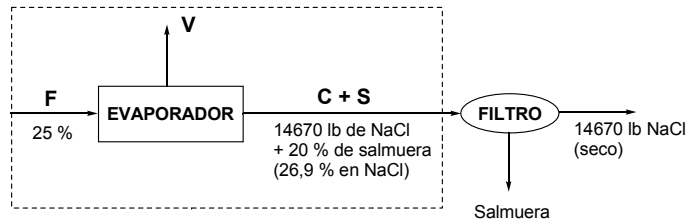


**PROBLEMAS DE BALANCE DE MASA Y ENERGÍA**

1) Un evaporador se carga con una solución de NaCl al 25 %. Se van a producir 14670 lb de sal seca por hora. La sal formada retiene 20 % con respecto a su peso de la salmuera (26,9 % de la sal) ¿Cuántas libras de solución se cargan al evaporador por cada hora?



**Resolución:**

Proceso continuo, en régimen y sin reacción química.  
Sistema: recuadro punteado.

**Balance de masa global:**  $F = V + C + S$   
**Balance en NaCl:**  $F x_F = V x_V + C x_C + S x_S$

- Datos:**  $C = 14670$  lb  
 $S = 0.20 \cdot 14670 = 2934$  lb  
 $x_F = 0.25$   
 $x_V = 0$   
 $x_C = 1$   
 $x_S = 0.269$

$F = V + 14670 + 2934 = V + 17604$   
 $F \times 0.25 = V \times 0 + 14670 \times 1 + 2934 \times 0.269$   
 $F \times 0.25 = 15459$   
 $F = 61837$  lb

**F = 61837 lb /h de solución NaCl al 25 %**

2) 1200 lb de  $Ba(NO_3)_2$  se disuelven en cantidad suficiente de agua para formar una solución saturada a 90 ° C, temperatura a la cual se tiene que la solubilidad es de 30.6 g / 100 g  $H_2O$ . La solución luego se enfría a 20 ° C, temperatura a la cual la solubilidad es de 8.6 g / 100 g  $H_2O$ .  
¿Cuántas libras de agua se requieren para la solución a 90 ° C y qué peso de cristales se obtienen a 20 ° C?

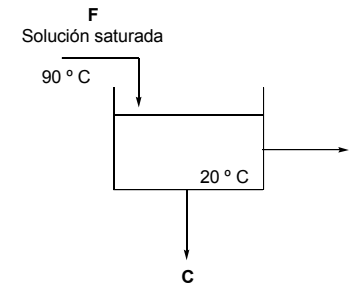
**Resolución:**

Solubilidad  $Ba(NO_3)_2 = 30,6$  g / 100g agua a 90 ° C

1200 lb <> 544,32 Kg de  $Ba(NO_3)_2$

$m_{\text{agua}} = \frac{544,32 \times 100}{30,6} = 1778,8$  Kg de agua

**$m_{\text{agua}} = 3920$  lb de agua**



**Balance de masa global:**  $F = S + C$

**Balance de masa en  $Ba(NO_3)_2$ :**  $F x_F = S x_S + C x_C$

**Datos:**

$F = 1200 + 3920 = 5120$  lb solución saturada

$x_F = \frac{30,6 \text{ g } Ba(NO_3)_2}{130,6 \text{ g solución}} = 0,23$

$x_C = 1$

$x_S = \frac{8,6 \text{ g } Ba(NO_3)_2}{108,6 \text{ g solución}} = 0,079$

$5120 = S + C \Rightarrow S = 5120 - C$

$$5120 \times 0,23 = S \times 0,079 + C \times 1$$

$$\text{Combinando} \Rightarrow C = 839,4 \text{ lb}; S = 4280,6 \text{ lb}$$

$$C = 839,4 \text{ lb de cristales de Ba(NO}_3)_2$$

3) Aire a 20 ° C y 2 atm de presión absoluta entra a un calentador de vapor a través de un tubo de 50 mm a una velocidad promedio de 15 m/s. Sale del calentador a través de un tubo de 65 mm a 90 ° C y a 1,6 atm de presión absoluta. ¿Cuál es la velocidad promedio de aire a la salida?



