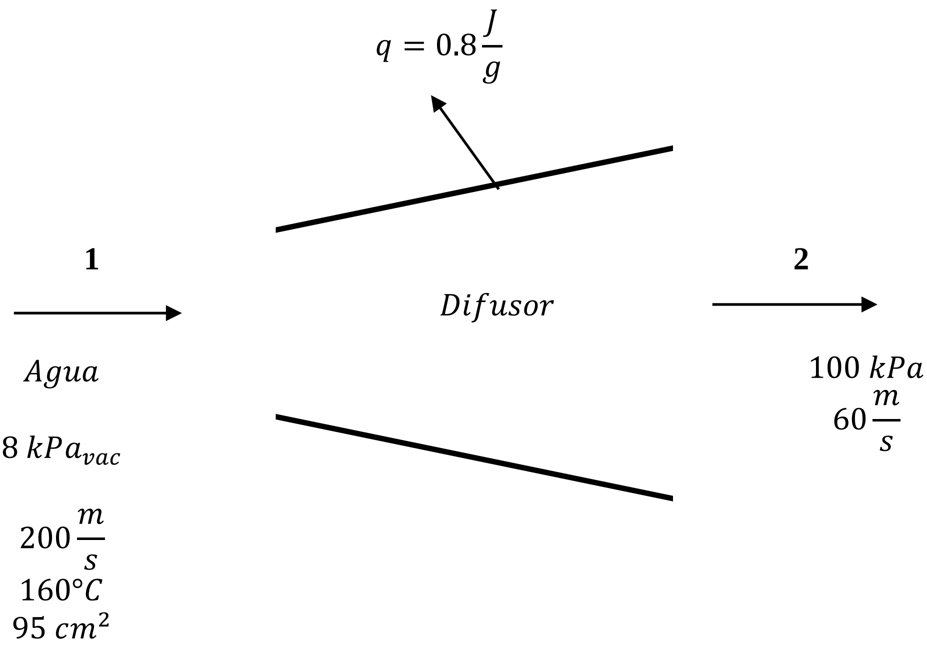
$$\Delta h + \Delta E_C = q$$

ó

$$h_2 = h_1 + q + \left[\frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2}\right]$$

La conservación de masa establece que:

$$\dot{m}_1 = \frac{A_1 \mathrm{v}_1}{v_1} = \dot{m}_2 = \frac{A_2 \mathrm{v}_2}{v_2}$$



1: 8 kPa_{vac} = 70 kPa_{abs}, 160°C; es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_1 = 2{,}813.94\ \frac{kJ}{kg}$$

$v_1 = 3.1829 \frac{m^3}{kg}$ (realizando 2 interpolaciones para la entalpia y cuatro para el volumen específico). Del balance de masa, el gasto másico es:

$$\dot{m}_1 = \frac{\left(95\ X\ 10^{-4}\ m^2 * 200 \frac{m}{s}\right)}{3.1829\ \frac{m^3}{kg}} = 0.5969 \frac{kg}{s}$$

2: 100 kPa; usando la primera ley se obtiene la entalpia de salida:

$$h_2 = -0.8\ \frac{kJ}{kg} + 2{,}813.94\ \frac{kJ}{kg} - \left\{ \frac{[(60)^2 - (200)^2] \frac{m^2}{s^2}}{2 * \left(\frac{1\ \frac{kJ}{kg}}{1{,}000\ \frac{m^2}{s^2}} \right)} \right\} = 2{,}794.94\ \frac{kJ}{kg}$$

El estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.2:

$$v_2 = 1.9806\,\frac{m^3}{kg}$$

Finalmente, de la conservación de masa:

$$A_2 = 0.5969\,\frac{kg}{s} * \frac{1.9806\,\frac{m^3}{kg}}{60\,\frac{m}{s}} = 0.0197\,m^2$$

73. Fluye R12 en estado estacionario a través de un tubo horizontal largo que tiene un diámetro interno de 4 cm. Entran 17 kg/min, como vapor saturado y seco a – 10°C, y salen a 5°C y 2 bares. Calcule el cambio en la energía cinética por unidad de masa del refrigerante, en kJ/kg, y el flujo de calor entre el refrigerante y los alrededores, en kW.

Solución:
Análisis: El sistema es abierto y el proceso consiste en el flujo de R12 a través de una tubería.

La conservación de masa es:

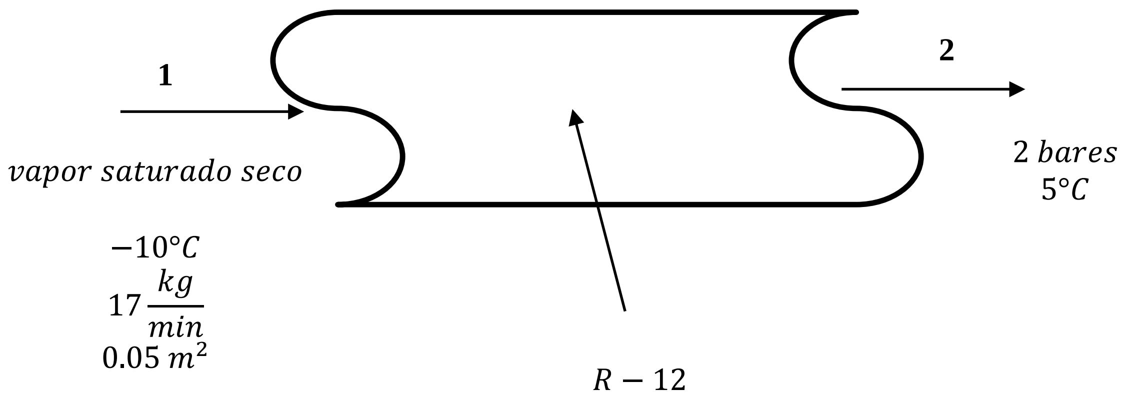
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{A_1 \mathrm{v}_1}{v_1} = \frac{A_2 \mathrm{v}_2}{v_2} = 17\,\frac{kg}{min} * 1\,\frac{min}{60\,s} = 0.2833\,\frac{kg}{s}$$

La primera ley es:

$$\dot{m}(\Delta h + \Delta E_C) = \dot{Q}$$

ó

$$\dot{m}\left\{h_2 - h_1 + \left[\frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2{,}000}\right]\right\} = \dot{Q}$$



1: - 10°C, vapor saturado seco; de la tabla C.1:

$$h_1 = 183.19\,\frac{kJ}{kg}$$

$$v_1 = 0.07665\ \frac{m^3}{kg}$$

2: 2 bares, 5°C; es vapor sobrecalentado y de la tabla C.3:

$$h_2 = 192.55\,\frac{kJ}{kg}$$

$$v_2 = 0.0906\,\frac{m^3}{kg}$$

El cambio de energía cinética es:

$$\Delta E_C = \frac{\left(0.2833\,\frac{kg}{s} * \frac{v_2}{A_2}\right)^2 - \left(0.2833\,\frac{kg}{s} * \frac{v_1}{A_1}\right)^2}{2{,}000}$$

$$\Delta E_C = \frac{\left\{\left[\frac{0.2833\frac{kg}{s}*0.0906\frac{m^3}{kg}}{\pi*\left(\frac{0.04}{2}\right)^2 m^2}\right]^2 - \left[\frac{0.2833\frac{kg}{s}*0.07665\frac{m^3}{kg}}{\pi*\left(\frac{0.04}{2}\right)^2 m^2}\right]^2\right\}}{2*1{,}000\frac{\frac{m^2}{s^2}}{\frac{kJ}{kg}}}$$

$$\Delta E_C = 0.001572\,\frac{kJ}{kg}$$

El flujo de calor es:

$$\dot{Q} = 0.2833\,\frac{kg}{s} * \left[(192.55 - 183.19)\,\frac{kJ}{kg} + 0.001572\,\frac{kJ}{kg}\right] = 2.6533\,\frac{kJ}{s}$$

$$\dot{Q} = 2.6533\,kW\ (entra)$$

74. En un intercambiador de calor a contracorriente entran 60 kg/s de agua a 50 kPa y calidad igual a uno, y salen a 250°C. Este calentamiento se logra con una corriente de aire caliente [R = 0.287 J/g *K, k = 1.4], que entra a mil °C y que sale a 450°C y 77.17 kPa. Calcule el gasto volumétrico del aire en la entrada.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el intercambio de calor entre una corriente de agua (que es isobárica y acepta calor) y una corriente de aire (supuesto gas ideal y que pierde calor).

La primera ley es para el agua:

$\dot{Q}_w = \dot{m}_w(h_{2a} - h_{1a})$

y para el aire:

$\dot{Q}_a = \dot{m}_a(h_{2b} - h_{1b}) = \dot{m}_a C_P(T_{2b} - T_{1b})$

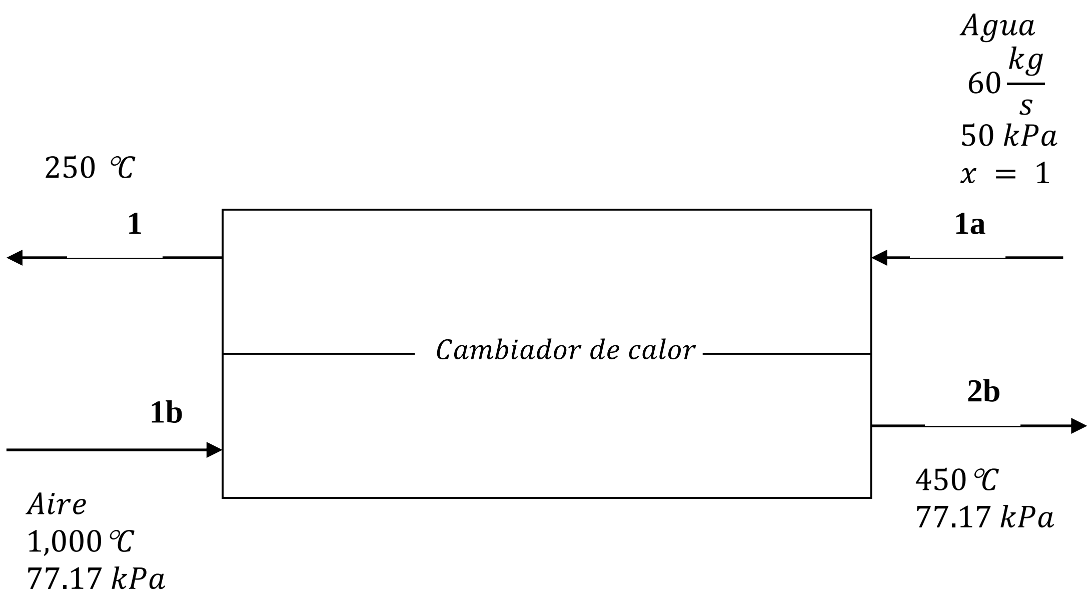
Para el aire:

$C_P = \frac{kR}{k-1}$

$P\dot{V} = \dot{m}RT$

El balance de calor es:

$\dot{Q}_w = -\dot{Q}_a$



1a: 50 kPa, x = 1; de la tabla A.2:

$h_g = h_{1a} = 2{,}645.9 \frac{kJ}{kg}$

2a: 250°C, 50 kPa; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$h_{2a} = 2{,}976 \frac{kJ}{kg}$

Utilizando el balance calor y la primera ley se obtiene:

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w(h_{2a} - h_{1a})}{-C_P(T_{2b} - T_{1b})}$$

$$\dot{m}_a = \frac{60\frac{kg}{s} * (2{,}976 - 2{,}645.9)\frac{kJ}{kg}}{-\left[\frac{1.4 * 0.287 \frac{kJ}{kg * K}}{(1.4 - 1)] * (723 - 1273)\ K}\right]}$$

$$\dot{m}_a = 35.845\ \frac{kg}{s}$$

y de la ecuación del gas ideal:

$$\dot{V} = \frac{35.845\frac{kg}{s} * 0.287\frac{kJ}{kg * K} * 1{,}273\ K}{77.17\ kPa} = 169.727\frac{m^3}{s}$$

75. Hay que bombear 3600 litros/min de agua a 20 °C hacia la parte superior de un edificio de 80 m de altura. Considere que la bomba es adiabática, que g = 9.78 m/s^2 y que P_{DF} = 77.17 kPa. Calcule la potencia necesaria para este servicio.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el bombeo de agua (supuesto flujo incompresible) para vencer una altura.

La primera ley es:

$$\dot{m}\Delta E_P = \dot{m}_g \Delta z = -\dot{W}_f$$

El gasto másico es:

$$\dot{m} = \dot{V}\rho$$

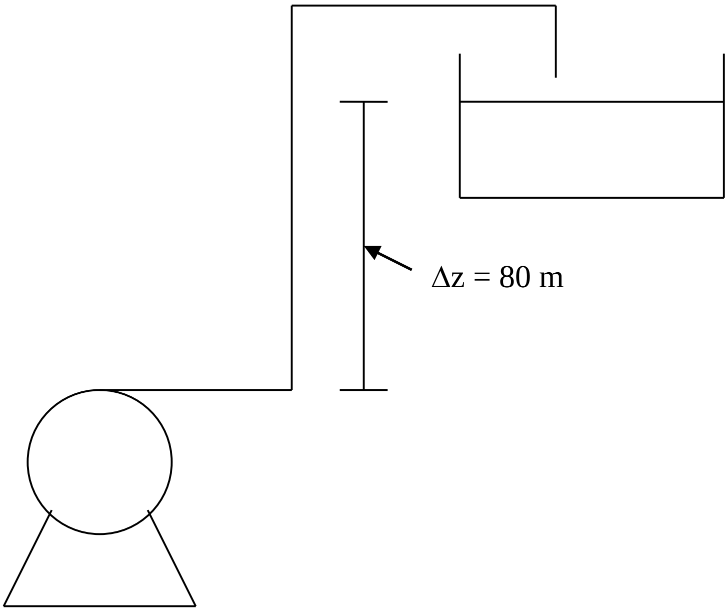
y para el agua:

$$\rho = 998\frac{kg}{m^3}$$

Calculando:

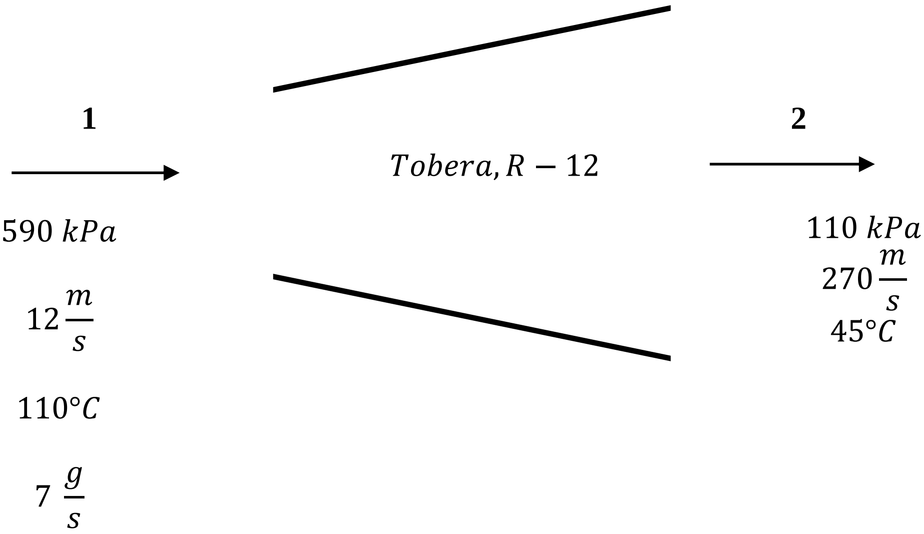
$$\dot{W}_f = -3.6\frac{m^3}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} * 998\ \frac{kg}{m^3} * 9.78\frac{m}{s^2} * 80\ m = -46{,}850.112\ \frac{J}{s} = -46{,}850.112\ W$$

$$\dot{W}_f = \frac{-46.85\ kW * 1\ hp}{0.746\ kW} = -62.8\ hp\ (entra)$$



76*. Una tobera recibe 7 g/s de freón 12 a 590 kPa, 110°C y 12 m/s, y los entrega a 110 kPa, 270 m/s y 45°C. Calcule el calor y su dirección.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el flujo de R12 a través de una tobera.

La primera ley es:

$$\dot{m}(\varDelta h + \varDelta E_C) = \dot{m}\left[(h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}\right] = \dot{Q}$$

1: 590 kPa, 110°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla C.3:

$$h_1 = 258.34 \ \frac{kJ}{kg} \ (interpolando)$$

2: 110 kPa, 45°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla C.3:

$$h_2 = 219.30 \ \frac{kJ}{kg} \ (interpolando)$$

El calor se determina con la primera ley:

$$\dot{Q} = 0.007 \frac{kg}{s} * \left\{ (219.3 - 258.34) \frac{kJ}{kg} + \frac{(270)^2 - (12)^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 * \left(\frac{1{,}000 \frac{m^2}{s^2}}{1 \frac{kJ}{kg}} \right)} \right\} = -0.0186 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{Q} = -0.0186 \ kW \ (sale)$$

77. Si la tobera del problema 76 fuese adiabática, ¿a qué temperatura saldría el freón 12?

Solución:

Ahora la primera ley:

$$\varDelta h + \varDelta E_C = 0$$

ó

$$h_2 = h_1 - \left[\frac{v_2^2 - v_1^2}{2{,}000}\right] = 258.34 \ \frac{kJ}{kg} - \frac{[(270)^2 - (12)^2] \frac{m^2}{s^2}}{\left[2 * \left(\frac{1{,}000 \ \frac{m^2}{s^2}}{1 \frac{kJ}{kg}} \right)\right]} = 221.962 \frac{kJ}{kg}$$

Con esa entalpia y 110 kPa de presión se obtiene:

$$T_2 = 49.205 \ ℃$$

de la tabla C.3 después de hacer 3 interpolaciones.

78. Una corriente de 9 kg/s de un gas ideal [R = 0.287 J/g*K, k = 1.4] entra en una máquina a 78 kPa, 21°C con una velocidad despreciable y sale de ella a 234 kPa y 30°C por una tubería de 35 cm de diámetro. La máquina recibe 450 kW de trabajo de flecha. Calcule el calor y su dirección.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el flujo de un gas ideal a través de una máquina.

El balance de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{A_2 \mathrm{v}_2}{v_2}$$

y la primera ley es:

$$\dot{m}(\Delta h + \Delta E_C) = \dot{Q} - \dot{W}_f$$

ó

$$\dot{Q} = \dot{W}_f + \dot{m}\left\{h_2 - h_1 + \left[\frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2}\right]\right\}\Big\}$$

Para el gas ideal:

$$h = C_P T$$

$$C_P = \frac{kR}{k - 1}$$

$$PV = mRT$$

Del problema $\mathrm{v}_1 \approx 0$

Calculando:

$$v_2 = \frac{\dot{m}_2 R T_2}{A_2 P_2} = \frac{\left(9\,\frac{kg}{s} * 0.287\,\frac{kJ}{kg * K} * 303\ K\right)}{\pi * \left(\frac{0.35}{2}\right)^2\ m^2 * 234\ kPa} = 34.764\,\frac{m}{s}$$

$$\dot{Q} = W_{Pf} + \dot{m}\left[C_P(T_2 - T_1) + \left(\frac{\mathrm{v}_2^2}{2{,}000}\right)\right]$$

$$\dot{Q} = -450\frac{kJ}{s} + 9\frac{kg}{s} * \left\{[1.0045\frac{kJ}{kg * K} * (303 - 294)\ K] + \left[\frac{(34.764)^2\frac{m^2}{s^2}}{2 * \frac{1{,}000\frac{m^2}{s^2}}{1\frac{kJ}{kg}}}\right]\right\}$$

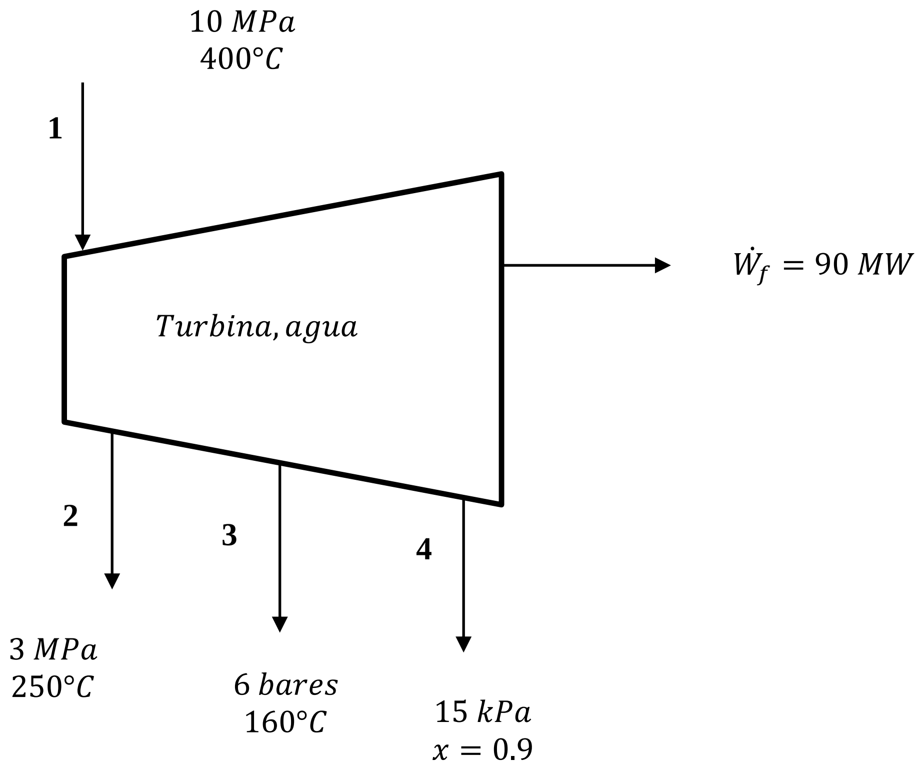
$$\dot{m} = -363.1968\ \frac{kJ}{s} = -363.2\ kW\ (sale)$$

79[*]. Una turbina adiabática recibe el agua a 10 MPa y 400°C y produce las corrientes:

(2) a 3 MPa y 250°C
(3) a 6 bares y 160°C
(4) a 15(kPa) y una calidad de 90 %

El gasto másico de (4) es el doble del de (2), y el gasto másico de (2) es el triple del de (3). Si la turbina ha de producir 90(MW), calcule el gasto másico que debe recibir.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es la expansión adiabática de agua en una turbina.

La primera ley es:

$$\dot{m}\Delta h = -\dot{W}_f$$

ó

$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_1 h_1 = -\dot{W}_f$$

El balance de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \dot{m}_4$$

de los datos del problema:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \frac{\dot{m}_2}{3} + 2\dot{m}_2 = 3.33\dot{m}_2$$

Combinando ambas ecuaciones:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{W}_f}{h_1 - 0.3h_2 - 0.1h_3 - 0.6h_4}$$

1: 10 MPa, 400°C; es vapor sobrecalentado. De la tabla A.3:

$$h_1 = 3{,}096.5 \frac{kJ}{kg}$$

2: 3 MPa, 250°C; es vapor sobrecalentado porque la temperatura es mayor que la de saturación a 3 MPa (233.9°C) y de la tabla A.3:

$$h_2 = 2{,}855.8 \ \frac{kJ}{kg}$$

3: 6 bares, 160°C; aproximadamente es vapor saturado y seco porque la temperatura de saturación a 6 bares es 158.85°C, entonces de la tabla A.2 :

$$h_3 = 2{,}756.8 \frac{kJ}{kg}$$

4: 15 kPa, x = 0.9; de la tabla A.2, a 15 kPa:

$$h_f = 2{,}25.94 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}373.1 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_4 = 225.94 \frac{kJ}{kg} + 0.9 * 2{,}373.1 \frac{kJ}{kg} = 2{,}361.73 \frac{kJ}{kg}$$

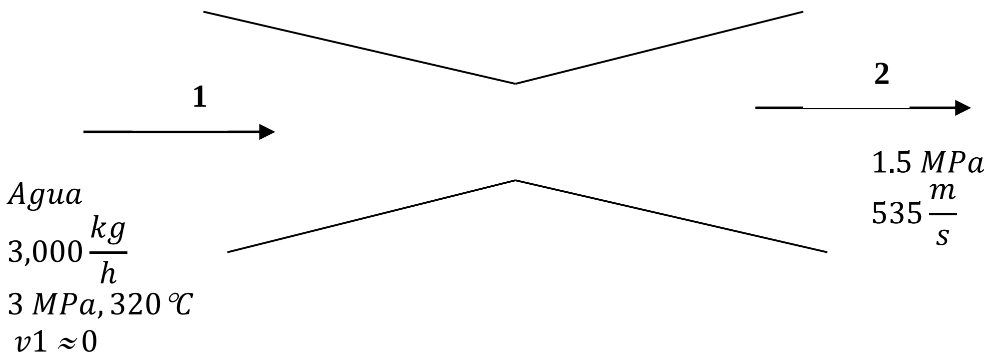
El gasto másico a la entrada de la turbina es:

$$\dot{m}_1 = \frac{90{,}000 \frac{kJ}{s}}{(3{,}096.5 - 0.3 * 2{,}855.8 - 0.1 * 2{,}756.8 - 0.6 * 2{,}361.73) \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_1 = 164.521 \frac{kg}{s} = 592.28 \frac{ton}{h}$$

80. En una tobera adiabática entran 3,000 kg/h de agua a 3 MPa, 320°C y una velocidad despreciable. Salen a 1.5 MPa y 535 m/s. Calcule el diámetro en la salida de la tobera.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el flujo de una corriente de agua a través de una tobera.

La primera ley es:

$$\Delta h + \Delta E_C = 0$$

ó

$$h_2 = h_1 - \left(\frac{\mathrm{v}_2^2}{2}\right)$$

El balance de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = 3{,}000\,\frac{kg}{h} * \frac{1\ h}{3{,}600\ s} = \frac{A_2\mathrm{v}_2}{v_2} = \left[\frac{\left(\frac{\pi d_2^2}{4}\right)\mathrm{v}_2}{v_2}\right]$$

de donde:

$$d_2 = \left[\frac{0.833\,\frac{kg}{s} * v_2 * 4}{\pi * 535\,\frac{m}{s}}\right]^{0.5} = \left(0.001982\,\frac{kg}{m} * v_2\right)^{0.5}$$

1: 3 MPa, 320°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_1 = 3{,}042.22\,\frac{kJ}{kg}\ (interpolando)$$

2: 1.5 MPa y de la primera ley:

$$h_2 = 3{,}042.22\ \frac{kJ}{kg} - \frac{\left[(535)^2\,\frac{m^2}{s^2}\right)}{\left[\frac{2 * 1{,}000\ \frac{m^2}{s^2}}{1\ \frac{kJ}{kg}}\right]}] = 2{,}899.11\ \frac{kJ}{kg}$$

El estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$v_2 = 0.1489\,\frac{m^3}{kg}\ (interpolando\ 3\ veces)$$

El diámetro pedido es:

$$\left(0.001982\,\frac{kg}{m} * 0.1489\,\frac{m^3}{kg}\right)^{0.5} = 0.01718\,m = 1.718\,cm$$

81. Un equipo termodinámico funciona en condiciones de flujo permanente y de estado estacionario. Recibe una corriente de una sustancia compresible y simple a 2,300 m/min y la expulsa a 830 m/min, 0.19 m^3/kg a 30 m por encima del nivel de la entrada, por un tubo de 0.21 m^2 de sección transversal. El equipo recibe 27 MJ/h de calor y el fluido aumenta en 10 J/g su entalpía específica durante el proceso. Calcule la potencia mecánica.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el flujo de una sustancia compresible a través de un equipo termodinámico.

La primera ley es:

$$\dot{m}(\Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P) = \dot{Q} - \dot{W}_f$$

de donde:

$$\dot{W}_f = \dot{Q} - \dot{m}(\Delta h + \Delta E_C + \Delta E_P)$$

El balance de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{A_2 \mathrm{v}_2}{v_2} = \frac{\left(830 \frac{m}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} * 0.21\ m^2\right)}{0.19 \frac{m^3}{kg}} = 15.289 \frac{kg}{s}$$

además:

$$\mathrm{v}_2 = 830 \frac{m}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} = 13.833 \frac{m}{s}$$

$$\mathrm{v}_1 = 2{,}300 \frac{m}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} = 38.33 \frac{m}{s}$$

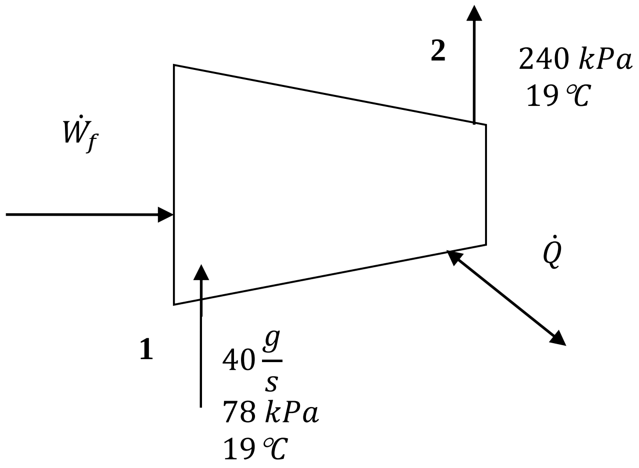
Sustituyendo valores:

$$\dot{W}_f = \left(27 \frac{MJ}{h} * \frac{1\ h}{3{,}600\ s} * \frac{1{,}000\ kJ}{1\ MJ}\right) - 15.289 \frac{kg}{s} * \left\{10 \frac{kJ}{kg} + \left\{\left\{\frac{[(13.833)^2 - (38.33)^2] \frac{m^2}{s^2}}{2}\right\} + \left(9.78 \frac{m}{s^2} * 30\ m\right)\right\} * \left(\frac{1 \frac{kJ}{kg}}{1{,}000 \frac{m^2}{s^2}}\right)\right\}$$

$$\dot{W}_f = -\ 140.1077 \frac{kJ}{s} = -140.1077\ kW\ (entra)$$

82. Un compresor isotérmico y casiestático recibe 40 g/s de un gas ideal [R = 0.518 J/g*K, k = 1.299] a 78 kPa y 19°C y los entrega a 240 kPa. Calcule la potencia calorífica necesaria y su dirección.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en la compresión isotérmica de un gas ideal.

La primera ley es:

$$0 \;=\; \dot{Q} - \dot{W}_f$$

y la potencia se calcula como:

$$\dot{W}_f = -\dot{m}\int_{P_1}^{P_2} v\,dP = -\int_{P_1}^{P_2} \frac{RT}{P}\,dP = -\dot{m}RT\,In\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$\dot{W}_f = -0.04\,\frac{kg}{s} * 0.518\,\frac{kJ}{kg*K} * 292\;K * In\left(\frac{240\;kPa}{78\;kPa}\right) = \;-6.8\;kW\;(entra)$$

Entonces el calor es:

$$\dot{Q} = -\;6.8\;kW\;(sale)$$

83. Un compresor adiabático de aire va a ser accionado por una turbina de agua, también adiabática, acoplada directamente y acciona también a un generador eléctrico. El agua entra a la turbina a 12.5 MPa y 500 °C con un gasto másico de 25 kg/s y sale a 10 kPa y una calidad de 0.92. El aire entra al compresor a 98 kPa y 295K, a razón de 10 kg/s y sale a 1 MPa y 550 K. Determine la potencia neta que la turbina entrega al generador.

Solución:
Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el acoplamiento de una turbina (en la que se expande una corriente de agua) y un compresor (en el que se comprime aire, supuesto gas ideal).

La conservación de masa es:

$\dot{m}_a = \dot{m}_b$

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$

La primera ley es, para la turbina:

$\dot{m}_1 \Delta h = -\left(\dot{W}_{fneta} - \dot{W}_{fcomp}\right)$

ó

$\dot{W}_{fneta} - \dot{W}_{fcomp} = \dot{m}_1(h_1 - h_2)$

y para el compresor:

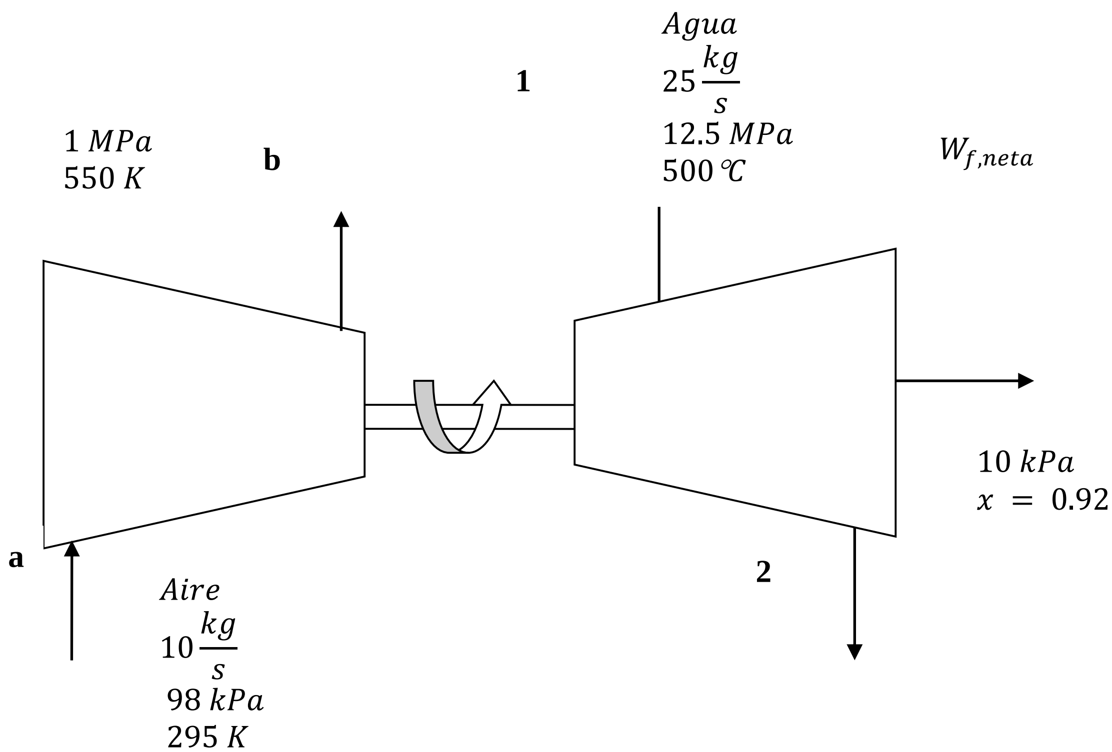
$\dot{m}_a \Delta h = -\dot{W}_{fcomp}$

ó

$\dot{W}_{fcomp} = \dot{m}_a C_P(T_1 - T_2)$

Combinando ambas ecuaciones:

$\dot{W}_{fneta} = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + \dot{m}_a C_P(T_1 - T_2)$



1: 12.5 MPa, 500°C; es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3, h_1 = 3341.8 kJ / kg.

2: 10 kPa, x = 0.92; de la tabla A.:

$$h_f = 191.83\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}392.8\ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 = 191.83\ \frac{kJ}{kg}$$

$$191.83\frac{kJ}{kg} + 0.92 * 2{,}392.8\ \frac{kJ}{kg} = 2{,}393.206\ \frac{kJ}{kg}$$

Para el aire:

$$C_P = 1.0047\frac{kJ}{kg*K}$$

La potencia neta al generador es:

$$\dot{W}_{fneta} = 25\frac{kg}{s} * (3{,}341.8 - 2{,}393.206)\ \frac{kJ}{kg} + 10\frac{kg}{s} * 1.0047\frac{kJ}{kg*K} * (295 - 550)K$$

$$\dot{W}_{fneta} = 21{,}152.865\frac{kJ}{s} = 21{,}152.865\ kW = 21.15\ MW$$

84. Agua a 1.5 MPa y 150°C es estrangulada adiabáticamente a través de una válvula hasta 200kPa. La velocidad de entrada es 5 m/s y los diámetros a la entrada y salida de la válvula son los mismos. Determine la velocidad a la salida. El cambio en energía cinética se puede despreciar.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el estrangulamiento adiabático de una corriente de agua.

La primera ley:

$$\Delta h = 0$$

ó

$$h_2 = h_1$$

La conservación de masa es:

$$\dot{m}_1 = \frac{A_1 \mathrm{v}_1}{v_1} = \dot{m}_2 = \frac{A_2 \mathrm{v}_2}{v_2}$$

ó

$$v_2 = \frac{\mathrm{v}_1 \mathrm{v}_2}{v_1}$$

1: 1.5 MPa, 150°C; el estado es líquido comprimido y de la tabla A.4, se obtienen los siguientes datos:

		120°C	160°C
1 MPa	Vol. Específico $\frac{m^3}{kg}$	0.0010602	0.0011019
	Entalpía $\frac{kJ}{kg}$	504.3	675.7
2 MPa	Vol. Específico $\frac{m^3}{kg}$	0.0010596	0.0011012
	Entalpía, $\frac{kJ}{kg}$	505	676.3

Interpolando:

$$h_1 = 633.1625 \frac{kJ}{kg}$$

$$v_1 = 0.00109114 \frac{m^3}{kg}$$

2: 200 kPa, $h_2 = 633.1625 \frac{kJ}{kg}$; de la tabla A.2:

$$hf = 504.7 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2201.9 \frac{kJ}{kg}$$

$$v_f = 0.001061 \frac{m^3}{kg}$$

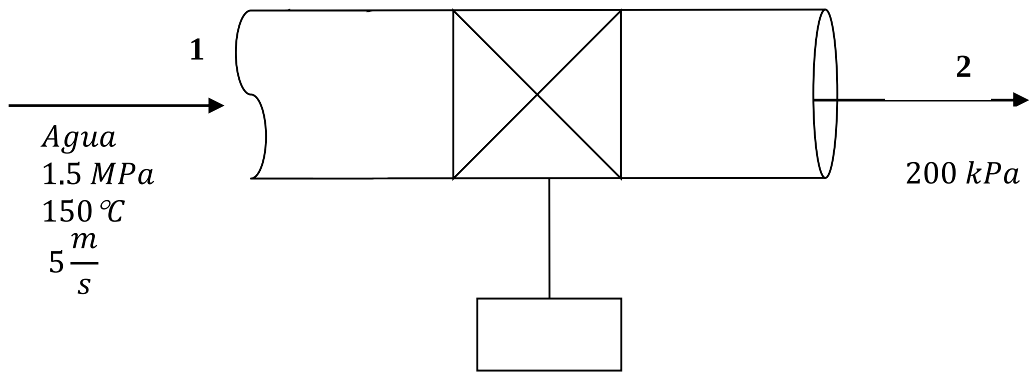
$$v_g = 0.8857 \frac{m^3}{kg}$$

por lo que el estado es vapor húmedo.

Calculando:

$$x_2 = \frac{(633.1625 - 504.7)\frac{kJ}{kg}}{2{,}201.9\ \frac{kJ}{kg}} = 0.05834$$

$$v_2 = 0.001061\ \frac{m^3}{kg} + 0.05834 * (0.8857 - 0.001061)\ \frac{m^3}{kg} = 0.05267\frac{m^3}{kg}$$



La velocidad a la salida es:

$$\mathrm{v}_2 = \frac{5\ \frac{m}{s} * 0.05267\ \frac{m^3}{kg}}{0.00109114\ \frac{m^3}{kg}} = 241.35\frac{m}{s}$$

85. Entra aire a un difusor a 0.1 MPa, 60°C y 200 m/s. A la salida la presión es 0.14 MPa. El área de salida es 20% mayor que la de la entrada. El fluido gana 40 kJ/kg de calor. Determine la velocidad a la salida.

Solución:

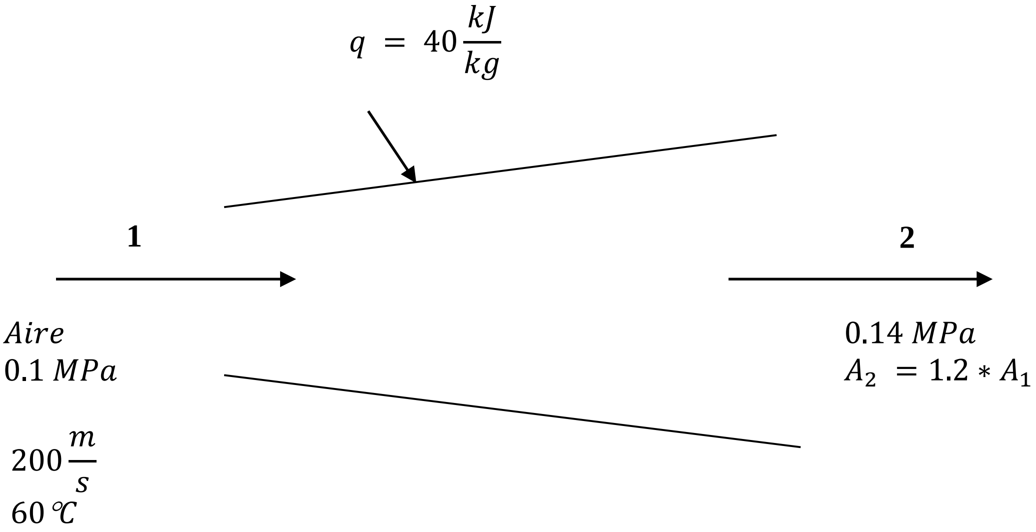
Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el flujo de aire (gas ideal) a través de un difusor.

Para el aire:

$$PV = mRT$$

$$Pv = RT$$

$$C_P = 1.0047\frac{kJ}{kg * K}$$



El balance de masa es:

$$\dot{m}_1 = \frac{A_1 \mathrm{v}_1}{v_1} = \dot{m}_2 = \frac{A_2 \mathrm{v}_2}{v_2}$$

utilizando las condiciones del problema y la ley del gas ideal:

$$T_2 = \frac{1.2 v_2 P_2 T_1}{\mathrm{v}_1 P_1} = \frac{1.2 v_2 * 140\ kPa * 333\ K}{200\frac{m}{s} * 100\ kPa} = 2.7972 * v_2\ K$$

La primera ley es:

$$\varDelta h + \varDelta E_C = q$$

ó

$$C_P(T_2 - T_1) + \frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2} = q$$

Sustituyendo en esta ecuación la expresión del balance de masa se obtiene:

$$1.0047\frac{kJ}{kg*K} * (2.7972 * \mathrm{v}_2 - 333)K + \left\{\frac{[\mathrm{v}_2^2 - (200)^2]\frac{m^2}{s^2}}{2} * \left(\frac{1\frac{kJ}{kg}}{1{,}000\frac{m^2}{s^2}}\right)\right\} = 40\frac{kJ}{kg}$$

ó

$$\mathrm{v}_2^2 + 5{,}620.6 * \mathrm{v}_2 - 789{,}130.2 = 0$$

Resolviendo la ecuación cuadrática se obtiene:

$$v_2 = 137.06\frac{m}{s}$$

86. Un método de almacenar energía es bombear agua a cierta elevación cuando hay exceso de energía eléctrica. Determine la cantidad de agua en m^3 que se eleva a una altura de 100 m para una capacidad de almacenamiento de energía de 5 X 10^3 kWh. Considere que el método se utiliza a nivel del mar.

Solución:

La primera ley es:

$$\Delta E_P = mg\Delta z = \Delta E_{alm}$$

Sustituyendo los datos del problema:

$$m = \frac{\left(\dfrac{5X10^3\ kW\ h * 1\frac{kJ}{s}}{1\ kW * 3600\frac{s}{h} * \frac{1{,}000\ J}{1\ kJ}}\right)}{\left(9.81\frac{m}{s^2} * 100\ m\right) * \dfrac{1\frac{J}{kg}}{1\frac{m^2}{s^2}}} = 18{,}348{,}623.85\ kg$$

$$V = 18{,}348.6\ m^3$$

Considerando:

$$\rho_{agua} = 1{,}000\frac{kg}{m^3}$$

87. Una planta solar experimental de concentradores de canal parabólico produce agua a 7 bares y x = 1 a partir de agua a 7 bare, 6.5 m/s y 20°C. El foco del concentrador es un tubo de 4.5 cm de diámetro, por cuyo interior fluye el agua. Cada metro lineal de tubo aprovecha 0.4 kW de radiación solar concentrada. ¿Cuántos km ha de medir el tubo?

Solución:

La primera ley es:

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_2 - h_1) + \left[\frac{v_2^2 - v_1^2}{2}\right]$$

y el balance de calor:

$$\dot{Q} = LH_{SL}$$

Donde:

L - es la longitud del tubo
H_{SL} - es la radiación solar concentrada por metro de tubo

La conservación de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{A\mathrm{v}}{v}$$

1: 7 bares, 20°C; el estado es líquido comprimido y considerando el estado como líquido saturado a 20°C de la tabla A.2:

$$h_1 = 83.96\,\frac{kJ}{kg}$$

$$v_1 = 0.001002\,\frac{m^3}{kg}$$

El gasto másico es:

$$\dot{m} = \frac{6.5\,\frac{m}{s} * \pi * \left(\frac{0.045}{2}\right)^2\ m^2}{0.001002\ \frac{m^3}{kg}} = 10.317\,\frac{kg}{s}$$

2: 7 bares, x = 1; de la tabla anterior:

$$h_2 = 2{,}763.5\,\frac{kJ}{kg}$$

$$v_2 = 0.2729\,\frac{m^3}{kg}$$

La velocidad a la salida es:

$$\mathrm{v}_2 = 10.317\,\frac{kg}{s} * \frac{0.2729\,\frac{m^3}{kg}}{\left[\pi * \left(\frac{0.045}{2}\right)^2\right] m^2} = 1{,}770.2762\,\frac{m}{s}$$

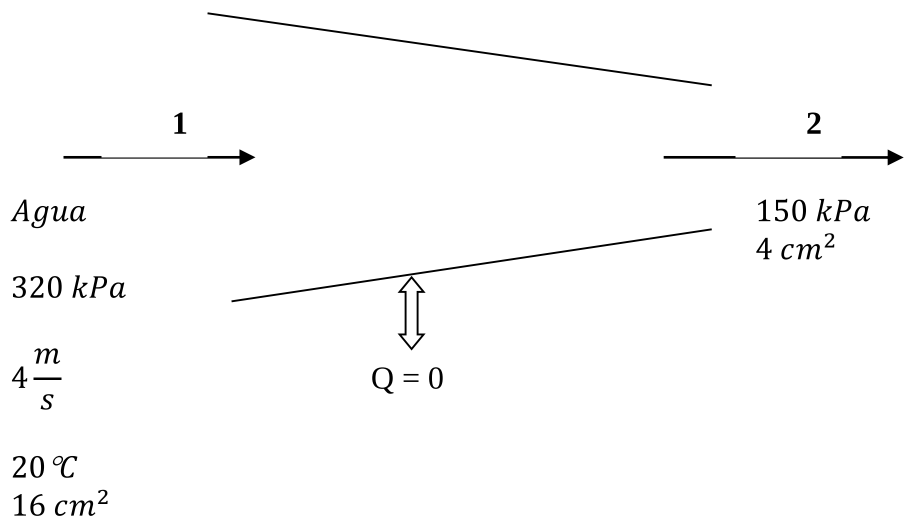
Usando la primera ley:

$$L = 10.31\frac{kg}{s} * \frac{(2{,}763.5 - 83.96)\ \frac{kJ}{kg} + \frac{[(1{,}770.2762)^2 - (6.5)^2]\ \frac{m^2}{s^2}}{\left(2 * 1{,}000\ \frac{\frac{m^2}{s^2}}{\frac{kJ}{kg}}\right)}}{\left(0.4\frac{kJ}{s} * m\right)}$$

$$L = 109{,}452.455\ m = 109.45\ km$$

88. Una corriente de agua a 320 kPa 20°C y 4 m/s entra en una tobera adiabática y sale de ella a 150 kPa. Las secciones transversales de la entrada y de la salida son 16 cm^2 y 4 cm^2, respectivamente. Si el flujo es incompresible [ρ = 998.004 kg/m^3, C = 4.1868 J/g*K], halle la temperatura en la salida.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el flujo adiabático de agua a través de un difusor.

