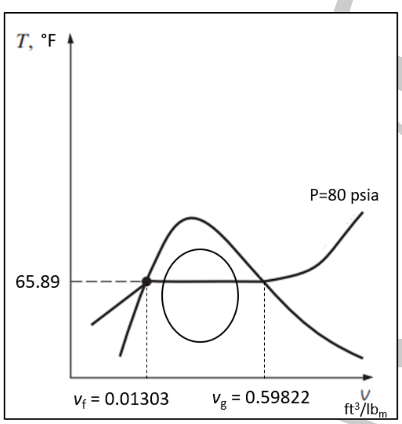
Problema 6. Relacione las columnas.

1	**Resulta de multiplicar la constante del gas por su peso molecular.**	5	Benedict-Webb-Rubin.
2	**Indica que un sistema bifásico de un solo componente tiene una propiedad independiente, que puede ser el volumen específico.**	6	Calidad.
3	**Depende de la velocidad a la cual se mueve un sistema con respecto a un punto de referencia.**	8	Antoine.
4	**Es la combinación de la energía interna y la energía de flujo.**	10	Diferencia de temperaturas.
5	**Ecuación de estado que utiliza ocho constantes para relacionar las propiedades que describen el estado de un sistema en fase vapor.**	1	Constante universal de los gases.
6	**Concepto que indica la fracción masa de vapor de una sustancia pura, cuando se tiene una mezcla de líquido saturado-vapor saturado.**	7	Líquido comprimido.
7	**Estado en el que es posible considerar que el valor de una propiedad y es aproximadamente igual a $y_{f@T}$.**	9	Beattie-Bridgeman.
8	**Desarrolló constantes para calcular la presión de saturación de una sustancia pura sin necesidad del uso de tablas de propiedades termodinámicas.**	2	Regla de Gibbs.
9	**Ecuación de estado que es razonablemente precisa para densidades hasta 0.8ρ_{cr}, donde ρ_{cr} es la densidad de la sustancia en el punto crítico.**	4	Entalpía.
10	**Es la fuerza impulsora para la transferencia de calor.**	3	Energía cinética.

Problema 7. Un tanque de 5 ft^3 contiene 12 lb$_m$ de refrigerante 134a a una presión de 80 psia. Determine:

a) **la temperatura.**
b) **la calidad.**
c) **la entalpía del refrigerante.**
d) **el volumen ocupado por la fase vapor.**

Se tiene que el v = 5 ft^3 / 12 lb$_m$ = 0.4167 ft^3/lb$_m$. Según la tabla A-12E, el diagrama T-v queda de la siguiente manera:



• La sustancia se encuentra en mezcla líquido saturado-vapor saturado ya que $v_f < v < v_g$.

• Por lo anterior se tiene que la temperatura es la T_{sat} = 65.89°F.

• El $v_{fg} = v_g - v_f$ = 0.59822 ft^3/lb$_m$ - 0.01303 ft^3/lb$_m$ = 0.58519 ft^3/lb$_m$.

• También en la tabla A-12E se observa que la h_f = 33.391 BTU/lb$_m$ y la h_{fg} = 78.830 BTU/lb$_m$.

Al estar en mezcla líquido saturado-vapor saturado se sabe que:

$$v = v_f + x \cdot v_{fg}$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.4167 \ \mathrm{ft^3/lb_m} - 0.01303 \ \mathrm{ft^3/lb_m}}{0.58519 \ \mathrm{ft^3/lb_m}} = 0.6898$$

$$h = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$h = 33.391 \text{ BTU/lb}_m + (0.6898)(78.830 \text{ BTU/lb}_m) = 87.7642 \text{ BTU/lb}_m$$

$$H = h \cdot m = (87.7642 \text{ BTU/lb}_m)(12 \text{ lb}_m) = 1053.1709 \text{ BTU}$$

$$x = \frac{m_{vapor}}{m_{total}}, \text{ por lo que } m_{vapor} = x \cdot m_{total} = (0.6898)(12 \text{ lb}_m) = 8.2770 \text{ lb}_m$$

$$v_{vapor} = v_g \cdot m_{vapor} = (0.59822 \text{ ft}^3/\text{lb}_m)(8.2770 \text{ lb}_m) = 4.9515 \text{ ft}^3$$