**Resolución:**

Proceso continuo, en régimen sin reacción química. Aplico ecuación de continuidad:

$$\rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2$$

**Datos:**

- $D_1 = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$
- $D_2 = 65 \text{ mm} = 0,065 \text{ m}$
- $P_1 = 2 \text{ atm}$
- $P_2 = 1,6 \text{ atm}$
- $T_1 = 20^\circ \text{ C} = 293^\circ \text{ K}$
- $T_2 = 90^\circ \text{ C} = 363^\circ \text{ K}$
- $v_1 = 15 \text{ m/s}$

**Suposiciones:** Comportamiento de gas ideal del aire:

$$PV = nRT$$

**Base de cálculo:** 1 Kg de aire:

$$\rho = \frac{1}{V} \quad V : \text{volumen de 1Kg de aire}$$

$$n = \frac{1}{PM_{\text{aire}}} \quad PM_{\text{aire}} : \text{Peso molecular del aire}$$

$$V = \frac{nRT}{P} \Rightarrow \rho = \frac{P}{nRT} = \frac{P \times PM_{\text{aire}}}{RT}$$

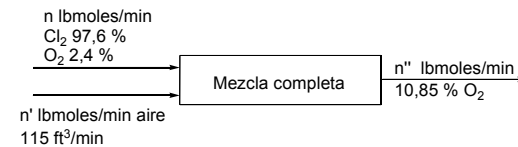
$$\rho = \frac{P}{nRT} = \frac{P \times PM_{\text{aire}}}{RT}$$

$$\frac{P_1 PM_{\text{aire}}}{RT_1} \times \frac{\pi D_1^2}{4} \times v_1 = \frac{P_2 PM_{\text{aire}}}{RT_2} \times \frac{\pi D_2^2}{4} \times v_2$$

$$\Rightarrow v_2 = \frac{P_1 D_1^2 v_1 T_2}{T_1 P_2 D_2^2}$$

$$v_2 = 13,7 \text{ m/s}$$

4) Cloro gaseoso conteniendo 2,4 % de O<sub>2</sub> fluye a través de una tubería. El flujo de gas se mide introduciendo aire en el mismo a una velocidad de 115 ft<sup>3</sup>/min y en una parte más adelante de la línea, una vez que el mezclado ha sido completo, se toma una muestra de gas para su análisis. Se determinó que le gas contiene ahora 10,85 % de O<sub>2</sub>. Determinar el flujo de gas inicial por la tubería expresada en ft<sup>3</sup>/min.



**Resolución:**

Flujo continuo, en régimen y sin reacción química.

**Balance de masa global (en moles):**  $n + n' = n''$

**Balance de masa global en O<sub>2</sub> (en moles):**  $n x_n + n' x_{n'} = n'' x_{n''}$

**Datos:**

- Aire: 79 % N<sub>2</sub>; 21 % O<sub>2</sub>
- $x_n = 0,024$
- $x_{n'} = 0,21$
- $x_{n''} = 0,1085$
- $Q_{\text{aire}} = 115 \text{ ft}^3/\text{min}$
- $PF_{N_2} = 28$
- $PF_{O_2} = 32$
- $PF_{Cl_2} = 70,9$
- $\rho_{\text{aire}} = 0,0808 \text{ lb/ft}^3$  (Perry 5<sup>a</sup>, 3-99, Tabla 3-31)
- $\rho_{O_2} = 0,0892 \text{ lb/ft}^3$  (Perry 5<sup>a</sup>, 3-99, Tabla 3-31)
- $\rho_{Cl_2} = 0,2011 \text{ lb/ft}^3$  (Perry 5<sup>a</sup>, 3-99, Tabla 3-31)

**Suposiciones:** Comportamiento de gas ideal de las corrientes gaseosas:

$$PV = nRT$$

$$\% V = \% n$$

$$w_{\text{aire}} = Q_{\text{aire}} \times \rho_{\text{aire}} = 115 \times 0,0808 = 9,3 \text{ lb/min aire}$$

$$(n'' - n') \times 0,024 + n' \times 0,21 = n'' \times 0,1085$$

$$n' = \frac{9,3 \times 0,21}{32} + \frac{9,3 \times 0,79}{28} = 0,06 + 0,26 = 0,32$$