La primera ley :

$$\Delta h + \Delta E_C = 0$$

ó

$$C(T_2 - T_1) + \left[\frac{v_2^2 - v_1^2}{2}\right] = 0$$

de donde :

$$T_2 = T_1 - \left[\frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2C}\right]$$

El balance de masa es:

$$\dot{m}_1 = \frac{A_1 \mathrm{v}_1}{v_1} = \dot{m}_2 = \frac{A_2 \mathrm{v}_2}{v_2}$$

de donde:

$$\mathrm{v}_2 = \frac{\mathrm{v}_1 A_1}{A_2} = 4\frac{m}{s} * \frac{16\ cm^2}{4\ cm^2} = 16\frac{m}{s}$$

en virtud de que el flujo es incompresible.

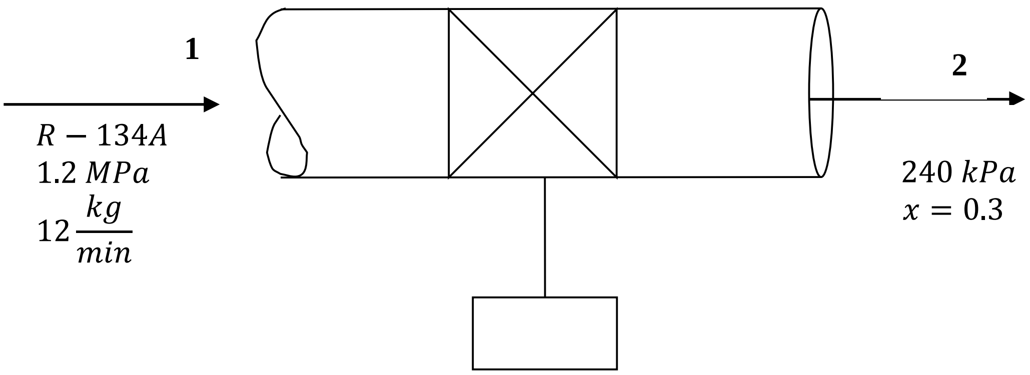
La temperatura a la salida es:

$$T_2 = 293\ K - \left\{\frac{[(16)^2 - (4)^2]\frac{m^2}{s^2}}{\left(2 * \frac{1{,}000\ \frac{m^2}{s^2}}{1\frac{kJ}{kg}}\right) * \left(4.1868\frac{kJ}{kg * K}\right)}\right\} = 292.97\ K = 19.97\,℃$$

89. En una válvula adiabatica se estrangulan 12 kg/min de R134A, desde 1.2 MPa hasta 240 kPa y 30 % de calidad. Determine el valor de la temperatura en la entrada.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el estrangulamiento adiabático de R134A a través de una válvula.



La primera ley es:

$\Delta h = 0$ ó $h1 = h2$.

2: 240 kPa, x = 0.3; de la tabla B.2:

$$h_f = 42.95 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 201.14 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 = 42.95 \frac{kJ}{kg} + 0.3 * 201.14 \frac{kJ}{kg} = 103.3 \frac{kJ}{kg}$$

1:
1.2 MPa y $h_1 = 103.3 \frac{kJ}{kg}$; el estado es líquido comprimido. Simplificando el estado a líquido saturado y $h = 103.3 \frac{kJ}{kg}$, de la tabla anterior:

$$T_1 = 38\,℃\ (interpolando)$$

90. Resuelve el problema 89 si el fluido es R22.

Solución:

2: de la tabla D.1, se obtienen los siguientes valores:

244.8 kPa	$h_f = 21.73 \frac{kJ}{kg}$	$h_{fg} = 220.33 \frac{kJ}{kg}$
201 kPa	$h_f = 16.19 \frac{kJ}{kg}$	$h_{fg} = 223.73 \frac{kJ}{kg}$

Interpolando a 240 kPa:

$h_f = 21.123\ \frac{kJ}{kg}$

$h_{fg} = 220.703\ \frac{kJ}{kg}$

Entonces la entalpia del vapor húmedo es:

$$h_2 = 21.123\frac{kJ}{kg} + 0.3 * 220.703\ \frac{kJ}{kg} = 87.334\ \frac{kJ}{kg}$$

1: 1.2 MPa y $h_1 = h_2$; de la tabla anterior:

30°C	1191.9 kPa	$h_f = 81.25\ \frac{kJ}{kg}$
35°C	1354.8 kPa	$h_f = 87.7\ \frac{kJ}{kg}$

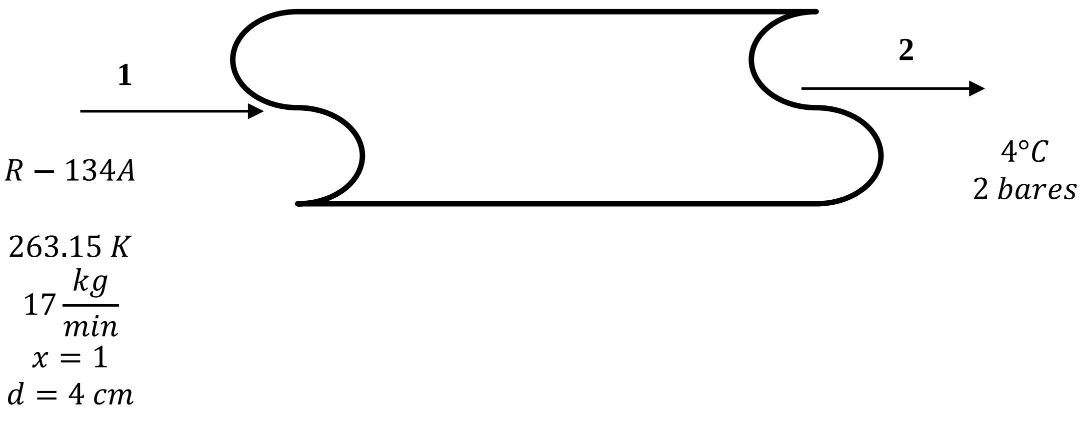
Interpolando a 1.2 MPa:

$h_f = 81.57\ \frac{kJ}{kg}$

entonces el estado es vapor húmedo y la temperatura sería la de saturación a 1200 kPa que resulta ser 30.25°C (interpolando).

91. Por el interior de un tubo horizontal de 4 cm de diámetro fluyen 17 kg/min de R134A, desde 263.15 K y x = 1, hasta 4°C y 2 bares. Halle la potencia calorífica y su dirección.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el flujo de R134A a través de un tubo.
El balance de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{A_1 \mathrm{v}_1}{v_1} = \frac{A_2 \mathrm{v}_2}{v_2}$$

La primera ley es :

$$P = \dot{m}(h_2 - h_1) + \left[\frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2}\right]$$

1:
- 10°C, x = 1; de la tabla B.1:

$$h_1 = 241.35 \ \frac{\mathrm{v}_2^2 - \mathrm{v}_1^2}{2}$$

$$v_1 = 0.09935 \frac{m^3}{kg}$$

2: 2 bares, 4°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla B.3:

$$h_2 = 253.616 \frac{kJ}{kg}$$

$$v_2 = 0.1063 \ \frac{m^3}{kg}$$

Del balance de masa:

$$\mathrm{v}_1 = \frac{17 \frac{kg}{min} * \frac{1 \ min}{60 \ s} * 0.09935 \ \frac{m^3}{kg}}{\pi * \left(\frac{0.04}{2}\right)^2 \ m^2} = 22.4 \frac{m}{s}$$

$$\mathrm{v}_2 = \frac{\left(17 \frac{kg}{min} * \frac{1 \ min}{60 \ s} * 0.1063 \ \frac{m^3}{kg}\right)}{\pi * \left(\frac{0.04}{2}\right)^2 \ m^2} = 23.97 \frac{m}{s}$$

De la primera ley:

$$\dot{Q} = \left(17\ \frac{kg}{min} * \frac{1\ min}{60\ s}\right) * \left\{ \left(253.616\ -\ 241.35\right)\ \frac{kJ}{kg}\ \ +\ \frac{\left[(23.97)^2 - (22.4)2\right]\frac{m^2}{s^2}}{\left(2 * \frac{1{,}000\ \frac{m^2}{s^2}}{1\ \frac{kJ}{kg}}\right)} \right\}$$

$$\dot{Q} =\ 3.486\ \frac{kJ}{s}\ \ =\ 3.486\ kW\ (entra)$$

92. Resuelve el problema 91 si el fluido es amoniaco (NH_3).

Solución:

1: - 10°C, x = 1; de la tabla E.1:

$$h_1\ = 1450.5\frac{kJ}{kg}$$

$$v\ =\ 0.418\frac{m^3}{kg}$$

2: 2 bares, 4°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla E.3:

$$h_2 =\ 1{,}483.6\frac{kJ}{kg}$$

$$v\ =\ 0.6573\frac{m^3}{kg}$$

Calculando:

$$\mathrm{v}_1 = \frac{17\frac{kg}{min} * \frac{1\ min}{60\ s}\ * 0.418\ \frac{m^3}{kg}}{\pi * \left(\frac{0.04}{2}\right)^2\ m^2}\ =\ 94.246\frac{m}{s}$$

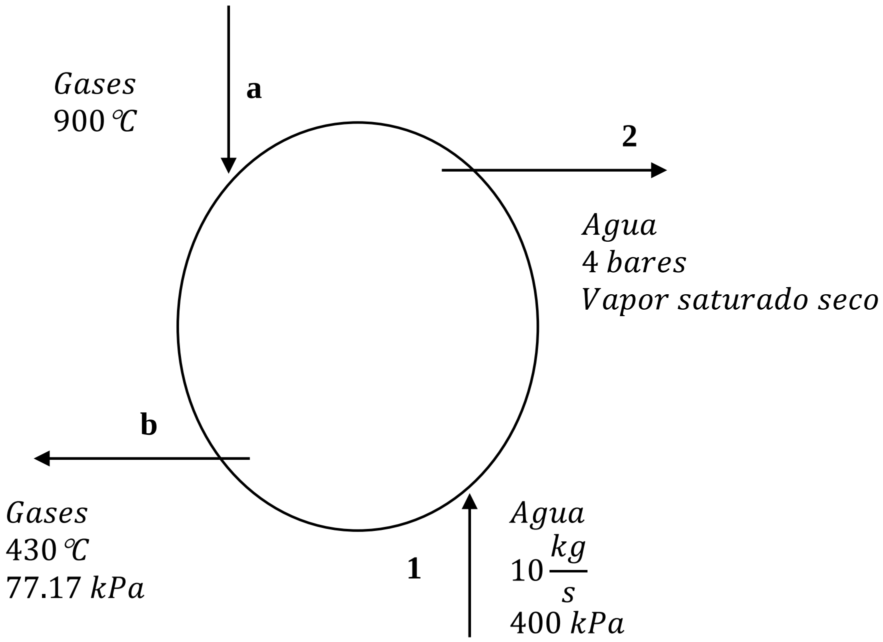
$$\mathrm{v}_2 = \frac{17\frac{kg}{min} * \frac{1\ min}{60\ s}\ * 0.6573\ \frac{m^3}{kg}}{\pi * \left(\frac{0.04}{2}\right)^2\ m^2}\ =\ 148.2\frac{m}{s}$$

$$\dot{Q} = 17\frac{kg}{min} * \frac{1\,min}{60\,s} * \left\{(1{,}483.6 - 1{,}450.5)\frac{kJ}{kg} + \frac{[(148.2)^2 - (94.246)^2]\frac{m^2}{s^2}}{\left(2 * \frac{1{,}000\ \frac{m^2}{s^2}}{1\ \frac{kJ}{kg}}\right)}\right\}$$

$$\dot{Q} = 11.231\ kW\ (entra)$$

93. Una caldera para calefacción doméstica recibe 10 kg/s de agua a 400 kPa y 20°C, y tiene que producir vapor saturado y seco a 4(bares). Los gases de combustión [R = 0.1676 J/g*K, k = 1.19] entran al banco de tubos a 900°C y salen a 430°C y 77.17 kPa. Calcule el gasto volumétrico de los gases de combustión en la salida de la caldera.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en la transferencia de calor desde una corriente de gases de combustión (gas ideal) hacia una corriente de agua.

La primera ley es para el agua:

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a(h_2 - h_1)$$

y para los gases:

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g(h_b - h_a = \dot{m}_g C_{Pg}(T_b - T_a)$$

y el balance de calor es:

$$\dot{Q}_a = -\dot{Q}_g$$

Para los gases:

$$P\dot{V} = mPRT$$

$$C_P = \frac{kR}{k - 1}$$

Utilizando el balance de calor:

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_a(h_2 - h_1)}{C_{Pg}(T_a - T_b)}$$

1: 400 kpa, 20°C, el estado es líquido comprimido y tomándolo como líquido saturado a 20°C de la tabla A.1, a 20°C:

$$h_1 = 83.96\,\frac{kJ}{kg}$$

2: 4 bares, vapor saturado seco; de la tabla A.2:

$$h_2 = 2{,}738.6\,\frac{kJ}{kg}$$

El gasto másico de los gases es:

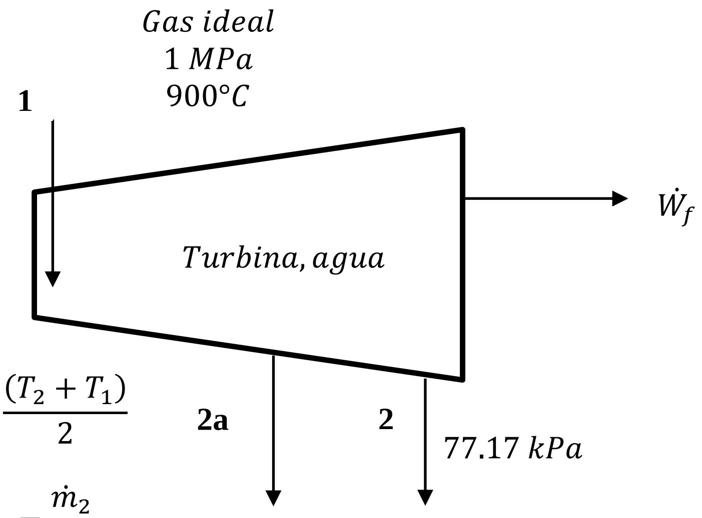
$$\dot{m}_g = \frac{10\,\frac{kg}{s} * (2{,}738.6 - 83.96)\,\frac{kJ}{kg}}{\left(\frac{1.19 * 0.1676\,\frac{kJ}{kg * K}}{(1.19 - 1)]}\right) * (1{,}173 - 703)\,K} = 53.807\,\frac{kg}{s}$$

El flujo volumétrico a la salida de la caldera es:

$$\dot{V} = 53.807\,\frac{kg}{s} * 0.1676\,\frac{kJ}{kg * K} * \frac{703\,K}{77.17\,kPa} = 82.15\,\frac{m^3}{s}$$

94. Una turbina adiabática y casiestática recibe 900 g/s de un gas ideal [R = 0.462 J/g*K, k = 1.327] a 1 MPa y 900°C. En la salida principal el gas alcanza 77.17 kPa, pero necesita extraerse una corriente a una temperatura que equidiste tanto de la temperatura de la entrada como de la temperatura de la salida principal, y cuyo gasto másico sea la sexta parte del gasto de la salida principal. Calcule la potencia mecánica que produce la turbina.

Solución



$$T_{2_a} = \frac{(T_2 + T_1)}{2}$$

$$\dot{m}_{2a} = \frac{\dot{m}_2}{6}$$

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en la expansión adiabática de un gas ideal.

Para el gas ideal:

$$h \; = \; C_P T$$

$$C_P = \frac{kR}{k - 1}$$

y para la expansión adiabática:

$$\frac{T_1}{T_2} \; = \; \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

de donde:

$$T_2 = \frac{1{,}173 \; K}{\left(\frac{1{,}000 \; kPa}{77.17 \; kPa}\right)^{\frac{1.327 - 1}{1.327}}} = \; 623.94 \; K$$

y también:

$$T_{2a} = \frac{(623.94 \; + \; 1173) \; K}{2} = \; 898.47 \; K$$

El balance de masa es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{2a} = \dot{m}_2 + \left(\frac{\dot{m}_2}{6}\right) = \frac{7\dot{m}_2}{6}$$

de donde:

$$\dot{m}_2 = \frac{\left(6 * 0.9\,\frac{kg}{s}\right)}{7} = 0.7714\,\frac{kg}{s}$$

y además:

$$\dot{m}_{2a} = \frac{0.7714\,\frac{kg}{s}}{6} = 0.1286\,\frac{kg}{s}$$

La primera ley es:

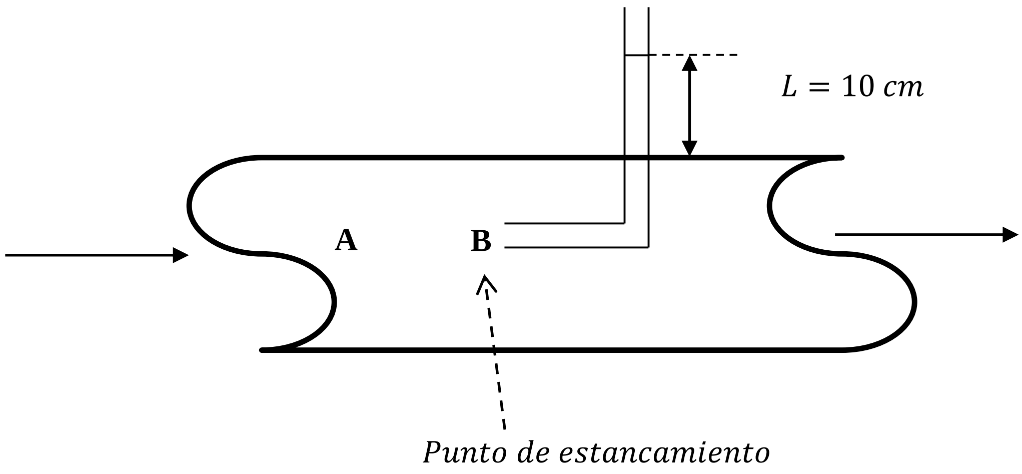
$$W_{Pf} = m_{P1}h_1 - m_{P2}h_2 - m_{P2a}h_{2a} = C_P(\,m_{P1}T_1 - m_{P2}T_2 - m_{P2a}T_{2a})$$

Sustituyendo valores se obtiene la potencia generada por la turbina:

$$\dot{W}_f = \left[1.327 * \frac{0.462\frac{kJ}{kg*K}}{(1.327-1)}\right] * (0.9\,\frac{kg}{s} * 1{,}173\;K - 0.7714\,\frac{kg}{s} * 623.94\;K - 0.1286\,\frac{kg}{s} * 898.47\;K)$$

$$\dot{W}_f = 860.25\,\frac{kJ}{s} = 860.25\;kW$$

95. Considere el sistema de la figura por donde fluye agua (flujo unidimensional) y determine la velocidad en el punto "A" para la situación mostrada. Las condiciones ambientales son 77 kPa, 9.78 m/s^2 y 20°C.



Solución

Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el flujo incompresible de agua en un tubo. La primera ley es:

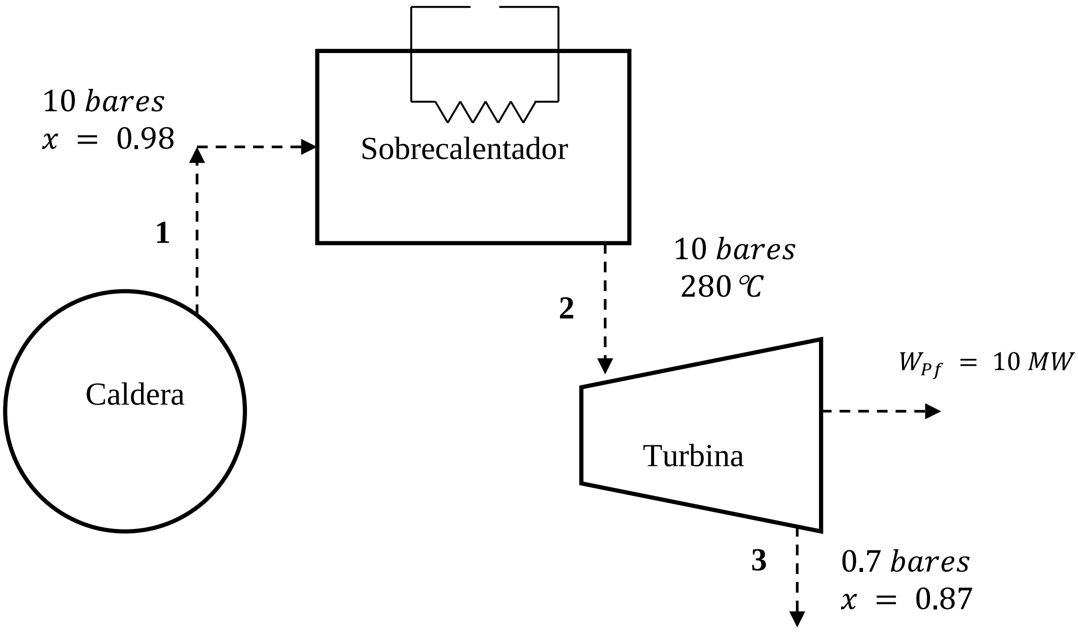
$$\nu * \Delta P \ + \left[\frac{(v_B^2 \ - v_A^2)}{2}\right] = q$$

ó

$$\mathrm{v_A} = (2\mathrm{v}\Delta P)^{0.5} = (2\mathrm{v}\rho g L)^{0.5} = (2gL)^{0.5} = \left(2 * 9.78\frac{m}{s^2} * 0.1\ m\right)^{0.5} = \ 1.4\frac{m}{s}$$

96. Una turbina se alimenta con vapor de agua que es sobrecalentado por medio de una resistencia eléctrica; las condiciones a la entrada de la turbina son de 280 °C, y a la salida de 0.7 bar con una calidad de 0.87 entregando una potencia de 10 MW. El vapor que sale de la caldera se encuentra a 10 bares con una calidad del 98 %. Calcule la potencia calorífica en el sobrecalentador.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es el sobrecalentamiento de un vapor antes de enviarse a una turbina.

La primera ley aplicada a la turbina es:

$$\dot{W}_f = \dot{m}(h_2 - h_3)$$

de donde:

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_f}{h_2 - h_3}$$

y aplicada al sobrecalentador es:

$$W_{Pele} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

y combinando ambas ecuaciones se obtiene:

$$W_{Pele} = \left[\frac{\dot{W}_f}{h_2 - h_3}\right](h_2 - h_1)$$

1: 10 bares, x = 0.98; de la tabla A.2:

$$h_f = 762.81 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}015.3 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_1 = 762.81 \frac{kJ}{kg} + \left(0.98 * 2{,}015.3 \frac{kJ}{kg}\right) = 2{,}737.804 \frac{kJ}{kg}$$

2: 10 bares, 280°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_2 = 3{,}007.76 \frac{kJ}{kg} \ (interpolando)$$

3: 0.7 bares, x = 0.87; de la tabla A.1:

$$h_f = 376.92 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}283.2 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_3 = 376.92 \frac{kJ}{kg} + 0.87 * 2283.2 \frac{kJ}{kg})$$

$$h_3 = 2{,}363.304 \frac{kJ}{kg} \ (se\ ha\ tomado\ la\ presión\ como\ 0.7014\ bares)$$

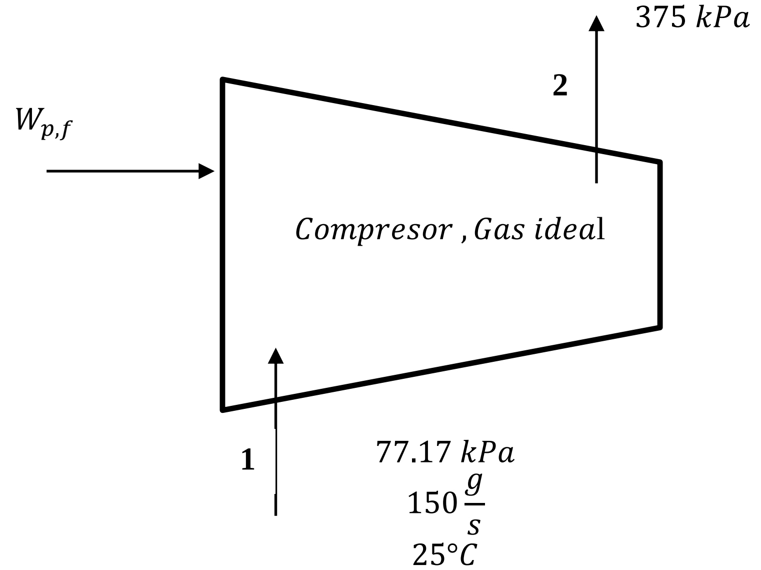
La potencia eléctrica es:

$$W_{Pele} = \left[\frac{10{,}000\,\frac{kJ}{s}}{(3{,}007.76 - 2{,}363.304)\ \frac{kJ}{kg}}\right] * (3{,}007.76 - 2{,}737.804)\ \frac{kJ}{kg}$$

$$W_{Pele} = 41{,}88.897\frac{kJ}{s} = 4.19\ MW$$

97. Un compresor recibe 150 g/s de un gas ideal [R = 0.296 J/g*K, k = 1.237] a las condiciones ambientales de 25 °C y 77.17 kPa. El aparato comprime al fluido politrópica y casiestáticamente (n = 1.289) hasta 375 kPa. Calcule la potencia calorífica y su dirección.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en la compresión politrópica ($P\nu^n = C$) de un gas ideal.

La primera ley es:

$$\dot{m}\Delta h = \dot{Q} - \dot{W}_f$$

despejando el flujo de calor se obtiene:

$$\dot{Q} = \dot{W}_f + \dot{m}(h_2 - h_1) = \dot{W}_f + \dot{m}C_P(T_2 - T_1) = \dot{W}_f + \left[\frac{\dot{m}kR}{k-1}\right](T_2 - T_1)$$

La potencia se calcula como:

$$\dot{W}_f = -\dot{m}\int_{P_1}^{P_2} v\, dP = -\dot{m}\int_{P_1}^{P_2} C^{\frac{1}{n}}\ P^{-\frac{1}{n}}\, dP = -\dot{m}C^{\frac{1}{n}}\int_{P_1}^{P_2} P^{-\frac{1}{n}}\ dP$$

$$\dot{W}_f = -\dot{m}\left(\frac{n}{n-1}\right) C^{\frac{1}{n}}\left(P_2^{\frac{n-1}{n}} - P_1^{\frac{n-1}{n}}\right) = -\dot{m}\left(\frac{n}{n-1}\right)(P_2 v_2 - P_1 v_1)$$

Usando la relación politrópica $TP^{\frac{1-n}{n}}$ n se obtiene finalmente:

$$\dot{W}_f = -\dot{m}\left(\frac{n}{n-1}\right) RT_1\left[1-\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]$$

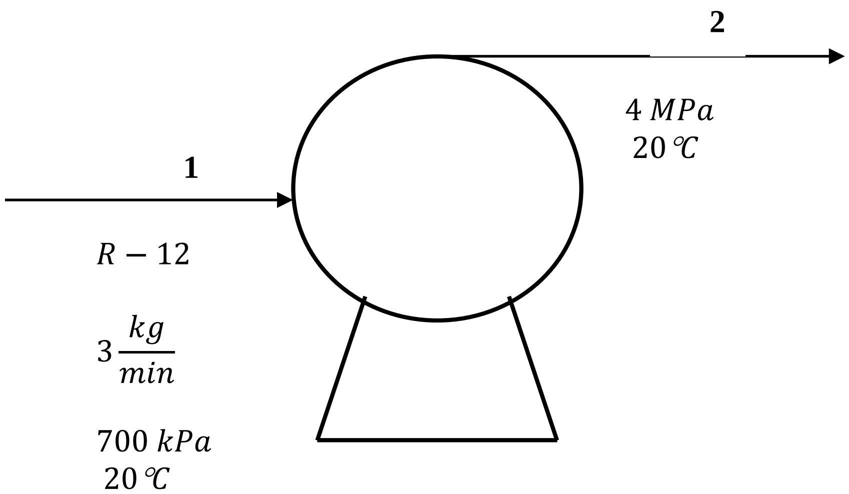
Utilizando la primera ley se calcula el flujo de calor como:

$$\dot{Q} = 0.15\ \frac{kg}{s} * 0.296\frac{kJ}{kg*K} * 298\ K * \left[1 - \left(\frac{375\ kPa}{77.17\ kPa}\right)^{\frac{0.289}{1,289}}\right] * \left\{\left[\frac{1.289}{1.289-1}\right] - \left[\frac{1.237}{(1.237-1)}\right]\right\}$$

$$\dot{Q} = 4.273\ \frac{kJ}{s} = 4.273\ kW\ (entra)$$

98. Una bomba adiabática recibe 3 kg/min de refrigerante 12 a 700 kPa y 20°C, y los entrega a 4 MPa y 20°C. Calcule la potencia necesaria.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en la compresión adiabática de una corriente de R12.

La primera ley es:

$$m\Delta h = -\dot{W}_f$$

ó de acuerdo con el problema:

$$\dot{W}_f = -\dot{m}v_1\Delta P$$

1: 700 kPa, 20°C; de la tabla C.1, el estado es líquido comprimido y considerando el estado como líquido saturado a 20°C se obtiene:

$$v_1 = 0.0007525\frac{m^3}{kg}$$

La potencia necesaria es:

$$\dot{W}_f = -3\frac{kg}{min} * 1\frac{min}{60\ s} * 0.0007525\ \frac{m^3}{kg} * (4{,}000 - 700)kPa = -0.1242\frac{kJ}{s}$$

$$\dot{W}_f = -124.2\ W\ (entra)$$

99. Resuelva el problema 98 pero considere que el fluido es R-22.

Solución:

1: 700 kPa, 20°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla D.2:

$$v_1 = 0.03633\ \frac{m^3}{kg}\ (interpolando)$$

La potencia es:

$$\dot{W}_f = -3\frac{kg}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} * 0.03633\ \frac{m^3}{kg} * (4{,}000 - 700)kPa = -5.994\frac{kJ}{s} = -5{,}994\ W\ (entra)$$

100. Resuelva el problema 98 pero considere que el fluido es amoniaco (NH_3).

Solución:

1: 700 kPa, 20°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla E.3:

$$v_1 = 0.1872\ \frac{m^3}{kg}$$

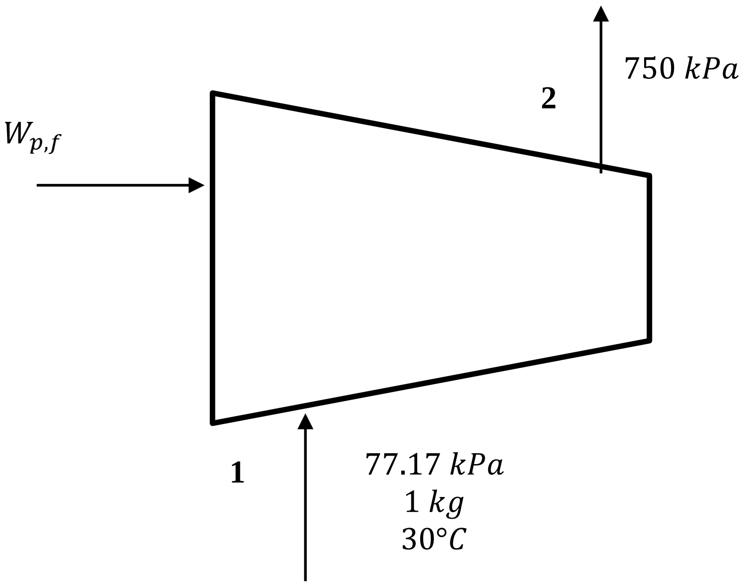
La potencia es:

$$\dot{W}_f = -3\frac{kg}{min} * \frac{1\,min}{60\,s} * 0.1872\ \frac{m^3}{kg} * (4{,}000 - 700)kPa\ = -30.888\frac{kJ}{s}$$

$$\dot{W}_f = -30{,}888\,W\ (entra)$$

101. Un compresor casiestático e isotérmico, absorbe 1 kg de un gas ideal [R = 103.86 J/kg*K), k = 1.196] por cada revolución. El gas entra a 77.17 kPa y 30°C y sale a 750 kPa. Si el compresor operase a 200 rpm, calcule la potencia necesaria.

Solución:



Análisis: el sistema es abierto y el proceso es la compresión isotérmica (PV = C) de un gas ideal.

La primera ley:

$$Q_p = \dot{W}_f = -\dot{m}\int_{P_1}^{P_2} v\,dP = -\dot{m}\int_{P_1}^{P_2}\frac{dP}{P} = -\dot{m}P_1 v_1 In\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

ó

$$\dot{W}_f = -\dot{m}RT_1 In\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Donde se ha hecho uso de la ecuación del gas ideal. Calculando la potencia se obtiene:

$$\dot{W}_f = 1\frac{kg}{rev} * 0.10386\frac{kJ}{kg * K} * 303\ K * ln\left(\frac{750\ kPa}{77.17\ kPa}\right) * 200\frac{rev}{min} * 1\frac{min}{60\ s}$$

$$\dot{W}_f = -238.546\frac{kJ}{s} = 238.546\, kW\ (entra)$$

102. Un cierto equipo termodinámico tiene tres corrientes de agua de entrada (a, b, c) y dos corrientes de agua de salida (3, 4). El equipo despide 800 kW de potencia calorífica a los alrededores, a 77.17 kPa, 24°C y 9.78 m/s^2.

Corriente	$\dot{m}\left[\frac{kg}{s}\right]$	P [kPa]	T(°C)	v $\left[\frac{m}{s}\right]$	x	$v\ \left[\frac{m^3}{kg}\right]$
a	0.5	1,500		400	1	
b	5.0	1,000		≈ 0		0.1
c	3.0	600	450	≈ 0		
3		800	500	≈ 0		
4	4.0	2,000	300	500		

Calcule la potencia mecánica de flecha y su dirección.

Solución:

Análisis: el sistema es abierto y el proceso consiste en el mezclado de tres corrientes y la producción de dos corrientes, con la salida de un flujo de calor.

El balance de masa es:

$$\dot{m}_A + \dot{m}_B + \dot{m}_C = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$$

de donde:

$$\dot{m}_3 = (0.5 + 5 + 3 - 4)\ \frac{kg}{s} = 4.5\ \frac{kg}{s}$$

La primera ley es:

$$\dot{W}_f = \dot{Q} - \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_a h_a + \dot{m}_b h_b + \dot{m}_c h_c - \left[\frac{\dot{m}_4 v_4^2 - \dot{m}_a v_a^2}{2}\right]$$

a: 1500 kPa, x = 1; de la tabla A.2:

$$h_a = 2{,}792.2\frac{kJ}{kg}$$

b: 1000 kPa, $0.1\,\frac{m^3}{kg}$; de la tabla anterior:

$$v_f = 0.001127 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g = 0.19444 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$h_f = 762.81 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{fg} = 2{,}015.3 \ \frac{kJ}{kg}$$

y el estado es vapor húmedo. Calculando:

$$x_b = \frac{(0.1 - 0.001127) \ \frac{m^3}{kg}}{(0.19444 - 0.001127) \frac{m^3}{kg}} = 0.5115$$

$$h_b = 762.81 \ \frac{kJ}{kg} + \left(0.5115 * 2015.3 \ \frac{kJ}{kg}\right) = 1{,}793.64 \ \frac{kJ}{kg}$$

c: 600 kPa, 450°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_c = 3{,}376.55 \frac{kJ}{kg}$$

3: 800 kPa, 500°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_3 = 3{,}480.6 \ \frac{kJ}{kg}$$

4: 2,000 kPa, 300°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla A.3:

$$h_4 = 3{,}023.5 \ \frac{kJ}{kg}$$

La potencia del equipo es:

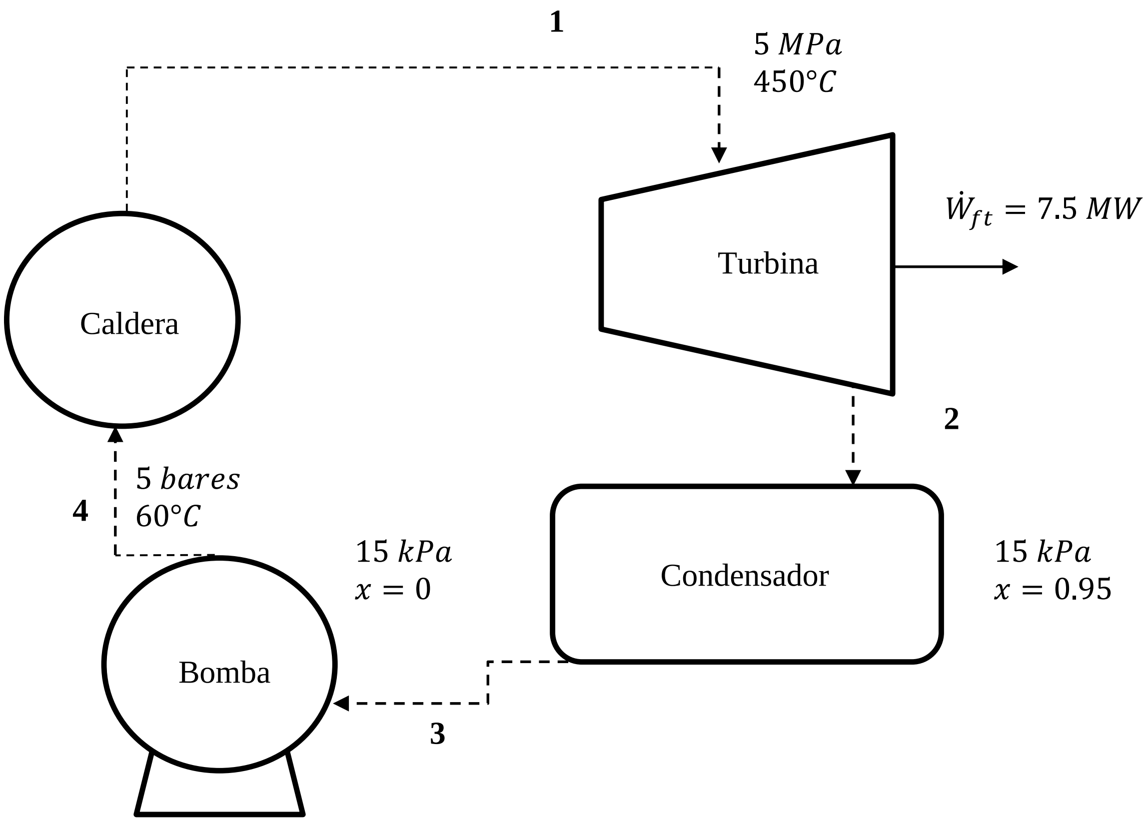
$$\dot{W}_f = -800\frac{kJ}{s} - \left(4.5\frac{kg}{s} * 3480.6\frac{kJ}{kg}\right) - \left(4\ \frac{kg}{s} * 3023.5\ \frac{kJ}{kg}\right) + \left(0.5\ \frac{kg}{s} * 2792.2\ \frac{kJ}{kg}\right) + \left(5\ \frac{kg}{s} * 1793.567\ \frac{kJ}{kg}\right) + \left(3\ \frac{kg}{s} * 3376.55\frac{kJ}{kg}\right) - \left\{\frac{\left[4\frac{kg}{s}*(500)^2\frac{m^2}{s^2}\right]}{2*\frac{1{,}000\frac{m^2}{s^2}}{1\frac{kJ}{kg}}}\right\} + \left\{\frac{\left[0.5\frac{kg}{s}*(400)^2\ \frac{m^2}{s^2}\right]}{2*\frac{1{,}000\frac{m^2}{s^2}}{1\frac{kJ}{kg}}}\right\}$$

$$\dot{W}_f = -8{,}523.115\frac{kJ}{s} = -8{,}523.115\ kW = -8.523\ MW\ (entra)$$

<u>Ciclo de Rankine</u>

103. Una planta termoeléctrica trabaja con agua en un ciclo de Rankine. La caldera entrega el agua a 5 MPa y 450°C y la turbina entrega el fluido a 15 kPa con una calidad de 95 % para que entre en el condensador, el que entrega líquido saturado. A la salida de la bomba se tienen 60°C. La turbina genera 7.5 MW. Calcule el gasto másico del agua, en kg/s. ¿Cuánto es la eficiencia del ciclo?

Solución:



La primera ley aplicada en la turbina es:

$\dot{W}_f = \dot{m}(h_1 - h_2)$

y en la turbina:

$(h_4 - h_3) = \dot{w}_b$

y la eficiencia térmica del ciclo es:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}$$

Las propiedades se calculan de las tablas de agua (A.1 a la A.4):

1: 5 MPa, 450°C; el estado es vapor sobrecalentado:

$$h_1 = 3{,}316.2 \frac{kJ}{kg}$$

2: 15 kPa, x = 0.95; calculando:

$$h_2 = 225.94 + \left(0.95 * 2,373.1 \frac{kJ}{kg} \right) = 2,479.845 \frac{kJ}{kg}$$

3: 15 kPa, x = 0

$$h_3 = h_f = 225.94 \frac{kJ}{kg}$$

4: 5 MPa, 60ºC

$$h_4 = 255.3 \frac{kJ}{kg}$$

Del balance de energía en la turbina:

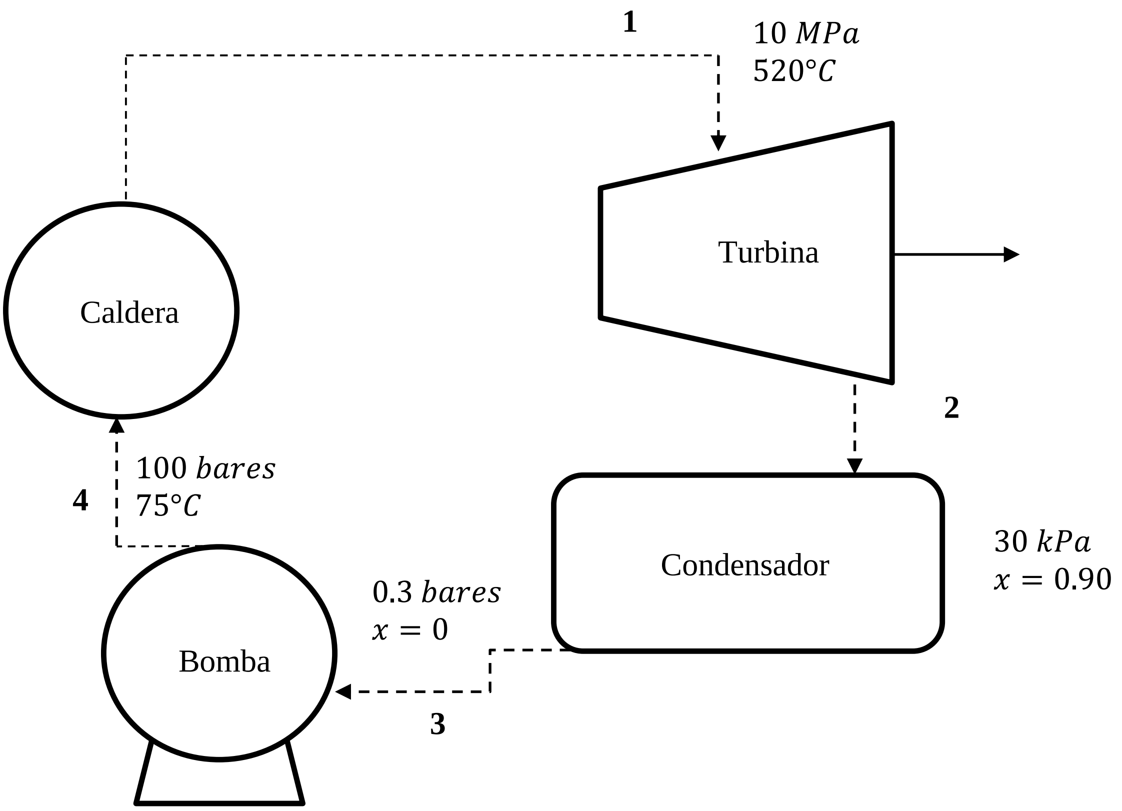
$$\dot{m} = \frac{7,500 \frac{kJ}{s}}{(3316.2 - 2479.845) \frac{kJ}{kg}} = 8.967 \frac{kg}{s} = 32.28 \frac{ton}{h}$$

La eficiencia térmica del ciclo es:

$$\eta_t = \frac{(3,316.2 - 2479.845) \frac{kJ}{kg} - (255.3 - 225.94)] \frac{kJ}{kg}}{(3316.2 - 255.3) \frac{kJ}{kg}} = 0.2636$$

104*. Una planta termoeléctrica usa agua como sustancia activa. Entra en la turbina a 10 MPa y 520°C, entra en el condensador a 30 kPa y 90 % de calidad, entra en la bomba a 0.3 bares y 0 % de calidad e ingresa en la caldera a 100 bares y 75ºC. Si el gasto másico fuese 40 kg/s, calcule la potencia neta del ciclo. Halle también la eficiencia de la planta.