Problema 8. Para cada una de las siguientes sustancias puras, indique lo que se pide.

a) **Acetonitrilo a -13.9°F y 14.7 psia ¿en qué fase se encuentra?**

b) **Acroleina a 358 K y 2 atm ¿en qué fase se encuentra?**

c) **Cloroformo a 22 psia ¿cuál es su temperatura de saturación?**

Constantes de Antoine para sustancias seleccionadas			
Sustancia	**A**	**B**	**C**
Cloroformo	6.96	1170.97	226.23
Acetonitrilo	7.34	1482.29	250.52
Acroleina	7.07	1204.95	235.35

$$log_{10}(P_{sat}[mmHg]) = A - \frac{B}{T[C]+C}$$

Despejando P_{sat}[mmHg] y T[°C]:

$$P_{sat}[mmHg] = 10^{A-\frac{B}{T[C]+C}}$$

$$T[C] = -\frac{B}{log_{10}(P_{sat}[mmHg]) - A} - C$$

a) Convirtiendo la temperatura a °C y la presión a mmHg:

$$C = (\tfrac{5}{9})(F-32) = (\tfrac{5}{9})(-13.9-32) = -25.5C$$

$$mmHg = (14.7 \text{ psia})\left(\frac{760 \text{ mmHg}}{14.696 \text{ psia}}\right) = 760.2069 \text{ mmHg}$$

Y la P_{sat} a -25.5°C es:

$$P_{sat}[mmHg] = 10^{A-\frac{B}{T[C]+C}} = 10^{7.34-\frac{1482.29}{-25.5+250.52}} = 5.6576 \text{ mmHg}$$

Con el diagrama P-v se puede ver que la sustancia se encuentra en líquido comprimido.

b) Convirtiendo la temperatura a °C y la presión a mmHg:

$$C = K - 273.15 = 358 = 84.85C$$

$$mmHg = (2 \text{ atm})\left(\frac{760 \text{ mmHg}}{1 \text{ atm}}\right) = 1520 \text{ mmHg}$$

Y la P_{sat} a 84.85°C es:

$$P_{sat}[mmHg] = 10^{A-\frac{B}{T[C]+C}} = 10^{7.07-\frac{1204.95}{84.85+235.35}} = 2027.1375 \text{ mmHg}$$

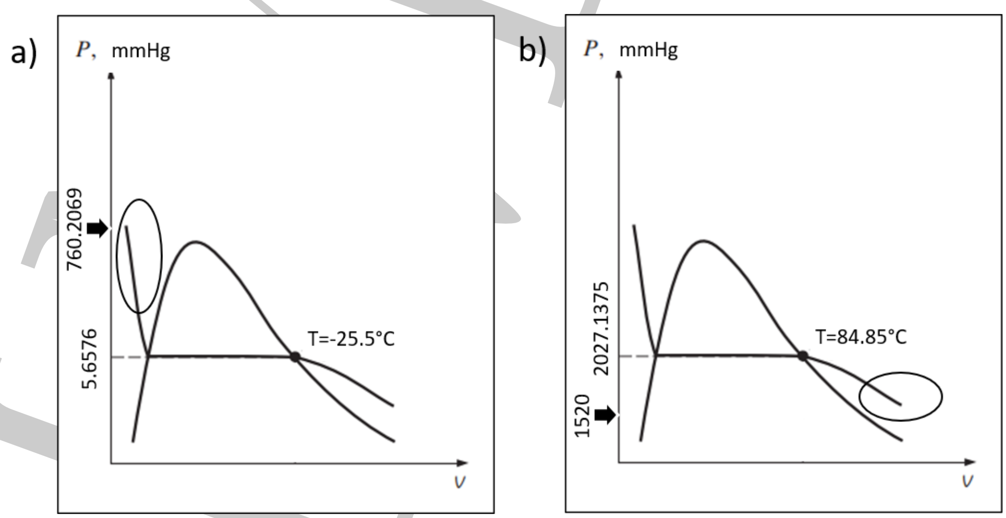
Con el diagrama P-v se puede ver que la sustancia se encuentra en vapor sobrecalentado.

c) Convirtiendo la presión a mmHg:

$$mmHg = (22 \text{ psia})\left(\frac{760 \text{ mmHg}}{14.696 \text{ psia}}\right) = 1137.7246 \text{ mmHg}$$

Y la T a 1137.7246 mmHg es:

$$T[C] = -\frac{B}{log_{10}(P_{sat}[mmHg]) - A} - C = -\frac{1170.97}{log_{10}(1137.7246) - 6.96} - 226.23 = 73.7139°C$$



Problema 9. Un tanque de 5.4 m^3 contiene 21 kg de etileno a 303 K. Determine la presión en el tanque utilizando:
a) la ecuación de los gases ideales.
b) la ecuación de Van der Waals.
Indique el porcentaje de error en cada caso si el valor real es de 342 kPa.