$$0,024 n'' - 0,0077 + 0,0672 = 0,1085 n''$$

$$\Rightarrow n'' = 0,704 \text{ lbmol/min}$$

$$n = 0,704 - 0,32 = 0,384 \text{ lbmol/min}$$

$$\text{moles}_{\text{Cl}_2} = 0,384 \times 0,976 = 0,375 \text{ lbmol de Cl}_2/\text{min}$$

$$\text{moles}_{\text{O}_2} = 0,384 \times 0,024 = 0,009 \text{ lbmol de O}_2/\text{min}$$

$$\text{masa}_{\text{Cl}_2} = 0,375 \times 70,9 = 26,6 \text{ lb/min}$$

$$\text{masa}_{\text{O}_2} = 0,009 \times 32 = 0,288 \text{ lb/min}$$

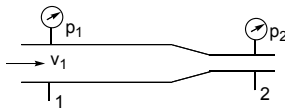
$$Q_{\text{Cl}_2} = \frac{\text{masa}_{\text{Cl}_2}}{\rho_{\text{Cl}_2}} = \frac{26,6}{0,2011} = 132,3 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{O}_2} = \frac{\text{masa}_{\text{O}_2}}{\rho_{\text{O}_2}} = \frac{0,288}{0,0892} = 3,2 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{entrada}} = 132,3 + 3,2 = 135,5 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{entrada}} = 135,5 \text{ ft}^3/\text{min}$$

5) Se tiene agua que fluye uniformemente por el sistema de tubos que se muestra en la figura. Los siguientes datos se aplican al caso:  $D_1 = 1 \text{ ft}$ ,  $D_2 = 0,5 \text{ ft}$ ,  $p_1 = 12 \text{ psig}$ ,  $v_1 = 10 \text{ ft/s}$ . Suponga que la energía interna  $u$  y la densidad  $\rho = 62,4 \text{ lb/ft}^3$  permanecen constantes. Calcular: a) La velocidad  $v_2$ . b) La presión  $p_2$ .



**Resolución:**

Flujo continuo, en régimen y sin reacción química.

**Balance de masa:** Ecuación de continuidad:

$$\rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2$$

**Balance de energía:** Ecuación de Bernoulli:

$$g \times z_2 + \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2 \times g_c}{\rho_2} = g \times z_1 + \frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1 \times g_c}{\rho_1}$$

**Datos:**  $D_1 = 1 \text{ ft}$   $D_2 = 0,5 \text{ ft}$   
 $p_1 = 12 \text{ psig}$   
 $u = \text{cte.}$   
 $\rho_1 = \rho_2 = 62,4 \text{ lb/ft}^3 = \text{cte.}$   
 $z_1 = z_2 = 0$

a)  $\rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2$

$$v_1 \times A_1 = v_2 \times A_2$$

$$v_1 \times \frac{\pi D_1^2}{4} = v_2 \times \frac{\pi D_2^2}{4}$$

$$\Rightarrow v_2 = v_1 \times \frac{D_1^2}{D_2^2} = 10 \times \frac{1^2}{0,5^2}$$

$$v_2 = 40 \text{ ft/s}$$

b)  $g \times z_2 + \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2 \times g_c}{\rho_2} = g \times z_1 + \frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1 \times g_c}{\rho_1}$

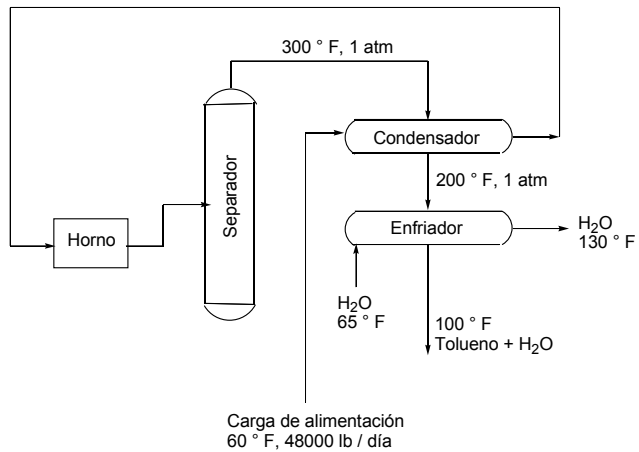
$$\frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2 \times g_c}{\rho_2} = \frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1 \times g_c}{\rho_1}$$