Solución:



La primera ley es aplicada en la turbina:

$\dot{W}_f = \dot{m}(h_1 - h_2)$

y en la bomba:

$\dot{W}_{fb} = \dot{m}(h_4 - h_3)$

la eficiencia térmica del ciclo o de la planta es:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}$$

La potencia neta es:

$\dot{W}_{fn} = \dot{W}_{ft} - \dot{W}_{fb} = \dot{m}(h_1 - h_2 - h_4 + h_3)$

Las propiedades se calculan de las tablas de agua (A.1 a la A.4).

1: 10 MPa, 520°C; el estado es vapor sobrecalentado y:
$h_1 = 3425 \frac{kJ}{kg}$

2: 30 kPa, x = 0.9; $h_2 = 2{,}391 \frac{kJ}{kg}$
3: 30 kPa, x = 0; $h_3 = h_f = 289.2 \frac{kJ}{kg}$
4: 100 bares, 75ºC; $h_4 = 322 \frac{kJ}{kg}$

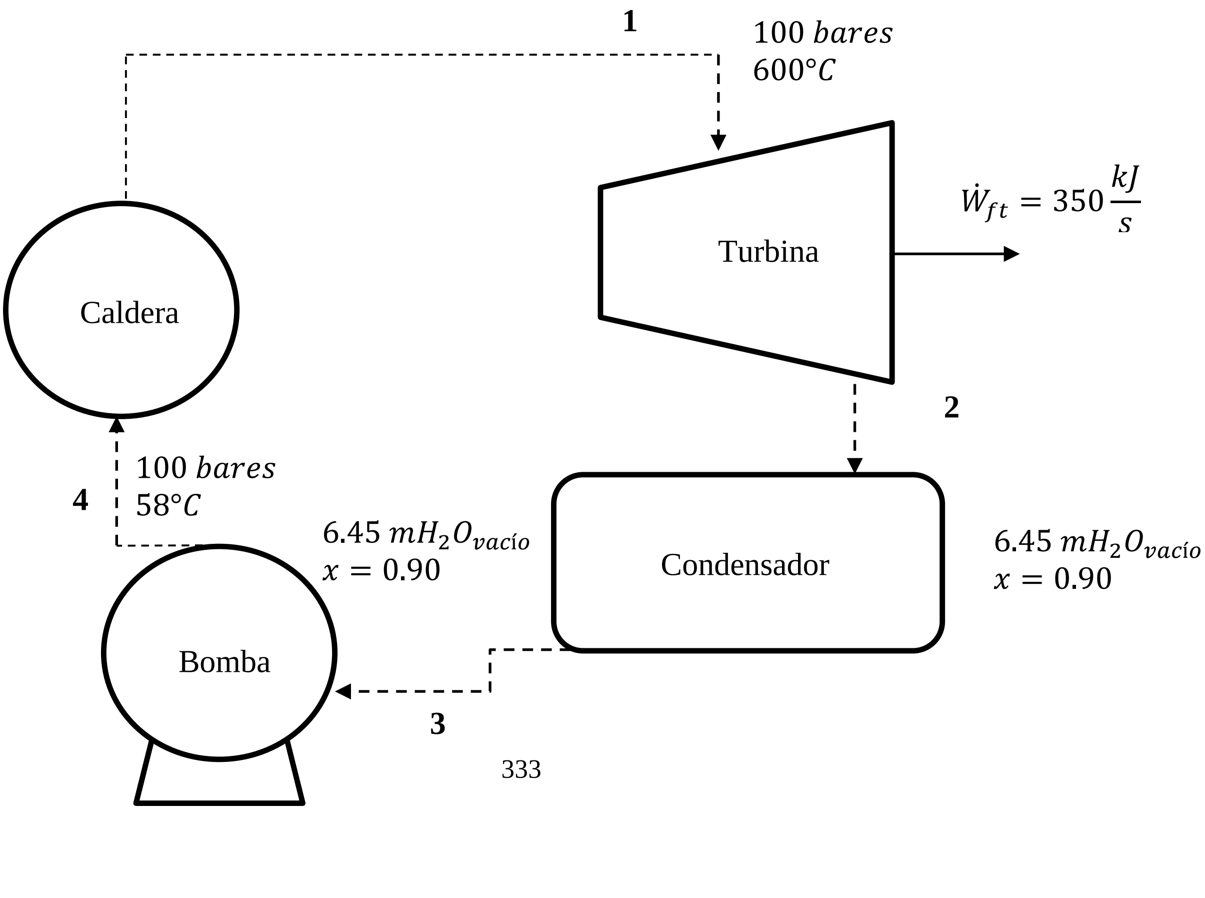
La potencia neta es:
$$\dot{W}_{fn} = 40 \frac{kg}{s} * (3{,}425 - 2{,}391 - 322 + 289.2) \frac{kJ}{kg} = 40{,}048 \frac{kJ}{s} = 40.05\ MW$$

La eficiencia térmica del ciclo es:

$$\eta t = \frac{(3{,}425 - 2{,}391 - 322 + 289.2) \frac{kJ}{kg}}{(3425 - 322) \frac{kJ}{kg}} = 0.3227$$

105. Una planta termoeléctrica funciona según el ciclo de Rankine. El agua sale de la caldera a 100 bares y 600 °C, ingresa en el condensador a un vacío de 6.45 m de agua con una calidad de 90 % y sale de la bomba a 58ºC. Si la turbina produce 350 kW, calcule la potencia de la bomba. Use P_{atm} = 78 kPa. Halle también la eficiencia térmica del ciclo.

Solución:



La primera ley es: en la turbina:

$$\dot{W}_{ft} = \dot{m}(h_1 - h_2)$$

y en la bomba:

$$\dot{W}_{fb} = \dot{m}(h_4 - h_3)$$

la eficiencia térmica del ciclo o de la planta es:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}$$

Las propiedades se calculan de las tablas de agua (A.1 a la A.4).

1: 100 bares, 600°C; el estado es vapor sobrecalentado y:

$$h_1 = 3{,}625.3\ \frac{kJ}{kg}$$

2: La presión absoluta es:

$$P_2 = 78{,}000\ Pa - \left(6.3693\ mH_2O * \frac{101{,}325\ Pa}{10.38\ mH_2O}\right) = 15{,}037.93\ Pa$$

Tomando la presión como 15 kPa:

$$h_2 = 225.94\ \frac{kJ}{kg} + \left(0.9 * 2373.1\ \frac{kJ}{kg}\right) = 2{,}361.73\ \frac{kJ}{kg}$$

3: 15 kPa; $h_3 = h_f = 225.94\ \frac{kJ}{kg}$

4: 100 bares, 58ºC; $h_4 = 251.179\ \frac{kJ}{kg}$

Del balance de energía en la turbina:

$$\dot{m} = \frac{350\,\frac{kJ}{s}}{(3625.3 - 2361.73)\,\frac{kJ}{kg}} = 0.277\,\frac{kg}{s}$$

La potencia consumida por la bomba es:

$$\dot{W}_{fb} = 0.277\ \frac{kg}{s} * (251.179 - 225.94)\ \frac{kJ}{kg} = 6.991\ \frac{kJ}{s} = 6.991\ kW$$

La eficiencia térmica del ciclo es:

$$\eta_t = \frac{(3{,}625.3\ -\ 2{,}361.73 - 251.179\ +\ 225.94)\ \frac{kJ}{kg}}{(3{,}625.3 - 251.179)\ \frac{kJ}{kg}} = 0.367$$

a: 8 bares, 60°C; de la tabla C.2, a 8 bares la temperatura de saturación es 32.74°C, por lo que el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla C.3:

$$h_a = 220.72\ \frac{kJ}{kg}$$

b: 8 bares, 10°C; el estado es líquido comprimido y haciendo la simplificación de líquido saturado a 10°C, de la tabla C.1.

$$h_b = 45.38\ \frac{kJ}{kg}$$

c: 1 MPa, 90°C; de la tabla C.2, a 1 MPa la temperatura de saturación es 41.64°C y el estado es vapor sobrecalentado. De la tabla C.3:

$$h_c = 240.26\ \frac{kJ}{kg}$$

d: 800 kPa, líq. sat.; de la tabla C.2:

$$h_d = 67.3\ \frac{kJ}{kg}$$

$$v_d = 0.0007802\frac{m^3}{kg}$$

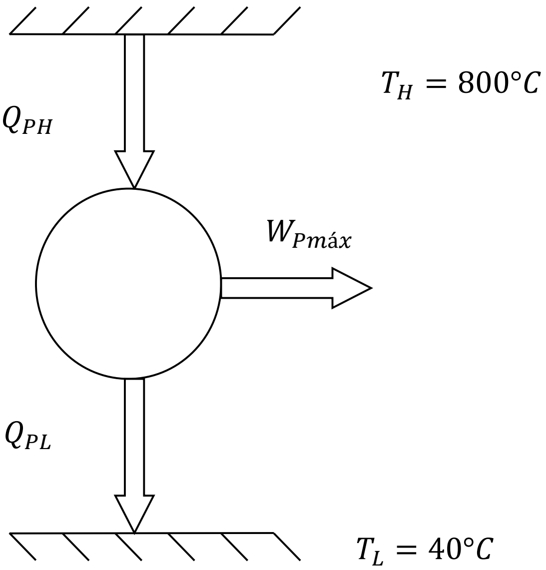
El gasto másico solicitado se calcula de la primera ley:

$$\dot{m}_b = \left(\frac{0.05833\frac{m^3}{s}}{0.0007802\frac{m^3}{kg}}\right) * \frac{(220.72\ +\ 240.26 - 2 * 67.3)\frac{kJ}{kg}}{(220.72\ +\ 240.26 - 2 * 45.38)\frac{kJ}{kg}} = 65.91\frac{kg}{s}$$

Capítulo 5: Segunda ley

1. Una máquina térmica opera entre dos depósitos con temperaturas de 800ºC y 40ºC. La máquina absorbe $1X10^6$ kJ/h de calor desde el depósito de temperatura alta. Calcule la potencia máxima, en kW, que la máquina puede producir.

Solución:



Según Carnot:

$$\eta_C = 1 - \left(\frac{T_L}{T_H}\right) = 1 - \left(\frac{323K}{1,073K}\right) = 0.699 = 1 - \left(\frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H}\right) = 1 - \left(\frac{\dot{Q}_L}{1X10^6 \frac{kJ}{h} * \frac{1h}{3,600s}}\right)$$

de donde:

$$0.699 = 1 - \left(\frac{\dot{Q}_L}{277.77\frac{kJ}{s}}\right)$$

$$\dot{Q}_L = (1 - 0.699) * \left(277.77\frac{kJ}{s}\right)$$

$$\dot{Q}_L = 83.62\frac{kJ}{s} = 83.62\,kW$$

Entonces la potencia máxima es:

$$\dot{W}_{máx} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_L$$

$$\dot{W}_{máx} = \left(1\ X\ 10^6\ \frac{kJ}{h} * \frac{1h}{3{,}600\ s}\right) - 83.62\frac{kJ}{s} = 194.16\frac{kJ}{s} = 194.16\ kW$$

2. Se tiene nitrógeno con un estado inicial de 0.6 m^3/kg y 147ºC. El estado final tiene las condiciones de 1.4 MPa y 367ºC. Determine la variación de entropía del proceso, en kJ/kg*K. Considere para el nitrógeno R = 0.297 J/g*K y k = 1.4.

Solución:

Para el nitrógeno como gas ideal:

$$P\nu = RT,\ C_P = \frac{kR}{k-1},\ \Delta s = C_P ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R\ ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Como: $P_1 = \left(0.297\frac{kJ}{kg*K}\right)\left(\frac{420\ K}{0.6\frac{m^3}{kg}}\right) = 207.9\ kPa$

$$C_P = \frac{1.4 * 0.297\ \frac{kJ}{kg * K}}{(1.4 - 1)} = 1.0395\ \frac{kJ}{kg * K}$$

Entonces:

$$\Delta s = C_P ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R\ ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

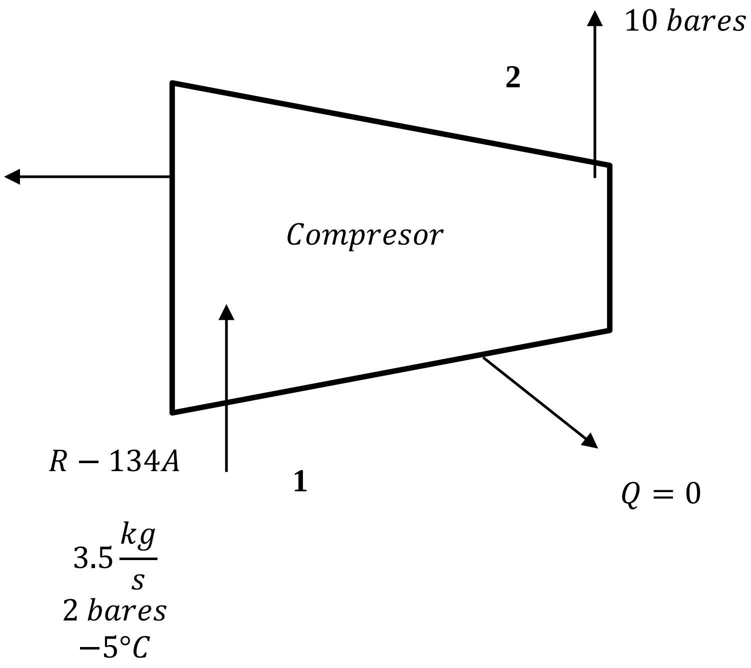
$$\Delta s = \left[1.0395\ \frac{kJ}{kg * K} * ln\left(\frac{640\ K}{420\ K}\right)\right] - \left[0.297\frac{kJ}{kg * K} * ln\left(\frac{1{,}400\ kPa}{207.9\ kPa}\right)\right]$$

$$\Delta s = -0.1286\ \frac{kJ}{kg * K}\ (imposible)$$

3*[2]. Entran 3.5 kg/s de R-134A, a 2 bares y – 5ºC en un compresor adiabático y salen a 10 bares. Calcule la potencia extra, en kW, con respecto del proceso isoentrópico, que se tiene que agregar si el compresor tiene una eficiencia interna de 0.8.

Solución:

[2] Los problemas con un asterisco fueron resueltos con el programa EES y se muestran al final del capítulo



Para el proceso isoentrópico la primera ley es $\dot{W}_s = \dot{m}\left(h_{2s} - h_1\right)$ y la eficiencia interna es $\eta_i = \dfrac{h_{2s} - h_1}{h_{2r} - h_1}$

1: 2 bares, - 5°C; el estado es vapor sobrecalentado y de la tabla B.3 $h_1 = 245.74\,\frac{kJ}{kg}$, $s_1 = 0.9419\ \frac{kJ}{kg*K}$

2: 10 bares y s_2 = 0.9419 kJ kg K; es vapor sobrecalentado y de la tabla B.3 $h_{2s} = 279.9\ \frac{kJ}{kg}\ (interpolando)$

La potencia isoentrópica es $\dot{W}_s = \dot{m}\left(h_{2s} - h_1\right)$

$$\dot{W}_s = 3.5\frac{kg}{s} * \left(279.9 - 245.71\right)\frac{kJ}{kg} = 119.665\frac{kJ}{s}$$

Como $\eta_i = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2r} - h_1}$

$$\eta_i = 0.8 = \frac{(279.9 - 245.74)\ \dfrac{kJ}{kg}}{(h_{2r} - 245.74)\ \dfrac{kJ}{kg}}$$

Entonces $h_{2r} = 288.74\ \frac{kJ}{kg}$

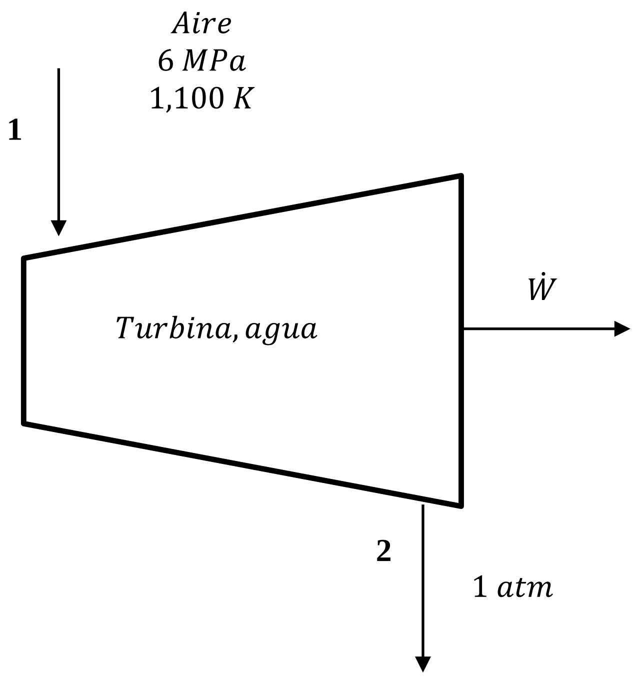
$$\dot{W}_s = 3.5\frac{kg}{s} * (288.74 - 245.71)\frac{kJ}{kg} = 150.605\frac{kJ}{s}$$

La potencia extra es:

$$\Delta\dot{W} = (150.605 - 119.665)\frac{kJ}{s} = 30.94\frac{kJ}{s} = 30.94\,kW$$

4. Entra aire comprimido a 6 MPa y 1100 K en una turbina y sale a 1 atm. Calcule el trabajo máximo que da la turbina, en (kJ/kg). Tome para el aire R = 0.287(J/g K) y k = 1.4.

Solución:



Para el aire como gas ideal $C_P = 1.0047\frac{kJ}{kg*K}$. La primera ley para el compresor es:

$$-w_c = h_2 - h_1 = C_P(T_2 - T_1)$$

Para trabajo máximo, Δs = 0 y de:

$0 = C_P\ ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R\ ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$, se obtiene:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R}{C_p}}$$

de donde la temperatura a la salida del compresor es:

$$T_2 = 1{,}100\ K * \left(\frac{101.325\ kPa}{6{,}000\ kPa}\right)^{\frac{0.287\frac{kJ}{kg*K}}{1.0047\frac{kJ}{kg*K}}} = 342.77\ K$$

El trabajo máximo es entonces:

$$w_{cmáx} = -1.0047\ \frac{kJ}{kg*K} * (1{,}100 - 342.77)K = -760.8\frac{kJ}{kg}\ (entra)$$

5. Dentro de un cilindro con émbolo hay 430 kg de agua, a 100 kPa y 30ºC, que desarrollan un proceso hasta 300 kPa y 100ºC, con el agregado de 55,500 kJ de calor. Calcule la entropía que se produce durante el proceso, en kJ/K, si el calor proviene de una fuente que está a 200ºC.

Solución:

El sistema es cerrado y el balance de entropía es:

$$\sigma = m(s_2 - s_1) - \left(\frac{Q_j}{T_j}\right)$$

1: 100 kPa, 30ºC; el estado es líquido comprimido y simplificando a líquido saturado a 30ºC se obtiene:

$s_1 = 0.4369\frac{kJ}{kg*K}$, de la tabla A.1.

2: 300 kPa, 100ºC; el estado es líquido comprimido y simplificando a líquido saturado a 100ºC se obtiene
$s_2 = 1.3069\ \frac{kJ}{kg*K}$,, de la tabla anterior.

La entropía producida es:

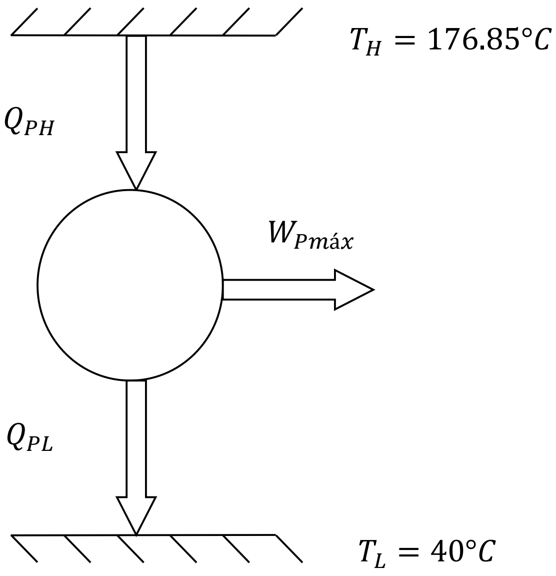
$$\sigma = 430\ kg * (1.3069 - 0.4369)\frac{kJ}{kg*K} - \left(\frac{55{,}500\ kJ}{473\ K}\right)$$

$$\sigma = 256.764\frac{kJ}{k}\ (real\ o\ irreversible)$$

6. Una máquina térmica tiene un colector solar que funciona a 176.85ºC y que recibe 0.2 kW/m^2. El colector le da energía a la máquina térmica, la que produce 2.5 kW y rechaza calor a un sumidero a 40ºC. ¿Cuál es el área mínima del colector solar?

Solución:

El área es mínima si se cumple $\eta_C = \eta_t$



El área es mínima si se cumple $\eta_C = \eta t$

$$1-\left(\frac{T_L}{T_H}\right)=\frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H}$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$1 - \left(\frac{313\ k}{450\ K}\right) = 0.3044 = \frac{2.5\ kW}{Q_{PH}}$$

de donde:

$$\dot{Q}_H = 8.213kW$$

El área mínima es:

$$A_{mín} = \frac{\dot{Q}_H}{0.2\frac{kW}{m^2}}$$

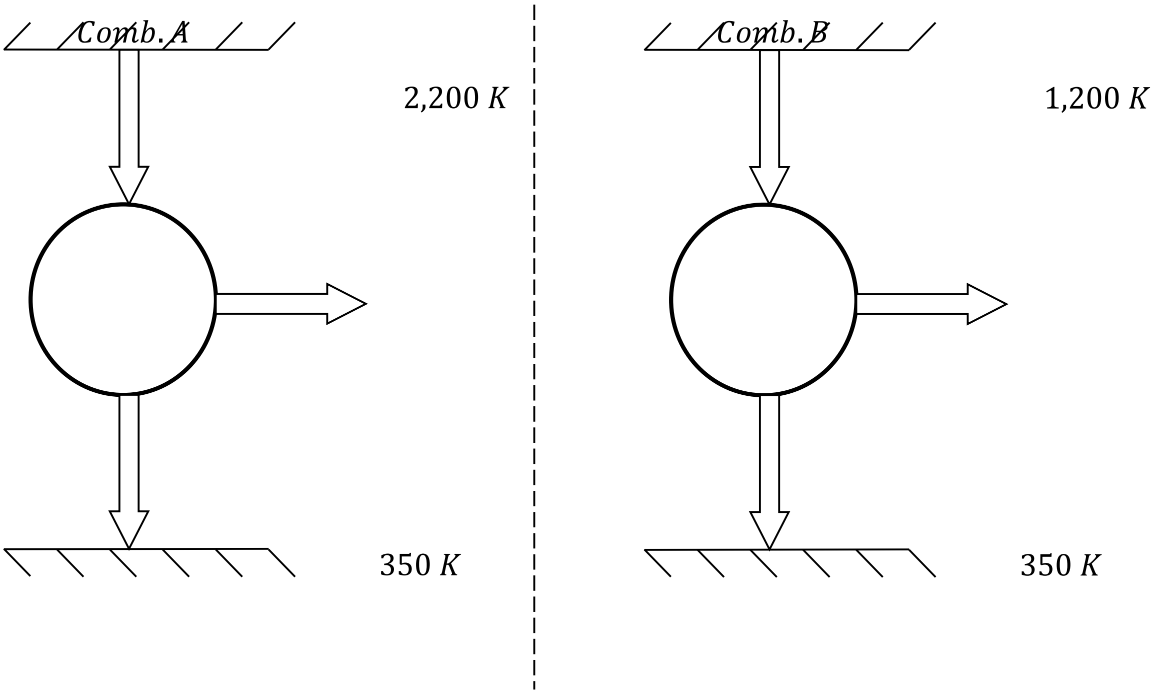
$$A_{mín} = \frac{8.213\ kW}{0.2\frac{kW}{m^2}} = 41.06\ m^2$$

7. Dos combustibles distintos se usan en una máquina térmica que tiene una temperatura baja de 76.85ºC. El combustible A tiene una temperatura alta de 2,200 K, entrega 30,000 kJ/kg y cuesta 1.5 $/kg. El combustible B tiene una temperatura alta de 1,200 K, entrega 40,000 kJ/kg y cuesta 1.3 $/kg. ¿Cuál combustible conviene comprar y por qué?

Solución:

Sea una máquina de Carnot; entonces $\eta_C = \eta_t$, entonces:

$1 - \left(\frac{T_L}{T_H}\right) = \frac{w}{q_H}$



Para la máquina A $1 - \left(\frac{350\ K}{2{,}200\ K}\right) = \frac{30{,}000\frac{kJ}{kg}}{q_H}$, de donde $q_H = 35{,}675.68\,\frac{kJ}{kg}$

El costo por kJ es: $C_A = \frac{1.5\,\frac{\$}{kJ}}{35{,}675.68\frac{kJ}{kg}} = 0.000042\,\frac{\$}{kJ}$

Para la máquina B:

$1 - \left(\frac{350\ K}{1{,}200\ K}\right) = \frac{40{,}000\frac{kJ}{kg}}{q_H}$, de donde $q_H = 56{,}470.59\,\frac{kJ}{kg}$

El costo por kJ es:

$$C_B = \frac{1.3\,\frac{\$}{kJ}}{56{,}470.59\,\frac{kJ}{kg}} = 0.000023\,\frac{\$}{kJ}$$

Se prefiere el combustible B por ser más barato por kJ.

8. En un cilindro con émbolo, carente de fricción, hay oxígeno gaseoso [R = 0.260 J/g*K), k = 1.4] a 27ºC, 77.17 kPa y 100 L. El gas se comprime casiestática y adiabáticamente hasta 426ºC. Encuentre la presión final.

Solución:

El proceso es reversible y adiabático o sea isoentrópico. Entonces para un gas ideal :

$$\Delta s \;=\; C_P \; ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \; ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 0$$

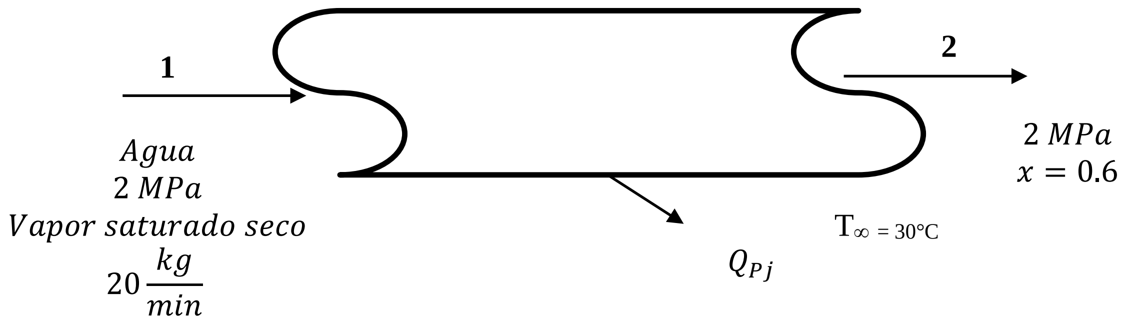
de donde:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{C_p}{R}} \;=\; P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\left[\frac{kR}{k-1}\right]}{R}}$$

$$\Delta s = \; P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \;=\; 77.17\; kPa * \left(\frac{699\;K}{300\;K}\right)^{\frac{1.4}{0.4}} \;=\; 1490.03\; kPa$$

9*. Entra agua como vapor saturado y seco a 2 MPa en un tubo largo. Debido a la pérdida de calor hacia los alrededores, el agua sale del tubo a 2 MPa y x = 0.6. Determine la producción de entropía, en kW/K. El gasto másico del agua es 20 kg/min y la temperatura de los alrededores es de 30ºC.

Solución:



La primera ley es $\dot{Q}_j = \dot{m}\left(h_2 - h_1\right)$ y la segunda ley es $\dot{\sigma} = \dot{m}\left(s_2 - s_1\right) - \left(\frac{\dot{Q}_j}{T_\infty}\right)$.

Combinando ambas ecuaciones se obtiene:

$$\dot{\sigma} = \dot{m}\left\{ s_2 - s_1 - \left[\frac{h_2 - h_1}{T_\infty}\right]\right\}$$

Calculando las propiedades del agua de las tablas de las páginas A.1 y A.2 se obtiene:

1: 2 MPa, vap. sat. seco $h_1 = 2{,}799.5 \frac{kJ}{kg}$, $s_1 = 6.3409 \ \frac{kJ}{kg*K}$

2: 2 MPa, x = 0.6, $h_2 = 2{,}043.21 \ \frac{kJ}{kg}$, $s_2 = 4.7835 \ \frac{kJ}{kg*K}$

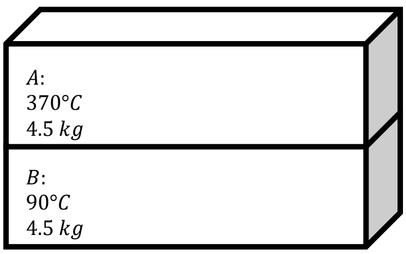
La entropía producida es:

$$\dot{\sigma} = 20\frac{kg}{min} * \frac{1 min}{60 s} * \left\{ (4.7835 - 6.3409)\frac{kJ}{kg*K} - \frac{\left[(2{,}043.21 - 2{,}799.5)\frac{kJ}{kg} \right]}{303K} \right\}$$

$$\sigma = 0.313\frac{kJ}{s*K} = 0.313\frac{kW}{K}(real\ o\ irreversible)$$

10. Dos barras de acero, de 4.5 kg cada una, están inicialmente a 370ºC y 90ºC, respectivamente. Las barras se ponen en contacto hasta que se logra el equilibrio térmico. Calcule el cambio de entropía, en kJ/K. Desprecie la transmisión de calor hacia los alrededores y tome C_{acero} = 0.46 kJ/kg Δ_1ºC.

Solución:



La primera ley es ΔU = 0

$$m_a C_a (T_{fin} - T_{ai}) + m_b C_b (T_{fin} - T_{bi}) = 0$$

de donde $T_{fin} = \frac{m_a C_a T_{ai} + m_b C_b T_{bi}}{m_a C_a + m_b C_b} = \frac{T_{ai} + T_{bi}}{2}$

El cambio de entropía para la barra es $m\Delta s = m_a C_a ln\left(\frac{T_{fin}}{T_{ai}}\right) + m_b C_b \ln\left(\frac{T_{fin}}{T_{bi}}\right)$

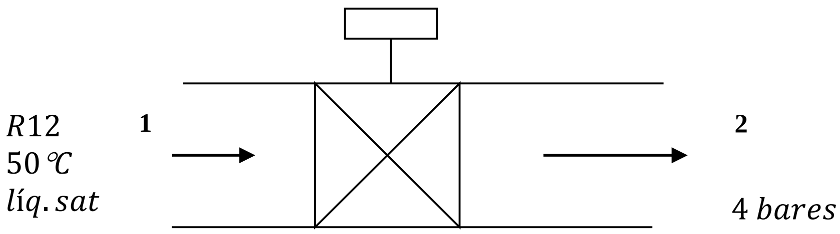
La temperatura final es $T_{fin} = (370 + 90)\,℃ = 230\,℃ = 503\ K$
El cambio de entropía es:

$$\Delta S = 4.5\ kg * 0.46\ \frac{kJ}{kg * K} * \left[ln\left(\frac{503\ K}{643\ K}\right) + ln\left(\frac{503\ K}{363K}\right)\right]$$

$$\Delta S = 0.1668\frac{kJ}{K}\ (real\ o\ irreversible)$$

11*. Una corriente de 90 kg/h de R-12 se estrangula adiabáticamente desde líquido saturado a 50ºC hasta 4 bares. Calcule la producción de entropía, en W/K.

Solución:



La primera ley es $h_1 = h_2$ y la segunda ley es $\sigma = \dot{m}(s_2 - s_1)$

Las propiedades del R12 se calculan de las tablas C.1 y C.2:

1: 50°C, líq. sat., $h_1 = 84.945\frac{kJ}{kg}$, $s_1 = 0.3037\ \frac{kJ}{kg*K}$

2: 4 bares y $h_2 = 84.945\ \frac{kJ}{kg}$; es vapor húmedo y $x_2 = \frac{(84.945 - 43.64)\frac{kJ}{kg}}{147.33\frac{kJ}{kg}} = 0.2804$

$$s_2 = 0.1691\ \frac{kJ}{kg * K} + \left[0.2804 * (0.6928 - 0.1691)\ \frac{kJ}{kg * K}\right] = 0.31569\ \frac{kJ}{kg * K}$$

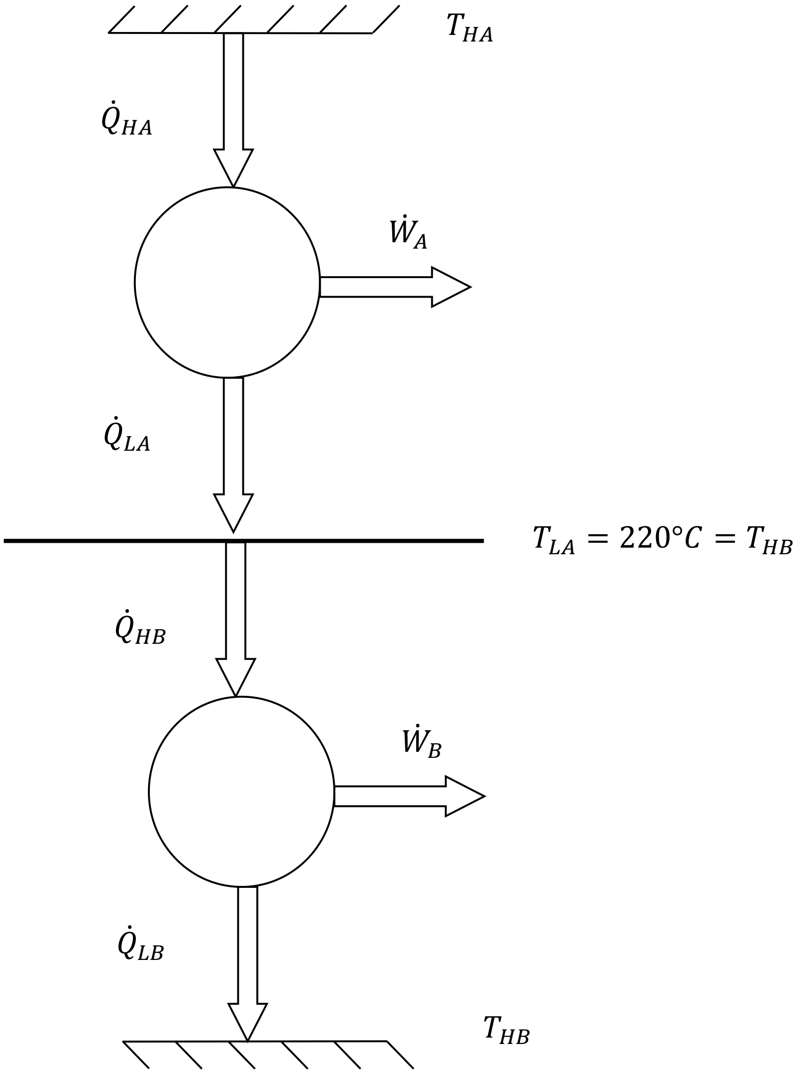
La entropía producida es

$$\dot{\sigma} = 90\frac{kg}{h} * \frac{1\ h}{3{,}600\ s} * \left[(0.3159 - 0.3037)\ \frac{kJ}{kg * K}\right] = 0.000305\frac{\frac{kJ}{s}}{K}$$

$$\dot{\sigma} = 0.000305\frac{kW}{K} = 0.305\frac{W}{K}\ (real\ o\ irreversible)$$

12. Dos máquinas de Carnot operan en serie entre una temperatura alta desconocida y una temperatura baja de 25ºC. La energía que entrega la primera máquina la recibe la segunda máquina. La temperatura intermedia es 220ºC. La eficiencia de la primera máquina es dos veces la eficiencia de la segunda. Calcule la temperatura alta.

Solución:



De acuerdo con el problema:

$\dot{Q}_{HB} = \dot{Q}_{LA}$

$\eta_{CA} = \eta_{CB}$

Entonces:

$$1 - \left(\frac{T_{LA}}{T_{HA}}\right) = 2 * \left[1 - \left(\frac{T_{LB}}{T_{HB}}\right)\right]$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$1 - \left(\frac{493\ K}{T_{HA}}\right) = 2 * \left[1 - \left(\frac{298\ K}{493\ K}\right)\right]$$

de donde $T_{HA} = 2{,}359.7\ K = 2{,}086.55\ K$

13. Una máquina cíclica recibe 325 kJ de un depósito de energía a 1,000 K; rechaza 125 kJ hacia un depósito de energía a 400 K y el ciclo produce 200 kJ de trabajo. Califique al ciclo como reversible, irreversible o imposible y diga si satisface la desigualdad de Clausius o no.

Solución:

De acuerdo con Carnot:

$$\eta_C = 1 - \left(\frac{T_L}{T_H}\right) = 1 - \left(\frac{400\ K}{1{,}000\ K}\right) = 0.6$$

Para una máquina térmica:

$$\eta_t = \frac{W}{Q_H} = \frac{200\ kJ}{325\ kJ} = 0.6154$$

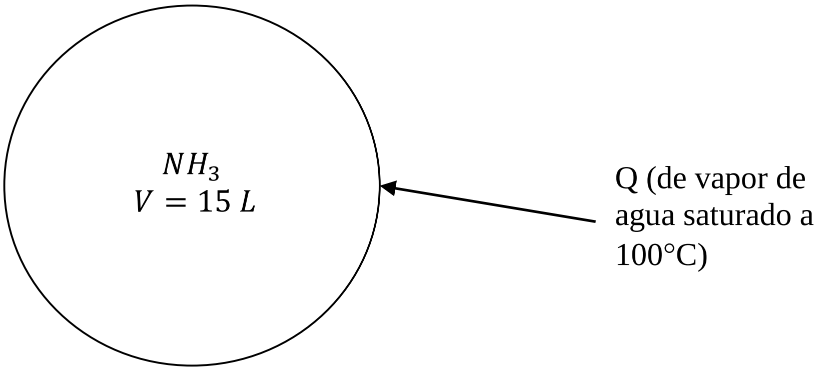
Como $\eta_t > \eta_C$, el ciclo es imposible. Para la desigualdad de Clausius:

$$\int \frac{\delta Q}{T} = \left(\frac{Q_H}{T_H}\right) - \left(\frac{Q_L}{T_L}\right) = \left(\frac{325\ kJ}{1{,}000\ K}\right) - \left(\frac{125\ kJ}{400\ K}\right) = 0.0125\frac{kJ}{K} > 0$$

(por tanto no la cumple).

14*. Se encuentra amoniaco en un tanque rígido e impermeable de 15 L, con una calidad desconocida y 0ºC. Se calienta hasta 100ºC y 1,200 kPa, mediante vapor de agua saturado a 110ºC. Calcule la generación de entropía en kJ/K.

Solución:



La primera ley es $Q = m\Delta u$ y la segunda ley es $\sigma = m\Delta s - \left(\frac{Q}{T_j}\right)$

Combinando ambas ecuaciones se obtiene $\sigma = m\Delta s - \left(\frac{m\Delta u}{T_j}\right)$

Las propiedades se obtienen de las tablas de amoniaco E.1 a E.3.

2: 100ºC, 1200 kPa,es vapor sobrecalentado y:

$$u_2 = 1{,}505.5\,\frac{kJ}{kg}$$

$$s_2 = 5.8219\,\frac{kJ}{kg*K}$$

$$\nu_2 = 0.1435\,\frac{m^3}{kg}$$

Como se conoce que el volumen (constante) es de 15 L entonces:

$$m = \frac{0.015\,m^3}{0.1435\,\frac{m^3}{kg}} = 0.1045\,kg$$

1: como 0ºC y $\nu_1 = 0.1435\,\frac{m^3}{kg}$; la calidad es:

$$x_1 = \frac{(0.1435 - 0.001566)\,\frac{m^3}{kg}}{0.2876\,\frac{m^3}{kg}} = 0.4935$$

$$u_1 = u_f + \left(x_1 * u_{fg}\right)$$

$$u_1 = 199.29\,\frac{kJ}{kg} + \left(0.4935 * 1{,}138.4\,\frac{kJ}{kg}\right) = 761.09\,\frac{kJ}{kg}$$

$$s_1 = 1\,\frac{kJ}{kg*K} + 0.4935 * 4.6201\,\frac{kJ}{kg*K} = 3.28\,\frac{kJ}{kg*K}$$

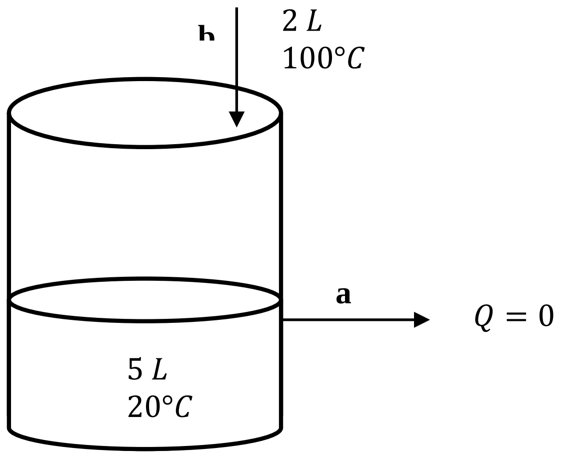
La entropía producida es:

$$\sigma = 0.1045\,kg * \left[(5.8219 - 3.28)\frac{kJ}{kg*K} - \frac{(1505.5 - 761.09)\frac{kJ}{kg}}{383\,K}\right]$$

$\sigma = \ 0.06252 \frac{kJ}{K} \ (real \ o \ irreversible)$

15. Un recipiente adiabático contiene 5 litros de aceite lubricante a 20ºC y 100 kPa. Se toman 2 litros de aceite de una máquina en operación a 100ºC y se mezclan con el aceite del recipiente. Encuentre la generación de entropía, en J/K. Para el aceite: C = 1.9 kJ/kg*K, ρ = 0.885 g/cm^3.

Solución:



La primera ley es $m\Delta u \ = \ 0$ ó $m_a C_a (T_2 - T_{1a}) + m_b C_b (T_2 - T_{1b}) = 0$

de donde $T_2 = \frac{m_a T_{1a} + m_b T_{1b}}{m_a + m_b}$, ya que $C_a = C_b$

La segunda ley es :

$$\sigma = \ m_a C_a ln\left(\frac{T_2}{T_{1a}}\right) + m_b C_b ln\left(\frac{T_2}{T_{1b}}\right) = C\left[m_a ln\left(\frac{T_2}{T_{1a}}\right) + m_b ln\left(\frac{T_2}{T_{1b}}\right)\right]$$

Calculando se obtiene que la temperatura al final del mezclado es:

$$T_2 = \frac{\left(0.885 \frac{kg}{L}\right) * (5 \ L * 20 \ ℃ + 2 \ L * 100 \ ℃)}{0.885 \frac{kg}{L} * (5 \ + \ 2)L} \ = \ 42.86 \ ℃ = 315.86 \ K$$

y la entropía generada es:

$$\sigma = \ \left(0.885 \frac{kg}{L} * 1.9 \frac{kJ}{kg * K}\right) * \left[5 \ L * ln\left(\frac{315.86 \ K}{293 \ K}\right) + 2 \ L * ln\left(\frac{315.86 \ K}{373 \ K}\right)\right]$$

$\sigma = \ 0.0724 \frac{kJ}{K} = 72.4 \ \frac{J}{K} \ (real \ o \ irreversible)$

16. Una tobera recibe un gas ideal a 926.85ºC y 150 kPa con una velocidad despreciable. El gas sale a 80 kPa y el proceso se considera reversible y adiabático. Encuentre la velocidad del gas en la salida. R = 0.287 J/g*K, k = 1.4

Solución:

La primera ley es $\Delta h + \Delta EC = 0$, que para el gas ideal se convierte en:

$$C_P(T_2 - T_1) + \left[\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2}\right] = 0$$

de donde $v_2 = [2C_P(T_1 - T_2)]^{0.5}$

Como el proceso es isoentrópico y el fluido es un gas ideal se obtiene que:

$$\Delta s = C_P ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

de donde $T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R}{Cp}}$

Sustituyendo la temperatura a la salida de la tobera en la primera ley se obtiene:

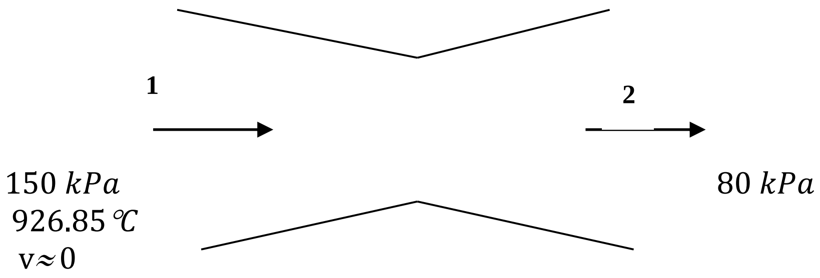
$$v_2 = \left\{2C_P\left[T_1 - T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)\right]^{\frac{R}{Cp}}\right\}^{0.5}$$

$$v_2 = \left\{2C_P\left[T_1\left(1 - \frac{P_2}{P_1}\right)\right]^{\frac{R}{Cp}}\right\}^{0.5}$$

$$v_2 = \left\{2 * 1.0047\frac{kJ}{kg * K} * \left(\frac{1{,}000\frac{m^2}{s^2}}{1\frac{kJ}{kg}}\right) * 1{,}200\ K * \left[1 - \left(\frac{80\ kPa}{150\ kPa}\right)\right]^{\frac{0.287\frac{kJ}{kg*K}}{1.0047\frac{kJ}{kg*K}}}\right\}^{0.5}$$

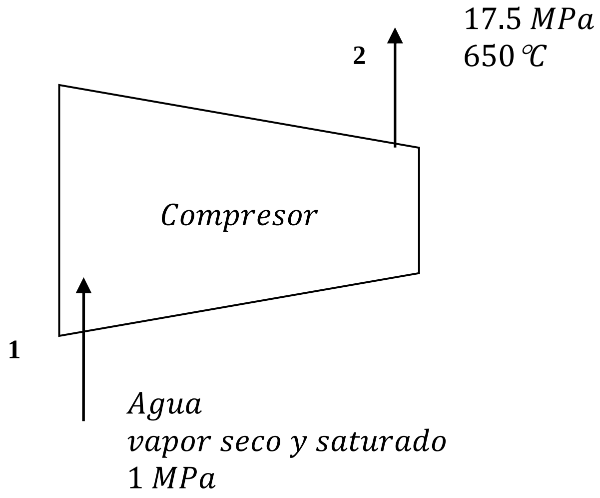
$$v_2 = 629.62\frac{m}{s}$$

Se ha tomado $C_P = 1.0047\frac{kJ}{kg*K}$



17. Un compresor adiabático comprime vapor saturado y seco de agua a 1 MPa hasta 17.5 MPa y 650ºC. Calcule la eficiencia isoentrópica del compresor.