Se tiene que m = 21 kg, V = 5.4 m^3 y T = 303 K. En la tabla A-1 se ve que R = 0.2964 kJ·kg^{-1}·K^{-1}. Sabiendo que 1 kPa = 1 kJ/m^3:

a)

$$PV = mRT, \text{ por lo que } P = \frac{mRT}{V} = \frac{(21\ \text{kg})(0.2964\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(303\ \text{K})}{5.4\ \text{m}^3} = 349.258\ \text{kPa}$$

$$\%\ \text{error} = \frac{|349.258\ \text{kPa}\ -\ 342\ \text{kPa}|}{342\ \text{kPa}} \times 100\,\% = 2.1222\,\%$$

b) El v = 5.4 m^3 / 21 kg = 0.2571 m^3/kg. Según la tabla A-1, T$_{cr}$ = 282.4 K y P$_{cr}$ = 5.12 MPa = 5120 kPa:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v-b) = RT, \text{ por lo que } P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2} \text{ donde } a = \frac{27R^2T_{cr}^2}{64P_{cr}} \text{ y } b = \frac{RT_{cr}}{8P_{cr}}$$

$$a = \frac{(27)(0.2964\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})^2(282.4\ \text{K})^2}{(64)(5120\ \text{kPa})} = 0.5773\ \frac{\text{kJ}\cdot\text{m}^3}{\text{kg}^2}$$

$$b = \frac{(0.2964\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(282.4\ \text{K})}{(8)(5120\ \text{kPa})} = 0.002044\ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P = \frac{(0.2964\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(303\ \text{K})}{0.2571\ \text{m}^3/\text{kg}\ -\ 0.002044\ \text{m}^3/\text{kg}} - \frac{0.5773\ \text{kJ}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-2}}{(0.2571\text{m}^3/\text{kg})^2} = 343.3251\ \text{kPa}$$

$$\%\ \text{error} = \frac{|343.3251\ \text{kPa}\ -\ 342\ \text{kPa}|}{342\ \text{kPa}} \times 100\,\% = 0.3875\,\%$$

Problema 10. Calcule la energía total de un sistema (en BTU), consistente de una masa de agua de 40 lb$_m$ a 92°F, que se desplaza a una velocidad de 67 ft/s, sobre una canaleta abierta a la atmósfera, que se encuentra a 28 ft por arriba de un nivel de referencia, en un lugar donde la aceleración gravitacional es de 32.174 ft/s^2.

Se sabe que m = 40 lb$_m$, T = 92°F, P = 1 atm = 14.696 psia, v = 67 ft/s, z = 28 ft y g = 32.174 ft/s^2. La energía total del sistema es igual a la suma de la energía cinética, potencial e interna.

• Energía cinética:

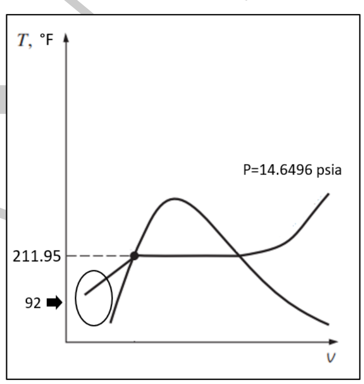
$$KE = \frac{m\text{v}^2}{2} = \frac{(40\ lb_m)(67\ ft/s)^2}{2} = \left(89780\ \frac{lb_m ft^2}{s^2}\right)\left(\frac{1\ BTU}{25037\ \frac{lb_m ft^2}{s^2}}\right) = 3.5859\ \text{BTU}$$

• Energía potencial:

$$PE = mzg = (40\ lb_m)(28\ ft)(32.174\ ft/s^2) = \left(36034.88\ \frac{lb_m ft^2}{s^2}\right)\left(\frac{1\ BTU}{25037\ \frac{lb_m ft^2}{s^2}}\right) = 1.4393\ \text{BTU}$$