$$\frac{40^2}{2} + \frac{p_2 \times 32,1}{62,4} \times 144 = \frac{10^2}{2} + \frac{12 \times 32,1}{62,4} \times 144$$

$$p_2 = 1,9 \text{ psig}$$

6) Uno de los procesos que implica la deshidrogenación catalítica en presencia de hidrógeno se conoce con el nombre de "hydroforming". Durante la Segunda Guerra Mundial, este proceso tuvo gran importancia como ayuda para satisfacer la demanda de tolueno para la manufactura de explosivos. El tolueno, el benceno y otros derivados aromáticos pueden producirse económicamente en esta forma a partir de cargas de alimentación constituidas por naftas. Después de separar el tolueno de los otros, se condensa y se enfría en un proceso como el que se muestra en el diagrama de flujo. Por cada 100 lb de alimentación cargada al sistema, se producen 27,5 lb de una mezcla de

tolueno y agua (9,1 % en peso de agua) como vapor el cual se condensa mediante la corriente de la alimentación. Calcular: a) la temperatura de la carga de alimentación después de salir del condensador y b) las libras de agua de enfriamiento requeridas por hora.



Corriente	Cp (Btu/lb °F)	T.E. (° F)	Calor latente de vaporización (Btu/lb)
H <sub>2</sub> O (l)	1,0	212	970
H <sub>2</sub> O (g)	0,5	-----	-----
Tolueno (l)	0,4	260	100
Tolueno (g)	0,3	-----	-----
Alimentación	0,5	-----	-----

**Resolución:**

$$W_{\text{alimentación}} = 48000 \text{ lb/día} \leftrightarrow 2000 \text{ lb/h}$$

$$W_{\text{Tolueno+H}_2\text{O}} = 48000 \times \frac{27,5}{100} = 13200 \text{ lb/día} \leftrightarrow 550 \text{ lb/h}$$

$$w_{\text{Tolueno}} = 550 \times 0,909 = 500 \text{ lb/h}$$

$$w_{\text{H}_2\text{O}} = 550 \times 0,091 = 50 \text{ lb/h}$$

a)

**Balance de calor en el condensador:**

La corriente de alimentación se calienta de 60 ° F hasta la temperatura de salida que es la que hay que hallar. Los vapores que salen del separador, compuestos por tolueno y agua, se enfrían hasta la temperatura de cambio de

fase (T. E.), condensan y luego se enfrían como líquido hasta la temperatura de salida de la corriente.

$$w_{\text{alim}} C_{p_{\text{alim}}} \Delta T = w_T \Delta H_T + w_{\text{H}_2\text{O}} \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} + w_{\text{T(g)}} C_{p_{\text{T(g)}}} \Delta t_{\text{(g)}} + w_{\text{T(l)}} C_{p_{\text{T(l)}}} \Delta t_{\text{(l)}} + w_{\text{H}_2\text{O(g)}} C_{p_{\text{H}_2\text{O(g)}}} \Delta t_{\text{(g)}} + w_{\text{H}_2\text{O(l)}} C_{p_{\text{H}_2\text{O(l)}}} \Delta t_{\text{(l)}}$$

$$2000 \times 0,5 \times (T_2 - 60) = 500 \times 100 + 50 \times 970 + 500 \times 0,3 \times (300 - 260) + 500 \times 0,4 \times (260 - 200) + 50 \times 0,5 \times (300 - 212) + 50 \times 1 \times (212 - 200)$$

$$1000 \times (T_2 - 60) = 119300$$

$$T_2 = \frac{119300}{1000} + 60$$

$$T_2 = 179,3 \text{ ° F}$$

b)

**Balance de calor en el enfriador:**

$$w_{\text{H}_2\text{O enf.}} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \Delta T = w_T C_{p_T} \Delta t + w_{\text{H}_2\text{O}} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \Delta t$$

$$w_{\text{H}_2\text{O enf.}} \times 1 \times (130 - 65) = 500 \times 0,4 \times (200 - 100) + 50 \times 1 \times (200 - 100)$$

$$w_{\text{H}_2\text{O enf.}} \times 65 = 25000$$

$$w_{\text{H}_2\text{O enf.}} = 385 \text{ lb/h}$$