Solución:



La eficiencia isoentrópica es $\eta_i = \frac{h_1 - h_{2s}}{(h_1 - h_{2r})}$

Usando las tablas de agua se calculan las entalpías.

1: vapor saturado y seco, 1 MPa $h_1 = 2{,}778.1 \frac{kJ}{kg}$, $s_1 = 6.5865 \frac{kJ}{kg*K}$

2: 17.5 MPa, 650ºC; es vapor sobrecalentado $h_{2r} = 3{,}693.9 \frac{kJ}{kg}$

A 17 MPa y $s_2 = 6.5865 \frac{kJ}{kg*K}$ $h_{2s} = 3{,}560.1 \frac{kJ}{kg}$.

La eficiencia isoentrópica es

$$\eta_i = \frac{(2{,}778.1 - 3{,}560.1) \frac{kJ}{kg}}{(2{,}778.1 - 3{,}693.9) \frac{kJ}{kg}} = 0.854$$

18. Calcule la entropía generada en el llenado del tanquecito del problema 14, página 114, del capítulo 4.

Solución:

El llenado es adiabático y la segunda ley es $\sigma = m_{fin}s_{fin} - m_i s_i - m_1 s_1$

Como $m_{fin} = m_1$, $m_i = 0$. Entonces:

$\sigma = m_{fin}(s_{fin} - s_1)$

Sustituyendo el cambio de entropía para el gas ideal se obtiene :

$$\sigma = m_{fin}\left[C_P ln\left(\frac{T_{fin}}{T_1}\right) - Rln\left(\frac{P_{fin}}{P_1}\right)\right]$$

La masa final es:

$$m_{fin} = \frac{P_{fin}V_{fin}}{RT_{fin}} = \frac{2{,}000\ kPa * 0.05\ m^3}{0.2598\ \frac{kJ}{kg * K} * 411.53\ K} = 0.9353\ kg$$

La entropía generada es:

$$\sigma = m_{fin}\left[C_P ln\left(\frac{T_{fin}}{T_1}\right) - Rln\left(\frac{P_{fin}}{P_1}\right)\right]$$

$$\sigma = 0.9353\ kg * \left\{\frac{1.395 * 0.2598\ \frac{kJ}{kg * K}}{\left[(1.395\ - 1) * \ln\left(\frac{411.53\ K}{295\ K}\right)\right]\ - \left[0.2598\ \frac{kJ}{kg * K} * \ln\left(\frac{2{,}000\ kPa}{2{,}500\ kPa}\right)\right]}\right\}$$

$$\sigma = 0.3399\ \frac{kJ}{K}\ \ (real\ o\ irreversible)$$

19. Calcule la entropía generada durante todo el proceso del problema 15, página 115, capítulo 4. Considere que el calor es proporcionado por una fuente a 500°C.

Solución:

(a) calentamiento a volumen constante.
La segunda ley es $\sigma = m(s_2 - s_1) - \frac{Q_{vc}}{T_j}$

1: 1 bar, mezcla saturada:

$$s_1 = 1.3026\frac{kJ}{kg * K} + \left(0.001844 * 6.60568\ \frac{kJ}{kg * K}\right) = 1.3138\ \frac{kJ}{kg * K}$$

2: 20 bares, mezcla saturada:

$$s_2 = 2.4474 \frac{kJ}{kg * K} + \left(0.03035 * 3.8935 \frac{kJ}{kg * K}\right) = 2.5626 \frac{kJ}{kg * K}$$

La entropía generada es:

$\sigma = 12{,}006.8\ kg * (2.5626 - 1.3138) \frac{kJ}{kg*K} - \left(\frac{6443329.152\ kJ}{773\ K}\right) =$
$6{,}658.608 \frac{kJ}{k}$ $(real\ o\ irreversible)$

(b) calentamiento transitorio.

La segunda ley es $\sigma = m_{fin}s_{fin} - m_i s_i + m_2 s_2 - \left(\frac{Q_{ct}}{T_j}\right)$

i: 20 bares, mezcla saturada $s_i = 2.5626 \frac{kJ}{kg*K}$

fin: 20 bares, mezcla saturada:

$$s_{fin} = 2.4474 \frac{kJ}{kg * K} + \left(0.0938 * 3.8935 \frac{kJ}{kg * K}\right) = 2.8126 \frac{kJ}{kg * K}$$

2: 20 bares, vapor sat. seco $s_2 = 6.3409 \frac{kJ}{kg*K}$

La entropía generada es:

$\sigma = 4{,}802.72\ kg * 2.8126 \frac{kJ}{kg*K} - 12{,}006.8\ kg * 2.5626 \frac{kJ}{kg*K} + 7{,}204.08\ kg *$
$6.3409 \frac{kJ}{kg*K} - \left(\frac{13783532.645\ kJ}{773\ K}\right)$

$$\sigma = 10{,}588.636 \frac{kJ}{K}\ (real\ o\ irreversible)$$

La entropía generada total es:

$$\sigma_{total} = 17{,}247.244 \frac{kJ}{K} = 17.25 \frac{MJ}{K}\ (real\ o\ irreversible)$$

20. Calcule el cambio de entropía para el proceso del problema 16, página 118, del capítulo 4.
Solución:

El cambio de entropía para un gas ideal es:
$$\Delta s = C_P ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - Rln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Entonces para el mezclado se obtiene:

$$\Delta s = m_A C_P ln\left(\frac{T_2}{T_{1A}}\right) + m_B C_P ln\left(\frac{T_2}{T_{1B}}\right) - Rm_A ln\left(\frac{P_2}{P_{1A}}\right) - Rm_B ln\left(\frac{P_2}{P_{1B}}\right)$$

Las masas de cada compartimiento son:

$$m_{1A} = \frac{250\ kPa * 0.5\ m^3}{0.287\ \frac{kJ}{kg * K} * 300\ K} = 1.4518\ kg$$

$$m_{1B} = \frac{150\ kPa * 1\ m^3}{0.287\ \frac{kJ}{kg * K} * 1{,}000\ K} = 0.5226\ kg$$

El cambio de entropía es:

$$\Delta s = 1.0047\ \frac{kJ}{kg * K} * \left[1.4518\ kg * ln\left(\frac{485\ K}{300\ K}\right) + 0.5226\ kg * ln\left(\frac{485\ K}{1{,}000\ K}\right)\right]$$

$$- 0.287\ \frac{kJ}{kg*K} * \left[1.4518\ kg * ln\left(\frac{183.33\ kPa}{250\ kPa}\right) + 0.5226\ kg * ln\left(\frac{183.33\ kPa}{150\ kPa}\right)\right]$$

$$\Delta s = 0.3964 \frac{kJ}{K}\ (real)$$

21. Determine la producción de entropía para el proceso del problema 18, página 119, del capitulo 4 si la transmisión de calor ocurre a 15ºC.

Solución:

La segunda ley es $\sigma = m(s_2 - s_1) - \left(\frac{Q_j}{T_j}\right)$

Las propiedades se calculan de las tablas de R-12.

1: 30°C, x_1 = 0.044:

$$s_1 = 0.24\ \frac{kJ}{kg * K} + \left(0.044 * (0.6853 - 0.24)\ \frac{kJ}{kg * K}\right) = 0.26\ \frac{kJ}{kg * K}$$

2: 20°C, x_1 = 0.0342:

$$s_2 = 0.2078\ \frac{kJ}{kg * K} + 0.0342 * (0.6884 - 0.2078) \frac{kJ}{kg * K} = 0.2242\ \frac{kJ}{kg * K}$$

La entropía generada es:

$$\sigma = 50.69\ kg * (0.2242 - 0.26)\frac{kJ}{kg * K} - \left(\frac{-533.77\ kJ}{288\ K}\right)$$

$$\sigma = -1.8147\frac{kJ}{k} + 1.8534\frac{kJ}{K} = 0.0387\frac{kJ}{K} = 38.7\frac{J}{K}\ (real\ o\ irreversible)$$

22. Calcule la producción de entropía del proceso del problema 22, página 123, del capítulo 4.

Solución:

La segunda ley es $\sigma = m(s_2 - s_1) - \left(\frac{Q_j}{T_j}\right) = m(s_2 - s_1)$

Para un gas ideal :

$$\Delta s = C_V ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + Rln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = C_V ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$C_V = \frac{R}{k - 1} = \frac{0.2969\ \frac{kJ}{kg * K}}{0.4} = 0.7423\frac{kJ}{kg * K}$$

$$m = \frac{100\ kPa * 2.8\ m^3}{0.2969\frac{kJ}{kg * K} * 293\ K} = 3.219\ kg$$

La entropía producida es:

$$\sigma = 3.219\ kg * \left[0.7423\frac{kJ}{kg * K} * ln\left(\frac{586\ K}{293\ K}\right)\right] = 1.6562\frac{kJ}{K}\ (real\ o\ irreversible)$$

23. Determine la entropía producida en total para el proceso del problema 30, página 129, del capítulo 4, si la transmisión de calor ocurre desde un depósito térmico a 500ºC.

Solución:

La segunda ley es $\sigma = m(s_3 - s_1) - \left(\frac{Q_j}{T_j}\right)$

Las propiedades se calculan de las tablas de agua.

1: 200 kPa, líquido saturado $s_1 = 1.5301\ \frac{kJ}{kg*K}$

3: 400 kpa, $x_3 = 0.041$:

$$s_3 = 1.7766\frac{kJ}{kg * K} + 0.041 * 5.1193\frac{kJ}{kg * K} = 1.9865\ \frac{kJ}{kg * K}$$

La producción de entropia es:

$$\sigma = 3\,kg * (1.9865 - 1.5301)\frac{kJ}{kg * K} - \left(\frac{550.596\,kJ}{773\,K}\right)$$
$$= 0.6569\frac{kJ}{K}\ \ (real\ o\ irreversible)$$

24. Calcule el cambio de entropía para el compresor del problema 54, página 150, del capítulo 4.

Solución:

El cambio de entropía es $\dot{\Delta}_s = \dot{m}(s_2 - s_1)$

Las propiedades se calculan de las tablas de R-12.

1: 6 bares, 25°C; es vapor sobrecalentado $s_1 = 0.6949\ \frac{kJ}{kg*K}$

2: 12 bares, 105°C; es vapor sobrecalentado $s_2 = 0.8034\frac{kJ}{kg*K}$

El gasto másico es:

$$\dot{m} = \frac{60\frac{m}{s} * 0.0002\,m^2}{0.02961\frac{m^3}{kg}} = 0.4053\frac{kg}{s}$$

El cambio de entropía es:

$$\dot{\Delta}_s = 0.4053\frac{kg}{s} * (0.8034 - 0.6949)\frac{kJ}{kg * K} = 0.044\frac{kW}{K} = 44\frac{W}{K}\ (real)$$

25. Calcule la eficiencia isoentrópica de la turbina del problema 55, página 151, del capítulo 4.

Solución:

La eficiencia isoentrópica es $\eta_i = \frac{h_1 - h_{2r}}{h_1 - h_{2s}}$

Las propiedades se calculan de las tablas de agua.

1: 1.4 MPa, 250°C; es vapor sobrecalentado, $h_1 = 2927.2\ \frac{kJ}{kg}$

2: 10 kPa, $x_2 = 0.9593$; $h_{2r} = 2{,}487.2\frac{kJ}{kg}$. Si se tiene 10 kPa y $s_2 = 6.7467\ \frac{kJ}{kg*K}$, Entonces:

$$x_{2s} = \frac{(6.7467 - 0.6493)\,\frac{kJ}{kg*K}}{7.5009\ \frac{kJ}{kg*K}} = 0.8129$$

$$h_{2s} = 191.83\ \frac{kJ}{kg} + 0.8129 * 2392.8\ \frac{kJ}{kg} = 2136.94\frac{kJ}{kg}$$

La eficiencia isoentrópica es:

$$\eta_i = \frac{(2927.2 - 2487.2)\frac{kJ}{kg}}{(2927.2 - 2136.94)\frac{kJ}{kg}} = 0.5568$$

26. Determine la entropía producida en el proceso del problema 59, página 154, del capítulo 4.

Solución:

La segunda ley es:

$$\dot{\sigma} = \dot{m}s - \left(\frac{Q_j}{T_j}\right) = \dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_{2a} s_{2a} - \dot{m}_1 s_1$$

Las propiedades se calculan de las tablas de agua.

1: 160°C, 10 bares; es líquido comprimido y, (usando líquido saturado a 160°C $s_1 = 1.9427\ \frac{kJ}{kg*K}$

2: 350 kPa, vapor sat. seco, $s_2 = 6.9405\ \frac{kJ}{kg*K}$

2a: 350 kPa, líquido saturado:

$$s_{2a} = 1.7275\ \frac{kJ}{kg*K}$$

La entropía producida es:

$$\dot{\sigma} = 200\frac{kg}{h} * 6.9405\frac{kJ}{kg*K} + 4505.882\frac{kg}{h} * 1.7275\frac{kJ}{kg*K} - 47,05.882\frac{kg}{h} * 1.9427\frac{kJ}{kg*K} = 29.894\frac{kJ}{h*K}$$

$$\dot{\sigma} = 0.008304 \frac{kW}{K} = 8.304 \frac{W}{K} \left(real\, o\, irreversible \right)$$

27. Determine la entropía producida en el intercambiador de calor del problema 63, página 157, del capítulo 4.

Solución:

La segunda ley es:

$$\dot{\sigma} = \dot{m}\left(s_2 - s_1\right) - \left(\frac{Q_j}{T_j}\right) = \dot{m}_{ml} \left(s_2 - s_1\right) + \dot{m}_a \left(s_b - s_a\right)$$

Para el metal líquido (fluido incompresible):

$$(s_2 - s_1) = Cln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = 1.25 \frac{kJ}{kg * K} * ln\left(\frac{593\ K}{673\ K}\right) = -0.1582 \frac{kJ}{kg * K}$$

Para el agua:

A: 10 MPa, 49°C; es líquido comprimido y tomando líquido saturado a 49°C, $s_a = 0.6908 \frac{kJ}{kg*K}$

b: 100 bares. $x_b = 1$, $s_b = 5.6141 \frac{kJ}{kg*K}$

La entropia producida es:

$$\dot{\sigma} = \left(10{,}000 \frac{kg}{h}\right) * \left(-0.1582 \frac{kJ}{kg * K}\right) + 396.9 \frac{kg}{h} * \left(5.6141 - 0.6908\right) \frac{kJ}{kg * K}$$

$$\dot{\sigma} = -1{,}582 \frac{kJ}{h * K} + 1{,}952.58 \frac{kJ}{h * K} = 370.58 \frac{kJ}{h * K} = 0.102939 \frac{kW}{K}$$

$$\dot{\sigma} = 102.93 \frac{W}{K}\ (real\, o\, irreversible$$

28. Calcule el cambio de entropía del proceso de mezclado del problema 71, página 165, del capítulo 4.

Solución:

El cambio de entropía es $\dot{\Delta s} = \dot{m}\left(s_2 - s_1\right)$

$$\dot{\Delta s} = \dot{m}_d s_d - \dot{m}_c s_c - \dot{m}_b s_b - \dot{m}_a s_a$$

Las propiedades se calculan de las tablas de R-12.

a: 8 bares, 60°C; vapor sobrecalentado, $s_a = 0.7474 \frac{kJ}{kg*K}$

b: 8 bares, 10°C; tomando líquido saturado a 10°C $s_b = 0.1752 \frac{kJ}{kg*K}$

c: 1 MPa, 90°C; vapor sobrecalentado, $s_c = 0.7898 \frac{kJ}{kg*K}$

d: 8 bares, líquido saturado, $s_d = 0.2487 \frac{kJ}{kg*K}$

El cambio de entropía es:

$$\dot{\Delta s} = 74.76 \frac{kg}{s} * 0.2487 \frac{kJ}{kg*K} - 4.433 \frac{kg}{s} * 0.7898 \frac{kJ}{kg*K} - 65.9 \frac{kg}{s} * 0.1752 \frac{kJ}{kg*K} - 4.433 \frac{kg}{s} * 0.7474 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{\Delta s} = 0.233 \frac{kW}{K} = 233 \frac{W}{K} \ real$$

29. Determine la generación de entropía del problema 73, página 167, del capítulo 4, si la transmisión de calor proviene de un depósito térmico a 40ºC.

Solución:

La segunda ley es $\sigma_P = m_P(s_2 - s_1) - \left(\frac{Q_{Pj}}{T_j}\right)$

Las propiedades se calculan de las tabla de R-12.

1: vap. sat. seco, - 10°C, $s_1 = 0.7019 \frac{kJ}{kg*K}$

2: 2 bares, 5°C; es vapor sobrecalentado, $s_2 = 0.7437 \frac{kJ}{kg*K}$

La entropía generada es:

$$\dot{\sigma} = 0.2833 \frac{kg}{s} * (0.7437 - 0.7019) \frac{kJ}{kg*K} - \left(\frac{2.668 kW}{313 K}\right) = 0.003316 \frac{kW}{K}$$

$$\dot{\sigma} = 3.316 \frac{W}{K} (real\, o\, irreversible)$$

30. Calcule nuevamente el problema 103, página 191, del capítulo 4, si las eficiencias internas de la turbina y de la bomba son de 0.9 y 0.85, respectivamente.

Solución:

Como $\eta_{it} = \frac{h_1 - h_{2r}}{h_1 - h_{2s}} = 0.9$, entonces $h_{2s} = 2{,}386.972\ \frac{kJ}{kg}$; también $\eta_{ib} = \frac{h_3 - h_{4s}}{h_3 - h_{4r}} = 0.9$.

Entonces $h_{4s} = 230.237\ \frac{kJ}{kg}$

Efectuando nuevamente los cálculos se obtiene:

$$\dot{m}_s = \frac{\dot{W}_t}{h_1 - h_{2s}} = \frac{7{,}500\,\frac{kJ}{s}}{(3{,}316.2 - 2{,}386.972)\,\frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_s = 8.0712\,\frac{kg}{s} = 29.056\,\frac{ton}{h}$$

$$n_{ts} = \frac{h_1 - h_{2s} - h_{4s} + h_3}{h_1 - h_{4s}}$$

$$n_{ts} = \frac{(3{,}316.2 - 2{,}386.972 - 230.237 + 225.94)\ \frac{kJ}{kg}}{(3{,}316.2 - 230.237)\ \frac{kJ}{kg}} = 0.2997$$

31. Calcule la potencia neta del ciclo de Rankine del problema 104, página 192, del capítulo 4, si la turbina y la bomba son ideales.

Solución:

La potencia neta del ciclo es:

$$\dot{W}_{netas} = \dot{m}\left(h_1 - h_{2s} - h_{4s} + h_3\right)$$

Las propiedades se calculan de las tablas de agua.

1: 10 MPa, 550°C; es vapor sobrecalentado, $h_1 = 3{,}425\ \frac{kJ}{kg}$, $s_1 = 6.7561\,\frac{kJ}{kg*K}$.

2: 30 kPa, $s_2 = 6.7561\,\frac{kJ}{kg*K}$:

$$x_{2s} = \frac{(6.7561 - 0.9439)\ \frac{kJ}{kg}}{6.8247\ \frac{kJ}{kg}} = 0.8516$$

$$h_{2s} = 289.23\,\frac{kJ}{kg} + \left(0.8516 * 2{,}336.1\ \frac{kJ}{kg}\right) = 2{,}278.35\,\frac{kJ}{kg}$$

3: 30 kPa, x = 0, $h_3 = 289.2 \frac{kJ}{kg}$, $s_3 = 0.9439 \ \frac{kJ}{kg*K}$

4: 10 MPa, $s_4 = 0.9439 \frac{kJ}{kg*K}$:, $h_{4s} = 299.99 \frac{kJ}{kg} (interpolando)$

La potencia neta es:

$$\dot{W}_{neta} = 40 \frac{kg}{s} * (3,425 - 2,278.75 - 299.99 + 289.2) \frac{kJ}{kg} = 45,418.4 kW = 45.42 MW$$

32. Calcule la eficiencia isoentrópica de la turbina de PB del problema 109, página 196, del capítulo 4.

Solución:

La eficiencia isoentrópica es $\eta_i = \frac{h_b - h_{2r}}{h_b - h_{2s}}$

Las propiedades se calculan de las tablas de agua.

b: 600°C, 300 kPa: es vapor sobrecalentado $h_b = \ 3,703.2 \frac{kJ}{kg}$, $s_b = \ 8.5892 \ \frac{kJ}{kg*K}$

2: 10 kPa, $s_2 = \ 8.5892 \frac{kJ}{kg*K}$; es vapor sobrecalentado $h_{2s} = 2,743.655 \ \frac{kJ}{kg}$

La entalpia h_{2r} es la calculada en el problema 109, página 196, del capítulo 4.

La eficiencia es:

$$\eta_i = \frac{(3,703.2 - 2,783) \ \frac{kJ}{kg}}{(3703.2 - \ 2743.655) \frac{kJ}{kg}} \ = \ 0.959$$

33. Calcule nuevamente el problema 112, página 201, del capítulo 4, si el compresor es ideal.

Solución:

La potencia del compresor es:

$$\dot{W}_s = \dot{m}(h_{2s} - h_1)$$

El costo es $C = \dot{W}_s * 24h * 330 días * 0.4$

El coeficiente de operación es:

$$COP_s = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{W}_s}$$

Las propiedades se obtienen de las tablas de R-134A.

1: x = 1, - 5°C, $h_1 = 243.8\ \frac{kJ}{kg}$, $s_1 = 0.922\ \frac{kJ}{kg*K}$

2: 0.5 MPa, $s_2 = 0.922\frac{kJ}{kg*K}$:

$$h_2s = 259.062\frac{kJ}{kg}$$

Efectuando cálculos se obtiene:

$$\dot{W}_s = 0.2028\frac{kg}{s} * (259.062 - 243.8)\frac{kJ}{kg} = 3.0905\ kW$$

$$C_s = 3.095\frac{kWh}{h} * 24\frac{h}{día} * 330\frac{días}{año} * 0.4\frac{\$}{kWh} = 9{,}804.94\frac{\$}{año}$$

$$COP_s = \frac{35.16\ kW}{3.095\ kW} = 11.36$$

34. Una máquina térmica reversible recibe calor de una fuente a T_{alta} y expulsa el calor a 725ºC. Otra máquina reversible recibe el calor que expulsa la primera a 725ºC y a su vez rechaza calor a un depósito a 27ºC. Calcule el valor de T_{alta} si:

i) cada máquina tiene la misma eficiencia,
ii) cada máquina produce el mismo trabajo neto.

Solución:

i) $\eta_{MT1} = \eta_{MT2}$

Sustituyendo la eficiencia de una máquina de Carnot se obtiene $1 - \left(\frac{T_{L1}}{T_{H1}}\right) = 1 - \left(\frac{T_{L2}}{T_{H2}}\right)$

y de acuerdo con el problema $T_{L1} = T_{H2} = T_I$

Entonces $1 - \left(\frac{998\ K}{T_I}\right) = 1 - \left(\frac{300\ K}{998\ K}\right)$

de donde $T_I = 3{,}320.01\ K = 3{,}047.01°C$

ii) Para la máquina 1 se obtiene:

$$\eta_{MT1} = \frac{W_1}{Q_{H1}} = \frac{Q_{H1} - Q_{L1}}{Q_{H1}} = 1 - \left(\frac{Q_{L1}}{Q_{H1}}\right) = 1 - \left(\frac{T_{L1}}{T_{H1}}\right)$$

$$de\ donde\ \ 1 - \ \eta_{MT1} = \left(\frac{Q_{L1}}{Q_{H1}}\right)$$

Para la máquina 2:

$$\eta_{MT2} = \frac{W_2}{Q_{H2}} = \frac{W_2}{Q_{L1}}$$

y por la condición de que $W_1 = W_2$, entonces:

$$\eta_{MT2} = \frac{Q_{H1} - Q_{L1}}{Q_{L1}} = \left(\frac{Q_{H1}}{Q_{L1}}\right) - 1 = 1 - \left(\frac{T_{L2}}{T_{H1}}\right) = 1 - \left(\frac{T_{L2}}{T_{L1}}\right)$$

También se obtiene que $\left(\frac{Q_{H1}}{Q_{L1}}\right) - 1 = \eta_{MT2}$, de donde:

$$\left(\frac{Q_{H1}}{Q_{L1}}\right) = \eta_{MT2} + 1$$

e invirtiendo $\left(\frac{Q_{L1}}{Q_{H1}}\right) = \frac{1}{\eta_{MT2} + 1}$

Igualando para las dos máquinas se obtiene $\frac{1}{\eta_{MT2} + 1} = 1 - \eta_{MT1}$

$$\eta_{MT1} = 1 - \left(\frac{1}{\eta_{MT2} + 1}\right) = 1 - \left(\frac{T_{L1}}{T_{H1}}\right)$$

Despejando la razón de temperaturas se obtiene:

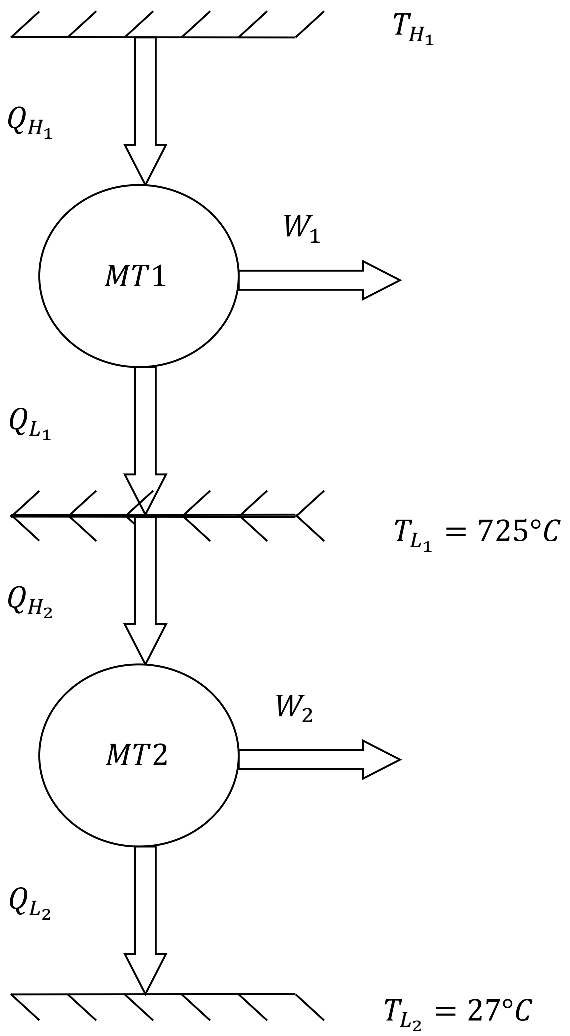
$$\frac{T_{L1}}{T_{H1}} = 1 - \left[1 - \frac{1}{\eta_{MT2} + 1}\right]$$

$$\frac{T_{L1}}{T_{H1}} = \frac{1}{\eta_{MT2} + 1}$$

$$de\ donde\ T_{L1}(\eta_{MT2} + 1) = T_{H1} = T_{L1}\left[1 + 1 - \left(\frac{T_{L2}}{T_{L1}}\right)\right]$$

La temperatura alta 1 es:

$$T_{H1} = T_{L1}\left[\frac{2\,T_{L1} - T_{L2}}{T_{L1}}\right] = 2T_{L1} - T_{L2} = (2 * 998\ K) - 300\ K = 1{,}696\ K = 1{,}423\ ℃$$



35. En una máquina térmica experimental el calor se rechaza exclusivamente por radiación: $Q_L = \sigma A T_L^4$ (donde A es el área del radiador y σ es una constante). El radiador ha de tener el área mínima. Si deben producirse 300 kW de trabajo y el calor se recibe de una fuente a 350ºC, calcule el área óptima del radiador.

Solución:

La constante de Stefan.-Boltzmann tiene un valor de $\sigma = 5.6705\ X10^{-8}\,\frac{W}{m^2K^4}$

Según Carnot $\eta_C = 1 - \left(\frac{T_L}{T_H}\right) = \frac{W}{Q_H} = \frac{W}{W+Q_L}$

Despejando Q_L se obtiene $Q_L = W\left(\frac{T_L}{T_H - T_L}\right) = \sigma A T_L^4$

de donde el área es $A \ = \frac{W}{\sigma T_L^3(T_H - T_L)}$

El área es mínima si se satisface $\frac{dA}{dT_L} = \ 0$

realizando las operaciones se obtiene que $T_L = \frac{3T_H}{4}$

Entonces el área óptimas es $A_{ópt} = \frac{W}{\sigma\left(\frac{3T_H}{4}\right)^3 * \left[T_H - \left(\frac{3T_H}{4}\right)\right]}$

$$A_{ópt} = \frac{30{,}000\ W}{5.6705\ X10^{-8}\ \frac{W}{m^2K^4}\ * \left(\frac{3 * 623\ K}{4}\right)^3 * 623\ K * (1 - 0.75)} \ = \ 332.664\ m^2$$

36. En un cilindro con émbolo, libre de fricción, hay 225 g de una sustancia compresible y simple, la que sufre un proceso casiestático e isotérmico a 25ºC, de tal manera que el valor de su energía no se altera. Si durante el proceso se duplica el volumen de la sustancia, calcule el trabajo. Para la sustancia

$$s \ = \ s_0 + \left(0.29 \frac{J}{g * K}\right) * ln(V)$$

Solución:

De la segunda ley $\int dS = \int \frac{dQ}{T}$, se obtiene $\Delta S \ = \frac{Q}{T}$

Q = TΔS

De la primera ley ΔU = Q – W, se obtiene Q = W

Combinando $W \ = \ T\Delta S \ = \ mT(s_2 - s_1)$.

Sustituyendo valores se obtiene:

$$W \ = \ 0.225\ kg * 298\ K * \left[s_0 + \ 0.29\ \frac{kJ}{kg * K} * ln(V_2) \ - \ s0 \ - \ 0.29\ \frac{kJ}{kg * K} * ln(V_1)\right]$$

$$W = \ 0.225\ kg * 298\ K * 0.29\ \frac{kJ}{kg * K} * ln(2) = 13.478\ kJ$$

37*. Un cilindro adiabático de 150 dm^3 tiene un émbolo sin fricción. En el cilindro hay agua a 400 kPa y 200ºC. El fluido se expande casiestáticamente y se mide el trabajo que entrega: 30 kJ. Se dice que el agua termina en la zona de dos fases. Si fuese verdad, indique la presión y la calidad. Si no, señale la presión y la temperatura.

Solución:

El proceso es isoentrópico y Δs = 0, $s_1 = s_2$

De la primera ley $\Delta U = -W = -30\ kJ$

También se conoce que la masa que hay en el cilindro es $m = \frac{0.15 m^3}{\nu_1 \frac{m^3}{kg}}$

1: 400 kPa, 200ºC; de la tabla A.3:

$$u_1 = 2{,}646.8 \frac{kJ}{kg}$$

$$\nu_1 = 0.5342\ \frac{m^3}{kg}$$

$$s_1 = 7.1706 \frac{kJ}{kg * K}$$

La masa es $m = \frac{0.15\ m^3}{0.5342\ \frac{m^3}{kg}} = 0.2808\ kg$

2: $u_2 = 2646.8\ \frac{kJ}{kg} - \frac{30\ kJ}{0.2808\ kg} = 2{,}539.9 \frac{kJ}{kg}, s_2 = 7.1706\ \frac{kJ}{kg*K}$

por inspección de las tablas de agua se observa que el estado es vapor sobrecalentado y después de varias interpolaciones la temperatura y presión aproximadas son 126°C y 196 kPa.

38. Un cilindro con émbolo, adiabático y sin fricción, contiene 100 L de R-134A a 10 bares y 50ºC. El fluido se expande hasta 100 kPa y el ingeniero responsable afirma que pueden entregarse 190 kJ de trabajo. ¿Es cierto?

Solución:

Para que el trabajo sea máximo Δs = 0, $s_2 = s_1$

De la primera ley Δu = - $w_{máx}$

Las propiedades se calculan de las tablas de R-134A.
1: 10 bares, 50°C; es vapor sobrecalentado:

$$u_1 = 258.48 \frac{kJ}{kg}$$

$$\nu_1 = 0.02171 \frac{m^3}{kg}$$

$$s_1 = 0.9428 \frac{kJ}{kg * K}$$

La masa es $m = \frac{0.1\ m^3}{0.02171 \frac{m^3}{kg}} = 4.606\ kg$

2: 100 kPa, $s_2 = 0.9428 \frac{kJ}{kg*K}$; es vapor sobrecalentado $u_2 = 212.9117\ \frac{kJ}{kg}$

El trabajo máximo es $w_{máx} = -\ 4.606\ kg * (212.9117\ -\ 258.48) \frac{kJ}{kg} = 213.592\ kJ$

Por tanto es cierto lo que afirma el ingeniero responsable.

39. Dos tanques se conectan entre sí y con un tanque vacío que tiene un émbolo sin fricción. En un tanque hay 4 kg de agua a 7 MPa y 700ºC y en el otro hay 2 kg de agua a 3 MPa y 350ºC. Para equilibrar al émbolo se necesitan de 1.4 MPa. Se permite que se comuniquen los tres tanques. Para cuando se alcanza el equilibrio, ¿cuánta entropía se ha generado?

Solución:

La masa total es $m_t = m_{ai} + m_{bi} = 6\ kg$

al final, en equilibrio $\frac{V_a}{v_{fin}} + \frac{V_b}{v_{fin}} + m_c = 6\ kg$

La primera ley es ΔU = Q – W

$$6\ kg * u_{fin} - (m_{ai}u_{ai} + m_{bi}u_{bi}) = -W$$

En el tanque c:

$$W = PV_c = Pm_c v_{fn} = Pv_{fn}\left(6kg - \frac{V_a}{v_{fn}} - \frac{V_b}{v_{fn}}\right)$$

Sustituyendo en la primera ley:

$$6\ kg * u_{fin} - (m_{ai}u_{ai} + m_{bi}u_{bi}) = -P\,v_{fin}\left[6\ kg - \left(\frac{V_a}{v_{fin}}\right) - \left(\frac{V_b}{v_{fin}}\right)\right]$$

reacomodando términos se obtiene:

$$6\ kg * (\ u_{fin} + P\,v_{fin}) = m_{ai}(u_{ai} + P\,v_{ai}) + m_{bi}(u_b + P\,v_{bi})$$

$6\ kg * h_{fin} = m_{ai}h_{ai} + m_{bi}h_{bi}$, donde se ha utilizado el hecho de que $V = m v$ y $h = u + P v$.

La segunda ley es $\sigma = m_t s_{fin} - (m_{ai}s_{bi} + m_{ai}s_{bi})$

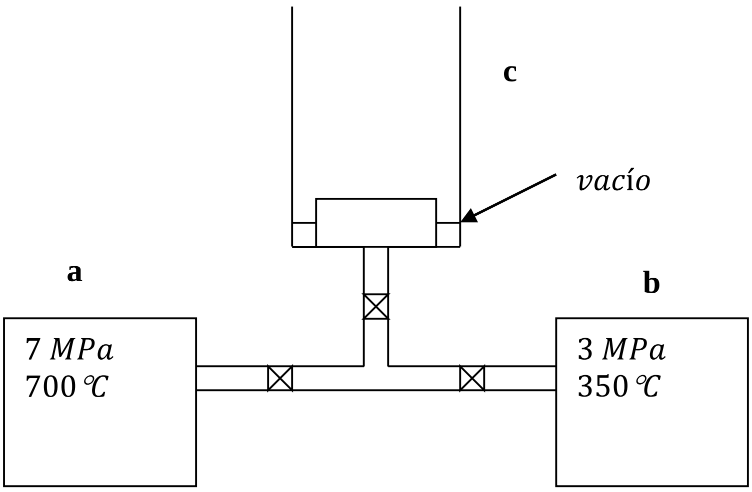
Las propiedades se calculan de las tablas de agua.

a_i: 7 MPa, 700°C; es vapor sobrecalentado $h_{ai} = 3{,}888.3\,\frac{kJ}{kg}$, $s_{ai} = 7.3476\,\frac{kJ}{kg*K}$.

b_i: 3 MPa, 350°C; es vapor sobrecalentado $h_{bi} = 3{,}115.3\,\frac{kJ}{kg}$, $s_{bi} = 6.7427\,\frac{kJ}{kg*K}$

De la primera ley:

$$h_{fin} = \frac{\left(4\,kg * 3{,}888.3\,\frac{kJ}{kg} + 2\,kg * 3115.3\,\frac{kJ}{kg}\right)}{6\,kg} = 3{,}347.8553\,\frac{kJ}{kg}$$



fin: $h_{fin} = 3{,}347.8553\,\frac{kJ}{kg}$, 1.4 MPa es vapor sobrecalentado $s_{fin} = 7.428\,\frac{kJ}{kg*K}$

La entropía generada es:

$$\sigma = 6\,kg * 7.428\,\frac{kJ}{kg*K} - 4\,kg * 7.3476\,\frac{kJ}{kg*K} - 2\,kg * 6.7427\,\frac{kJ}{kg*K}$$

$$\sigma = 1.692\,\frac{kJ}{K} = 1692\,\frac{J}{K}\ (real\ o\ irreversible)$$

40. En un equipo, en condiciones de flujo permanente y de estado estacionario, fluye una sustancia compresible y simple, la que sufre un proceso reversible a 25ºC, de tal manera que los valores de la entalpía específica y de las energías cinética y potencial no se alteran. Los 12 kg/s reducen su presión a la mitad a su paso por el equipo. Calcule la potencia mecánica del equipo. Para el fluido:

$$s = s_0 - \left[0.29\,\frac{J}{g*K}\right] * ln(P)$$

Solución:

La primera ley es $\dot{Q} = \dot{W}_f$

El cambio de entropía es $\dot{m}\int ds = \int \frac{\delta \dot{Q}}{T}$

de donde $\dot{Q} = \dot{m}Ts$

Combinando ambas ecuaciones se obtiene $\dot{W}_f = \dot{m}Ts$

Utilizando la relación para la entropia del fluido se calcula la potencia:

$$\dot{W}_f = 12\frac{kg}{s} * 298\,K * \left[s_0 - 0.29\,\frac{kJ}{kg*K} * ln(P_2) - s_0 - 0.29\,\frac{kJ}{kg*K} * ln(P_1)\right]$$

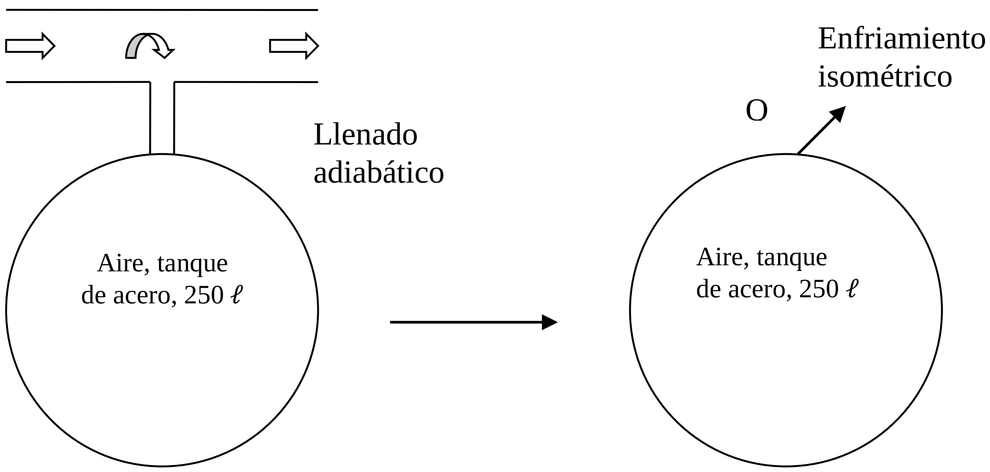
$$\dot{W}_f = 12\frac{kg}{s} * 298\,K * 0.29\,\frac{kJ}{kg*K} * ln(2) = 718.82\,kW\,(sale)$$

41. Un tanque de acero de 250 ℓ contiene aire [R = 0.287 J/g*K, k = 1.4] a 77.17 kPa y 19ºC. Se inyecta más aire al tanque desde una tubería en la que el gas está a 60 bares y -13ºC, hasta que en el tanque se llega a 50 bares. El llenado es lo suficientemente rápido, pero a la larga el tanque retorna al equilibrio térmico con el ambiente a 19ºC. Calcule la entropía que genera este proceso.

Solución:

Hay dos procesos: llenado adiabático (transitorio) y enfriamiento isométrico (estable). Para el aire

$$C_V = 0.7176\,\frac{kJ}{kg*K}$$



$$C_P = 1.0047 \ \frac{kJ}{kg * K}$$

$$k = \frac{C_P}{C_V} = 1.4$$

$$PV = mRT$$

$$u = C_V T$$

$$h = C_P T$$

Para el proceso de llenado la primera ley es:

$$- m_1 h_1 + m_{fin} u_{fin} - m_i u_i = 0$$

$$m_1 = m_{fin} - m_i$$

Sustituyendo en la primera ley, se simplifica a lo siguiente:

$$- \left(m_{fin} - m_i\right)(C_P T_1) + m_{fin} C_V T_{fin} - m_i C_V T_i = 0$$

$$\left(\frac{P_{fin} V_{fin}}{R T_{fin}}\right)\left(T_{fin} - k T_1\right) + \left(\frac{P_i V_i}{R T_i}\right)(k T_1 - T_i) = 0$$

finalmente se obtiene para la temperatura final:

$$T_{fin} = \frac{k T_1 P_{fin}}{\left[P_{fin} - P_i + \left(\frac{k T_1 P_i}{T_i}\right)\right]}$$

$$T_{fin} = \frac{1.4 * 260\ K * 5{,}000\ kPa}{\left[5{,}000\ kPa - 77.17\ kPa + \left(\frac{1.4 * 77.17\ kPa * 260\ K}{292\ K}\right)\right]} = 362.62\ K$$

La masa final es:

$$m_{fin} = 5{,}000\ kPa * \frac{0.25\ m^3}{0.287\ \frac{kJ}{kg * K} * 362.2\ K} = \ 12.025\ kg$$

La segunda ley para el proceso de llenado es:

$$\sigma = \ m_{fin}s_{fin} - m_i s_i - m_1 s_1 = m_{fin}s_{fin} - m_i s_i \left(m_{fin} - m_i\right)s_1 = \ m_{fin}(s_{fin} - s_1) + m_i(s_1 - s_i)$$

Sustituyendo la expresión del cálculo del cambio de entropía para un gas ideal se obtiene:

$$\sigma = \ \left\{\left(\frac{P_{fin}V_{fin}}{RT_{fin}}\right)\left[C_P ln\left(\frac{T_{fin}}{T_1}\right) - Rln\left(\frac{P_{fin}}{P_1}\right)\right]\right\} + \ \left\{\left(\frac{P_iV_i}{RT_i}\right)\left[C_P ln\left(\frac{T_1}{T_i}\right) - Rln\left(\frac{P_1}{P_i}\right)\right]\right\}$$

$$\sigma = \left(\frac{V}{R}\right)\left\{\left(\frac{P_{fin}}{T_{fin}}\right)\left[C_P ln\left(\frac{T_{fin}}{T_1}\right) - Rln\left(\frac{P_{fin}}{P_1}\right)\right] + \left(\frac{P_i}{T_i}\right)\left[C_P ln\left(\frac{T_1}{T_i}\right) - Rln\left(\frac{P_1}{P_i}\right)\right]\right\}$$

$$\sigma = \left(\frac{0.25\ m^3}{0.287\frac{kJ}{kg*K}}\right) * \left\{\left(\frac{5{,}000\ kPa}{362.62\ K}\right) * \left[1.0047\ \frac{kJ}{kg*K} * ln\left(\frac{362.62\ K}{260\ K}\right) - 0.287\ \frac{kJ}{kg*K} * ln\left(\frac{5000\ kPa}{6000\ kPa}\right)\right] + \left(\frac{77.17\ kPa}{292\ K}\right) * \left[\ 1.0047\ \frac{kJ}{kg*K} * ln\left(\frac{260\ K}{292\ K}\right) - \ 0.287\ \frac{kJ}{kg*K} * ln\left(\frac{6000\ kPa}{77.17\ kPa}\right)\right]\right\}$$

$$\sigma = \ 0.871\frac{\left(\frac{m^3}{kg}\right)}{\left(\frac{K}{kJ}\right)} * \left\{13.79\frac{kPa}{K} * (0.3342 + 0.05233)\frac{kJ}{kg*K} + \ 0.2643\frac{kPa}{K} * (-\ 0.1166 - 1.2495)\frac{kJ}{kg*K}\right\} = 4.3278\frac{kJ}{K}$$

La primera ley para el enfriamiento isométrico es:

$$Q\ = \ m\Delta_u = mC_V(T_2 - T_1) = 12.025\ kg * 0.7176\ \frac{kJ}{kg * K} * (292 - \ 362.62)\ K$$

$$Q = \ -\ 609.39\ kJ\ (sale)$$

La presión al final es $P_2 = \frac{T_2P_1}{T_1} = \frac{292\ K*5{,}000\ kPa}{362.62\ K} = \ 4{,}026.25\ kPa$

La segunda ley para el enfriamiento isométrico es:

$$\sigma = \ m(s_2 - s_1) - \left(\frac{Q}{T_j}\right) = m\left[C_V ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)\right] - \left(\frac{Q}{T_j}\right)$$

$$\sigma = \ 12.025\ kg * \left[0.7176\frac{kJ}{kg * K} * ln\left(\frac{292\ K}{362.62\ K}\right)\right] - \left(\frac{-\ 609.39\ kJ}{292\ K}\right)$$

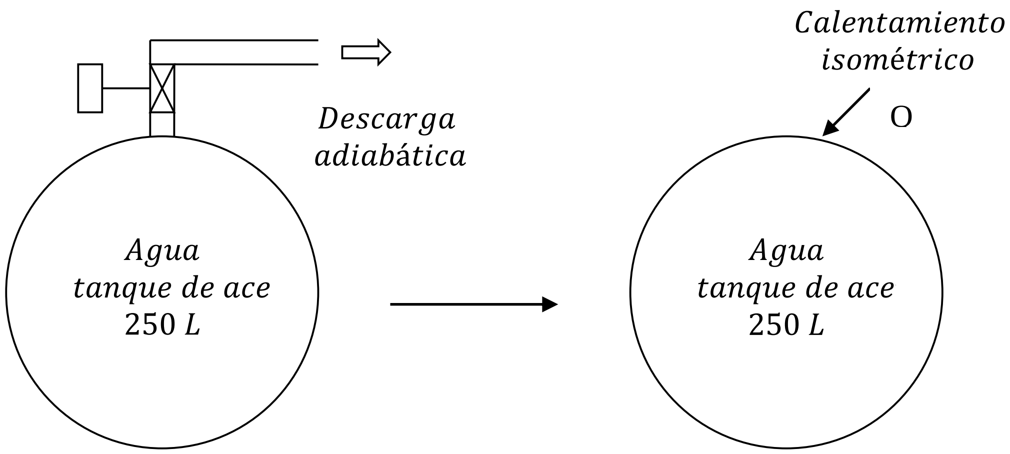
$$\sigma = 0.218 \frac{kJ}{kg}$$

Para el proceso entero la entropía generada es:

$$\sigma = 4.3278 \frac{kJ}{kg} + 0.218 \frac{kJ}{kg} = 4.5458 \frac{kJ}{kg} \; (real\ o\ irreversible)$$

42. En un tanque de acero de 250 L hay agua a 15 bares y 300ºC. Se abre una válvula durante unos pocos segundos y luego se cierra, pero en el tanque se llega a 6 bares y 250 °C. Para que el interior del tanque regrese a 300ºC se da calor desde una fuente a 300ºC. Calcule la entropía que se genera durante el proceso completo.