• Energía interna:

De acuerdo a la tabla A-5E y con el diagrama T-v se puede ver que la sustancia se encuentra en líquido comprimido, por lo que $u = u_{f@92F}$ e interpolando según la tabla A-4E:



T[°F]	u_f[BTU/lb$_m$]
90	58.05
92	y
95	63.04

$$\frac{63.04 - 58.05}{95 - 90} = \frac{y - 58.05}{92 - 90}$$
$$y = \frac{(63.04 - 58.05)(92 - 90)}{95 - 90} + 58.05$$
$$y = 60.046$$

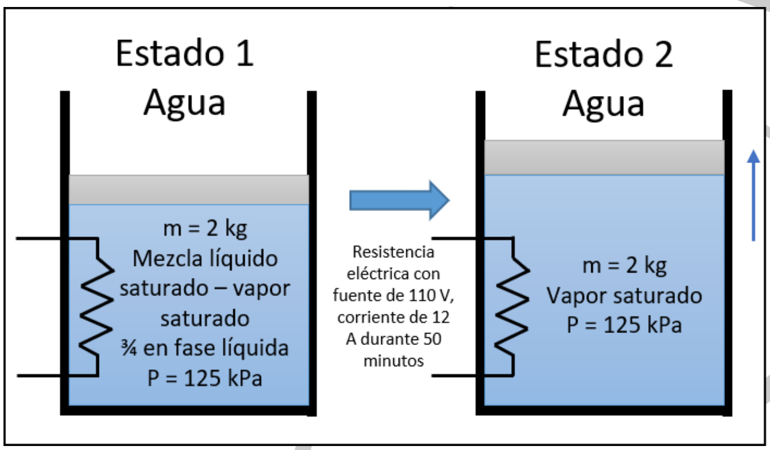
$$U = u \cdot m = (60.046 \text{ BTU/lb}_m)(40 \text{ lb}_m) = 2041.84 \text{ BTU}$$

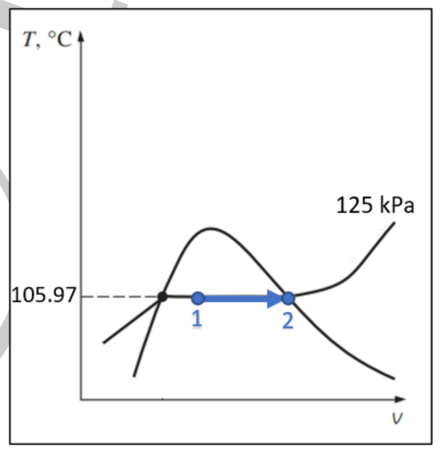
Finalmente, la energía total es igual a (3.5859+1.4393+2041.84) BTU = 2046.8652 BTU.

Problema 11. Un dispositivo cilindro-pistón contiene 2 kg de agua que se encuentra como una mezcla de líquido saturado-vapor saturado a 125 kPa. Inicialmente, tres cuartos de la masa está en la fase líquida. El dispositivo contiene una resistencia eléctrica conectada a una fuente de 110 V. Se enciende el interruptor y se deja pasar una corriente de 12 A a través de la resistencia durante 50 minutos, con la finalidad de que todo el agua se convierta en vapor saturado. Como resultado, el pistón se desplaza manteniendo la presión constante, al mismo tiempo que hay intercambio de calor con los alrededores. Indique:

a) **la temperatura a la cual se realizó el proceso.**
b) **la magnitud y el sentido de la transferencia de calor (en kJ) entre el sistema y sus alrededores.**
c) **el diagrama T-v del proceso.**

De acuerdo al problema y la tabla A-5:





Como el proceso va de mezcla líquido saturado-vapor saturado, la temperatura se mantiene en la T$_{sat}$ = 105.97°C. En el estado 1, hay $(\frac{3}{4})$(2 kg) = 1.5 kg de agua en fase líquida y lo restante en fase vapor, es decir, 0.5 kg. Con esto, la calidad es $x = \frac{m_{vapor}}{m_{total}} = \frac{0.5 \text{ kg}}{2 \text{ kg}} = 0.25$. Por otra parte, la fuente de la resistencia eléctrica tiene un voltaje de $V = 110$ V y al sistema pasa una corriente de $A = 12$ A durante 50 minutos = 3000 segundos. También se conoce que 1 VA = 1 W = 0.001 $\frac{\text{kJ}}{\text{s}}$.
El sistema intercambia calor con sus alrededores ($\Delta Q = Q_{in} - Q_{out}$), hay un trabajo de entrada por parte de la resistencia eléctrica ($W_{in} = VAt$), un trabajo de salida por el desplazamiento del pistón ($W_{out} = P(V_2 - V_1)$), no hay energía por transferencia de masa al ser un sistema cerrado y no haber flujo másico, y tampoco hay energía cinética y potencial por el sistema (no hay movimiento ni cambio de altura en el sistema). Con lo anterior, el balance de energía del proceso queda de la siguiente manera:

$$(Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out}) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$
$$\Delta Q + VAt - P(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

A partir de aquí, hay dos maneras de concluir la solución del problema:

Forma 1

Sabiendo que $H = U + PV$:

$$\Delta Q = (U_2 + PV_2) - (U_1 + PV_1) - VAt = H_2 - H_1 - VAt = m(h_2 - h_1) - VAt$$

A P = 125 kPa se tiene que h_f = 444.36 kJ/kg, h_g = 2684.9 kJ/kg y h_{fg} = 2240.6 kJ/kg, por lo que $h_1 = h_f + x \cdot h_{fg}$ = 444.36 kJ/kg + (0.25)(2240.6 kJ/kg) = 1004.51 kJ/kg. Mientras que en el estado 2, $h_2 = h_g$ = 2684.9 kJ/kg. Finalmente, en el balance de energía:

$$\Delta Q = m(h_2 - h_1) - VAt = (2 \text{ kg})(2684.9 \text{ kJ/kg} - 1004.51 \text{ kJ/kg}) - (110 \text{ V})(12 \text{ A})(3000 \text{ s})\left(\frac{0.001 \text{ kJ}}{1 \text{ VAs}}\right)$$

$$\Delta Q = -559.22 \text{ kJ}$$

Concluyendo que hubo una transferencia de calor del sistema hacia sus alrededores (Q_{out}) con una magnitud de 559.22 kJ.

Forma 2

A P = 125 kPa se tiene que v_f = 0.001048 m^3/kg, v_g = 1.3750 m^3/kg y $v_{fg} = v_g - v_f$ = (1.3750 − 0.001048) m^3/kg = 1.373952 m^3/kg, por lo que $v_1 = v_f + xv_{fg}$ = 0.001048 m^3/kg + (0.25)(1.373952 m^3/kg) = 0.344536 m^3/kg y $V_1 = v_1 \cdot m$ = (0.344536 m^3/kg)(2 kg) = 0.689072 m^3. Mientras que en el estado 2, $v_2 = v_g$ = 1.3750 m^3/kg y $V_2 = v_2 \cdot m$ = (1.3750 m^3/kg)(2 kg) = 2.75 m^3.
En cuanto a la energía interna, u_f = 444.23 kJ/kg, u_g = 2513.0 kJ/kg y u_{fg} = 2068.8 kJ/kg, por lo que $u_1 = u_f + x \cdot u_{fg}$ = 444.23 kJ/kg + (0.25)(2068.8 kJ/kg) = 961.43 kJ/kg. Mientras que en el estado 2, $u_2 = u_g$ = 2513.0 kJ/kg. Finalmente, en el balance de energía:

$$\Delta Q = U_2 - U_1 + P(V_2 - V_1) - VAt = m(u_2 - u_1) + P(V_2 - V_1) - VAt$$

$$\Delta Q = (2 \text{ kg})(2513.0 \text{ kJ/kg} - 961.43 \text{ kJ/kg}) + (125 \text{ kPa})(2.75 \text{ m}^3 - 0.689072 \text{ m}^3) - (110 \text{ V})(12 \text{ A})(3000 \text{ s})\left(\frac{0.001 \text{ kJ}}{1 \text{ VAs}}\right)$$

$$\Delta Q = -559.244 \text{ kJ}$$

Concluyendo que hubo una transferencia de calor del sistema hacia sus alrededores (Q_{out}) con una magnitud de 559.244 kJ.

Se observa que los valores de ΔQ obtenidos son muy cercanos entre sí.