Solución:



Hay dos procesos: descarga adiabática (transitorio) y calentamiento isométrico. Para el segundo proceso la primera ley es $Q = m\Delta u = m(u_2 - u_1)$.

Para el proceso entero la segunda ley es:

$$\sigma = m_{fin}s_{fin} - m_i s_i + m_{sal}s_{sal} + m(s_2 - s_1) - \left(\frac{Q}{T_j}\right)$$

Como $m = m_{fin}$, $m_{sal} = (m_i - m_{fin})$, $s_1 = s_{fin}$, $u_1 = u_{fin}$ y considerando que:

$$s_{sal} = \frac{s_i + s_{fin}}{2}$$

Entonces $Q = m_{fin}(u_2 - u_{fin})$

$$\sigma = m_{fin} - m_i s_i + (m_i - m_{fin}) \left[\frac{s_i + s_{fin}}{2}\right] + m_{fin}(s_2 - s_{fin}) - \left(\frac{Q}{T_j}\right)$$

$$\sigma = \left(\frac{m_{fin}}{2}\right)\left(2\, s_2 - s_i - s_{fin}\right) + \left(\frac{m_i}{2}\right)(s_{fin} - s_i) - \left(\frac{Q}{T_j}\right)$$

Las propiedades se obtienen de las tablas del agua.

i: 15 bares, 300°C:

$$v_i = 0.1705\ \frac{m^3}{kg}$$

$$s_i = 6.9189\ \frac{kJ}{kg * K}$$

$$m_i = \frac{0.25\, m^3}{0.1705\ \frac{m^3}{kg}} = 1.466\, kg$$

fin: 6 bares, 250°C:

$$v_{fin} = 0.3938\ \frac{m^3}{kg}$$

$$s_{fin} = 7.1816\ \frac{kJ}{kg * K}$$

$$u_{fin} = 2{,}720.9\ \frac{kJ}{kg}$$

$$m_{fin} = \frac{0.25\, m^3}{0.3938\ \frac{m^3}{kg}} = 0.6348\, kg$$

2: 300°C, $v_2 = 0.3938 \frac{m^3}{kg}$; es vapor sobrecalentado e interpolando se obtiene:

$$u_2 = 2{,}799.6\ \frac{kJ}{kg}$$

$$s_2 = 7.321 \frac{kJ}{kg * K}$$

Calculando se obtiene que el calor es:

$$Q = 0.6348\, kg * (2{,}799.6 - 2{,}720.9)\ \frac{kJ}{kg} = 49.96\, kJ\ (entra)$$

y la entropía producida es:

$$\sigma = \left(\frac{0.6348\ kg}{2}\right) * (2 * 7.321\ - 6.9189 - 7.1816)\ \frac{kJ}{kg*K}\ +\ \left(\frac{1.466\ kg}{2}\right) * (\ 7.1816\ - 6.9189)\frac{kJ}{kg*K}\ -\ \left(\frac{49.96\ kJ}{573\ K}\right)$$

$$\sigma = \ 0.1719\frac{kJ}{K} + \ 0.1926\ \frac{kJ}{K}\ -\ 0.0872\ \frac{kJ}{K} = 0.2773\frac{kJ}{K} = \ 277.3\ \frac{J}{K}\ (real\ o\ irreversible)$$

43. En una planta productora de energía eléctrica se acoplan un ciclo de Brayton, que usa aire como la sustancia activa y un ciclo de Rankine, que usa agua como la sustancia activa. Las propiedades del aire son R = 0.287 J/g*K) y k = 1.4 y pueden considerarse constantes.

El aire ingresa en el compresor adiabático del ciclo de Brayton a la presión ambiente del D.F. y 19ºC y egresa a 600 kPa y 255ºC para entrar en la cámara de combustión, de donde sale a 800ºC, condición con la que entra en la turbina adiabática y de donde sale a 330ºC para ir a un intercambiador de calor, de donde sale a 250ºC y a la presión ambiente. Del intercambiador de calor sale el agua, que fluye por el exterior de los tubos por los que viaja el aire, a 2 MPa y 225ºC para ir a la turbina adiabática, de donde sale a 10 kPa y una calidad de 90 % para entrar en el condensador, de donde sale como líquido saturado para entrar en la bomba adiabática que lo envía al intercambiador de calor 46.295ºC. Calcule la eficiencia de este ciclo combinado. Repita el cálculo si las eficiencias isoentrópicas son de 0.9 m para todos los dispositivos.

Solución:

La potencia neta del ciclo Brayton es:

$$\dot{W}_{netoB} = \dot{W}_{tB} - \dot{W}_{cB}$$

$$\dot{W}_{netoB} = \dot{m}_a(h_c - h_d) - \dot{m}_a(\ h_b - h_a) = \dot{m}C_P(T_c - T_d - T_b + T_a)$$

La potencia neta del ciclo Rankine es:

$$\dot{W}_{netoR} = \dot{W}_{tR} - \dot{W}_{bR}$$

$$\dot{W}_{netoR} = \dot{m}(h_1 - h_2) - \dot{m}_w(h_4 - h_3) = \dot{m}_w(h_1 - h_2 - h_4 + h_3)$$

La entrada de calor en el ciclo Brayton es:

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_a(h_c - h_b) = \dot{m}_aC_P(T_c - T_b)$$

La eficiencia térmica del ciclo combinado es:

$$\eta_{tCC} = \frac{\dot{W}_{netoB} + \dot{W}_{netoR}}{\dot{Q}_{in}}$$

$$\eta_{tCC} = \frac{\dot{m}_a C_P (T_c - T_d - T_b + T_a) + \dot{m}_w (h_1 - h_2 - h_4 + h_3)}{\dot{m}_a C_P (T_c - T_b)}$$

La primera ley en el intercambiador de calor es $\dot{m}_a (h_d - h_e) = \dot{m}_w (h_1 - h_4)$

de donde $\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} = \frac{C_P (T_d - T_e)}{h_1 - h_4}$

Las eficiencias internas son:

$$\eta_{ic} = \frac{T_a - T_{bs}}{T_a - T_{br}}$$

$$\eta_{itB} = \frac{T_c - T_{dr}}{T_c - T_{ds}}$$

$$\eta_{itR} = \frac{h_1 - h_{2r}}{h_1 - h_{2s}}$$

$$\eta_{ibR} = \frac{(h_3 - h_{4s})}{h_3 - h_{4r}}$$

Para el aire $C_P = 1.0047 \ \frac{kJ}{kg*K}$.

De las tablas de agua:

$$h_1 = 2{,}835.8 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{2r} = 2{,}345.35 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$h_3 = 191.83 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{4r} = 193.84 \ \frac{kJ}{kg}$$

La razón de los gastos másicos es:

$$\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} = \frac{1.0047 \frac{kJ}{kg * K} * (603 - 523) K}{(2835.8 \quad - 195.529) \frac{kJ}{kg}} = 0.03044$$

La eficiencia del ciclo combinado es:

$$\eta_{tCC} = \frac{C_P (T_c - T_d - T_b + T_a) + \left(\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} \right) (h_1 - h_2 - h_4 + h_3)}{C_P (T_c - T_b)}$$

$$\eta_{tcc} = \frac{\left[1.0047 \frac{kJ}{kg * K} * (1{,}073 - 603 - 528 + 292) K + 0.03044 * (2{,}835.8 - 2{,}345.35 - 195.529 + 191.83) \frac{kJ}{kg} \right]}{1.0047 \frac{kJ}{kg * K} * (1{,}073 - 528) K}$$

$$\eta_{tCC} = \frac{(235.0998 + 14.8583) \frac{kJ}{kg}}{547.5615 \frac{kJ}{kg}} = 0.4564$$

Utilizando las eficiencias internas se obtienen las propiedades isoentrópicas:

$$0.9 = \frac{292 - T_{bs}}{292 - 528}$$

de donde $Tbs = 504.4\ K$

$$0.9 = \frac{1{,}073 - 603}{1{,}073 - T_{ds}}$$

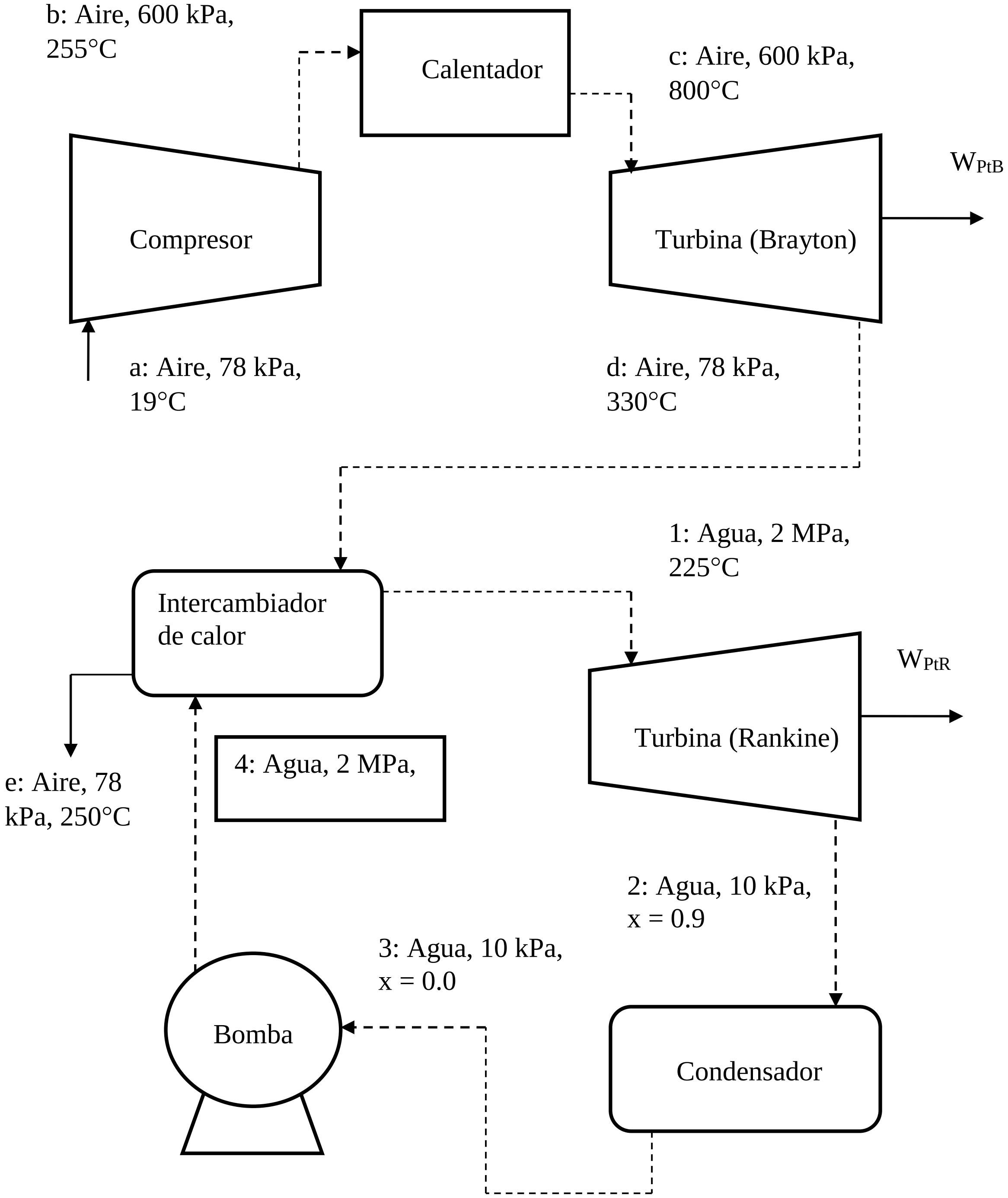
de donde $T_{ds} = 550.78\ K$

$$0.9 = \frac{(2{,}835.8 - 2{,}345.35) \frac{kJ}{kg}}{2{,}835.8 - h_{2s}}$$

de donde $h_{2s} = 2{,}290.86 \frac{kJ}{kg}$

$$0.9 = \frac{191.83 - h_{4s}}{191.83 - 195.529 \frac{kJ}{kg}}$$

de donde $h_{4s} = 193.159 \frac{kJ}{kg}$



La razón de los gastos másicos es:

$$\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} = \frac{1.0047\frac{kJ}{kg*K}*(550.78-523)K}{(2,835.8-195.159)\frac{kJ}{kg}} = 0.01057$$

La eficiencia del ciclo combinado ideal es:

$$\eta_{tCCs} = \frac{C_P\left(T_c - T_{ds} - T_{bs} + T_a\right) + \left(\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a}\right)\left(h_1 - h_{2s} - h_{4s} + h_3\right)}{C_P\left(T_c - T_{bs}\right)}$$

$$\eta_{tCCs} = \frac{1.0047\frac{kJ}{kg * K} * (1{,}073 - 550.78 - 504.4 + 292)K + 0.01057 * (2{,}835.8 - 2{,}290.86 - 195.159 + 195.159)\frac{kJ}{kg}}{1.0047\frac{kJ}{kg * K} * (1{,}073 - 504.4)K}$$

$$\eta_{tCCs} = \frac{(311.2762 + 5.7248)\frac{kJ}{kg}}{571.2724\frac{kJ}{kg}} = 0.5551$$

44*. Una planta termoeléctrica funciona según el ciclo de Rankine: la turbina recibe el agua a 4 MPa y 360ºC y la entrega a 700 kPa y 180ºC parte del flujo va hacia un recalentador, de donde sale a 360ºC para entrar en una segunda turbina, donde se expande adiabáticamente hasta 10 kPa y una calidad de 95 % y la otra parte del flujo hacia un regenerador que opera a 700 kPa. La mezcla ingresa en el condensador, de donde sale como líquido saturado para ingresar en la bomba que alimenta al regenerador a 46.02ºC. Del regenerador sale líquido saturado que pasa por la bomba 2 para salir a 167.632ºC rumbo a la caldera. Si la potencia neta de la planta fuese 4 GW, calcule el rendimiento de la instalación y el gasto másico del agua del ciclo. Repita el cálculo si el ciclo es ideal.

Solución:

La potencia neta de la instalación es:

$$\dot{W}_{neta} = \dot{W}_{tAP} + \dot{W}_{tBP} - \dot{W}_{b1} - \dot{W}_{b2}$$

$$\dot{W}_{neta} = \dot{m}\left(h_1 - h_2\right) + \dot{m}\left(1 - y\right)\left(h_3 - h_4\right) - \dot{m}\left(1 - y\right)\left(h_6 - h_5\right) - \dot{m}\left(h_8 - h_7\right)$$

de donde:

$$\dot{m} = \frac{4{,}000{,}000\ \frac{kJ}{s}}{(h_1 - h_2 + (1 - y)(h_3 - h_4 - h_6 + h_5) - h_8 + h_7)}$$

El valor de y es la fracción del gasto másico del agua que se envía al regenerador y se obtiene aplicando la primera ley al regenerador:

$$y = \frac{h_7 - h_6}{h_2 - h_6}$$

La eficiencia térmica de la instalación es:

$$\eta_t = \frac{W_{Pneta}}{m_P(h_1 - h_8)}$$

En las bombas el balance de energía es:

$$w_{pb1} = h_6 - h_5$$

$$w_{pb2} = h_8 - h_7$$

Las propiedades se obtienen de las tablas de agua. Las propiedades en los diferentes estados del ciclo son:

$h_1 = 3{,}117\ \frac{kJ}{kg}$, $h_2 = 2{,}799\ \frac{kJ}{kg}$, $h_3 = 3{,}184\ \frac{kJ}{kg}$, $h_4 = 2{,}464\ \frac{kJ}{kg}$, $h_5 = 191.83\ \frac{kJ}{kg}$, $h_6 = 192.709\frac{kJ}{kg}$

$h_7 = 697.22\ \frac{kJ}{kg}$, $h_8 = 711.062\ \frac{kJ}{kg}$

Calculando se obtiene que la fracción y derivada hacia el regenerador es:

$$y = \frac{(697.3 - 192.709)\ \frac{kJ}{kg}}{(2{,}799\ -\ 192.709)\ \frac{kJ}{kg}} = 0.1936$$

El gasto másico del agua del ciclo es:

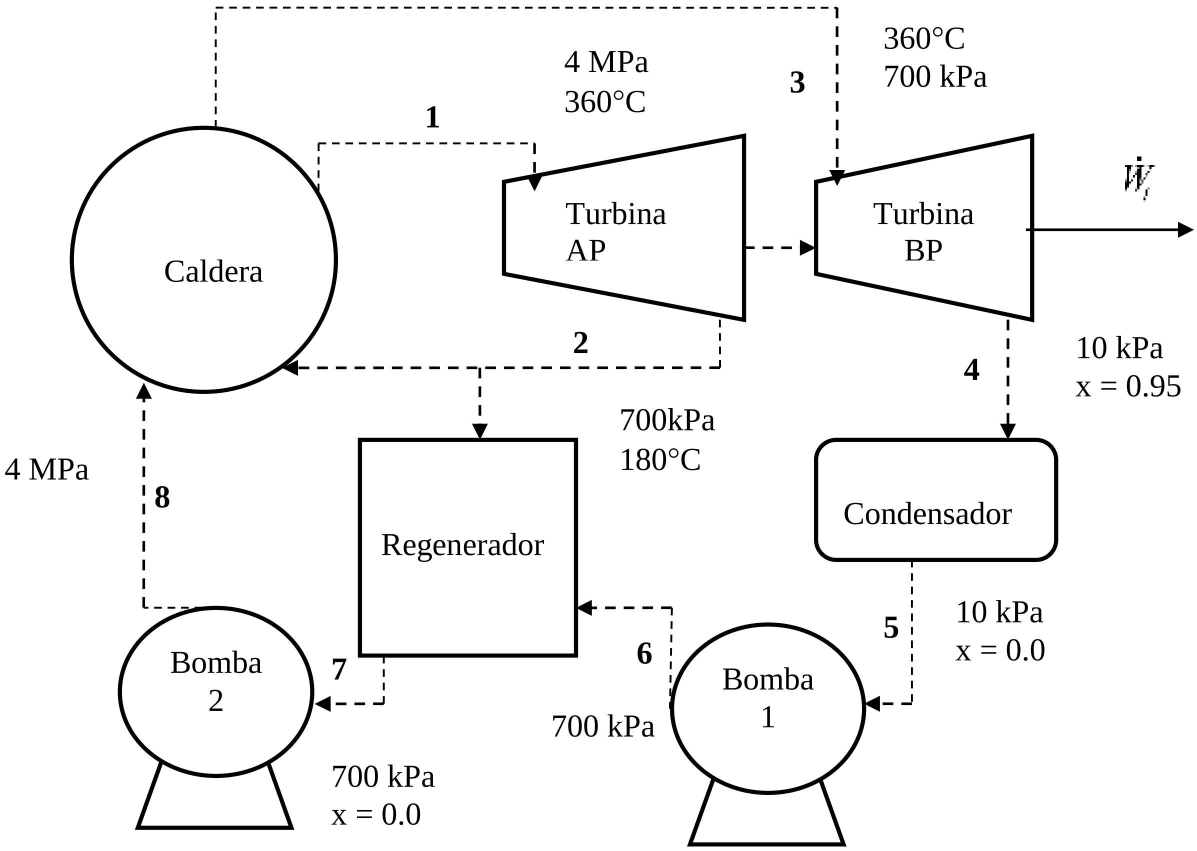
$$\dot{m} = \frac{4{,}000{,}000\frac{kJ}{s}}{[3{,}117 - 2{,}799 - 711.062 + 697.22 + (1 - 0.1936)*(\ 3{,}184 - 2{,}464 - 192.709 + 191.83)]\ \frac{kJ}{kg}} = 4{,}524.6\frac{kg}{s}$$

La eficiencia térmica de la instalación es:

$$\eta_t = \frac{4{,}000{,}000\frac{kJ}{s}}{\left[4524.6\ \frac{kg}{s} * (3117\ -\ 711.062)\right]\frac{kJ}{s}} = 0.3674$$

En el caso de que el ciclo fuera ideal entonces las turbinas y las bombas son isoentrópicas y las propiedades distintas son las siguientes:

$h_{2s} = 2{,}724.74\ \frac{kJ}{kg}$, $h_{4s} = 2{,}358.51\ \frac{kJ}{kg}$, $h_{6s} = 192.527\frac{kJ}{kg}$, $h_{8s} = 700.876\frac{kJ}{kg}$



Calculando se obtiene los resultados isoentrópicos:

$$y_s = \frac{(697.3\ -\ 192.527)\,\frac{kJ}{kg}}{(2{,}724.74\ \ -\ 192.527)\ \frac{kJ}{kg}}\ = 0.1993$$

El gasto másico del agua del ciclo es:

$$\dot{m}_s = \frac{4{,}000{,}000\,\frac{kJ}{s}}{[3{,}117 - 2{,}724.74\ \ - 700.876 + 697.3\ +\ (1 - 0.1993) * (\,3{,}184 - 2{,}358.51 - 192.527 + 191.83)]\,\frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_s =\ 3{,}812.807\ \frac{kg}{s}$$

La eficiencia térmica de la instalación es:

$$\eta_{ts} = \frac{4{,}000{,}000\,\frac{kJ}{s}}{\left[3{,}812.807\,\frac{kg}{s} * (3{,}117 -\ 700.876)\right]\frac{kJ}{s}} =\ 0.4342$$

Apéndice A

Tablas Termodinámicas

TABLA A.1 AGUA SATURADA-TABLA DE TEMPERATURAS

		Volumen específico m^3/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Temp. T °C	Presión P kPa	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
0.01	0.01	0.001000	205.99	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.00	9.1562	9.1562
5	5	0.001000	147.02	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	10	0.001000	106.32	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	15	0.001001	77.896	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	20	0.001002	57.777	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	25	0.001003	43.360	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	30	0.001004	32.897	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	35	0.001006	25.221	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	40	0.001008	19.528	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	45	0.001010	15.262	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	50	0.001012	12.036	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	55	0.001015	9.5710	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	60	0.001017	7.6730	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	65	0.001020	6.1980	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	70	0.001023	5.0430	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	75	0.001026	4.1320	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	80	0.001029	3.4080	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	85	0.001033	2.8280	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	90	0.001036	2.3610	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	95	0.001040	1.9820	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
100	101.32	0.001047	1.6730	1.673	418.96	2087.2	2506.1	419.06	2256.7	2675.7	1.3069	6.0476	7.3545
105	120.79	0.001047	1.4190	1.49	440.05	2072.0	2512.1	440.18	2243.4	2683.6	1.3630	5.9325	7.2956
110	143.27	0.001052	1.2100	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	169.06	0.001056	1.0360	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	198.53	0.001060	0.8911	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	232.10	0.001065	0.7698	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	270.10	0.001070	0.6676	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	313.00	0.001075	0.5813	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777

TABLA A.1 AGUA SATURADA-TABLA DE TEMPERATURAS (CONTINUACIÓN)

		Volumen específico m^3/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Temp. T °C	Presión P kPa	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
140	361.30	0.001080	0.5079	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	415.40	0.001085	0.4453	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	212.9.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	475.80	0.001091	0.3918	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.996	6.8379
155	543.10	0.001096	0.3457	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.901	6.7935
160	617.80	0.001102	0.3060	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	700.50	0.001108	0.2716	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	791.70	0.001114	0.2417	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	892.00	0.001121	0.2157	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
	MPa												
180	1.00210	0.001127	0.1929	0.19405	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001134	0.1729	0.17409	784.1	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001141	0.1554	0.15654	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.272	6.5079
195	1.3978	0.001149	0.1399	0.14105	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001157	0.1262	0.12736	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4323
205	1.7230	0.001164	0.1140	0.11521	873.04	1724.5	2597.5	875.04	1921.0	2796.0	2.3780	4.0172	6.3952
210	1.9062	0.001173	0.1032	0.10441	895.53	1703.9	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9337	6.3585
215	2.1040	0.001181	0.09357	0.09479	918.14	1682.9	2601.1	920.62	1879.9	2800.5	2.4714	3.8507	6.3221
220	2.3180	0.001190	0.08497	0.08619	940.87	1661.5	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	3.7683	6.2861
225	2.5480	0.001199	0.07726	0.07849	963.73	1639.6	2603.3	966.78	1836.5	2803.3	2.5639	3.6863	6.2503
230	2.7950	0.001209	0.07035	0.07158	986.74	1617.2	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	3.6047	6.2146
235	3.0600	0.001219	0.06412	0.06537	1009.89	1594.2	2604.1	1013.62	1790.5	2804.2	2.6558	3.5233	6.1791
240	3.3440	0.001229	0.05851	0.05976	1033.21	1570.8	2604.0	1037.32	1766.5	2803.8	2.7015	3.4422	6.1437
245	3.6480	0.001240	0.05345	0.05471	1056.71	1546.7	2603.4	1061.23	1741.7	2803.0	2.7472	3.3612	6.1083
250	3.9730	0.001251	0.04886	0.05013	1080.39	1522.0	2602.4	1085.36	1716.2	2801.5	2.7927	3.2802	6.073
255	4.3190	0.001263	0.04470	0.04598	1104.28	1496.7	2660.9	1109.73	1689.8	2799.5	2.8383	3.1992	6.0375
260	4.6880	0.001276	0.04091	0.04221	1128.39	1470.6	2599.0	1134.37	1661.5	2796.9	2.8838	3.1181	6.0019
265	5.0810	0.001289	0.03747	0.03877	1152.74	1443.9	2596.6	1159.28	1634.4	2793.6	2.9294	3.0368	5.9662
270	5.4990	0.001302	0.03434	0.03564	1177.36	1416.3	2593.7	1184.51	1605.2	2789.7	2.9711	2.9551	5.9301
275	5.9420	0.001317	0.03146	0.03279	1202.25	1387.9	2590.2	1210.07	1574.9	2785.0	3.0208	2.8730	5.8938

TABLA A.1 AGUA SATURADA-TABLA DE TEMPERATURAS (CONTINUACIÓN)

		Volumen específico m^3/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Temp. T °C	Presión P MPa	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
280	6.412	0.001332	0.02883	0.03017	1227.5	1358.7	2586.1	1235.99	1543.6	2779.6	3.0668	2.7903	5.8571
285	6.909	0.001348	0.02642	0.02777	1253.0	1328.4	2591.4	1262.31	1511.0	2773.3	3.1130	2.7070	5.8199
290	7.436	0.001366	0.02419	0.02557	1278.9	1297.1	2576.0	1289.07	1477.1	2766.2	3.1594	2.6227	5.7821
295	7.993	0.001384	0.02215	0.02354	1305.2	1264.7	2569.9	1316.30	1441.8	2758.1	3.2062	2.5375	5.7437
300	8.581	0.001404	0.02027	0.02167	1332.0	1231.0	2563.0	1344.00	1404.9	2749.0	3.2534	2.4511	5.7045
305	9.202	0.001425	0.01852	0.019948	1359.3	1195.9	2555.2	1372.40	1366.4	2738.7	3.3010	2.3633	5.6643
310	9.856	0.001447	0.01690	0.018350	1387.1	1159.4	2546.4	1401.30	1326.0	2727.3	3.3493	2.2737	5.6230
315	10.547	0.001472	0.01539	0.016867	1415.5	1121.1	2536.6	1431.00	1283.5	2714.5	3.3982	2.1821	5.5804
320	11.274	0.001499	0.01398	0.015488	1444.6	1080.9	2525.5	1461.50	1238.6	2700.1	3.4480	2.0882	5.5362
330	12.845	0.001561	0.01143	0.012996	1505.3	993.7	2498.9	1525.30	1140.6	2665.9	3.5507	1.8909	5.4417
340	14.586	0.001638	0.00915	0.010797	1570.3	894.3	2464.6	1594.20	1027.9	2622.0	3.6594	1.6763	5.3557
350	16.513	0.001740	0.00707	0.008813	1641.9	776.6	2418.4	1670.60	893.4	2563.9	3.7777	1.4335	5.2112
360	18.651	0.001893	0.00507	0.006945	1725.9	626.3	2351.5	1760.50	720.5	2481.0	3.9147	1.1379	5.0526
370	21.03	0.002213	0.00279	0.004925	1844.0	384.5	2228.5	1890.50	441.6	2332.1	4.1106	0.6865	4.7971
374.14	22.09	0.003155	0.00	0.003155	2029.6	0.00	2029.6	2099.3	0.00	2099.3	4.4298	0.00	4.4298

TABLA A.2 AGUA SATURADA-TABLA DE PRESIÓN

Presión P kPa	Temp. T °C	Volumen específico m³/kg: Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Energía interna kJ/kg: Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Entalpía kJ/kg: Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Entropía kJ/kg*K: Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
0.61173	0.01	0.001000	205.99	206.140	0.00	2375.3	2375.3	0.010	2501.3	2501.4	0.00	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001000	129.19	129.210	29.30	2355.7	2385.0	29.30	2484.9	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001001	87.970	87.980	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279
2.0	17.5	0.001001	66.997	67.000	73.48	2326.0	2399.5	73.48	2460.0	2533.5	0.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	0.001002	54.248	54.250	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540.0	0.3120	8.3311	8.6432
3.0	24.08	0.001003	45.660	45.670	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776
4.0	28.96	0.001004	34.797	34.800	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001005	28.190	28.190	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951
7.5	40.29	0.001008	19.236	19.240	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406.0	2574.8	0.5764	7.6750	8.2515
10	45.81	0.001010	14.673	14.670	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	0.001014	10.022	10.020	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	0.001017	7.649	7.6490	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.0766	7.9085
25	64.97	0.001020	6.204	6.2040	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314
30	69.1	0.001022	5.572	5.2290	989.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	0.001027	3.993	3.9930	317.53	2159.5	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700
50	81.33	0.001030	3.240	3.2400	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.78	0.001037	2.216	2.2170	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564
100	99.63	0.001043	1.693	1.6940	417.36	2088.7	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	6.0568	7.3594
125	105.99	0.001048	1.374	1.3749	444.19	2069.3	2513.5	444.32	2241.0	2685.4	1.3740	5.9104	7.2844
150	111.37	0.001053	1.158	1.1593	466.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233
175	116.06	0.001057	1.003	1.0036	486.80	2038.1	2524.9	486.99	2213.6	2700.6	1.4849	5.6868	7.1717
200	120.23	0.001061	0.8848	0.8857	504.49	2025.0	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	5.5970	7.1271
225	124	0.001064	0.7923	0.7933	520.47	2013.1	2533.6	520.72	2191.3	2712.1	1.5706	5.5173	7.0878
250	127.44	0.001067	0.7177	0.7187	535.10	2002.1	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	5.4455	7.0527
275	130.6	0.001070	0.6563	0.6573	548.59	1991.9	2540.5	548.89	2172.4	2721.3	1.6408	5.3801	7.0209
300	133.55	0.001073	0.6048	0.6058	561.15	1982.4	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	5.3201	6.9919
325	136.3	0.001076	0.5610	0.5620	572.90	1973.5	2546.4	573.25	2155.8	2729.0	1.7006	5.2646	6.9652
350	138.88	0.001079	0.5232	0.5243	583.95	1965.0	2548.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	5.2130	6.9450

TABLA A.2 AGUA SATURADA-TABLA DE PRESIÓN (CONTINUACIÓN)

		Volumen específico m^3/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Presión P kPa	Temp. T °C	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
375	141.32	0.001081	0.4903	0.4914	594.40	1956.9	2551.3	594.81	2140.8	2735.6	1.7528	5.1647	6.9175
400	143.63	0.001084	0.4571	0.4625	604.31	1949.3	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	5.1193	6.8959
450	147.93	0.001088	0.4129	0.414	622.77	1934.9	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	5.0359	6.8565
500	151.86	0.001093	0.3738	0.3749	639.68	1921.6	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	4.9606	6.8213
550	155.48	0.001097	0.3415	0.3427	655.32	1909.2	2564.5	655.93	2097.0	2753.0	1.8973	4.8920	6.7893
600	158.85	0.001101	0.3145	0.3157	669.90	1897.5	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	4.8288	6.7600
650	162.01	0.001104	0.2915	0.2927	683.56	1886.5	2570.1	684.28	2076.0	2760.3	1.9627	4.7703	6.7331
700	164.97	0.001108	0.2717	0.2729	696.44	1876.1	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	4.7158	6.7080
750	167.78	0.001112	0.2544	0.2556	708.64	1866.1	2574.7	709.47	2057.0	2766.4	2.020	4.6647	6.6847
800	170.43	0.001115	0.2393	0.2404	720.22	1856.6	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.046	4.6166	6.6628
850	172.96	0.001118	0.2258	0.227	731.27	1847.4	2578.7	732.22	2039.4	2771.6	2.071	4.5711	6.6421
900	175.38	0.001121	0.2138	0.215	741.83	1838.6	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.095	4.5280	6.6226
950	177.69	0.001124		0.2042	751.95	1830.2	2582.1	753.02	2023.1	2776.1	2.117	4.4869	6.6041
MPa													
1.00	179.91	0.001127	0.1933	0.19444	761.68	1822.0	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.139	4.4478	6.5865
1.10	184.09	0.001133	0.1763	0.17753	780.09	1806.3	2586.4	781.34	2000.4	2781.7	2.179	4.3744	6.5536
1.20	187.99	0.001139	0.1621	0.16333	797.29	1791.5	2588.8	798.65	1986.2	2784.8	2.217	4.3067	6.5233
1.30	191.64	0.001144	0.1501	0.15125	813.44	1777.5	2591.0	814.93	1972.7	2787.6	2.252	4.2138	6.4953
1.40	195.07	0.001149	0.1396	0.14084	828.70	1764.1	2592.8	830.30	1959.7	2790.0	2.284	4.1850	6.4693
1.50	198.32	0.001154	0.1316	0.13177	843.16	1751.3	2594.5	844.89	1947.3	2792.2	2.315	4.1298	6.4448
1.75	205.76	0.001166	0.11230	0.11349	876.46	1721.4	2597.8	878.50	1917.9	2796.4	2.385	4.0044	6.3896
2.00	212.42	0.001177	0.09841	0.09963	906.44	1693.8	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	3.8935	6.3409
2.25	218.45	0.001187	0.08753	0.08875	933.83	1668.2	2602.0	936.49	1865.2	2801.7	2.5035	3.7937	6.2972
2.50	223.99	0.001197	0.07875	0.07998	959.11	1644.0	2603.1	962.11	1841.0	2803.1	2.5547	3.7028	6.2575
3.00	233.90	0.001217	0.06545	0.06668	1004.78	1599.3	2604.1	1008.42	1795.7	2804.2	2.6457	3.5412	6.1869
3.50	242.60	0.001235	0.05582	0.05707	1045.43	1558.3	2603.7	1049.75	1753.7	2803.4	2.7253	3.4000	6.1253
4.00	250.40	0.001252	0.04852	0.04978	1082.31	1520.0	2602.3	1087.31	1714.1	2801.4	2.7964	3.2737	6.0701
5.00	263.99	0.001286	0.03815	0.03944	1147.81	1449.3	2597.1	1154.23	1640.1	2794.3	2.9202	3.0532	5.9734
6.00	275.64	0.001319	0.03112	0.03244	1205.44	1384.3	2589.7	1213.35	1571.0	2784.3	3.0267	2.8625	5.8892

TABLA A.2 AGUA SATURADA-TABLA DE PRESIÓN (CONTINUACIÓN)

		Volumen específico m^3/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Presión P MPa	Temp. T °C	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
7	285.88	0.001351	0.026020	0.027370	1257.55	1323.0	2580.5	1267.00	1505.1	2772.1	3.1211	2.6922	5.8133
8	295.06	0.001384	0.022140	0.023520	1305.57	1264.2	2569.8	1316.64	1441.3	2758.0	3.2068	2.5364	5.7432
9	303.4	0.001418	0.019070	0.020480	1350.51	1207.3	2557.8	1363.26	1378.9	2742.1	3.2858	2.3915	5.6772
10	311.06	0.001452	0.016570	0.018026	1393.04	1151.4	2544.4	1407.56	1317.1	2724.7	3.3596	2.2544	5.6141
11	318.15	0.001489	0.014500	0.015987	1433.70	1096.0	2529.8	1450.10	1255.5	2765.6	3.4295	2.1233	5.5527
12	324.75	0.001527	0.012730	0.014263	1473.00	1040.7	2513.7	1491.30	1193.6	2684.9	3.4962	1.9962	5.4924
13	330.93	0.001567	0.011210	0.012780	1511.1	985.0	2496.1	1531.50	1130.7	2662.2	3.5606	1.8718	5.4323
14	336.75	0.001611	0.009880	0.011485	1548.6	928.2	2476.8	1571.10	1066.5	2637.6	3.6232	1.7485	5.3717
15	342.24	0.001658	0.008680	0.010337	1585.6	869.8	2455.5	1610.50	1000.0	2610.5	3.6848	1.6249	5.3098
16	347.44	0.001711	0.007601	0.009306	1622.7	809.0	2431.7	1650.10	930.6	2580.6	3.7461	1.4994	5.2455
17	352.37	0.001770	0.006603	0.008364	1660.2	744.8	2405	1690.30	856.9	2547.2	3.8079	1.3698	5.1777
18	357.06	0.001840	0.005650	0.007489	1698.9	675.4	2374.3	1732.00	777.1	2509.1	3.8715	1.2329	5.1044
19	361.54	0.001924	0.004756	0.006657	1739.9	598.1	2338.1	1776.50	688.0	2464.5	3.9388	1.0839	5.0228
20	365.81	0.002036	0.003838	0.005834	1785.6	507.5	2293	1826.30	583.4	2409.7	4.0139	0.9130	4.9269
21	369.89	0.002207	0.002820	0.004952	1842.1	388.5	2230.6	1888.40	446.2	2334.6	4.1075	0.6938	4.8013
22	373.8	0.002742	0.00	0.003568	1961.9	125.2	2087.1	2022.20	143.4	2165.6	4.3110	0.2216	4.5327
22.09	374.14	0.003155	0.00	0.003155	2029.6	0.00	2029.6	2099.30	0.00	2099.3	4.4298	0.0000	4.4298

TABLA A.3 AGUA SOBRECALENTADA

T	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K
	P= 0.1 bar = 0.010 MPa (T_{sat} = 45.81 °C)				**P= 0.5 bar = 0.05 MPa** (T_{sat} = 81.33°C)				**P= 1 bar = 0.10 MPa** (T_{sat} = 99.63 °C)			
Sat	14.674	2437.9	2584.7	8.1502	3.240	2483.9	2645.9	7.5939	1.694	2506.1	2675.5	7.3594
50	14.869	2443.9	2592.6	8.1749								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.6947	1.696	2506.7	2676.2	7.3614
150	19.512	2587.9	2783.0	8.6882	3.889	2585.6	2780.1	7.9401	1.936	2582.8	2776.4	7.6134
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.356	2659.9	2877.7	8.1580	2.172	2658.1	2875.3	7.8343
250	24.136	2736.0	2977.3	9.1002	4.820	2735.0	2976.0	8.3556	2.406	2733.7	2974.3	8.0333
300	26.445	2912.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.5373	2.639	2810.4	3074.3	8.2158
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2968.5	3278.9	8.8642	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
500	35.679	3132.3	3489.1	9.8978	7.134	3132.0	3488.7	9.1546	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.1	3705.1	9.4178	4.028	3301.9	3704.7	9.0976
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.6599	4.490	3479.2	3928.2	9.3398
800	49.526	3663.8	4159.0	10.6281	9.904	3663.6	4158.9	9.8852	4.952	3663.5	4158.6	9.5652
900	54.141	3855.0	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.0967	5.414	3854.8	4396.1	9.7767
1000	58.757	4053.0	4640.6	11.0393	11.751	4052.9	4640.5	10.2964	5.875	4052.8	4640.3	9.9764
1100	63.372	4257.5	4891.2	11.2287	12.674	4257.4	4891.1	10.4859	6.3.37	4257.3	4891.0	10.1659
1200	67.987	4467.9	5147.8	11.4091	13.597	4467.8	5147.7	10.6662	6.799	4467.7	5147.6	10.3463
1300	72.602	4683.7	5409.7	11.5811	14.521	4683.6	5409.6	10.8382	7.260	4683.5	5409.5	10.5183
	P= 2 bar = 0.20 MPa (T_{sat} = 120.23 °C)				**P= 3 bar = 0.30 MPa** (T_{sat} = 133.55°C)				**P= 4 bar = 0.40 MPa** (T_{sat} = 146.63°C)			
Sat.	0.8857	2529.5	2706.7	7.1272	0.6058	2543.6	2725.3	6.9919	0.4625	2553.6	2738.6	6.8959
150	0.9596	2576.9	2768.8	7.2795	0.6339	2570.8	2761.0	7.0778	0.4708	2564.5	2752.8	6.9299
200	1.0803	2654.4	2870.5	7.5066	0.7163	2650.7	2865.6	7.3115	0.5342	2646.0	82860.5	7.1706
250	1.1988	2731.2	2971.0	7.7086	0.7964	2728.7	2967.6	7.5166	0.5951	2726.1	2964.2	7.3789
300	1.3162	2808.6	3071.8	7.8926	0.8753	2806.7	3069.3	7.7022	0.6548	2804.8	3066.8	7.5662
400	1.5493	2966.7	3276.6	8.2218	1.0315	2965.6	3275.0	8.0330	0.7726	2964.4	3273.4	7.8985
500	1.7814	3130.8	3487.1	8.5133	1.1867	3130.0	3486.0	8.3251	0.8893	3129.2	3484.9	8.1913
600	2.0130	3301.4	3704.0	8.7770	1.3414	3300.8	3703.2	8.5892	1.0055	3300.2	3702.4	8.4558
700	2.2440	3478.8	3927.6	9.0194	1.4957	3478.4	3927.1	8.8319	1.1215	3477.9	3926.5	8.6987
800	2.4750	3663.1	4158.2	9.2449	1.6499	3662.9	4157.8	9.0576	1.2372	3662.4	4157.4	0.9244
900	2.7060	3854.5	4395.8	9.4566	1.8042	3854.2	4395.4	9.2692	1.3529	3853.9	4395.1	9.1362
1000	2.9370	4052.5	4640.0	9.6563	1.9581	4052.3	4639.7	9.4690	1.4685	4052.0	4639.4	9.3360
1100	3.1680	4257.0	4890.7	9.8458	2.1121	4256.8	4890.4	9.6585	1.5840	4256.5	4890.2	9.5256
1200	3.3990	4467.5	5147.3	10.0262	2.2661	4467.2	5147.1	9.8389	1.6996	4467.0	5146.8	9.7060
1300	3.6300	4683.2	5409.3	10.1982	2.4201	4683.0	5409.0	10.0110	1.8151	4682.8	5408.8	9.8780

TABLA A.3 AGUA SOBRECALENTADA (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 5 bar = 0.50 MPa (T_{sat} = 151.86 °C)				**P= 6 bar = 0.60 MPa** (T_{sat} = 158.85°C)				**P= 8 bar = 0.80 MPa** (T_{sat} = 170.43°C)			
Sat.	0.3749	2561.2	2748.7	6.8213	0.5157	2567.4	2756.8	6.7600	0.2404	2576.8	2769.1	6.6628
200	0.4249	2642.9	2854.9	7.0592	0.3520	2638.9	2850.1	6.9665	0.2608	2630.6	2839.3	6.8158
250	0.4744	2723.5	2960.7	7.2709	0.3938	2720.9	2957.2	7.1816	0.2931	2715.5	2950.0	7.0384
300	0.5226	2802.9	3064.2	7.4599	0.4344	2801.0	3061.6	7.3724	0.3241	2797.2	3056.5	7.2328
350	0.5701	2882.6	3167.7	7.6329	0.4742	2881.2	3165.7	7.5464	0.3544	2878.2	3161.7	7.4089
400	0.6173	2963.2	3271.9	7.7938	0.5137	2962.1	3270.3	7.7079	0.3843	2959.7	3267.1	7.5716
500	0.7109	3128.4	3483.9	8.0873	0.5920	3127.6	3482.8	8.0021	0.4433	3126.0	3480.6	7.8673
600	0.8041	3299.6	3701.7	7.3592	0.6697	3299.1	3700.9	8.2674	0.5018	3297.9	3699.4	8.1333
700	0.8969	3477.5	3925.9	8.5952	0.7472	3477.0	3925.3	8.5107	0.5601	3476.2	3924.2	8.3770
800	0.9896	3662.1	4156.9	8.8211	0.8245	3661.8	4156.5	8.7367	0.6181	3661.1	4155.6	8.6033
900	1.0822	3853.6	4394.7	9.0329	0.9017	3853.4	4394.4	8.9486	0.6761	3852.8	4393.7	8.8153
1000	1.1747	4051.8	4639.1	9.2328	0.9788	4051.5	4638.8	9.1485	0.7340	4051.0	4638.2	9.0153
1100	1.2672	4256.3	4889.9	9.4224	1.0559	4256.1	4889.6	9.3381	0.7919	4255.6	4889.1	9.2050
1200	1.3596	4466.8	5146.6	9.6029	1.1330	4466.5	5146.3	9.5185	0.8497	4466.1	5145.9	9.3855
1300	1.4521	4682.5	5408.6	9.7749	1.2101	4682.3	5408.3	9.6906	0.9076	4681.8	5407.9	9.5575
	P= 10 bar = 1 MPa (T_{sat} = 179.91 °C)				**P= 12 bar = 1.20 MPa** (T_{sat} = 187.99°C)				**P= 14 bar = 1.40 MPa** (T_{sat} = 195.07°C)			
Sat.	0.19444	2583.6	2778.1	6.5865	0.16333	2588.8	27848.0	6.52330	0.14084	2592.8	2790.0	6.46930
200	0.20600	2621.9	2827.9	6.6940	0.16930	2612.8	2815.9	6.58980	0.14302	2603.1	2803.3	6.49750
250	0.23270	2709.9	2942.6	6.9247	0.19934	2704.2	2935.0	6.82940	0.16350	2698.3	2927.2	6.74670
300	0.25790	2793.2	3051.2	7.1229	0.21380	2789.2	3045.8	7.03170	0.18228	2785.2	3040.4	6.95340
350	0.28250	2875.2	3157.7	7.3011	0.23450	2872.2	3153.6	7.21210	0.20030	2869.2	3149.5	7.13600
400	0.30660	2957.3	3263.9	7.4651	0.25480	2954.9	3260.7	7.37740	0.21780	2952.5	3257.5	7.30260
500	0.35410	3124.4	3478.5	7.7622	0.29460	3122.8	3476.3	7.67590	0.25210	3121.1	3474.1	7.60270
600	0.40110	3296.8	3697.9	8.0290	0.33390	3295.6	3696.3	7.94350	0.28600	3294.4	3694.8	7.87100
700	0.44780	3475.3	3923.1	8.2731	0.37290	3474.4	3922.0	8.18810	0.31950	3473.6	3920.8	8.11600
800	0.49430	3660.4	4154.7	8.4996	0.41180	3659.7	4153.8	8.41480	0.35280	3659.0	4153.0	8.34310
900	0.54070	3852.2	4392.9	8.7118	0.45050	3851.6	4392.9	8.69720	0.38610	3851.1	4391.5	8.55560
1000	0.58710	4050.5	4637.6	8.9119	0.48920	4050.0	4637.0	8.82740	0.41920	4049.5	4636.4	8.75590
1100	0.63350	4255.1	4888.6	9.1017	0.59780	4254.6	4888.0	9.01720	0.45240	4254.1	4887.5	8.94570
1200	0.67980	4465.6	5145.4	9.2822	0.56650	4465.1	5144.9	9.19770	0.48550	4464.7	5144.4	9.12620
1300	0.72610	4681.3	5407.4	9.4543	0.60510	4680.9	5407.0	9.36980	0.51860	4680.4	5406.5	9.29840

TABLA A.3 AGUA SOBRECALENTADA (CONTINUACIÓN)

T	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K
	P= 16 bar = 1.60 MPa (T_{sat} = 201.41 °C)				**P= 18 bar = 1.80 MPa** (T_{sat} = 207.15°C)				**P= 20 bar = 2 MPa** (T_{sat} = 212.42°C)			
Sat.	0.1238	2596.0	2794.0	6.4210	0.11042	2598.4	2797.1	6.3794	0.09963	2600.3	2799.5	6.3409
225	0.13287	2644.7	2857.3	6.5518	0.11673	2636.6	2846.7	6.4808	0.10377	2628.3	2835.8	6.4147
250	0.14184	2692.3	2919.2	6.6732	0.12497	2686.0	2911.0	6.6066	0.11144	2679.6	2902.5	6.5453
300	0.15862	2781.1	3034.8	6.8844	0.14021	2776.9	3029.2	6.8226	0.12547	2772.6	3023.5	6.7664
350	0.17456	2866.1	3145.4	7.0694	0.15457	2863.0	3141.2	7.0100	0.13857	2859.8	3137.0	6.9563
400	0.19005	2950.1	3254.2	7.2374	0.16847	2947.7	3250.9	7.1794	0.15120	2945.2	3247.6	7.1271
500	0.2203	3119.5	3472.0	7.5390	0.19550	3117.9	3469.8	7.4825	0.17568	3116.2	3467.6	7.4317
600	0.2500	3293.3	3693.2	7.8080	0.22200	3292.1	3691.7	7.7523	0.19960	3290.9	3690.1	7.7024
700	0.2794	3472.7	3919.7	8.0530	0.24820	3471.8	3918.5	7.9983	0.22320	3470.9	3917.4	7.9487
800	0.3086	3658.3	4112.1	8.2808	0.27420	3657.6	4151.2	8.2258	0.24670	3657.0	4150.3	8.1765
900	0.3377	3850.5	4390.8	8.4935	0.39010	3849.9	4390.1	8.4386	0.27000	3849.3	4389.4	8.3895
1000	0.3668	4049.0	4635.8	8.6938	0.32600	4048.5	4635.2	8.6391	0.29330	4048.0	4634.6	8.5901
1100	0.3958	4253.7	4887.0	8.8837	0.35180	4253.2	4886.4	8.8290	0.31660	4259.7	4885.9	8.7800
1200	0.4248	4464.2	5143.9	9.0643	0.37760	4463.7	5143.4	9.0096	0.33980	4463.3	5142.9	8.9607
1300	0.4538	4679.9	5406.0	9.2364	0.40340	4679.5	5405.6	9.1818	0.36310	4679.0	5405.1	9.1329

T	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
	P= 25 bar = 2.50 MPa (T_{sat} = 223.99 °C)				**P= 30 bar = 3 MPa** (T_{sat} = 233.90°C)				**P= 35 bar = 3.50 MPa** (T_{sat} = 242.60°C)			
Sat.	0.07998	2603.1	2803.1	6.2175	0.06668	2604.1	2804.2	6.1869	0.05707	2603.7	2803.4	6.1253
225	0.08027	2605.6	2806.3	6.2639								
250	0.08700	2662.6	2880.1	6.4085	0.07058	2644	2855.8	6.2872	0.05872	2623.7	2829.2	6.1749
300	0.09890	9761.6	3008.8	6.6438	0.08114	2750.1	2993.5	6.5390	0.06842	2738.0	2977.5	6.4461
350	0.10976	2851.9	3126.3	6.8403	0.09053	2843.7	3115.3	6.7428	0.07678	2835.3	3104.0	6.6579
400	0.12010	2939.1	3239.3	7.0148	0.09936	2932.8	3230.9	6.9912	0.08453	2926.4	3222.3	6.8405
500	0.13014	3025.5	3350.8	7.1746	0.10787	3020.4	3344	7.0834	0.09196	3015.3	3337.2	7.0052
600	0.13998	3112.1	3462.1	7.3234	0.11619	3108.0	3456.5	7.2338	0.09918	3103.0	3450.9	7.1572
700	0.15930	3288.0	3686.3	7.596	0.13243	3285.0	3682.3	7.5085	0.11324	3282.1	3678.4	7.4339
800	0.17832	3468.7	3914.5	7.8435	0.14838	3466.5	3911.7	7.7571	0.12699	3464.3	3908.8	7.6837
900	0.19716	3655.3	4148.2	8.072	0.16414	3653.5	4145.9	7.9862	0.14056	3651.8	4143.7	7.9134
1000	0.21590	3847.9	4387.6	8.2853	0.1798	3846.5	4385.9	8.1999	0.15402	3845.0	4384.1	8.1276
1100	0.23460	4046.7	4633.1	8.4861	0.19541	4045.4	4631.6	8.4009	0.16743	4044.1	4630.1	8.3288
1200	0.25320	4251.5	4884.6	8.6762	0.21098	4250.3	4883.3	8.5912	0.18080	4249.2	4881.9	8.5192
1300	0.27180	4462.1	5141.7	8.8569	0.22652	4460.9	5140.5	8.7720	0.19415	4459.8	5139.3	8.7000
1300	0.29050	4677.8	5404.0	9.0291	0.24206	4676.6	5402.8	8.9442	0.20749	4675.5	5401.7	8.8723

TABLA A.3 AGUA SOBRECALENTADA (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 40 bar = 4 MPa (T_{sat} = 250.40 °C)				**P= 45 bar = 4.5 MPa** (T_{sat} = 257.49°C)				**P= 50 bar = 5 MPa** (T_{sat} = 263.99°C)			
Sat.	0.04978	2602.30	2801.4	6.0701	0.04406	2600.1	2798.3	6.0198	0.03944	2597.1	2794.3	5.9734
275	0.05457	2667.90	2886.2	6.2285	0.0473	2650.3	2863.2	6.1401	0.04141	2631.3	2838.3	6.0544
300	0.05884	2725.30	2960.7	6.3615	0.05135	2712.0	2945.1	6.2828	0.04532	2698.0	2924.5	6.2084
350	0.06645	2826.70	3092.5	6.5821	0.0584	2817.8	3080.6	6.5131	0.05194	2808.7	3068.4	6.4493
400	0.07341	2919.90	3213.6	6.7690	0.06475	2913.3	3204.7	6.7047	0.05781	2906.6	3195.7	6.6459
450	0.08002	3010.20	3330.3	6.9363	0.07074	3005.0	3323.3	6.8746	0.0633	2999.7	3316.2	6.8186
500	0.08643	3101.74	3445.3	7.0901	0.07651	3095.3	3439.6	7.0301	0.06857	3091.0	3433.8	6.9759
600	0.09885	3279.10	3674.4	7.3188	0.08765	3276.0	3670.5	7.3110	0.07869	3273.0	3666.5	7.2589
700	0.11095	3462.10	3905.9	7 6198	0.09847	3459.9	3903.0	7.5631	0.08849	3457.6	3900.1	7.5122
800	0.12287	3650.00	4141.5	7.8502	0.10911	3648.3	4139.3	7.7942	0.09811	3646.6	4137.1	7.7440
900	0.13469	3843.60	4382.3	8.0647	0.11965	3842.2	4380.6	8.0091	0.07162	3840.7	4378.8	7.9593
1000	0.14645	4042.90	4628.7	8.2662	0.13013	4041.6	4627.2	8.2108	0.11707	4040.4	4625.7	8.1612
1100	0.15817	4248.00	4880.6	8.4567	0.14056	4246.8	4879.3	8.4015	0.12648	4245.6	4878.0	8.3520
1200	0.16987	4458.60	5138.1	8.6376	0.15098	4457.5	5136.9	8.5825	0.13587	4456.3	5135.7	8.5331
1300	0.18156	4674.30	5400.5	8.8100	0.16139	4673.1	5399.4	8.7549	0.14526	4672.0	5398.2	8.7055
	P= 60 bar = 6 MPa (T_{sat} = 275.64 °C)				**P= 70 bar = 7 MPa** (T_{sat} = 285.88°C)				**P= 80 bar = 8 MPa** (T_{sat} = 295.06°C)			
Sat.	0.03244	2589.7	2784.3	5.8892	0.02737	2580.5	2772.1	5.8133	0.02352	2569.8	2758.0	5.74320
300	0.03616	2667.2	2884.2	6.0674	0.02947	2632.2	2838.4	5.9305	0.02426	2590.9	2785.0	5.79060
350	0.04223	2789.6	3043.0	6.3335	0.03524	2769.4	3016.0	6.2283	0.02995	2747.7	2987.3	6.13010
400	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408	0.03993	2878.6	3158.1	6.4478	0.03432	2863.8	3138.3	6.36340
450	0.05214	2988.9	3301.8	6.7193	0.04416	2978.0	3287.1	6.6327	0.03817	2966.7	3272.0	6.55510
500	0.05665	3082.2	3422.2	6.8803	0.04814	3073.4	3410.3	6.7975	0.04175	3064.3	3398.3	6.72400
550	0.06101	3174.6	3540.6	7.0288	0.05195	3167.2	3530.9	6.9486	0.04516	3159.8	3521.0	6.87780
600	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677	0.05565	3260.7	3650.3	7.0894	0.04845	3254.4	3642.0	7.02060
700	0.07352	3453.1	3894.2	7.4234	0.06283	3448.5	3888.3	7.3476	0.05481	3443.9	3882.4	7.28120
800	0.08160	3643.1	4112.7	7.6566	0.06981	3639.5	4128.2	7.5822	0.06097	3636.0	4123.8	7.51730
900	0.08958	3837.8	4375.3	7.8727	0.07669	3835.0	4371.8	7.7991	0.06702	3832.1	4368.3	7.73510
1000	0.09749	4037.8	4622.7	8.0751	0.0835	4035.3	4619.8	8.0020	0.07301	4032.8	4616.9	7.93840
1100	0.10536	4243.3	4875.4	8.2661	0.09027	4240.9	4872.8	8.1933	0.07896	4238.6	4870.3	8.13000
1200	0.11321	4454.0	5133.3	8.4474	0.09703	4451.7	5130.9	8.3747	0.08489	4449.5	5128.5	8.31150
1300	0.12106	4669.6	5396.0	8.6199	0.10377	4667.3	5393.7	8.5473	0.09080	4665.0	5391.5	8.48420

TABLA A.3 AGUA SOBRECALENTADA (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 90 bar = 9 MPa				**P= 100 bar = 10 MPa**				**P= 125 bar = 12.5 MPa**			
	(T_{sat} = 303.40 °C)				(T_{sat} = 311.06°C)				(T_{sat} = 327.89°C)			
Sat.	0.02048	2557.8	2742.1	5.67720	0.018026	2544.4	2724.7	5.6141	0.01350	2505.1	2673.8	5.4624
325	0.02327	2646.6	2856.0	5.87120	0.019861	2610.4	2809.1	5.7568				
350	0.02580	2724.4	2956.6	6.03610	0.02242	2699.2	2923.4	5.9443	0.01626	2624.6	2826.2	5.7118
400	0.02993	2848.4	3117.8	6.28540	0.02641	2832.4	3096.5	6.2120	0.02000	2789.3	3039.3	6.0417
450	0.03350	2955.2	3256.6	6.48440	0.02975	2943.4	3240.9	6.4190	0.02299	2912.5	3199.8	6.2719
500	0.03677	3055.2	3386.1	6.65760	0.03279	3045.8	3373.7	6.5966	0.02560	3021.7	3341.8	6.4618
550	0.03987	3152.2	3511.0	6.81420	0.03564	3144.6	3500.9	6.7561	0.02801	3125.0	3475.2	6.6290
600	0.04285	3248.1	3633.7	6.95890	0.03837	3241.7	3625.3	6.9029	0.05029	3225.4	3604.0	6.7810
650	0.04574	3343.6	3755.3	7.09430	0.04101	3338.2	3748.2	7.0398	0.03248	3324.4	3730.4	6.9218
700	0.04857	3439.3	3876.5	7.22210	0.04358	3434.7	3870.5	7.1687	0.03460	3422.9	3855.3	7.0536
800	0.05409	3632.5	4119.3	7.45960	0.04859	3628.9	4114.8	7.4077	0.03869	3620.0	4103.6	7.2965
900	0.05450	3829.2	4364.8	7.67830	0.05349	3826.3	4361.2	7.6272	0.04267	3819.1	4352.5	7.5182
1000	0.06485	4030.3	4614.0	7.88210	0.05832	4027.8	4611.0	7.8315	0.04658	4021.6	4603.8	7.7237
1100	0.07016	4236.3	4867.7	8.07400	0.06312	4234.0	4865.1	8.0237	0.05045	4228.2	4858.8	7.9165
1200	0.07544	4447.2	5126.2	8.25560	0.06789	4444.9	5123.8	8.2055	0.05430	4439.3	5118.0	8.0987
1300	0.08072	4662.7	5389.2	8.42840	0.07265	4460.5	5387.0	8.3783	0.05813	4654.8	5381.4	8.2717
	P= 150 bar = 15 MPa				**P= 175 bar = 17.5 MPa**				**P= 200 bar = 20 MPa**			
	(T_{sat} = 342.24 °C)				(T_{sat} = 354.75°C)				(T_{sat} = 365.81°C)			
Sat.	0.010337	2455.5	2610.5	5.3098	0.007920	2390.2	2529.0	5.141.9	0.005834	2293.0	2409.7	4.9269
350	0.011470	2520.4	2692.4	5.4421								
400	0.015649	2740.7	2975.5	5.8811	0.012447	2685.0	2902.9	5.7213	0.009942	2619.3	2818.1	5.5540
450	0.018445	2879.5	3156.2	6.1404	0.015174	2844.2	3109.7	6.0184	0.012695	2806.2	3060.1	5.9017
500	0.020800	2996.6	3308.6	6.3443	0.017358	2970.3	3274.1	6.2383	0.014768	2942.9	3238.2	6.1401
550	0.022930	3104.7	3448.6	6.5199	0.019288	3083.9	3421.4	6.4230	0.016555	3062.4	3393.5	6.3348
600	0.024910	3208.6	3582.3	6.6776	0.021060	3191.5	3560.1	6.5866	0.018178	3174.0	3537.6	6.5048
650	0.026800	3310.3	3712.3	6.8224	0.022740	3296.0	3693.9	6.7357	0.019693	3281.4	3675.3	6.6582
700	0.028610	3410.9	3840.1	6.9579	0.024340	3398.7	3824.6	6.8736	0.091130	3386.4	3809.0	6.7993
800	0.032100	3610.9	4092.4	7.2040	0.027380	3601.8	4081.1	7.1244	0.023850	3592.7	4069.7	7.0544
900	0.035460	3811.9	4343.8	7.4279	0.030310	3804.7	4335.1	7.3507	0.026450	3797.5	4326.4	7.2830
1000	0.038750	4015.4	4596.6	7.6348	0.033160	4009.3	4589.5	7.5589	0.028970	4003.1	4582.5	7.4925
1100	0.042000	4222.6	4852.6	7.8283	0.035970	4216.9	4846.4	7.7531	0.031450	4211.3	4840.2	7.6874
1200	0.045230	4433.8	5112.3	8.0108	0.038760	4428.3	5106.6	7.9360	0.033910	4422.8	5101.0	7.8707
1300	0.048450	4649.1	5376.0	8.1840	0.041540	4643.5	5370.5	8.1093	0.036360	4638.0	5365.1	8.0442

TABLA A.3 AGUA SOBRECALENTADA (CONTINUACIÓN)

T	*v*	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*
°C	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K
	P= 250 bar = 25 MPa				**P= 300 bar = 30 MPa**				**P= 350 bar = 35 MPa**			
375	0.001973	1798.7	1848.0	4.0320	0.00179	1737.8	1791.5	3.93050	0.001700 3	1702.9	1762.4	3.8722
400	0.006004	2430.1	2580.2	5.1418	0.00279	2067.4	2151.1	4.47280	0.0021	1914.1	1987.6	4.2126
425	0.007881	2609.9	2806.3	5.4723	0.00530	2455.1	2614.2	5.15040	0.003428	2253.4	2373.4	4.7747
450	0.009162	2720.7	2949.7	5.6744	0.00674	2619.3	2821.4	5.44240	0.004961	2498.7	2672.4	5.1962
500	0.011123	2884.3	3162.4	5.9592	0.00868	2820.7	3081.1	5.79050	0.006927	2751.9	2994.4	5.6282
550	0.012724	3017.5	3335.6	6.1765	0.01017	2970.3	3275.4	6.03420	0.008345	2921.0	3213.0	5.9026
600	0.014137	3137.9	3491.4	6.3602	0.01145	3100.5	3443.9	6.23310	0.009527	3062.0	3395.5	6.1179
650	0.015433	3251.6	3637.4	6.5229	0.01260	3221.0	3598.9	6.40580	0.010575	3189.8	3559.9	6.3010
700	0.016646	3361.3	3777.5	6.6707	0.01366	3335.8	3745.6	6.56060	0.011533	3309.8	3713.5	6.4631
800	0.018912	3574.3	4047.1	6.9345	0.01562	3555.5	4024.2	6.83390	0.013278	3536.7	4001.5	6.7450
900	0.021045	3783.0	4309.1	7.1680	0.01745	3768.5	4291.9	7.07180	0.014883	37540.0	4274.9	6.9886
1000	0.023100	3990.9	4568.2	7.3802	0.01920	3978.8	4554.7	7.28670	0.01641	3966.7	4541.1	7.2064
1100	0.025120	4200.2	4828.2	7.5765	0.02090	4189.2	4816.3	7.48450	0.017895	4178.3	4804.6	7.4057
1200	0.027110	4412.0	5089.9	7.7605	0.02259	4401.3	5079.0	7.66920	0.01936	4390.7	5068.3	7.5910
1300	0.029100	4626.9	5354.4	7.9342	0.02427	4616.0	5344.0	7.84320	0.020815	4605.1	5333.6	7.7653
	P= 400 bar = 40 MPa				**P= 500 bar = 50 MPa**				**P= 600 bar = 60 MPa**			
375	0.00164	1677.10	1742.80	3.8290	0.001559	1638.6	1716.60	3.7639	0.001503	1609.4	1699.5	3.7141
400	0.00191	1854.60	1930.90	4.1135	0.001731	1788.1	1874.60	4.0031	0.001634	1745.4	1843.4	3.9318
425	0.00253	2096.90	2198.10	4.5029	0.002007	1959.7	2060.00	4.2734	0.001817	1892.7	2001.7	4.1626
450	0.00369	2365.10	2512.80	4.9459	0.002486	2159.6	2284.00	4.5884	0.002085	2053.9	2179.0	4.4121
500	0.00562	2678.40	2903.30	5.4700	0.003892	2525.5	2720.10	5.1726	0.002956	2390.6	2567.9	4.9321
550	0.00698	2869.70	3149.10	5.7785	0.005118	2763.6	3019.50	5.5485	0.003956	2658.8	2896.2	5.3441
600	0.00809	3022.60	3346.40	6.0114	0.006112	2942.0	3247.60	5.8178	0.004834	2861.1	3151.2	5.6452
650	0.00906	3158.00	3520.60	6.2054	0.006966	3093.5	3441.80	6.0342	0.005595	3028.8	3364.5	5.8829
700	0.00994	3283.60	3681.20	6.3750	0.007727	3230.5	3616.80	6.2189	0.006272	3177.2	3553.5	6.0824
800	0.00152	3517.80	3978.70	6.6662	0.009076	3479.8	3933.60	6.5990	0.007459	3441.5	3889.1	6.4109
900	0.01296	3739.40	4251.90	6.9150	0.010283	3710.3	4224.40	6.7889	0.008508	3681.0	4191.5	6.6805
1000	0.01432	3954.60	4527.60	7.1356	0.011411	3930.5	4501.10	7.0146	0.009480	3906.4	4475.2	6.9127
1100	0.01564	4167.40	4793.10	7.3364	0.012496	4145.7	4770.50	7.2184	0.010409	4124.1	4748.6	7.1195
1200	0.01694	4380.10	5057.70	7.5224	0.013561	4359.1	5037.20	7.4058	0.011317	4338.2	5017.2	7.3083
1300	0.01823	4594.30	5323.50	7.6969	0.014616	4572.8	5303.60	7.5801	0.012215	4551.4	5284.3	7.4837

TABLA A.4 AGUA LÍQUIDA COMPRIMIDA

T (°C)	P= 10 bar = 1 MPa (T_{sat} = 179.9 °C) v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	P= 20 bar = 2 MPa (T_{sat} = 212.4 °C) v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	P= 30 bar = 3 MPa (T_{sat} = 233.8 °C) v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)
Sat.	0.0011270	762.81	2.1387	0.0011770	908.79	2.4474	0.0012170	1008.42	2.6457
20	0.0010013	84.80	0.2961	0.0010008	85.70	0.2959	0.0010004	86.70	0.2957
40	0.0010074	168.30	0.5717	0.0010069	169.20	0.5713	0.0010065	170.10	0.5709
80	0.0010287	335.70	1.0746	0.0010282	336.50	1.0740	0.0010278	337.30	1.0733
120	0.0010602	504.30	1.5269	0.0010596	505.00	1.6260	0.0010590	505.70	1.5251
160	0.0011019	675.70	1.9420	0.0011012	676.30	1.9408	0.0011005	676.90	1.9396
200							0.0011550	853.00	2.3284

T (°C)	P= 40 bar = 4 MPa (T_{sat} = 250.3 °C) v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	P= 50 bar = 5 MPa (T_{sat} = 263.9 °C) v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)
Sat.	0.0012520	1087.31	2.7964	0.0012860	1154.23	2.9202
20	0.0009999	87.60	0.2955	0.0009995	88.60	0.2952
40	0.0010060	171.00	0.5706	0.0010056	171.90	0.5702
80	0.0010273	338.10	1.0726	0.0010268	338.80	1.0720
120	0.0010584	506.40	1.5242	0.0010579	507.10	1.5233
160	0.0010997	677.50	1.9385	0.0010990	678.10	1.9373
200	0.0011540	853.40	2.3268	0.0011530	853.80	2.3253
240	0.0012280	1037.78	2.7006	0.0012264	1037.80	2.6984

T (°C)	P= 50 bar = 5 MPa (T_{sat} = 263.99 °C) v (m³/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	P= 100 bar = 10 MPa (T_{sat} = 311.06 °C) v (m³/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)
Sat.	0.0012859	1147.80	1154.20	2.9202	0.0014524	1393.00	1407.60	3.3596
0	0.0009977	0.04	5.04	0.0001	0.0009952	0.090	10.04	0.0002
20	0.0009995	83.65	88.65	0.2956	0.0009972	83.36	93.33	0.2945
40	0.0010056	166.95	171.97	0.5705	0.0010034	166.35	176.38	0.5686
60	0.0010149	250.23	255.30	0.8285	0.0010127	249.36	259.49	0.8258
80	0.0010268	333.72	338.72	1.0720	0.0010245	332.59	342.83	1.0688
100	0.0010410	417.52	422.72	1.3030	0.0010385	416.12	426.50	1.2992
120	0.0010576	501.80	507.09	1.5233	0.0010549	500.08	510.64	1.5189

TABLA A.4 AGUA LÍQUIDA COMPRIMIDA (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
140	0.0010768	586.76	592.15	1.7343	0.0010737	584.68	595.42	1.7292
160	0.0010988	672.62	678.12	1.9375	0.0010953	670.13	681.08	1.9317
180	0.0011240	759.63	765.25	2.1341	0.0011199	756.65	767.84	2.1275
200	0.0011530	848.10	853.90	2.3255	0.0011480	844.50	856.00	2.3178
220	0.0011866	938.40	944.40	2.5128	0.0011805	934.10	945.90	2.5039
240	0.0012264	1031.40	1037.50	2.6979	0.0012187	1026.00	1038.10	2.6872
260	0.0012749	1127.90	1134.30	2.8830	0.0012645	1121.10	1133.70	2.8699
280					0.0013216	1220.90	1234.10	3.0548
300					0.0013972	1328.40	1342.30	3.2469

	P= 150 bar = 15 MPa (T_{sat} = 342.24 °C)				**P= 200 bar = 20 MPa** (T_{sat} = 363.81 °C)			
Sat.	0.0016581	1585.60	1609.8	3.6848	0.0020360	1785.60	1826.30	4.0139
0	0.0009928	0.22	15.05	0.0004	0.0009904	0.19	20.01	0.0004
20	0.0009950	83.06	97.99	0.2934	0.0009928	82.77	102.62	0.2923
40	0.0010013	165.76	180.78	0.5666	0.0009992	165.17	185.16	0.5646
60	0.0010105	248.51	263.51	0.8232	0.0010084	247.68	267.85	0.8206
80	0.0010222	331.48	346.81	1.0656	0.0010199	330.40	350.80	1.0624
100	0.0010361	414.74	430.28	1.2955	0.0010337	413.39	434.06	1.2917
120	0.0010522	498.40	514.19	1.5145	0.0010496	496.76	517.76	1.5102
140	0.0010707	582.66	598.72	1.7942	0.0010678	580.69	602.04	1.7193
160	0.0010918	667.71	684.09	1.9260	0.0010885	665.35	687.12	1.9204
180	0.0011159	753.76	770.5	2.1110	0.0011120	750.95	773.20	2.1147
200	0.0011433	841.00	858.2	2.3104	0.0011388	837.70	860.50	2.3031
220	0.0011748	929.90	947.5	2.4953	0.0011693	925.90	949.30	2.4870
240	0.0012114	1020.80	1039	2.6771	0.0012046	1016.00	1040.00	2.6674
260	0.0012550	1114.60	1133.4	2.8546	0.0012462	1108.60	1133.50	2.8459
280	0.0013084	1212.50	1232.1	3.0393	0.0012965	1204.70	1230.60	3.0248
300	0.0013770	1316.60	1337.3	3.2260	0.0013596	1306.10	1333.30	3.2071
320	0.0014724	1431.10	1453.2	3.4247	0.0014437	1415.70	1444.60	3.3979
340	0.0016311	1567.50	1591.9	3.6546	0.0015684	1539.70	1571.00	3.6075
360					0.0018226	1702.80	1739.30	3.8772

TABLA A.4 AGUA LÍQUIDA COMPRIMIDA (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 300 bar = 30 MPa				**P= 500 bar = 50 MPa**			
Sat.								
0	0.0009856	0.25	29.82	0.0001	0.0009766	0.20	49.03	0.0014
20	0.0009886	82.17	111.84	0.2899	0.0009804	81.00	130.02	0.2848
40	0.0009951	164.04	193.89	0.5607	0.0009872	161.86	211.21	0.5527
60	0.0010042	246.06	276.19	0.8154	0.0009962	242.98	292.79	0.8052
80	0.0010156	328.30	358.77	1.0561	0.0010073	324.34	374.70	1.0440
100	0.0010290	410.78	441.66	1.2844	0.0010201	405.88	456.89	1.2703
120	0.0010445	493.59	524.93	1.5018	0.0010348	487.65	539.39	1.4857
140	0.0010621	576.88	608.75	1.7098	0.0010515	569.77	622.35	1.6915
160	0.0010821	660.82	693.28	1.9096	0.0010703	652.41	705.92	1.8891
180	0.0011047	745.59	778.73	2.1024	0.0010912	735.69	790.25	2.0794
200	0.0011302	831.40	865.3	2.2893	0.0011146	819.70	875.50	2.2634
220	0.0011590	918.30	953.1	2.4711	0.0011408	904.70	961.70	2.4419
240	0.0011920	1006.90	1042.6	2.649	0.0011702	990.70	1049.20	2.6158
260	0.0012303	1097.40	1134.3	2.8243	0.0012034	1078.10	1138.20	2.7860
280	0.0012755	1190.70	1229	2.9986	0.0012415	1167.20	1229.30	2.9537
300	0.0013304	1287.90	1327.8	3.1741	0.0012860	1258.70	1323.00	3.1200
320	0.0013997	1390.70	1432.7	3.3539	0.0013388	1353.30	1420.20	3.2868
340	0.0014920	1501.70	1546.5	3.5426	0.0014032	1452.00	1522.10	3.4557
360	0.0016265	1626.60	1675.4	3.7494	0.0014838	1556.00	1630.20	3.6291
380	0.0018691	1781.40	1837.5	4.0012	0.0015884	1667.20	1746.60	3.8101

TABLA B.1 R-134A SATURADO - TABLA DE TEMPERATURA

		Volumen específico m³/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Temp. T °C	Presión P MPa	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
-40	0.05164	0.0007055	0.3602400	0.3569	-0.04	207.140	204.45	0.00	222.88	222.88	0.0000	0.9675600	0.9560
-36	0.06332	0.0007113	0.2986640	0.2947	4.68	204.424	206.73	4.73	220.67	225.40	0.0201	0.9413880	0.9506
-32	0.07704	0.0007172	0.2484520	0.2451	9.47	201.708	209.01	9.52	218.37	227. 90	0.0401	0.9152160	0.9456
-28	0.09305	0.0007233	0.2075160	0.2052	14.31	198.966	211.29	14.37	216.01	230.38	0.0600	0.8896740	0.9411
-26	0.10199	0.0007265	0.1897920	0.1882	16.75	197.582	212.43	16.82	214.80	231.62	0.0699	0.8772180	0.9390
-24	0.11160	0.0007296	0.1740840	0.1728	19.21	196.188	213.57	19.29	213.57	232.85	0.0798	0.8649460	0.9370
-22	0.12192	0.0007328	0.1603920	0.1590	21.68	194.784	214.70	21.77	212.32	234.08	0.0897	0.8528580	0.9351
-20	0.13299	0.0007361	0.1467000	0.1464	24.17	193.369	215.84	24.26	911.05	235.31	0.0996	0.8408755	0.9332
-18	0.14483	0.0007395	0.1360080	0.1350	26.67	191.948	216.97	26.77	209.76	236.53	0.1094	0.8290140	0.9315
-16	0.15748	0.0007428	0.1253160	0.1247	29.18	190.516	218.10	29.30	208.45	237.74	0.1192	0.8172580	0.9298
-12	0.18540	0.0007498	0.1073160	0.1068	34.25	187.610	220.36	34.39	205.77	240.15	0.1388	0.7941960	0.9267
-8	0.21704	0.0007569	0.0921596	0.0919	39.38	184.658	222.60	39.54	203.00	242.54	0.1583	0.7715480	0.9239
-4	0.25274	0.0007644	0.0793780	0.0794	44.56	181.658	224.84	44.75	200.15	244.90	0.1777	0.7492820	0.9213
0	0.29282	0.0007721	0.0685740	0.0689	49.79	178.588	227.06	50.02	197.21	247.23	0.1970	0.7411431	0.9190
4	0.33765	0.0007801	0.0598164	0.0600	55.08	175.482	229.27	55.35	194.19	249.53	0.2169	0.7058740	0.9169
8	0.38756	0.0007884	0.0522600	0.0525	60.43	172.294	231.46	60.73	191.07	251.80	0.2354	0.6846540	0.9150
12	0.44294	0.0007971	0.0457364	0.0460	65.83	169.042	233.63	66. 18	187.85	254.03	0.2545	0.6636820	0.9132
16	0.50416	0.0008062	0.0400968	0.0405	71.29	165.720	235.78	71.69	184.52	256.22	0.2735	0.6429280	0.9116
20	0.57160	0.0008157	0.0258290	0.0358	76.80	162.283	237.91	77.26	181.09	258.36	0.2924	0.6224600	0.9102
24	0.64566	0.0008257	0.0311336	0.0317	82.37	158.808	240.01	82.90	177.55	260.45	0.3113	0.6019920	0.9089
26	0.68530	0.0008309	0.0292570	0.0298	85.18	157.024	241.05	85.75	175.73	261.48	0.3208	0.5918440	0.9082
28	0.72675	0.0008362	0.0275430	0.0281	88.00	155.212	242.08	88.61	173.89	261.50	0.3302	0.5817320	0.9076
30	0.77006	0.0008417	0.0258290	0.0265	90.84	153.370	243.10	91.49	172.00	263.50	0.3396	0.5716380	0.9070
32	0.81528	0.0008473	0.0243794	0.0250	93.70	151.516	244.12	94.39	170.09	264.48	0.3490	0.5615440	0.9064
34	0.86247	0.0008530	0.0229298	0.0236	96.58	149.632	245.12	97.31	168.14	265.45	0.3584	0.5514680	0.9058
36	0.91168	0.0008590	0.0215882	0.0223	99.47	147.710	246.11	100.25	166.15	266.40	0.3678	0.5413940	0.9053
38	0.96298	0.0008651	0.0203546	0.0210	102.38	145.750	247.09	103.21	164.12	267.33	0.3772	0.5313220	0.9047
40	1.01640	0.0008714	0.0191210	0.0199	105.30	143.752	248.06	106.19	162.05	268.24	0.3866	0.5212260	0.9041

TABLA B.1 R-134A SATURADO-TABLA DE TEMPERATURA (CONTINUACIÓN)

		Volumen específico m^3/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Temp. T °C	Presión P MPa	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
44	1.1299	884.70	0.0170090	0.0177	111.22	139.7020	249.96	112.220	157.79	270.01	0.4054	0.501034	0.9030
48	1.2526	898.90	0.0151166	0.0159	117.22	135.4640	251.79	118.350	153.33	271.68	0.4243	0.480692	0.9017
52	1.3851	914.20	0.0134182	0.0142	123.31	131.0600	253.55	124.580	148.66	273.24	0.4432	0.460168	0.9004
56	1.5278	930.80	0.0118908	0.0127	129.51	126.4740	255.23	130.930	143.75	274.68	0.4622	0.439402	0.8990
60	1.6813	948.80	0.0105140	0.0114	135.82	121.6900	256.81	137.420	138.57	275.99	0.4814	0.418330	0.8973
70	2.1162	1002.70	0.0076623	0.0086	152.22	108.3900	260.15	154.340	124.08	278.43	0.5302	0.363120	0.8918
80	2.6324	1076.60	0.0053769	0.0064	169.88	92.4400	262.14	172.710	106.41	279.12	0.5814	0.301860	0.8827
90	3.2435	1194.90	0.0034176	0.0046	189.82	71.3900	261.34	193.690	82.63	276.32	0.6380	0.227110	0.8655
100	3.9742	1544.30	0.0011040	0.0027	218.60	28.6700	248.49	224.740	34.40	259.13	0.7196	0.088580	0.8117

TABLA B.2 R-134A SATURADO-TABLA DE PRESIÓN

Presión P MPa	Temp. T °C	Volumen específico m³/kg: Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Energía interna kJ/kg: Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Entalpía kJ/kg: Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Entropía kJ/kg*K: Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
0.060	-37.07	0.0007097	0.3104800	0.3100	3.41	205.070	206.12	3.460	221.27	224.72	0.0147	0.947030	0.952
0.080	-31.21	0.0007184	0.2368000	0.2366	10.41	201.110	209.46	10.47	217.92	228.39	0.0440	0.893490	0.9447
0.100	-26.43	0.0007258	0.1918100	0.1917	16.22	197.830	212.18	16 29	215.06	231.35	0.0678	0.879330	0.9395
0.120	-22.36	0.0007323	0.1625620	0.1614	21.23	195.053	214.5	21.32	212.54	233.86	0.0879	0.855050	0 9354
0.140	-18.8	0.0007381	0.1404180	0.1395	25.66	192.538	216.52	25.77	210.27	236.04	0.1055	0.833848	0.9322
0.160	-15.62	0.0007435	0.1412520	0.1229	29.66	192.944	218.32	29.78	208.19	237.97	0.1211	0.836744	0.9295
0.180	-12.73	0.0007485	0.1195371	0.1098	33.31	189.442	219.94	33.45	206.26	239.71	0.1352	0.808730	0.9273
0.200	-10.09	0.0007532	0.0991250	0.0993	36.69	186.200	221.43	36.84	204.46	241.30	0.1481	0.783100	0.9253
0.240	-5.37	0.0007618	0.0837682	0.0834	42.77	182.736	224.07	42.95	201.14	244.09	0.1710	0.757212	0.9222
0.280	-1.23	0.0007697	0.0837680	0.0719	48.18	179.571	226.38	48.39	198.13	246.52	0.1911	0.734466	0.9197
0.320	2.48	0.7770000	0.0631870	0.0632	53.06	176.716	228.43	53.31	195.35	248.66	0.2089	0.714322	0.9177
0.360	5.84	0.0007839	0.0504349	0.0564	57.54	174.034	230.28	57.82	192.76	250.58	0.2251	0.696208	0.9166
0.400	8.93	0.0007904	0.0504350	0.0509	61.69	171.550	231.97	62.00	190.32	252.32	0.2399	0.679660	0.9145
0.500	15.74	0.0008056	0.0403390	0.0409	70.93	165.940	235.64	71.33	184.74	256.07	0.2723	0.644230	0.9117
0.600	21.58	0.0008196	0.0335040	0.0341	78.99	160.950	238.74	79.48	179.71	259.19	0.2999	0.614300	0.9097
0.700	26.72	0.0008328	0.0285570	0.0292	86.19	156.390	241.42	86.78	175.07	261.85	0.3242	0.588190	0.9080
0.800	31.33	0.0008454	0.0248040	0.0255	92.75	152.160	243.78	93.42	170.73	264.15	0.3459	0.564900	0.9066
0.900	35.53	0.0008576	0.0218540	0.0226	98.79	148.180	245.88	99.56	166.62	266.18	0.3656	0.543750	0.9054
1.00	39.39	0.0008695	0.0194710	0.0202	104.42	144.400	247.77	105 29	162.68	267.97	0.3838	0.524310	0.9043
1.20	46.32	0.0008928	0.0158480	0.0166	114.69	137.290	251 03	115.76	155.23	270.99	0.4164	0.489270	0.9023
1.40	52.43	0.0009159	0.0132140	0.014	123.98	130.620	253.74	125.26	148.14	273.40	0.4453	0.458000	0.9003
1.60	57.92	0.0009392	0.0112050	0.0121	132.52	124.230	256.00	134.02	141.31	275.33	0.4714	0.429400	0.8982
1.80	62.91	0.0009631	0.0096140	0.0105	140.49	118.030	257.88	142.22	134.60	276.83	0.4954	0.402710	0.8959
2.00	67.49	0.0009878	0.0083161	0.0093	148.02	111.920	259.41	149.99	127.95	277.94	0.5178	0.377400	0.8934
2.50	77.59	0.0010562	0.0058904	0.0069	165.48	96.630	261.84	168.12	111.06	279.17	0.5687	0.317500	0.8854
3.00	86.22	0.0011416	0.0041415	0.0053	181.88	80.300	262.16	185.3	92.71	278.01	0.6156	0.258040	0.8735

TABLA B.3 R-134A SOBRECALENTADO

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 0.6 Bar = 0.060 MPa				**P= 1 Bar = 0.010 Mpa**			
	(T_{sat} = -37.07 °C)				(T_{sat} = -26.43 °C)			
Sat.	0.31003	206.12	224.72	0.952	0.1917	212.18	231.35	0.9395
-20	0.33536	217.86	237.98	1.0062	0.1977	216.77	236.54	0.9602
-10	0.34992	224.97	245.96	1.0371	0.20686	224.01	244.70	0.9918
0	0.36433	232.24	254.10	1.0675	0.21587	231.41	252.99	1.0227
10	0.37861	239.69	262.41	1.0973	0.22473	238.96	261.43	1.0531
20	0.39279	247.32	270.89	1.1267	0.23349	246.67	270.02	1.0829
30	0.40688	255.12	279.53	1.1557	0.24216	254.54	278.76	1.1122
40	0.42091	263.1	288.35	1.1844	0.25076	262.58	287.66	1.1411
50	0.43487	271.25	297.34	1.2126	0.2593	270.79	296.72	1.1696
60	6.44879	279.58	306.51	1.2405	0.26779	279.16	305.94	1.1977
70	0.46266	288.08	315.84	1.2681	0.27623	287.70	315.32	1.2254
80	0.47650	296.75	325.34	1.2954	0.28464	296.40	324.87	1.2528
90	0.49031	305.58	335.00	1.3224	0.29302	305.27	334.57	1.2799
	P= 1.47 Bar = 0.14 MPa				**P= 1.8 Bar = 0.18 MPa**			
	(T_{sat} = -18.80 °C)				(T_{sat} = -12.73 °C)			
Sat.	0.13945	216.52	236.04	0.9322	0.13945	216.52	236.04	0.9322
-10	0.14549	223.03	243.4	0.9606	0.14549	223.03	243.40	0.9606
0	0.15219	230.55	251.86	0.9922	0.15219	230.55	251.86	0.9922
10	0.15875	238.21	260.43	1.0230	0.15875	238.21	260.43	1.0230
20	0.16520	246.01	269.13	1.0532	0.16520	246.01	269.13	1.0532
30	0.17155	253.96	277.97	1.0828	0.17155	253.96	277.97	1.0828
40	0.17783	262.06	286.96	1.1120	0.17783	262.06	286.96	1.1120
50	0.18404	270.32	296.09	1.1407	0.18404	270.32	296.09	1.1407
60	0.19020	278.74	305.37	1.1690	0.19020	278.74	305.37	1.1690
70	0.19633	287.32	314.8	1.1969	0.19633	287.32	314.80	1.1969
80	0.20241	296.06	324.39	1.2244	0.20241	296.06	324.39	1.2244
90	0.20846	30.4.95	334.14	1.2516	0.20846	30.4.95	334.14	1.2516

TABLA B.3 R-134A SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 2 Bar = 0.20 MPa (T_{sat} = -10.09 °C)				**P= 2.4 Bar = 0.24 MPa** (T_{sat} = -5.37 °C)			
Sat.	0.09933	221.43	241.30	0.9253	0.08343	224.07	244.09	0.9222
-10	0.09938	221.5	241.38	0.9256				
0	0.10438	229.23	250.10	0.9582	0.08574	228.31	248.89	0.9399
10	0.10922	237.05	258.89	0.9898	0.08993	236.26	257.84	0.9721
20	0.11394	244.99	267.78	1.0206	0.09399	244.3	266.85	1.0034
30	0.11856	253.06	276.77	1.0508	0.09794	252.45	275.95	1.0339
40	0.12311	261.26	285.88	1.0804	0-10181	260.72	285.16	1.0637
50	0.12758	269.61	295.12	1.1094	0.10562	269.12	294.47	1.0930
60	0.13201	278.10	304.50	1.1380	0.10937	277.67	303.91	1.1218
70	0.13639	286.74	314.02	1.1661	0.11307	286.35	313.49	1.1501
80	0.14073	295.53	323.68	1.1939	0.11674	295.18	323.19	1.1780
90	0.14504	304.47	333.48	1.2210	0.12037	304.15	333.04	1.2055
	P= 2.8 Bar = 0.28 MPa (T_{sat} = -1.23 °C)				**P= 3.2 Bar = 0.32 MPa** (T_{sat} = 2.48 °C)			
Sat.	0.07193	226.38	246.52	0.9197	0.06322	228.43	248.66	0.9177
0	0.0724	227.37	247.64	0.9238				
10	0.07613	235.44	256.76	0.9566	0.06576	234.61	255.65	0.9427
20	0.07972	243.59	265.91	0.9883	0.06901	242.87	264.95	0.9749
30	0.0832	251.83	275.12	1.0192	0.07214	251.19	274.28	1.0062
40	0.0866	260.17	284.42	1.0194	0.07318	259.61	283.67	1.0367
50	0.08992	268.64	293.81	1.0789	0.07815	268.14	293.15	1.0665
60	0.09319	277.23	303.32	1.1079	0.08106	276.79	302.72	1.0957
70	0.09641	285.96	312.95	1.1364	0.08392	285.56	312.41	1.1243
80	0.0996	294.82	322.71	1.1644	0.08674	294.46	322.22	1.1525
90	0.10275	303.83	332.6	1.192	0.08953	303.5	332.15	1.1802
100	0.10587	312.98	342.62	1.2193	0.09229	312.68	342.21	1.2076

TABLA B.3 R-134A SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K
	P= 4 Bar = 0.40 MPa (T_{sat} = 8.93 °C)				**P= 5 Bar = 0.5 MPa** (T_{sat} = 15.47 °C)			
Sat.	0.05089	231.97	252.32	0.9145	0.04086	235.64	256.07	0.9117
10	0.05119	232.87	253.35	0.9182				
20	0.05397	241.37	262.96	0.9515	0.04188	239.40	260.34	0.9264
30	0.05662	249.89	272.54	0.9837	0.04416	248.20	270.28	0.9597
40	0.05917	258.47	292.14	1.0148	0.04633	256.99	280.16	0.9918
50	0.06164	267.13	291.79	1.0452	0.04842	265.83	290.04	1.0229
60	0.06405	275.89	301.51	1.0748	0.05043	274.73	299.95	1.0531
70	0.06641	284.75	311.32	1.1038	0.05240	283.72	309.92	1.0825
80	0.06873	293.73	321.23	1.1322	0.05432	292.80	319.96	1.1114
90	0.07102	302.84	331.25	1.1601	0.05620	302.00	330.1	1.1397
100	0.07327	312.07	341.38	1.1878	0.05805	311.31	340.33	1.1675
110	0.07550	321.44	351.64	1.2149	0.05988	320.74	350.68	1.1949
	P= 6 Bar = 0.6 MPa (T_{sat} = 21.58 °C)				**P= 7 Bar = 0.7 MPa** (T_{sat} = 26.72 °C)			
Sat.	0.03408	238.74	259.19	0.9097	0.02918	241.42	261.85	0.908
30	0.03581	246.41	267.89	0.9388	0.02979	244.51	265.37	0.9197
40	0.03774	255.45	278.09	0.9719	0.03157	253.83	275.93	0.9539
50	0.03958	264.48	288.23	1.0037	0.03324	263.08	286.35	0.9867
60	0.04134	273.54	298.35	1.0346	0.03182	272.31	296.49	1.0182
70	0.04304	282.66	308.48	1.0.645	0.03634	281.57	307.01	1.0487
80	0.04469	291.86	318.67	1.0938	0.03781	290.88	317.35	1.0784
90	0.04631	301.14	328.93	1.1225	0.03924	300.27	327.74	1.1074
100	0.0479	310.53	339.27	1.1505	0.04064	309.74	338.19	1.1358
110	0.04946	320.03	349.7	1.1781	0.04201	319.31	348.71	1.1637
120	0.05099	329.64	360.24	1.2053	0.04335	328.98	359.33	1.191
130	0.05251	339.93	370.88	1.232	0.04468	338.76	370.04	1.2179

TABLA B.3 R-134A SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 8 Bar = 0.80 MPa (T_{sat} = 31.33 °C)				**P= 9 Bar = 0.90 MPa** (T_{sat} = 35.53 °C)			
Sat.	0.02547	243.78	264.15	0.9066	0.2255	245.88	266.18	0.9054
40	0.02691	252.13	273.66	0.9374	0.02325	250.32	271 25	0 9217
50	0.02846	261.62	284.39	0.9711	0.02472	260.09	282.34	0.9566
60	0.02992	271.04	294.98	1.0034	0 02609	269.72	293.21	0.9897
70	0.03131	280.45	305.50	1.0315	0.02738	279.30	303.94	1.0214
80	0.03264	289.89	316.00	1.0647	0.02861	288.87	314.62	1.0521
90	0.03393	299.37	326.52	1.0940	0.0298	298.46	325.28	1.0819
100	0.03519	308.93	337.08	1.1227	0.03095	308.11	335.96	1.1109
110	0.03642	318.57	347.71	1.1508	0.03207	317.82	346.68	1.1392
120	0.03762	328.31	358.40	1.1784	0.03316	327.62	357.47	1.167
130	0.03881	338.14	369.19	1.2055	0.03423	337.52	368.33	1.1943
140	0.03997	348.09	380.07	1.2321	0.03529	347.51	379.27	1.2211
	P= 10 Bar = 1 MPa (T_{sat} = 39.39 °C)				**P= 12 Bar = 1.2 MPa** (T_{sat} = 46.32°C)			
Sat.	0.0202	247.77	267.97	0.9043	0.0166	3251.03	270.99	0.9023
40	0.02029	248.39	268.68	0.9066				
50	0.02171	258.48	280.19	0.9428	0.01712	254.98	275.52	0.9164
60	0.02301	268.35	291.36	0.9768	0.01835	265.42	287.44	0.9527
70	0.02423	278.11	302.34	1.0093	0.01947	275.59	298.96	0.9868
80	0.02538	287.82	313.2	1.0405	0.02051	285.62	310.24	1.0192
90	0.02649	297.53	324.01	1.0707	0.02150	295.59	321.39	1.0503
100	0.02755	307.27	334.82	1.1000	0.02244	305.51	332.47	1.0804
110	0.02858	317.06	345.65	1.1286	0.02335	315.50	343.52	1.1096
120	0.02959	326.93	356.52	1.1567	0.02423	325.51	354.58	1.1381
130	0.03058	336.88	367.46	1.1841	0.02508	335.58	365.68	1.1660
140	0.03154	346.92	378.46	1.2111	0.02592	345.73	176.81	1.1933

TABLA B.3 R-134A SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K
	P= 14 Bar = 1.4 MPa (T_{sat} = 54.43 °C)				**P= 16 Bar = 1.6 MPa** (T_{sat} = 57.92 °C)			
Sat.	0.01405	253.74	273.40	0.9003	0.01208	256.00	275.33	0.8982
60	0.01495	262.17	283.10	0.9297	0.01233	258.48	278.20	0.9069
70	0.01603	272.87	295.31	0.9658	0.01340	269.89	291.33	0.9457
80	0.01701	283.29	307.10	0.9997	0.01435	280.78	303.74	0.9813
90	0.01792	293.55	318.63	1.0319	0.01521	291.39	315.72	1.0148
100	0.01878	303.73	330.02	1.0628	0.01601	301.84	327.46	1.0467
110	0.01960	313.88	341.32	1.0927	0.01677	312.20	339.04	1.0773
120	0.92039	324.05	352.59	1.1218	0.01750	322.53	350.53	1.1069
130	0.02115	334.15	363.86	1.1501	0.01820	332.87	361.99	1.1357
140	0.02189	344.50	375.15	1.1777	0.01887	343.24	373.44	1.1638
150	0.02262	354.85	386.49	1.2048	0.01953	353.66	384.91	1.1912
160	0.02333	365.22	397.89	1.2315	0.02017	364.15	369.43	1.2181

TABLA C.1 R-12 SATURADO-TABLA DE TEMPERATURA

		Volumen específico m³/kg			Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Temp. T °C	Presión P MPa	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
-40	0.06417	0.0006595	0.241980	0.24191	-0.04	154.07	0.00	169.59	169.19	0.00	0.730100	0.7274
-35	0.08071	0.0006656	0.195360	0.19540	4.37	156.13	4.42	167.48	167.9	0.0187	0.706800	0.7219
-30	0.10041	0.0006720	0.159260	0.15938	8.79	158.2	8.86	165.33	174.2	0.0371	0.683090	0.717
-28	0.10927	0.0006746	0.147417	0.14728	10.58	159.02	10.65	164.46	175.11	0.0444	0.670926	0.7153
-26	0.11872	0.0006773	0.136130	0.13628	12.35	159.84	12.43	163.59	176.02	0.0517	0.661922	0.7135
-25	0.12368	0.0006786	0.130980	0.13117	13.25	160.26	13.33	163.15	176.48	0.0552	0.660740	0.7126
-24	0.12880	0.0006800	0.126022	0.12628	14.13	160.67	14.22	162.71	176.93	0.0589	0.653062	0.7119
-22	0.13953	0.0006827	0.117092	0.11717	15.92	161.48	16.02	161.82	177.83	0.0660	0.644346	0.7103
-20	0.15093	0.0006855	0.108610	0.10885	17.72	162.31	17.82	160.92	178.74	0.0731	0.639080	0.7087
-18	0.16304	0.0006883	0.101028	0.10124	19.51	163.12	19.62	160.01	179.63	0.0802	0.630544	0.7073
-15	0.18260	0.0006926	0.090731	0.09102	22.20	164.35	22.33	158.64	180.97	0.0906	0.618040	0.7051
-10	0.21912	0.0007000	0.076318	0.07665	26.72	166.39	26.87	156.31	183.19	0.1080	0.597560	0.7019
-5	0.26096	0.0007078	0.064599	0.06496	31.27	168.42	31.45	153.93	185.37	0.1251	0.577590	0.6991
0	0.30861	0.0007159	0.054993	0.05539	35.83	170.44	36.05	151.48	187.53	0.1420	0.558090	0.6965
4	0.35124	0.0007227	0.048343	0.04895	39.51	172.04	39.76	149.47	189.23	0.1553	0.539314	0.6946
8	0.39815	0.0007297	0.042812	0.04340	43.21	173.63	43.50	147.41	190.91	0.1686	0.524338	0.6929
12	0.44962	0.0007370	0.037976	0.03860	46.93	175.2	47.26	145.30	192.56	0.1817	0.509582	0.6913
16	0.50591	0.0007446	0.033742	0.03442	50.67	176.78	51.05	143.14	194.19	0.1948	0.495024	0.6898
20	0.56729	0.0007525	0.030272	0.03078	54.44	178.32	54.87	140.91	195.78	0.2078	0.483730	0.6884
24	0.63405	0.0007607	0.026878	0.02759	58.25	179.85	58.73	138.61	197.34	0.2207	0.466464	0.6871
26	0.66954	0.0007650	0.025420	0.02614	60.17	180.61	60.68	137.44	198.11	0.2271	0.459414	0.6865
28	0.70648	0.0007694	0.024077	0.02478	62.09	181.36	62.63	136.24	198.87	0.2335	0.452402	0.6859
30	0.74490	0.0007739	0.022950	0.02351	64.01	182.11	64.59	135.03	199.62	0.2400	0.448150	0.6853
32	0.78485	0.0007785	0.021582	0.02231	65.96	182.85	66.57	133.79	200.36	0.2463	0.438434	0.6847
34	0.82636	0.0007832	0.020431	0.02118	67.90	183.59	68.55	132.11	201.09	0.2527	0.431478	0.6842
36	0.86948	0.0007880	0.019359	0.02012	69.86	184.31	70.55	131.25	201.8	0.2591	0.424536	0.6836
38	0.91423	0.0007929	0.018366	0.01912	71.84	185.03	71.56	129.94	202.51	0.2655	0.417608	0.6831
40	0.96065	0.0007980	0.017563	0.01817	73.82	185.74	74.59	128.61	203.2	0.2718	0.413150	0.6825

TABLA C.1 R-12 SATURADO-TABLA DE TEMPERATURA (CONTINUACIÓN)

		Volumen específico m^3/kg			Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Temp. T °C	Presión P MPa	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
42	1.0088	0.0008033	0.0165118	0.01728	75.82	186.45	76.63	127.25	203.88	0.2782	0.403760	0.682
44	1.0587	0.0008086	0.0156506	0.01644	77.82	187.13	78.68	125.87	204.54	0.2845	0.396840	0.6814
48	1.1639	0.0008199	0.0140944	0.01488	81.88	188.51	82.83	123.00	205.83	0.2973	0.382958	0.6802
52	1.2766	0.0008318	0.0126868	0.01349	86.00	189.83	87.06	119.99	207.05	0.3101	0.369002	0.6791
56	1.3972	0.0008445	0.0114114	0.01224	91.18	191.10	91.36	116.84	208.20	0.3229	0.354938	0.6779
60	1.5259	0.0008581	0.010253	0.01111	94.43	192.31	95.74	113.52	209.26	0.3358	0.340730	0.6765
111.8	4.125	0.001792	0.00	0.001792	164.75	164.75	172.14	0.00	172.14	0.54025	0.00	0.54025

TABLA C.2 R12 SATURADO - TABLA DE PRESIÓN

		Volumen específico m³/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Presión P MPa	Temp. T °C	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
0.06	-41.42	0.0006578	0.2582000	0.25750	-1.29	155.340	154.07	-1.25	170.19	168.94	-0.0054	0.737020	0.7290
0.10	-30.10	0.0006719	0.1598900	0.16000	8.71	150.150	153.49	8.78	165.37	174.15	0.0368	0.683540	0.7171
0.12	-25.74	0.0006776	0.1297300	0.13490	12.58	147.640	158.15	12.66	163.48	176.14	0.0526	0.659640	0.7133
0.14	-21.91	0.0006828	0.1174720	0.11680	15.99	151.732	159.95	16.09	161.78	177.87	0.0663	0.647742	0.7102
0.16	-18.49	0.0006876	0.1033836	0.10310	19.07	144.688	161.52	19.18	160.23	179.41	0.0784	0.633018	0.7076
0.18	-15.38	0.0006921	0.0922648	0.09225	21.86	143.178	162.91	21.98	158.82	180.80	0.0893	0.619850	0.7054
0.20	-12.53	0.0006962	0.0832880	0.08354	24.43	141.770	164.19	24.57	157.50	182.07	0.0992	0.607930	0.7035
0.24	-7.42	0.0007040	0.0705424	0.07033	29.06	139.274	165.36	29.23	155.09	184.32	0.1168	0.587682	0.7004
0.28	-2.93	0.00071110	0.0608754	0.06076	33.15	137.006	167.44	33.35	152.92	186.27	0.1321	0.569948	0.6980
0.32	1.110	0.0007177	0.0545266	0.05351	36.85	134.893	169.26	37.08	150.92	188.00	0.1457	0.554246	0.6960
0.40	8.15	0.0007299	0.0427910	0.04321	43.35	131.180	170.88	43.64	147.33	190.97	0.1691	0.527230	0.6928
0.50	15.60	0.0007438	0.0343470	0.03482	50.30	127.120	173.69	50.67	143.35	194.02	0.1935	0.499730	0.6899
0.60	22.00	0.0007566	0.0286160	0.02913	56.35	123.490	176.61	56.80	139.77	196.57	0.2142	0.476560	0.6878
0.70	27.65	0.0007686	0.0244580	0.02501	61.75	120.170	179.09	62.29	136.45	198.74	0.2324	0.456390	0.6860
0.80	32.74	0.0007802	0.0212970	0.02188	66.68	117.080	181.23	67.30	133.33	200.63	0.2487	0.438430	0.6845
0.90	37.37	0.0007914	0.0188080	0.01942	71.22	114.180	183.13	71.93	130.36	202.29	0.2634	0.422170	0.6832
1.00	41.64	0.0008023	0.0167940	0.01744	75.46	111.420	184.81	76.26	127.50	203.76	0.2770	0.407240	0.6820
1.20	49.31	0.0008237	0.0137240	0.01441	83.22	106.240	186.32	84.21	122.03	206.24	0.1015	0.380420	0.6799
1.40	56.09	0.0008448	0.0114870	0.01222	90.28	101.360	188.95	91.46	116.76	208.22	0.3232	0.356570	0.6778
1.60	62.19	0.0008660	0.0106510	0.01054	96.80	96.690	191.11	98.19	111.67	209.81	0.3329	0.334830	0.6758

TABLA C.3 R-12 SOBRECALENTADO

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 0.6 Bar = 0.060 MPa (T_{sat} = -41.42 °C)				**P= 1 Bar = 0.10 MPa** (T_{sat} = -30.10 °C)			
Sat.	0.2575	153.49	168.94	0.729	0.1600	158.15	174.15	0.7171
-40	0.2593	154.16	169.72	0.7324				
-20	0.2838	163.91	180.94	0.7785	0.1677	163.22	179.99	0.7406
0	0.3079	174.05	192.52	0.8225	0.1827	173.50	191.77	0.7854
10	0.3198	179.26	198.45	0.8439	0.1900	178.77	197.77	0.8070
20	0.3317	184.57	204.47	0.8647	0.1973	184.12	203.85	0.8281
30	0.3435	189.96	210.57	0.8852	0.2045	189.57	210.02	0.8488
40	0.3552	195.46	216.77	0.9053	0.2117	195.09	216.26	0.8691
50	0.3670	201.02	223.04	0.9251	0.2188	200.70	222.58	0.8889
60	0.3787	206.69	229.41	0.9444	0.2260	206.38	228.98	0.9084
80	0.4020	218.25	242.37	0.9822	0.2401	218.00	242.01	0.9464
	P= 1.4 Bar = 0.14 MPa (T_{sat} = -21.91 °C)				**P= 1.8 Bar = 0.18 MPa** (T_{sat} = -15.38 °C)			
Sat.	0.1168	161.52	177.87	0.7102	0.0922	164.200	180.800	0.7054
-20	.0.1179	162.5	179.01	0.7147				
-10	0.1235	167.69	184.97	0.7378	0.0925	164.390	181.03	0.7181
0	0.1289	172.94	190.99	0.7602	0.0991	172.370	190.21	0.7408
10	0.1343	178.28	197.08	0.7821	0.1034	177.770	196.38	0.7630
20	0.3197	183.67	203.23	0.8035	0.1076	183.230	202.60	0.7846
30	0.1449	189.17	209.46	0.8243	0.1118	189.770	208.89	0.8057
40	0.1502	194.72	215.75	0.8447	0.1160	194.350	215.23	0.8263
50	0.1553	200.38	222.12	0.8648	0.1201	200.020	221.64	0.8464
60	0.1605	206.08	228.55	0.8844	0.1241	205.780	228.12	0.8662
80	0.1707	217.74	241.64	0.9225	0.1322	217.470	241.27	0.9045
100	0.1809	229.67	255.00	0.9593	0.1402	229.450	254.69	0.9414
	P= 2 Bar = 0.20 MPa (T_{sat} = -12.53 °C)				**P= 2.4 Bar = 0.24 MPa** (T_{sat} = -7.42 °C)			
Sat.	0.0835	165.37	182.07	0.7035	0.0703	167.45	184.32	0.7004
0	0.0886	172.08	189.08	0.7325	0.0729	171.49	188.99	0.7177
10	0.0926	177.50	196.02	0.7548	0.0763	176.98	195.29	0.7404
20	0.0964	183.00	202.28	0.7766	0.0796	182.53	201.63	0.7624
30	0.1002	188.56	208.6	0.7978	0.0828	188.14	208.01	0.7838
40	0.1040	194.17	214.97	0.8184	0.086	193.80	214.44	0.8047
50	0.1077	199.86	221.4	0.8387	0.0892	199.51	220.92	0.8251
60	0.1114	205.62	227.9	0.8585	0.0923	205.31	227.46	0.845
80	0.1187	217.35	241.09	0.8969	0.0985	217.07	240.71	0.8836
100	0.1259	229.35	254.53	0.9339	0.1045	229.12	254.2	0.9208
120	0.1331	241.59	268.21	0.9696	0.1105	241.41	267.93	0.9566

TABLA C.3 R-12 SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 2.8 Bar = 0.28 MPa (T_{sat} = -2.93 °C)				**P= 3.2 Bar = 0.32 MPa** (T_{sat} = 1.11 °C)			
Sat.	0.06076	169.26	186.27	0.6980	0.05351	170.88	188.00	0.6960
0	0.06166	170.89	188.15	0.7049				
10	0.06464	176.45	194.55	0.7279	0.05590	175.90	193.79	0.7167
20	0.06755	182.06	200.97	0.7502	0.05852	181.57	200.30	0.7393
30	0.07040	187.71	207.42	0.7718	0.06106	187.28	206.82	0.7612
40	0.07319	193.42	213.91	0.7928	0.06355	193.02	213.36	0.7824
50	0.07594	199.18	220.44	0.8134	0.06600	198.82	219.94	0.8031
60	0.07865	205.00	227.02	0.8334	0.06841	204.68	226.57	0.8233
80	0.08399	216.82	240.34	0.8722	0.07314	216.55	239.96	0.8623
100	0.08924	228.29	253.88	0.9095	0.07778	228.66	253.55	0.8997
120	0.09443	241.21	267.65	0.9455	0..08236	241.00	267.36	0.9358
	P= 4 Bar = 0.40 MPa (T_{sat} = 8.15 °C)				**P= 5 Bar = 0.50 MPa** (T_{sat} = 15.60 °C)			
Sat.	0.04321	173.69	190.97	0.6928	0.03482	176.61	194.02	0.6899
10	0.04363	174.76	192.21	0.6972				
20	0.04584	180.57	198.91	0.7204	0.03565	179.26	197.08	0.7004
30	0.04797	186.39	205.58	0.7428	0.03746	185.23	203.96	0.7235
40	0.05005	192.23	212.25	0.7645	0.03922	191.20	210.81	0.7457
50	0.05207	198.11	218.94	0.7855	0.04091	197.19	217.64	0.7672
60	0.05406	204.03	225.65	0.806	0.04257	203.20	224.48	0.7881
80	0.05791	216.03	239.19	0.8454	0.04578	215.32	238.21	0.8281
100	0.06173	228.2	252.89	0.8931	0.04889	227.61	252.05	0.8662
120	0.06546	240.61	266.79	0.9194	0.05193	240.10	266.06	0.9028
140	0.06913	253.23	280.88	0.9544	0.05492	252.77	280.23	0.9379
	P= 6 Bar = 0.60 MPa (T_{sat} = 22.00 °C)				**P= 7 Bar = 0.70 MPa** (T_{sat} = 27.65 °C)			
Sat.	0.02913	179.09	196.57	0.6878	0.02501	181.13	198.74	0.686
30	0.03042	184.01	202.26	0.7068	0.02535	182.72	200.46	0.6917
40	0.03197	190.23	209.31	0.7297	0.02676	189.00	207.73	0.7153
50	0.03345	196.23	216.30	0.7516	0.02810	195.23	214.90	0.7378
60	0.03489	202.34	223.27	0.7729	0.02939	201.45	222.02	0.7595
80	0.03765	214.61	237.20	0.8135	0.03184	213.88	236.17	0.8008
100	0.04032	227.01	251.20	0.852	0.03419	226.4	250.33	0.8769
120	0.04291	239.57	205.32	0.8889	0.03646	239.05	264.57	0.8769
140	0.04545	252.11	279.58	0.9243	0.03867	251 85	278.92	0.9125
160	0.04794	205.25	294.01	0.9584	0.04085	264.83	293.42	0.9468

TABLA C.3 R-12 SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T °C	*v* m³/kg	*u* kJ/kg	*h* kJ/kg	*s* kJ/kg·K	*v* m³/kg	*u* kJ/kg	*h* kJ/kg	*s* kJ/kg·K
	P= 8 Bar = 0.80 MPa (T_{sat} = 32.74 °C)				**P= 9 Bar = 0.90 MPa** (T_{sat} = 37.37 °C)			
Sat.	0.02198	183.13	200.63	0.6845	0.01942	184.81	202.29	0.6832
40	0.02293	187.81	206.07	0.7021	0.01974	186.55	204.32	0.6897
50	0.02407	194.19	213.45	0.7253	0.02091	193.10	211.92	0.7136
60	0.02525	200.52	220.72	0.7474	0.02201	199.56	219.37	0.7363
80	0.02748	213.13	235.11	0.7894	0.02407	212.37	234.03	0.7790
100	0.02959	225.77	249.44	0.8289	0.02601	225.13	248.54	0.8190
120	0.03162	238.51	263.81	0.8664	0.02785	237.97	263.03	0.8569
140	0.03359	251.39	278.26	0.9022	0.02964	250.90	277.58	0.8930
100	0.03552	264.41	292.83	0.9367	0.03138	263.99	292.23	0.9276
180	0.03742	277.6	307.54	0.9699	0.03309	277.23	307.01	0.9609
	P= 10 Bar = 1 MPa (T_{sat} = 41.64 °C)				**P= 12 Bar = 0.12 MPa** (T_{sat} = 49.31 °C)			
Sat.	0.01744	186.32	203.76	0.6820	0.01441	188.95	206.24	0.6799
50	0.01837	191.95	210.32	0.7026	0.01448	189.43	206.81	0.6816
60	0.01941	198.56	217.97	0.7259	0.01546	196.41	214.96	0.7065
80	0.02134	211.57	232.91	0.7695	0.01722	209.91	230.57	0.7520
100	0.02313	224.48	247.61	0.8100	0.01881	223.13	245.70	0.7937
120	0.02484	237.41	262.25	0.8482	0.02030	236.27	260.63	0.8326
140	0.02647	250.43	276.9	0.8845	0.02172	249.45	275.51	0.8696
160	0.02807	263.56	291.63	0.9193	0.02309	261.70	290.41	0.9048
180	0.02963	276.84	306.47	0.9528	0.02443	276.05	305.37	0.9385
200	0.03116	290.26	321.42	0.9851	0.02574	289.55	320.44	0.9711
	P= 14 Bar = 1.4 MPa (T_{sat} = 56.09 °C)				**P= 16 Bar = 1.6 MPa** (T_{sat} = 62.19 °C)			
Sat.	0.01222	191.11	208.22	0.6778	0.01054	192.95	209.81	0.6758
60	0.01258	194.00	211.61	0.6881				
80	0.01425	208.11	228.06	0.7360	0.01198	206.17	225.34	0.7209
100	0.01571	221.70	243.69	0.7791	0.01337	220.19	241.58	0.7656
120	0.01705	235.09	258.96	0.8189	0.01461	233.84	257.22	0.8065
140	0.01832	248.43	274.08	0.8564	0.01577	247.38	272.61	0.8447
160	0.01954	261.80	289.16	0.8921	0.01686	260.90	287.88	0.8808
180	0.02071	275.27	304.26	0.9262	0.01792	274.47	303.14	0.9152
200	0.02186	288.84	319.44	0.9589	0.01895	288.11	318.43	0.9482
220	0.02299	302.51	334.70	0.9905	0.01996	301.84	333.78	0.9800

TABLA D.1 R22 SATURADO-TABLA DE TEMPERATURAS

		Volumen específico m^3/kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg		Entropía kJ/kg*K	
Temp. T °C	Presión P MPa	Líquido Sat. v_f	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Vapor Sat. s_g
-60	0.0375	683.3	0.5370	21.57	203.67	-21.55	223.81	-0.0964	1.0547
-50	0.0645	696.6	0.3239	-10.89	207.70	-10.85	228.60	-0.0474	1.0256
-45	0.0829	703.7	0.2564	-5.50	209.70	-5.44	230.95	-0.0235	1.0126
-40	0.1052	710.9	0.2052	-0.07	211.68	0.00	233.27	0.0000	1.0005
-36	0.1263	716.9	0.1730	4.29	213.25	4.38	235.09	0.0186	0.9914
-32	0.1505	723.1	0.1468	8.68	214.80	8.79	236.89	0.0369	0.9828
-30	0.1639	726.2	0.1355	10.88	215.58	11.00	237.78	0.0460	0.9787
-28	0.1782	729.4	0.1252	13.09	216.34	13.22	238.66	0.0551	0.9746
-26	0.1935	732.7	0.1159	15.31	217.11	15.45	239.53	0.0641	0.9707
-22	0.2270	739.3	0.0997	19.76	218.62	19.92	241.24	0.0819	0.9631
-20	0.2453	742.7	0.0926	21.99	219.37	22.17	242.09	0.0908	0.9595
-18	0.2648	746.2	0.0861	24.23	220.11	24.43	242.92	0.0996	0.9559
-16	0.2855	749.7	0.0802	26.48	220.85	26.69	243.74	0.1084	0.9525
-14	0.3073	753.3	0.0748	28.73	221.58	28.97	244.56	0.1171	0.9490
-12	0.3304	756.9	0.0698	31.00	222.30	31.25	245.36	0.1258	0.9457
-10	0.3549	760.6	0.0652	33.27	223.02	33.54	246.15	0.1345	0.9424
-8	0.3806	764.4	0.0610	35.54	223.73	35.83	246.93	0.1431	0.9392
-6	0.4078	768.3	0.0571	37.83	224.43	38.14	247.70	0.1517	0.9361
-4	0.4364	772.2	0.0535	40.12	225.13	40.46	248.45	0.1602	0.9330
-2	0.4665	776.2	0.0501	42.42	225.82	42.78	249.20	0.1688	0.9300
0	0.4981	780.3	0.0470	44.73	226.50	45.12	249.92	0.1773	0.9271
2	0.5313	784.4	0.0442	47.04	227.17	47.46	250.64	0.1857	0.9241
4	0.5662	788.7	0.0415	49.37	227.83	49.82	251.34	0.1941	0.9213
6	0.6028	793.0	0.0391	51.71	228.48	52.18	252.03	0.2025	0.9184
8	0.6411	797.4	0.0368	54.05	229.13	54.56	252.70	0.2109	0.9157
10	0.6811	802.0	0.0346	56.40	229.76	56.95	253.35	0.2193	0.9129
12	0.7231	806.6	0.0326	58.77	230.38	59.35	253.99	0.2276	0.9102
16	0.8127	816.2	0.0291	63.53	231.59	64.19	255.21	0.2442	0.9048

TABLA D.2 R22 SATURADO-TABLA DE PRESIÓN

Presión P MPa	Temp. T °C	Volumen específico m^3/kg Líquido Sat. v_f	Vapor Sat. v_g	Energía interna kJ/kg Líquido Sat. u_f	Vapor Sat. u_g	Entalpía kJ/kg Líquido Sat. h_f	Vapor Sat. h_g	Entropía kJ/kg*K Líquido Sat. s_f	Vapor Sat. s_g
0.04	-58.86	684.7	0.5056	-20.36	204.13	-20.34	224.36	-0.0907	1.0512
0.05	-54.83	690.1	0.4107	-16.07	205.76	-16.03	226.30	-0.0709	1.0391
0.06	-51.40	694.7	0.3466	-12.39	207.14	-12.35	227.93	-0.0542	1.0294
0.07	-48.40	698.9	0.3002	-9.17	208.34	-9.12	229.35	-0.0397	1.0213
0.08	-45.73	702.6	0.2650	-6.28	209.41	-6.23	230.61	-0.0270	1.0144
0.09	-43.30	706.1	0.2374	-3.66	210.37	-3.60	231.74	-0.0155	1.0084
0.10	-41.09	709.3	0.2152	-1.26	211.25	-1.19	232.77	-0.0051	1.0031
0.13	-36.23	716.6	0.1746	4.04	213.16	4.13	234.99	0.0175	0.9919
0.15	-32.08	723.0	0.1472	8.60	214.77	8.70	236.86	0.0366	0.9830
0.18	-28.44	728.7	0.1274	12.61	216.18	12.74	238.47	0.0531	0.9755
0.20	-25.18	734.0	0.1123	16.22	217.42	16.37	239.88	0.0678	0.9691
0.23	-22.22	738.9	0.1005	19.51	218.53	19.67	241.15	0.0809	0.9636
0.25	-19.51	743.6	0.0910	22.54	219.55	22.72	242.29	0.0930	0.9586
0.28	-17.00	747.9	0.0831	25.36	220.48	25.56	243.33	0.1040	0.9542
0.30	-14.66	752.1	0.0765	27.99	221.34	28.22	244.29	0.1143	0.9502
0.33	-12.46	756.1	0.0709	30.47	222.13	30.72	245.18	0.1238	0.9465
0.35	-10.39	759.9	0.0661	32.82	222.88	33.09	246.00	0.1328	0.9431
0.38	-8.43	763.6	0.0618	35.06	223.58	35.34	246.77	0.1413	0.9399
0.40	-6.56	767.2	0.0581	37.18	224.24	37.49	247.48	0.1493	0.9370
0.43	-4.78	770.6	0.0548	39.22	224.86	39.55	248.16	0.1569	0.9342
0.45	-3.08	774.0	0.0519	41.17	225.45	41.52	248.80	0.1642	0.9316
0.48	-1.45	777.3	0.0492	43.05	226.00	43.42	249.40	0.1711	0.9292
0.50	0.12	780.5	0.0469	44.86	226.54	45.25	249.97	0.1777	0.9269
0.53	1.63	783.6	0.0447	46.61	227.04	47.02	250.51	0.1841	0.9247
0.55	3.08	786.7	0.0427	48.30	227.53	48.74	251.02	0.1903	0.9226
0.58	4.49	789.7	0.0409	49.94	227.99	50.40	251.51	0.1962	0.9206
0.60	5.85	792.7	0.0392	51.53	228.44	52.01	251.98	0.2019	0.9186
0.70	10.91	804.1	0.0337	57.48	230.04	58.04	253.64	0.2231	0.9117

TABLA D.2 R22 SATURADO-TABLA DE PRESIÓN (CONTINUACIÓN)

		Volumen específico m^3/kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg		Entropía kJ/kg*K	
Presión P MPa	Temp. T °C	Líquido Sat. v_f	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Vapor Sat. s_g
0.80	15.45	814.9	0.0295	62.88	231.43	63.53	255.05	0.2419	0.9056
0.90	19.59	825.2	0.0262	67.84	232.64	68.59	256.25	0.2591	0.9001
1.00	23.40	835.2	0.0236	72.46	233.71	73.30	257.28	0.2748	0.8952
1.20	30.25	854.6	0.0195	80.87	235.48	81.90	258.94	0.3029	0.8864
1.40	36.29	873.4	0.0166	88.45	236.89	89.68	260.16	0.3277	0.8786
1.60	41.73	891.9	0.0144	95.41	238.00	96.83	261.04	0.3500	0.8715
1.80	46.69	910.4	0.0127	101.87	238.86	103.51	261.64	0.3705	0.8649
2.00	51.26	929.1	0.0112	107.95	239.51	109.81	261.98	0.3895	0.8586
2.40	59.46	967.7	0.0091	119.24	240.22	121.56	261.99	0.4241	0.8463

TABLA D.3 R-22 SOBRECALENTADO

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P= 0.5 Bar = 0.05 MPa= 50 kPa				**P= 1 Bar = 0.01 MPa =100 kPa**			
	(T_{sat} = -54.80 °C)				(T_{sat} = -41.03 °C)			
Sat.	0.41077	205.67	226.21	1.0384	0.21525	211.19	232.72	1.0026
-40	0.44063	212.69	234.72	1.0762	0.21633	211.70	233.34	1.0052
-30	0.46064	217.57	240.60	1.1008	0.22675	216.68	39.36	1.0305
-20	0.48054	222.56	246.59	1.1250	0.23706	221.76	245.47	1.0551
-10	0.50036	227.66	252.68	1.1485	0.24728	226.94	251.67	1.0791
0	0.52010	232.87	258.87	1.1717	0.25742	232.21	257.96	1.1026
10	0.53977	238.19	265.18	1.1943	0.26748	237.60	264.35	1.1256
20	0.55939	243.62	271.59	1.2166	0.27750	243.08	270.83	1.1481
30	0.57897	249.17	278.12	1.2385	0.28747	248.67	277.42	1.1702
40	0.59851	254.82	284.74	1.2600	0.29739	254.36	284.10	1.1919
50	0.61801	260.58	291.48	1.2811	0.30729	260.16	290.89	1.2132
60	0.63749	266.44	298.32	1.3020	0.31715	266.06	297.77	1.2342
70	0.65694	272.42	305.26	1.3225	0.32699	272.06	304.76	1.2548
80	0.67636	278.50	312.31	1.3428	0.33680	278.16	311.84	1.2752
90	0.69577	284.68	319.47	1.3627	0.34660	284.37	319.03	1.2952
100	0.71516	290.96	326.72	1.3824	0.35637	290.67	326.31	1.3150
110	0.73454	297.34	334.07	1.4019	0.36614	297.07	333.69	1.3345
	P= 1.5 Bar = 0.15 MPa= 150 kPa				**P= 2 Bar = 0.20 MPa=200 kPa**			
	(T_{sat} = -32.02 °C)				(T_{sat} = -25.12 °C)			
Sat.	0.14727	214.74	236.83	0.9826	0.11237	217.39	239.87	0.9688
-20	0.15585	220.94	244.32	1.0129	0.11520	220.10	243.14	0.9818
-10	0.16288	226.20	250.63	1.0373	0.12065	225.44	249.57	1.0068
0	0.16982	231.55	257.02	1.0612	0.12600	230.87	256.07	1.0310
10	0.17670	236.99	263.50	1.0844	0.13129	236.38	262.63	1.0546
20	0.18352	242.53	270.06	1.1072	0.13651	241.97	269.27	1.0776
30	0.19028	248.17	276.71	1.1295	0.14168	247.66	275.99	1.1002
40	0.19701	253.90	283.45	1.1514	0.14681	253.43	282.80	1.1222
50	0.20370	259.73	290.29	1.1729	0.15190	259.31	289.69	1.1439
60	0.21036	265.67	297.22	1.1940	0.15696	265.27	296.66	1.1652
70	0.21700	271.70	304.25	1.2148	0.16200	271.33	303.73	1.1861
80	0.22361	277.83	311.37	1.2353	0.16701	277.49	310.89	1.2066
90	0.23020	284.05	318.58	1.2554	0.17200	283.74	318.14	1.2269
100	0.23678	290.38	325.90	1.2753	0.17697	290.09	325.48	1.2468
110	0.24333	296.80	333.30	1.2948	0.18193	296.53	332.91	1.2665
120	0.24988	303.32	340.80	1.3142	0.18688	303.06	340.44	1.2858
130	0.25642	309.93	348.39	1.3332	0.19181	309.69	348.05	1.3050

TABLA D.3 R-22 SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K
	P=3 Bar=0.3 MPa=300 kPa				**P= 4 Bar= 0.4 MPa=400 kPa**			
	(T_{sat} = -14.61 °C)				(T_{sat} = -6.52 °C)			
Sat.	0.07657	221.32	244.29	0.9499	224.23	247.50	247.50	0.9367
-10	0.07834	223.88	247.38	0.9617				
0	0.08213	229.47	254.10	0.9868	228.00	252.05	252.05	0.9536
10	0.08583	235.11	260.86	1.0111	233.80	259.02	259.02	0.9787
20	0.08947	240.83	267.67	1.0347	239.64	266.01	266.01	1.0029
30	0.09305	246.62	274.53	1.0577	245.55	273.03	273.03	1.0265
40	0.09659	252.48	281.46	1.0802	251.51	280.09	280.09	1.0494
50	0.10007	258.43	288.46	1.1022	257.54	287.21	287.21	1.0717
60	0.10355	264.47	295.54	1.1238	263.65	294.39	294.39	1.0936
70	0.10699	270.59	302.69	1.1449	269.84	301.63	301.63	1.1150
80	0.11040	276.80	309.92	1.1657	276.11	308.94	308.94	1.1361
90	0.11379	283.10	317.24	1.1861	282.46	316.33	316.33	1.1567
100	0.11716	289.49	324.64	1.2062	288.89	323.80	323.80	1.1770
110	0.12052	295.97	332.13	1.226	295.41	331.34	331.34	1.1969
120	0.12387	302.54	339.70	1.2455	302.02	338.96	338.96	1.2165
130	0.12720	309.20	347.36	1.2648	308.71	346.66	346.66	1.2359
140	0.13052	315.95	355.10	1.2837	315.48	354.45	354.45	1.2550
	P=5 Bar=0.5 MPa= 500 kPa				**P=6 Bar=0.6 Mpa= 600 kPa**			
	(T_{sat} = 0.12 °C)				(T_{sat} = 5.88 °C)			
Sat.	0.04692	226.55	250.00	0.9267	0.0393	228.46	252.04	0.9185
10	0.04936	232.43	257.11	0.9522	0.0402	231.00	255.11	0.9295
20	0.05175	238.42	264.30	0.9772	0.0423	237.15	262.52	0.9552
30	0.05408	244.44	271.48	1.0013	0.0443	243.30	269.89	0.9799
40	0.05636	250.51	278.69	1.0247	0.0463	249.48	277.25	1.0038
50	0.05859	256.63	285.93	1.0474	0.0482	255.70	284.62	1.0270
60	0.06079	262.82	293.22	1.0696	0.0501	261.97	292.02	1.0495
70	0.06295	269.08	300.55	1.0913	0.0519	268.30	299.46	1.0715
80	0.06509	275.40	307.95	1.1126	0.0538	274.69	306.94	1.0930
90	0.06721	281.81	315.41	1.1334	0.0556	281.14	314.48	1.1140
100	0.06930	288.29	322.94	1.1539	0.0573	287.67	322.07	1.1347
110	0.07138	294.85	330.54	1.1740	0.0591	294.27	329.73	1.1549
120	0.07345	301.49	338.21	1.1937	0.0608	300.95	337.46	1.1748
130	0.07550	308.21	345.96	1.2132	0.0626	307.71	345.26	1.1944
140	0.07755	315.02	353.79	1.2324	0.0643	314.54	353.12	1.2137
150	0.07958	321.90	361.69	1.2513	0.0660	321.46	361.07	1.2327
160	0.08160	329.87	369.67	1.2699	0.0677	328.45	369.08	1.2514

TABLA D.3 R-22 SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T (°C)	v (m³/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	v (m³/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)
	P= 8 Bar= 0.8 MPa= 800 kPa				**P=10 Bar=1 MPa 1000 kPa**			
	(T_{sat} = 15.47 °C)				(T_{sat} = 23.42 °C)			
Sat.	0.02958	231.50	255.16	0.9056	0.02364	233.82	257.46	0.8954
20	0.03037	234.44	258.74	0.9179				
30	0.03203	240.91	266.53	0.9440	0.02460	238.31	262.91	0.9136
40	0.03363	247.34	274.24	0.9690	0.02599	245.05	271.04	0.9400
50	0.03518	253.77	281.91	0.9931	0.02732	251.72	279.05	0.9651
60	0.03667	200.21	289.55	1.0164	0.02860	258.37	286.97	0.9893
70	0.03814	266.69	297.20	1.0391	0.02984	265.02	294.86	1.0126
80	0.03957	273.21	304.87	1.0611	0.03104	271.69	302.73	1.0352
90	0.04097	279.79	312.57	1.0826	0.03221	278.39	310.60	1.0572
100	0.04236	286.42	320.30	1.1036	0.03336	285.12	318.49	1.0786
110	0.04373	293.11	328.09	1.1242	0.03449	291.91	326.41	1.0996
120	0.04508	299.86	335.93	1.1444	0.03561	298.75	334.36	1.1200
130	0.04641	306.69	343.82	1.1642	0.03671	305.65	342.36	1.1401
140	0.04774	313.59	351.78	1.1837	0.03780	312.61	350.41	1.1599
150	0.04905	320.56	359.80	1.2029	0.03887	319.64	358.51	1.1792
160	0.05036	327.60	367.89	1.2218	0.03994	326.74	366.68	1.1983
170	0.05166	334.72	376.04	1.2404	0.04100	333.90	374.90	1.2171
	P= 12 Bar=1.2 MPa= 1200 kPa				**P=14 Bar=1.4 MPa=1400 kPa**			
	(T_{sat} = 30.26 °C)				(T_{sat} = 36.31 °C)			
Sat.	0.01960	235.66	259.18	0.8868	0.01668	237.12	260.48	0.8792
40	0.02035	242.58	267.60	0.9141	0.01717	239.89	263.86	0.8901
50	0.02205	249.55	276.01	0.9405	0.01825	247.22	272.77	0.9181
60	0.02319	256.43	284.26	0.9657	0.01930	254.38	281.40	0.9444
70	0.02428	263.28	292.42	0.9898	0.02029	261.45	289.86	0.9694
80	0.02534	270.1	300.51	1.0131	0.02125	268.45	298.20	0.9934
90	0.02636	276.94	308.57	1.0356	0.02217	275.44	306.47	1.0165
100	0.02736	283.79	316.62	1.0574	0.02306	282.42	314.70	1.0388
110	0.02833	290.68	324.68	1.0788	0.02393	289.42	322.92	1.0606
120	0.02929	297.61	332.76	1.0996	0.02477	296.44	331.13	1.0817
130	0.03024	304.59	340.87	1.1199	0.02561	303.50	339.35	1.1024
140	0.03117	311.62	349.02	1.1399	0.02643	310.61	347.60	1.1226
150	0.03208	318.71	357.21	1.1595	0.02723	317.76	355.89	1.1424
160	0.03299	325.86	365.45	1.1787	0.02803	324.97	364.21	1.1618
170	0.03389	333.07	373.74	1.1977	0.02882	332.23	372.57	1.1809
180	0.03479	340.35	382.09	1.2163	0.02960	339.55	380.99	1.1997
190	0.03567	347.69	390.50	1.2346	0.03037	346.94	389.45	1.2182

TABLA D.3 R-22 SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
	P=16 Bar=1.6 MPa= 1600 kPa				**P=20 Bar=2 MPa=2000 kPa**			
	(T_{sat} = 41.75 °C)				(T_{sat} = 51.28 °C)			
Sat.	0.01446	238.30	261.43	0.8724	0.01129	239.95	262.53	0.85985
50	0.01535	244.70	269.26	0.8969				
60	0.01635	252.20	278.36	0.9246	0.01213	247.29	271.56	0.8873
70	0.01728	259.52	287.17	0.9507	0.01301	255.29	281.31	0.9161
80	0.01817	266.73	295.80	0.9755	0.01381	263.02	290.64	0.9429
90	0.01901	273.88	304.30	0.9992	0.01456	270.57	299.70	0.9682
100	0.01983	281.00	312.73	1.0221	0.01529	278.02	308.57	0.9923
110	0.02061	288.12	321.10	1.0442	0.01596	285.40	317.32	1.0155
120	0.02138	295.25	329.46	1.0658	0.01662	292.75	325.99	1.0378
130	0.02213	302.39	337.81	1.0867	0.01726	300.09	334.61	1.0594
140	0.02287	309.57	346.16	1.1072	0.01788	307.44	343.20	1.0805
150	0.02359	316.79	354.54	1.1272	0.01849	314.80	351.78	1.1010
160	0.02430	324.06	362.95	1.1469	0.01909	322.19	360.37	1.1211
170	0.02501	33 1.37	371.39	1.1661	0.01967	329.62	368.97	1.1407
180	0.02570	338.74	379.87	1.1851	0.02025	337.99	377.60	1.1600
190	0.02639	346.17	388.40	1.2037	0.02082	344.61	386.25	1.1788
200	0.02707	353.66	396.97	1.2220	0.02138	352.17	394.94	1.1974
	P=30 Bar= 3 MPa= 3000 kPa				**P= 40 Bar= 4 MPa=4000 kPa**			
	(T_{sat} = 70.09 °C)				(T_{sat} = 84.53 °C)			
Sat.	0.00688	240.75	261.38	0.8300	0.00443	236.40	254.13	0.7935
80	0.00775	251.29	274.53	0.8678				
90	0.00847	260.65	286.04	0.9000	0.00504	245.48	265.63	0.8254
100	0.00910	269.37	296.66	0.9288	0.00580	257.78	281.00	0.8672
110	0.00967	277.72	306.74	0.9555	0.00641	268.13	293.75	0.9009
120	0.01021	285.84	316.47	0.9805	0.00692	277.58	305.27	0.9306
130	0.01072	293.80	325.96	1.0044	0.00739	286.52	316.08	0.9578
140	0.01120	301.67	335.27	1.0272	0.00782	295.14	326.42	0.9831
150	0.01166	309.47	344.47	1.0492	0.00823	303.54	336.45	1.0071
160	0.01211	317.24	353.58	1.0705	0.00861	311.81	346.25	1.0300
170	0.01255	325.00	362.65	1.0912	0.00898	3 19.97	355.89	1.0520
180	0.01298	332.75	371.68	1.1113	0.00933	328.08	365.41	1.0732
190	0.01339	340.52	380.70	1.1310	0.00968	336.15	374.85	1.0939
200	0.01380	348.31	389.71	1.1502	0.01001	344.20	384.24	1.1139
210	0.01420	356.12	398.73	1.1691	0.01033	352.25	393.59	1.1335
220	0.01460	363.98	407.77	1.1876	0.01065	360.31	402.93	1.1526
230	0.01499	37 1.87	416.83	1.2058	0.01097	368.38	412.25	1.1713

TABLA E.1 AMONÍACO SATURADO - TABLA DE TEMPERATURAS

Temp. T °C	Presión P kPa	Volumen específico m³/kg: Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Energía interna kJ/kg: Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Entalpía kJ/kg: Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Entropía kJ/kg*K: Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
-50	40.7	0.001424	2.6357	2.6371	-33.62	1318.5	1284.9	-33.6	1425.8	1392.3	0.0566	6.3895	6.4461
-48	45.8	0.001429	2.3606	2.3621	-23.45	1310.9	1287.4	-23.4	1419.0	1395.6	0.1020	6.3023	6.4043
-46	51.4	0.001434	2.1192	2.1206	-13.47	1303.3	1289.9	-13.4	1412.3	1398.9	0.1461	6.2173	6.3635
-44	57.5	0.001439	1.9067	1.9081	-3.65	1296.0	1292.3	-36.0	1405.7	1402.1	0.1892	6.1344	6.3236
-42	64.3	0.001444	1.7192	1.7207	6.03	1288.7	1399.2	6.1	1399.2	1405.3	0.2312	6.0533	6.2845
-40	71.6	0.001449	1.5530	1.5545	15.86	1281.3	1392.5	16.0	1392.5	1408.5	0.2736	5.9727	6.2463
-38	79.7	0.004060	1.4060	1.4075	25.33	1274.1	1299.5	25.4	1386.2	1411.6	0.3140	5.8948	6.2089
-36	88.4	0.001460	1.2753	1.2768	34.71	1267.1	1301.8	34.8	1379.9	1414.7	0.3538	5.8185	6.1723
-34	97.9	0.001465	1.1590	1.1604	44.01	1260.1	1304.1	44.2	1373.6	1417.7	0.3928	5.7436	6.1365
-32	108.3	0.001470	1.0551	1.0566	53.25	1253.1	1306.3	53.4	1367.3	1420.7	0.4313	5.6701	6.1014
-30	119.5	0.001476	0.9623	0.9637	62.44	1246.1	1308.6	62.6	1361.1	1423.7	0.4692	5.5977	6.0670
-28	131.6	0.001481	0.8790	0.8805	71.58	1239.2	1310.8	71.8	1354.8	1426.6	0.5067	5.5265	6.0332
-26	144.6	0.001487	0.8043	0.8058	80.70	1232.2	1312.9	80.9	1348.5	1429.5	0.5437	5.4564	6.0001
-24	458.7	0.001492	0.7371	0.7386	89.79	1225.3	1315.0	90.0	1342.2	1432.3	0.5804	5.3873	5.9677
-22	173.9	0 001498	0.6765	0.6780	98.87	1218.3	1317.1	99.1	1335.9	1435.0	0.6167	5.3192	5.9358
-20	190.2	0.001504	0.6219	0.6234	107.94	1211.3	1319.2	108.2	1329.5	1437.7	0.6527	5.2519	5.9046
-18	207.7	0.001509	0.5724	0.5739	117.02	1204.2	1321.2	117.3	1323.1	1440.4	0.6884	5.1855	5.8739
-16	226.4	0.001515	0.5277	0.5292	126.09	1197.1	1323.2	126.4	1316.6	1443.0	0.7238	5.1199	5.8437
-14	246.5	0.001521	0.4870	0.4885	135.18	1190.0	1325.1	135.6	1310.0	1445.6	0.7590	5.0551	5.8141
-12	268	0.001527	0.4501	0.4516	144.28	1182.8	1327.1	144.7	1303.4	1448.1	0.7940	4.9910	5.7850
-10	290.9	0.001534	0.4165	0.4180	153.39	1175.5	1328.9	153.8	1296.7	1450.5	0.8288	4.9276	5.7564
-8	315.3	0.001540	0.3859	0.3874	162.53	1168.2	1330.8	163.0	1289.9	1452.9	0.8634	4.8649	5.7282
-6	341.3	0.001546	0.3579	0.3595	171.68	1160.9	1332.6	172.2	1283.1	1455.3	0.8978	4.8028	5.7005
-4	369	0.001553	0.3324	0.3340	180.86	1153.5	1334.3	181.4	1276.1	1457.6	0.9320	4.7413	5.6733
-2	398.4	0.001559	0.3090	0.3106	190.06	1146.0	1336.0	190.7	1269.1	1459.8	0.9661	4.6804	5.6465
0	429.6	0.001566	0.2866	0.2892	199.29	1138.4	1337.7	200.0	1262.0	1461.9	1.0000	4.6201	5.6201
2	462.7	0.001573	0.2679	0.2695	208.54	1130.8	1339.3	209.3	1254.8	1464.0	1.0337	4.5603	5.5941
4	497.7	0.001579	0.2498	0.2514	217.81	1123.1	1340.9	218.6	1247.5	1466.1	1.0673	4.5011	5.5684

TABLA E.1 AMONÍACO SATURADO - TABLA DE TEMPERATURAS (CONTINUACIÓN)

Temp. T °C	Presión P kPa	Volumen específico m^3/kg Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Energía interna kJ/kg Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Entalpía kJ/kg Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Entropía kJ/kg*K Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
6	534.8	0.001586	0.2332	0.2348	227.11	1115.4	1342.5	228.0	1240.1	1468.1	1.1008	4.4424	5.5432
8	573.9	0.001594	0.2179	0.2195	236.44	1107.5	1344.0	237.4	1232.6	1470.0	1.1341	4.3842	5.5183
10	615.3	0.001601	0.2038	0.2054	245.79	1099.6	1345.4	246.8	1225.0	1471.8	1.1672	4.3264	5.4937
12	658 9	0.001608	0.1907	0.1923	255.16	1091.7	1346.8	256.2	1217.4	1473.6	1.2002	4.2692	5.4694
14	704.9	0.001615	0.1787	0.1803	264.55	1083.7	1348.2	265.7	1209.6	1475.3	1.2331	4.2124	5.4455
16	753.2	0.001623	0.1675	0.1691	273.97	1075.5	1349.5	275.2	1201.7	1476.9	1.2658	4.1560	5.4218
18	804.1	0.001631	0.1572	0.1588	283.41	1067.4	1350.8	284.7	1193.7	1478.5	1.2984	4.1001	5.3984
20	857.6	0.001638	0.1476	0.1492	292.87	1059.1	1352.0	294.3	1185.7	1479.9	1.3308	4.0446	5.3753
22	913.8	0.001646	0.1387	0.1403	302.35	1050.8	1353.1	303.9	1177.5	1481.3	1.3630	3.9894	5.3524
24	972.7	0.001655	0.1304	0.1320	311.86	1042.4	1354.2	313.5	1169.2	1482.7	1.3951	3.9347	5.3298
26	1034.5	0.001663	0.1227	0.1243	321.38	1033.9	1355.3	323.1	1160.8	1483.9	1.4271	3.8803	5.3074
28	1099.3	0.001671	0.1155	0.1172	330.92	1025.3	1356.2	332.8	1152.3	1485.0	1.4589	3.8263	5.2852
30	1167.1	0.001680	0.1088	0.1105	340.48	1016.7	1357.2	342.4	1143.7	1486.1	1.4906	3.7726	5.2632
32	1238.0	0.001689	0.1026	0.1043	350.07	1007.9	1358.0	352.2	1134.9	1487.1	1.5222	3.7193	5.2414
34	1312.2	0.001698	0.0967	0.0984	359.67	999.1	1358.8	361.9	1126.1	1488.0	1.5536	3.6662	5.2198
36	1389.6	0.001707	0.0913	0.0930	369.30	990.2	1359.5	371.7	1117.1	1488.8	1.5849	3.6134	5.1983
38	1470.5	0.001716	0.0862	0.0879	378.96	981.2	1360.2	381.5	1108.0	1489.4	1.6160	3.5609	5.1769
40	1554.9	0.001725	0.0814	0.0831	388.64	972.1	1360.8	391.3	1098.7	1490.0	1.6471	3.5086	5.1557
42	1642.9	0.001735	0.0769	0.0787	398.34	962.9	1361.3	401.2	1089.3	1490.5	1.6780	3.4565	5.1346
44	1734.7	0.001745	0.0727	0.0745	408.08	953.6	1361.7	411.1	1079.8	1490.9	1.7089	3.4047	5.1135
46	1830.2	0.001755	0.0688	0.0706	417.84	944.2	1362.0	421.1	1070.1	1491.2	1.7396	3.3530	5.0926
48	1929.6	0.001766	0.0651	0.0669	427.64	934.7	1362.3	431.0	1060.3	1491.3	1.7703	3.3015	5.0717
50	2033.1	0.001776	0.0616	0.0634	437.47	925.0	1362.5	441.1	1050.3	1491.3	1.8009	3.2501	5.0509

TABLA E.2 AMONÍACO SATURADO - TABLA DE PRESIÓN

Estado de referencia: h_f = 200 kJ/kg y s_f = 1 kJ/kg a 0° C

		Volumen específico m³/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Presión P_{sat} kPa	Temp. T_{sat} °C	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
40	-50.3	0.001424	2.6792	2.6806	-35.13	1319.7	1284.5	-35.1	1426.8	1391.8	0.0498	6.4025	6.4523
45	-48.3	0.001429	2.3997	2.4012	-24.97	1312.00	1287.00	-24.9	1420.0	1395.1	0.0952	6.3153	6.4105
50	-46.5	0.001433	2.1745	2.1759	-15.85	1305.1	1289.3	-15.8	1413.9	1398.1	0.1356	6.2376	6.3732
55	-44.8	0.001437	1.9892	1.9906	-7.59	1298.9	1291.3	-7.5	1408.3	1400.8	0.1720	6.1676	6.3396
60	-43.2	0.001441	1.8336	1.8351	0.00	1293.2	1293.2	0.1	1403.3	1403.3	0.2051	6.1037	6.3088
65	-41.8	0.001445	1.7014	1.7028	7.01	1288.00	1295.00	7.1	1398.6	1405.7	0.2355	6.0451	6.2806
70	-40.4	0.001448	1.5871	1.5886	13.80	1282.8	1296.6	13.9	1393.9	1407.8	0.2648	5.9897	6.2544
75	-39.1	0.001451	1.4879	1.4893	19.93	1278.2	1298.1	20.0	1389.8	1409.8	0.2910	5.9391	6.2301
80	-37.9	0.001455	1.4007	1.4021	25.69	1273.9	1299.6	25.8	1385.9	1411.7	0.3156	5.8919	6.2075
85	-36.8	0.001458	1.3235	1.3249	31.14	1269.8	1300.9	31.3	1382.3	1413.5	0.3387	5.8475	6.1862
90	-35.7	0.001460	1.2545	1.2560	36.30	1265.9	1302.2	36.4	1378.8	1415.2	0.3605	5.8057	6.1661
95	-34.6	0.001463	1.1925	1.1940	41.22	1262.2	1303.4	41.4	1375.5	1416.8	0.3812	5.7660	6.1471
100	-33.6	0.001466	1.1367	1.1381	45.92	1258.6	1304.6	46.1	1372.3	1418.4	0.4008	5.7284	6.1292
120	-29.9	0.001476	0.9582	0.9596	62.87	1245.8	1308.7	63.0	1360.8	1423.8	0.4710	5.5943	6.0654
140	-26.7	0.001485	0.8292	0.8307	77.55	1234.6	1312.2	77.8	1350.7	1428.5	0.5310	5.4805	6.0115
160	-23.8	0.001493	0.7315	0.7330	90.59	1224.6	1315.2	90.8	1341.7	1432.5	0.5836	5.3813	5.9649
180	-21.2	0.001500	0.6549	0.6564	102.36	1215.6	1317.9	102.6	1333.5	1436.1	0.6306	5.2932	5.9237
200	-18.9	0.001507	0.5931	0.5946	113.12	1207.2	1320.4	113.4	1325.9	1439.3	0.6731	5.2139	5.8870
220	-16.7	0.001513	0.5422	0.5437	123.05	1199.5	1322.5	123.4	1318.8	1442.2	0.7120	5.1418	5.8538
240	-14.6	0.001519	0.4995	0.5010	132.30	1192.2	1324.5	132.7	1312.1	1444.8	0.7479	5.0755	5.8234
260	-12.7	0.001525	0.4631	0.4646	140.97	1185.4	1326.4	141.4	1305.8	1447.2	0.7813	5.0142	5.7955
280	-10.9	0.001531	0.4318	0.4333	149.14	1178.9	1328.1	149.6	1299.8	1449.4	0.8126	4.9571	5.7697
300	-9.2	0.001536	0.4045	0.4061	156.87	1172.8	1329.6	157.3	1294.1	1451.5	0.8420	4.9036	5.7456
320	-7.6	0.001541	0.3805	0.3821	164.21	1166.9	1331.1	164.7	1288.7	1453.4	0.8697	4.8534	5.7231
340	-6.1	0.001546	0.3593	0.3608	171.23	1161.2	1332.5	171.8	1283.4	1455.2	0.8961	4.8058	5.7019
360	-4.6	0.001551	0.3403	0.3419	177.93	1155.8	1333.8	178.5	1278.3	1456.8	0.92.11	4.7608	5.6819
380	-3.2	0.001555	0.3233	0.3248	184.36	1150.6	1335.00	184.9	1373.5	1458.4	0.9450	4.7181	5.6631
400	-1.9	0.001560	0.3078	0.3094	190.55	1145.6	1336.1	191.2	1268.7	1459.9	0.9679	4.6772	5.6451

TABLA E.2 AMONÍACO SATURADO - TABLA DE PRESIÓN (CONTINUACIÓN)

Estado de referencia: h_f = 200 kJ/kg y s_f = 1 kJ/kg a 0° C

		Volumen específico m³/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Presión P kPa	Temp. T °C	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
450	1.2	0.001570	0.2751	0.2767	205.05	1133.70	1338.70	205.8	1257.5	1463.3	1.0210	4.5828	5.6038
500	4.1	0.001580	0.2488	0.2503	218.40	1122.60	1341.00	219.2	1247.0	1466.2	1.0694	4.4974	5.5668
550	6.8	0.001589	0.2270	0.2286	230.80	1112.30	1343.10	231.7	1237.1	1468.8	1.1140	4.4193	5.5333
600	9.3	0.001598	0.2088	0.2104	242.39	1102.50	1344.90	243.3	1227.8	1471.1	1.1552	4.3474	5.5026
650	11.6	0.001607	0.1933	0.1949	253.28	1093.30	1346.60	254.3	1218.9	1473.2	1.1937	4.2806	5.4742
700	13.8	0.001615	0.1799	0.1815	263.59	1084.50	1348.10	264.7	1210.4	1475.1	1.2297	4.2182	5.4479
750	15.9	0.001622	0.1682	0.1698	273.36	1076.10	1349.40	274.6	1202.2	1476.8	1.2637	4.1597	5.4233
800	17.8	0.001630	0.1579	0.1596	282.67	1068.00	1350.70	284.0	1194.4	1478.3	1.2958	4.1045	5.4003
850	19.7	0.001637	0.1489	0.1505	291.55	1060.30	1351.80	292.9	1186.8	1479.7	1.3263	4.0523	5.3785
900	21.5	0.001645	0.1407	0.1424	300.07	1052.80	1352.90	301.5	1179.5	1481.0	1.3553	4.0027	5.3579
950	23.2	0.001651	0.1335	0.1351	308.24	1045.60	1353.80	309.8	1172.4	1482.2	1.3829	3.9555	5.3354
1000	24.9	0.001658	0.1269	0.1285	316.10	1038.60	1354.70	317.8	1165.5	1483.2	1.4094	3.9104	5.3198
1050	26.5	0.001665	0.1209	0.1225	323.69	1031.80	1355.50	325.4	1158.7	1484.2	1.4348	3.8672	5.3020
1100	28	0.001671	0.1154	0.1171	331.02	1025.20	1356.30	332.9	1152.2	1485.1	1.4592	3.8257	5.2850
1150	29.5	0.001678	0.1104	0.1121	338.12	1018.80	1356.90	340.0	1145.8	1485.9	1.4828	3.7858	5.2686
1200	30.9	0.001684	0.1058	0.1075	344.98	1012.60	1357.60	347.0	1139.6	1486.6	1.5054	3.7475	5.2530
1250	32.3	0.001690	0.1016	0.1033	351.65	1006.50	1358.20	353.8	1133.5	1487.2	1.5273	3.7105	5.2378
1300	33.7	0.001696	0.0977	0.0993	358.13	1000.60	1358.70	360.3	1127.5	1487.8	1.5485	3.6747	5.2232
1350	35	0.001702	0.0940	0.0957	364.42	994.70	1359.20	366.7	1121.7	1488.4	1.5690	3.6401	5.2091
1400	36.3	0.001708	0.0906	0.0923	370.57	989.00	1359.60	373.0	1115.9	1488.9	1.5889	3.6065	5.1955
1450	37.5	0.001714	0.0874	0.0891	376.55	983.50	1360.00	379.0	1110.2	1489.3	1.6083	3.5739	5.1822
1500	38.7	0.001719	0.0845	0.0862	382.39	978.00	1360.40	385.0	1104.7	1489.7	1.6271	3.5423	5.1694

TABLA E.2 AMONÍACO SATURADO - TABLA DE PRESIÓN (CONTINUACIÓN)

Estado de referencia: h_f = 200 kJ/kg y s_f = 1 kJ/kg a 0° C

		Volumen específico m³/kg			Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg*K		
Presión P_{sat} kPa	Temp. T_{sat} °C	Líquido Sat. v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Evap. u_{fg}	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Sat. s_g
1600	41	0.0017	0.0791	0.0808	393.65	967.40	1361.00	396.4	1093.9	1490.3	1.6631	3.4817	5.1447
1700	43.3	0.0017	0.0743	0.0760	404.44	957.10	1361.50	407.4	1083.4	1490.8	1.6974	3.4240	5.1214
1800	45.4	0.0018	0.0700	0.0718	414.79	947.20	1361.90	417.9	1073.1	1491.1	1.7300	3.3691	5.0991
1900	47.4	0.0018	0.0662	0.0679	424.75	937.50	1362.20	428.1	1063.2	1491.3	1.7613	3.3166	5.0779
2000	49.4	0.0018	0.0627	0.0645	434.37	928.10	1362.40	437.9	1053.4	14911.3	1.7913	3.2662	5.0575

TABLA E.3 AMONIACO SOBRECALENTADO

Estado de referencia: hf = 200 kJ/kg y sf = 1 kJ/kg a 0° C

P= 50 kPa
(T_{sat} = -46.5°C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-20	2.4464	1332	1454.3	6.6077
-10	2.5471	1348.1	1475.5	6.6898
0	2.6474	1364.3	1496.6	6.7687
10	2.7472	1380.5	1517.8	6.8449
20	2.8466	1396.7	1539.1	6.9187
30	2.9458	1413.1	1560.4	6.9902
40	3.0447	1429.6	1581.8	7.0596
50	3.1435	1446.1	1603.3	7.1273
60	3.2417	1462.8	1624.9	7.1931
70	3.3406	1479.7	1646.7	7.2576
80	3.4389	1496.7	1668.6	7 3205
90	3.5373	1513.8	1690.7	7.3821
100	3.6355	1531.1	1712.9	7.4425

P= 75 kPa
(T_{sat} = -39.1°C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-20	1.6223	1329.8	1451.4	6.4011
-10	1.6906	1346.2	1473.0	6.4846
0	1.7583	1362.6	1494.5	6.5648
10	1.8255	1379.1	1516.0	6.6420
20	1.8924	1395.5	1537.5	6.7166
30	1.9591	1412.0	1559.0	6.7887
40	2.0255	1428.6	1580.5	6.8587
50	2.0917	1445.3	1602.2	6.9267
60	2.1574	1462.1	1623.9	6.9929
70	2.2237	1479.0	1645.8	7.0576
80	2.2895	1496.0	1667 8	7.1208
90	2.3553	1513 3	1689.9	7.1826
100	2.4210	1530.6	1712.2	7.2411

P= 100 kPa
(T_{sat} = -33.6 °C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-20	1.2102	1327.5	1448.6	6.2518
-10	1.2622	1344.3	1470.5	6.3369
0	1.3137	1361.0	1492.4	6.4184
10	1.3647	1377.7	1514.1	6.4966
20	1.4153	1394.3	1535.3	6.5719
30	1.4657	1411.0	1557.5	6.6447
40	1.5158	1427.7	1579.3	6.7152
50	1.5658	1444.5	1601.0	6.7837
60	1.6153	1461.3	1622.9	6.9502
70	1.6652	1478.3	1644.8	6.9152
80	1.7148	1495 4	1666.9	6.9786
90	1.7643	1512.7	1689.1	7.0406
100	1.8137	1530.1	1711.5	7.1013

P= 125 kPa
(T_{sat} = -29.1 °C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-20	0.96270	1325.3	1445.60	6.1337
-10	1.00520	1342.4	1468.00	6.2206
0	1.04690	1359.4	1490.20	6.3034
10	1.08810	1376.2	1512.30	6.3826
20	1.12900	1393.1	1534.20	6.4588
30	1.16960	1409.9	1556.20	6.5322
40	1.21000	1426.7	1578.00	6.6032
50	1.25020	1443.6	1599.90	6.6721
60	1.29030	1460.6	1621.90	6.7390
70	1.33020	1477.6	1643.90	6.8042
80	1.37000	1494.8	1666.00	6.8679
90	1.40970	1512.1	1688.30	6.9300
100	1.44940	1529.6	1710.70	6.9909

TABLA E.3 AMONIACO SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

Estado de referencia: hf = 200 kJ/kg y sf = 1 kJ/kg a 0° C

P= 150 kPa (T_{sat} = 25.22 °C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-20	0.79774	1323.0	1442.6	6.0355
-10	0.83380	1340.4	1465.5	6.1241
0	0.86901	1357.7	1488.0	6.2082
10	0.90377	1374.8	1510.4	6.2885
20	0.93817	1391.8	1532.6	6.3655
30	0.97221	1408.9	1554.6	6.4396
40	1.00620	1423.8	1576.7	6.5111
50	1.03980	1442.8	1599.7	6.5804
60	1.07340	1459.8	1620.8	6.6477
70	1.10680	1476.9	1643.0	6.7132
80	1.14010	1494.2	1665.2	6.7771
90	1.17330	1511.5	1687.5	6.8394
100	1.20650	1529.0	1710.0	6.9005

P= 200 kPa (T_{sat} = -18.9°C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-10	0.6192	1336.4	1460.3	5.9683
0	0.6466	1354.3	1483.6	6.0553
10	0.6733	1371.9	1506.5	6.1377
20	0.6995	1389.3	1529.2	6.2164
30	0.7255	1406.6	1551.7	6.2919
40	0.7513	1423.8	1574.1	6.3645
50	0.7768	1441.0	1596.4	6.4347
60	0.8023	1458.3	1618.7	6.5021
70	0.8275	1475.6	1641.1	6.5687
80	0.8527	1492.9	1663.5	6.6330
90	0.8778	1510.4	1685.9	6.6958
100	0.9028	1528.0	1708.5	6.7572

P= 250 kPa (T_{sat} = -13.7 °C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-10	0.4905	1332.4	1455	5.8436
0	0.5129	1350.8	1479.1	5.9334
10	0.5349	1368.9	1502.7	6.0182
20	0.5563	1386.8	1525.8	6.0987
30	0.5775	1404.4	1548.7	6.1755
40	0.5983	1421.9	1571.5	6.2493
50	0.619	1439.3	1594.1	6.3203
60	0.6396	1456.7	1616.6	6.3891
70	0.66	1474.2	1639.2	6.4557
80	0.6803	1491.6	1661.7	6.5205
90	0.7005	1509.2	1684.3	6.5837
100	0.7206	1526.9	1707	6.6453

P= 300 kPa (T_{sat} = -9.2 °C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
0	0.4238	1347.3	1474.4	5.8312
10	0.4425	1365.9	1498.7	5.9183
20	0.4608	1384.2	1522.4	6.0008
30	0.4787	1402.1	1545.7	6.0790
40	0.4964	1419.9	1568.8	6.1539
50	0.5138	1437.6	1591.7	6.2259
60	0.5311	1455.2	1614.5	6.2933
70	0.5483	1472.8	1637.2	6.3626
80	0.5653	1490.4	1682.7	6.4279
90	0.5823	1508.0	1682.7	6.4914
100	0.5992	1525.8	1705.6	6.5534

TABLA E.3 AMONIACO SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

Estado de referencia: hf = 200 kJ/kg y sf = 1 kJ/kg a 0° C

T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
°C	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K	°C	m³/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K
		P= 350 kPa (T_{sat} = -5.4 °C)					**P= 400 kPa** (T_{sat} = -1.9 °C)		
0	0.3601	1343.7	1469.7	5.7424	0	0.3123	1340	1464.9	5.6634
10	0.3765	1362.8	1494.6	5.832	10	0.327	1359.7	1490.5	5.7556
20	0.3926	1381.5	1518.9	5.9164	20	0.3413	1378.8	1515.4	5.8418
30	0.4082	1399.9	1542.7	5.9962	30	0.3552	1397.5	1539.6	5.9233
40	0.4233	1417.9	1566.1	6.0722	40	0.3688	1415.9	1563.4	6.0005
50	0.4386	1435.8	1389.3	6.1431	50	0.3823	1434	1586.9	6.0744
60	0.4536	1453.6	1612.4	6.2153	60	0.3954	1452	1610.2	6.1452
70	0.4685	1471.3	1635.3	6.2832	70	0.4086	1469.9	1633.4	6.2138
80	0.4832	1489.1	1658.2	6.349	80	0.4216	1487.8	1656.4	6.2801
90	0.4978	1506.9	1681.1	6.4129	90	0.4345	1505.7	1679.5	6.3445
100	0.5124	1524.7	1704.1	6.4753	100	0.4473	1523.6	1702.6	6.4072

		P= 450 kPa (T_{sat} = 1.3 °C)					**P= 500 kPa** (T_{sat} = 4.1 °C)		
10	0.2885	1356.5	1486.3	5.6865	20	0.2695	1373.3	1508.1	5.7138
20	0.3014	1376.1	1511.8	5.7749	40	0.2923	1411.8	1557.9	5.8783
30	0.3141	1395.2	1536.5	5.8579	60	0.3141	1448.8	1605.9	6.0267
40	0.3263	1413.9	1560.7	5.9364	80	0.3354	1485.2	1652.9	6.1637
50	0.3384	1432.2	1584.5	6.0113	100	0.3562	1521.5	1699.6	6.2923
60	0.3502	1450.4	1608	6.0829	120	0.3768	1537.9	1746.3	6.4144
70	0.362	1468.5	1631.4	6.1521	140	0.3973	1594.8	1793.4	6.5313
80	0.3737	1486.5	1654.7	6.2189	160	0.4176	1632.2	1841	6.6437
90	0.3852	1504.5	1677.9	6.2837	180	0.4377	1670.3	1889.2	6.7524
100	0.3967	1522.5	1701.1	6.3467					

TABLA E.3 AMONIACO SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

Estado de referencia: hf = 200 kJ/kg y sf = 1 kJ/kg a 0° C

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
		P= 600 kPa (T_{sat} = 9.3 °C)					**P= 700 kPa** (T_{sat} = 13.8 °C)		
20	0.2215	1367.7	1500.6	5.6049	20	0.1872	1361.8	1492.8	5.5090
40	0.2412	1407.6	1552.3	5.7756	40	0.2047	1403.3	1546.5	5.6863
60	0.2598	1445.5	1601.4	5.9277	60	0.2210	1422.2	1596.9	5.8423
80	0.2778	1482.6	1649.3	6.0672	80	0.2367	1479.9	1641.6	5.9842
100	0.2955	1519.2	1696.5	6.1974	100	0.2521	1517.0	1693.5	5.11610
120	0.3129	1556.0	1743.7	6.3206	120	0.2671	1554.1	1741.1	6.2405
140	0.3300	1593.1	1791.1	6.4382	140	0.2820	1591.5	1788.9	6.3589
160	0.3470	1630.8	1839.0	6.5513	160	0.2967	1629.3	1837.0	6.4726
180	0.3639	1669.0	1887.4	6.6605	180	0.3113	1667.7	1885.6	6.5824
		P= 800 kPa (T_{sat} = 17.8 °C)					**P= 1000 kPa** (T_{sat} = 24.9 °C)		
20	0.1614	1355.6	1484.7	5.4222	40	0.1387	1389.6	1528.3	5.4672
40	0.1772	1398.8	1540.6	5.6065	60	0.15110	1431.8	1582.9	5.6365
60	0.1919	1438.8	1592.3	5.7668	80	0.1627	1471.6	1634.3	5.7864
80	0.2059	1477.2	1641.9	5.9113	100	0.1739	1510.2	1684.1	5.9236
100	0.2195	1514.8	1690.4	6.0449	120	0.1848	1548.3	1733.1	6.0515
120	0.2328	1552.2	1738.5	6.1704	140	0.1955	1586.4	1781.9	6.1725
140	0.2459	1589.8	1786.5	6.2897	160	0.2060	1624.8	1830.8	6.2881
160	0.2589	1627.8	1834.9	6.4040	180	0.2164	1663.7	1880.1	6.3994
180	0.2717	1666.4	1883.8	6.5142					
		P= 1200 kPa (T_{sat} = 30.9 °C)					**P= 1400 kPa** (T_{sat} = 36.3 °C)		
40	0.1129	1379.8	1515.2	5.3458	40	0.0943	1369.3	1501.4	5.2357
60	0.1238	1424.6	1573.1	5.5251	60	0.1042	1417.0	1563.0	5.4265
80	0.1339	1465.9	1626.6	5.681	80	0.1132	1460.1	1618.6	5.5888
100	0.1435	1505.5	1677.7	5.8219	100	0.1217	1500.8	1671.2	5.7337
120	0.1528	1544.4	1727.7	5.9523	120	0.1299	1544.4	1722.9	5.8667
140	0.1618	1583.0	1777.2	6.0751	140	0.1378	1579.5	1772.4	5.9914
160	0.1707	1621.8	1826.7	6.1921	160	0.1455	1618.8	1822.5	6.1098
180	0.1795	1661.0	1876.5	6.3044	180	0.1532	1658.3	1872.8	6.2232

TABLA E.3 AMONIACO SOBRECALENTADO (CONTINUACIÓN)

Estado de referencia: hf = 200 kJ/kg y sf = 1 kJ/kg a 0° C

P= 1600 kPa (T_{sat} = 41.0 °C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
60	0.0895	1409.1	1552.3	5.3366
80	0.0977	1454.0	1610.4	5.5060
100	0.1054	1459.9	1664.6	5.6552
120	0.1127	1536.3	1716.6	5.7911
140	0.1198	1576.0	1767.7	5.9177
160	0.1266	1615.7	1818.3	6.0375
180	0.1334	1655.6	1869.1	6.1520

P= 1800 kPa (T_{sat} = 45.4 °C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
60	0.0780	1400.8	1541.2	5.2531
80	0.0857	1447.8	1602.0	5.4303
100	0.0927	1491.0	1657.8	5.5841
120	0.0993	1532.2	1711.0	5.7229
140	0.1057	1572.5	1762.8	5.8515
160	0.1119	1612.6	1814.1	5.9728
180	0.1180	1652.9	1865.3	6.0884

P= 2000 kPa (T_{sat} = 49.4 °C)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
60	0.0687	1392.1	1529.6	5.1742
80	0.0760	1441.4	1593.3	5.3600
100	0.0825	1485.9	1650.9	5.5187
120	0.0886	1528.0	1705.2	5.6606
140	0.1002	1609.5	1809.9	5.9141
160	0.1002	1609.5	1809.9	5.9141
180	0.1057	1650.1	1861.6	6.0308

TABLA F.1 CALORES ESPECÍFICOS Y CONSTANTES DE GAS A BAJAS PRESIONES

Gas	M	C_p kJ/kg*K	C_v kJ/kg*K	K	R kJ/kg*K
Acetileno (C_2H_2)	26.036	1.6947	1.3753	1.232	0.3195
Aire	28.97	1.0047	0.7176	1.4	0.287
Amoniaco (NH_3)	17.032	2.089	1.5992	1.304	0.4882
Argón (Ar)	39.95	0.5208	0.3127	1.666	0.2081
Dióxido de carbono (CO_2)	44.01	0.844	0.6552	1.288	0.1889
Monóxido de carbono (CO)	28.01	1.0412	0.7444	1.399	0.2968
Cloro (Cl_2)	70.914	0.4789	0.3617	1.324	0.1172
Etano (C_2H_6)	30.068	1.7525	1.4761	1.187	0.2765
Etileno (C_2H_4)	28.052	1.5297	1.2333	1.24	0.2964
Helio (He)	4.003	5.1954	3.1189	1.666	2.077
Hidrogeno (H_2)	1.016	14.3136	10.19	1.4	4.125
Hidrazina (N_2H_4)	32.048	1.6453	1.3815	1.195	0.2594
Metano (CH_4)	16.043	2.1347	1.6164	1.321	0.5183
Neòn (Ne)	20.183	1.0298	0.6179	1.666	0.412
Nitrógeno (H_2)	28.016	1.0399	0.7431	1.399	0.2968
Oxigeno(O_2)	32	0.9185	0.6585	1.395	0.2598
Propano (C_3H_8)	44.094	1.6683	1.4799	1.127	0.1886
Dióxido de azufre (SO_2)	64.07	0.6225	0.4927	1.263	0.1298
Vapor de agua (H_2O)	18.016	1.8646	1.4033	1.329	0.4615
Xenón (Xe)	131.3	0.1582	0.095	1.666	0.0633

TABLA F.2 PROPIEDADES DEL AIRE A BAJAS PRESIONES

T K	h kJ/kg	Pr	u kJ/kg	V_r	ϕ kJ/kg*K
100	99.76	0.02990	71.06	2230.0	1.4143
110	109.77	0.0417	78.2	1758.4	1.5098
120	119.79	0.0565	85.34	1415.7	1.5971
130	129.81	0.0747	92.51	1159.8	1.6773
140	139.84	0.0968	99.67	964.2	1.7515
150	149.86	0.1232	106.81	812.0	1.8206
160	159.87	0.1543	113.95	691.4	1.8853
170	169.89	0.1907	121.11	594.5	1.9461
180	179.92	0.2328	128.28	515.6	2.0033
190	189.94	0.2811	135.4	450.6	2.0575
200	199.96	0.3363	142.56	396.6	2.1088
210	209.97	0.3987	149.7	351.2	2.1577
220	219.99	0.4690	156.84	312.8	2.2043
230	230.01	0.5477	163.98	280.0	2.2489
240	240.03	0.6355	171.15	251.8	2.2915
250	250.05	0.7329	178.29	227.45	2.3325
260	260.09	0.8405	185.45	206.26	2.3717
270	270.12	0.9590	192.59	187.74	2.4096
280	280.14	1.0889	199.78	171.45	2.4461
290	290.17	1.2311	206.92	157.07	2.4813
300	300.19	1.3860	214.09	144.32	2.5153
310	310.24	1.5546	221.27	132.96	2.5483
320	320.29	1.7375	228.45	122.81	2.5802
330	330.34	1.9352	235.65	113.7	2.6111
340	340.43	2.1490	242.86	105.51	2.6412
350	350.48	2.3790	250.05	98.11	2.6704
360	360.58	2.6260	257.23	91.4	2.6987
370	370.67	2.8920	264.47	85.31	2.7264
380	380.77	3.1760	271.6	79.77	2.7534
390	390.88	3.4810	278.96	74.71	2.7796
400	400.98	3.8060	286.19	70.07	2.8059
410	411.12	4.1530	293.45	65.83	2.8302
420	421.26	4.5220	300.73	61.93	2.8547
430	431.43	4.9150	308.03	58.34	2.8786
440	441.61	5.3320	315.34	55.02	2.902
450	451.83	5.7750	322.66	51.96	2.9249
460	462.01	6.2450	329.99	49.11	2.9473
470	472.25	6.7420	337.34	46.48	2.9693
480	482.48	7.2680	344.74	44.04	2.9909
490	492.74	7.8240	352.11	41.76	3.012
500	503.02	8.4110	359.53	39.64	3.0378
510	513.32	9.0310	366.97	37.65	3.0539
520	523.63	9.6840	374.39	35.8	3.0733
530	533.98	10.3720	381.88	34.07	3.093
540	544.35	11.0970	389.4	32.45	3.1124
550	554.75	11.8580	396.89	30.92	3.1314
560	565.17	12.6590	404.44	29.5	3.1502
570	575.57	13.5000	411.98	28.15	3.1686
580	586.04	14.3820	419.56	26.89	3.1868
590	596.53	15.3090	427.17	25.7	3.2047
600	607.02	16.2780	434.8	24.58	3.2223

T K	h kJ/kg	Pr	u kJ/kg	V_r	ϕ kJ/kg*K
610	617.53	17.2970	442.43	23.51	3.2397
620	628.07	18.3600	450.13	22.52	3.2569
630	638.65	19.4750	457.83	21.57	3.2738
640	649.21	20.6400	465.55	20.674	3.2905
650	659.84	21.8600	473.32	19.828	3.3069
660	670.47	23.1300	481.06	19.026	3.3232
670	681.15	24.4600	488.88	18.266	3.3392
680	691.82	25.8500	496.65	17.543	3.3551
690	702.52	27.2900	504.51	16.857	3.3707
700	713.27	28.8000	512.37	16.205	3.3861
710	724.01	30.3800	520.26	15.585	3.4014
720	734.2	31.9200	527.72	15.027	3.4156
730	745.62	33.7200	536.12	14.434	3.4314
740	756.44	35.5000	544.05	13.9	3.4461
750	767.3	37.3500	552.05	13.391	3.4607
760	778.21	39.2700	560.08	12.905	3.4751
770	789.1	41.2700	568.1	12.44	3.4894
780	800.03	43.3500	576.15	11.998	3.5035
790	810.98	45.5100	584.22	11.575	3.5174
800	821.94	47.7500	592.34	11.172	3.5312
810	832.96	50.0800	600.46	10.785	3.5449
820	843.97	52.4900	608.62	10.416	3.5584
830	855.01	55.0000	616.79	10.062	3.5718
840	866.09	57.6000	624.97	9.724	3.585
850	877.16	60.2900	633.21	9.4	3.5981
860	888.28	63.0900	641.44	9.09	3.6111
870	899.42	65.9800	649.7	8.792	3.624
880	910.56	68.9800	658	8.507	3.6367
890	92..75	72.08	666.31	8.233	3.6493
900	932.94	75.29	674.63	7.971	3.6619
910	944.15	78.61	682.98	7.718	3.6743
920	955.38	82.05	691.33	7.476	3.6865
930	966.64	85.6	699.73	7.244	3.6987
940	977.92	89.28	708.13	7.02	3.7108
950	989.22	93.08	716.57	6.805	3.7227
960	1000.53	97	725.01	6.599	3.7346
970	1011.88	101.06	733.48	6.4	3.7463
980	1023.25	105.24	741.99	6.209	3.758
990	1034.63	109.57	750.48	6.025	3.7695
1000	1046.03	114.03	759.02	5.847	3.781
1020	1068.89	123.12	775.67	5.521	3.803
1040	1091.85	133.34	793.35	5.201	3.8259
1060	1114.85	143.91	810.61	4.911	3.8478
1080	1137.93	155.15	827.94	4.641	3.8694
1100	1161.07	167.07	845.34	4.39	3.8906
1120	1184.28	179.71	862.85	4.156	3.9116
1140	1207.54	193.07	880.37	3.937	3.9322
1160	1230.9	207.24	897.98	3.732	3.9525
1180	1254.34	222.2	915.68	3.541	3.9725

TABLA F.2 PROPIEDADES DEL AIRE A BAJAS PRESIONES (CONTINUACIÓN)

T K	h kJ/kg	Pr	u kJ/kg	V_r	ϕ kJ/kg*K
1200	1277.79	238	933.4	3.362	3.9922
1220	1301.33	254.7	951.19	3.194	4.0117
1240	1324.89	272.3	969.01	3.037	4.0308
1260	1348.55	290.8	986.92	2.889	4.0497
1280	1372.25	310.4	1004.88	2.75	4.0868
1300	1395.97	330.9	1022.88	2.619	4.0868
1320	1419.77	352.5	1040.93	2.497	4.1049
1340	1443.61	375.3	1059.03	2.381	4.1229
1360	1467.5	399.1	1077.17	2.272	4.1406
1380	1491.43	424.2	1095.36	2.169	4.158
1400	1515.41	450.5	1113.62	2.072	4.1753
1420	1539.44	478	1131.9	1.9808	4.1923
1440	1563.49	506.9	1150.23	1.8942	4.2092
1460	1587.61	537.1	1168.61	1.8124	4.2258
1480	1611.8	568.8	1187.03	1.735	4.2422
1500	1635.99	601.9	1205.47	1.6617	4.2585
1550	1696.63	691.4	1251.78	1.4948	4.2983
1600	1757.55	791.2	1298.35	1.3485	4.3369
1650	1818.7	902	1345.17	1.2197	4.3745
1700	1907.39	1025.1	1392.18	1.1065	4.4112
1750	1941.63	1160.5	1439.38	1.0056	4.4469
1800	2003.36	1310.3	1486.76	0.9164	4.4817
1850	2065.27	1475	1534.33	0.837	4.5156
1900	2127.37	1655.4	1582.09	0.7659	4.5487
1950	2182.72	1830.4	1624.91	0.7084	4.5777
2000	2225.06	2067.9	1678.07	0.6449	4.6127
2500	2883.91	5521	2166.41	0.3019	4.8946
3000	3526.54	12490	2665.55	0.16015	5.1288
3500	4177.22	25123	3172.71	0.09289	5.3294

Apéndice B

Factores de Conversión, Constantes Físicas, Prefijos y Nomenclatura

TABLA B.1 - Factores de Conversión

Dimensión	Unidades en SI
Longitud	1 m =10^2 cm =10^3 mm =10 dm 1 km = 10^3 m
Masa	1 kg =10^3 g = 10^6 mg 1 kg =10^3 g = 10^6 mg
Fuerza	1 N = 1 kg m/s^2 1 kN = 10^3 N 1 kg$_f$ = 9.8066 N
Área	1 m^2 = 10^4 cm^2 = 10^6 mm^2 = 10^2 dm^2 1 km^2 = 10^6 m^2
Volumen	1 m^3 = 10^6 cm^3 = 10^9 mm^3 = 10^3 dm^3 = 61023.744 in3 1 m^3 = 10^3 l 1 km^3 = 10^9 m^3
Densidad	1 kg/m^3 = 10^{-3} kg/l = 10^3 cm^3/g 1 kg/m^3 = 10^3 dm^3/kg
Volumen específico	1 m^3/kg = 10^3 l/kg = 10^3 cm^3/g 1 m^3/kg = 10^3 dm^3/kg
Presión	1 Pa = 1 N/m^2 1 kPa = 10^3 Pa = 10^3 N/m^2 1 bar = 10^2 kPa = 10^5 N/m^2 1 atm = 1.0133 bar = 760 mm Hg 1 Torr = 1 mm Hg 1 MPa = 10^3 kPa = 10^6 Pa = 10^{-1} bar
Tiempo	1 h = 60 min = 3600 s
Gasto ó flujo másico	1 kg/s = 3.6*10^3 Kg/h = 3.6 ton/h = 10^3 g/s
Gasto ó flujo volumétrico	1 m^3/s = 3.6*10^3 m^3/h = 10^3 dm^3/s 1 m^3/s = 10^3 l/s

TABLA B.1 - Factores de Conversión (Continuación)

Energía, trabajo, calor, entalpía	1 kJ = 10^3 J 1 MJ = 10^3 kJ = 10^6 J 1 cal = 4.1868 J 1 kcal = 1000 cal = 4.1868 kJ 1 kg_f m = 9.8066 J 1 kW h = 10^3 W h = 3.6*10^3 kJ = 3.6*10^6 J
Energía específica	1 kJ/kg = 103 J/kg = 1 J/g 1 cal/g = 4.1868 J/g 1 kcal/kg = 4.1868 kJ/kg 1 m^2/s^2 = 1 J/kg
Potencia, flujo de calor	1 kJ/s = 10^3 J/s = 1 kW = 10^3 W 1 J/s = 1 V A = 1 W 1 MW = 10^3 kW
Flujo de entropía	1 kW/K = 10^3 W/K
Velocidad	1 m/s = 3.6 km/h = 10^2 cm/s
Temperatura	T(°C) = [T(°F) – 32] /1.8 T(°F) = 1.8 T(°C) +32 T(K) = T(°C) + 273

TABLA B.2- Constantes físicas

Constante Física	
g = aceleración de la gravedad a nivel del mar	9.80665 m/s^2
s = constante de Stefan-Boltzmann	5.67*10-8 $W/m^2\ K^4$
R = Constante universal del gas ideal	8.3143 kJ/kmol K = 8.3143 kPa m^3/kmol K
C = velocidad de la luz	$2.998*10^{10}$ cm/s = $2.998*10^8$ m/s

TABLA B.3 - Prefijos

Múltiplos	Prefijo	Símbolo
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	m
10^{-9}	nano	h
10^{-12}	pico	r
10^{-15}	fento	f
10^{1}	deca	da
10^{2}	hecto	h
10^{3}	kilo	k
10^{6}	mega	M
10^{9}	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P

TABLA B.4 -Nomenclatura

m = masa [kg]

A = área [m^2]

V = volumen [m^3]

ρ = densidad [kg /m^3]

γ = densidad relativa [s/d]

ν = volumen específico [m^3/kg]

F = fuerza [N]

W = peso [N]

P = presión [kPa]

x,y,z = altura, coordenada [m]

T = temperatura [K]

Q = calor [kJ]

q = calor específico [kJ/kg]

W = trabajo [kJ]

w = trabajo específico [kJ/kg]

U = energía interna [kJ]

u = energía interna específica [kJ/kg]

H = entalpía [kJ]

h = entalpía específica [kJ/kg]

s = entropía específica [kJ/kg*K]

$\dot{W}$ = potencia [kJ/s]

$\dot{Q}$= flujo de calor [kJ/s]

$\dot{m}$= gasto másico [kg/s]

C_P = calor específico a presión constante [kJ/kg *K]

C_V = calor específico a volumen constante [kJ/kg *K]

R = constante universal del gas ideal [kJ/kmol*K]

R = constante específica de un ideal [kJ/kg*K]

k = constante adiabática = Cp/Cv [s/d]

n = constante politrópica [s/d]

h_t = eficiencia térmica [s/d]

s_p = flujo de entropía [kW/K]

s = entropía producida [kJ/K]

s_p = flujo de entropía producida [kW/K]

COP = coeficiente de operación o de rendimiento [s/d]

S = entropía [kJ/K]