

Unidad

3

Magnitudes Físicas de Uso Común en una Planta de Procesos

Introducción

Aunque el Sistema Internacional (basado en el sistema métrico) es el sistema legal a nivel mundial, todavía persisten muchos profesionales que insisten en seguir utilizando sistemas arcaicos. Es por ese motivo que es necesario dedicar un capítulo de este libro en explicar los diferentes sistemas de unidades y métodos de conversión entre los mismos.

Contenido

Esta unidad consta de los siguientes temas:

Tema	Página
1. Sistemas de Unidades	48
2. Descripción de magnitudes físicas de uso frecuente en Ingeniería Química.	54

Tema 1**Sistemas de Unidades****Unidades**

Las unidades son las medidas estandarizadas para las magnitudes físicas. Ejemplo de unidades de longitud son el pie (ft), la pulgada (in), el metro (m), el centímetro (cm), etc. La longitud, la masa y el tiempo son unidades **FUNDAMENTALES**; mientras que la velocidad, el volumen y la aceleración son ejemplos de unidades **DERIVADAS**.

Las ventajas de ser muy organizado con las unidades son:

- a) Disminuye la probabilidad de error por inversión de los términos de una ecuación.

Ejemplo: Hallar las unidades de R (la constante universal de los gases).

$$PV = nRT \Rightarrow R = \frac{PV}{nT} = \frac{\frac{[F]}{[A]}[A][L]}{[\text{mol}][T]} = \frac{[F][L]}{[\text{mol}][T]} = \frac{[E]}{[\text{mol}][T]}$$

- b) Ayuda nemotécnica para recordar fórmulas. Ejemplo: Para convertir la ecuación de gas ideal en unidades másicas:

$$PV = n\bar{R}T \rightarrow n = \frac{m}{PM_i}$$

$$PV = mR_iT \rightarrow R_i = \frac{\bar{R}}{PM_i}$$

Así se tiene que para calcular el R_i másico a partir del \bar{R} molar, bastará dividir este último por el peso molecular (PM_i).

Sigue.....

Continuación de Dimensiones y Unidades.....

Algunas reglas básicas para operar con unidades son:

a) No pueden sumarse ni restarse unidades de dimensiones distintas.

20 m + 5 kg = No tiene sentido.

b) No pueden sumarse ni restarse unidades diferentes de la misma dimensión, sin antes ser escritas en forma consistente.

20 cm + 1 in = 20 cm + 2,54 cm = 22,54 cm

c) No se pueden dividir o multiplicar dos dimensiones distintas y esperar un resultado adimensional:

$$\frac{20 \text{ m}}{5 \text{ s}} \neq 4 = 4 \text{ m/s}$$

Es altamente recomendable que el estudiante consulte la obra titulada “Magnitudes, Dimensiones y Conversiones de Unidades” de los profesores Jean-Marie Ledanois y Aura L. López de Ramos de la Editorial Equinoccio de la Universidad Simón Bolívar para profundizar más sobre el uso de las unidades y sus conversiones.

Conversión de Unidades

Es una actividad muy común en Ingeniería Química. Muchas veces el ingeniero tiene que consultar distintas fuentes bibliográficas que se basan en unidades diferentes. Es muchas veces aconsejable utilizar ecuaciones adimensionales para evitar errores.

Ejemplo 1: La densidad de una sustancia es 23 g/L. Expresar esta cantidad en lbm/ft³

$$23 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 23 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ lbm}}{453,5924 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} \times \left(\frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right)^3 \times \left(\frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \right)^3 = 1,4358 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

Sigue.....

Ejemplo 2: La densidad del etanol en g/cm^3 como función de la temperatura en Kelvin, se ha correlacionado mediante la siguiente ecuación:

$$\rho(\text{g/cm}^3) = 1,032 - 5,392 \times 10^{-4} T - 8,712 \times 10^{-7} T^2$$

a) ¿Cuáles deben ser las unidades de las tres constantes para que la ecuación sea dimensionalmente consistente?

$$\begin{aligned} &1,032 \text{ g/cm}^3 \\ &5,392 \times 10^{-4} \text{ g/}(\text{cm}^3 \cdot \text{K}) \\ &8,712 \times 10^{-7} \text{ g/}(\text{cm}^3 \cdot \text{K}^2) \end{aligned}$$

b) ¿Cómo debe modificarse la correlación, si se desea obtener la densidad en gmol/L ?

$$\begin{aligned} \text{PM}_{\text{etanol}} &= 2 \times 12 + 6 \times 1 + 16 = 46 \frac{\text{g}}{\text{gmol}} \\ \frac{\text{gmol}}{\text{L}} &= \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{\text{gmol}}{46 \text{ g}} = \frac{10^3}{46} \frac{\text{gmol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

Todos los coeficientes de la correlación deben multiplicarse por el factor $1000/46$.

Nota: El gramo-mol (gmol) se puede escribir sólo mol.

Ejemplo 3: Un número adimensional de uso muy frecuente en ingeniería química es el número de Reynolds. Este puede calcularse como:

$$\text{Re} = \frac{av\rho}{\mu}$$

donde:

a: Longitud característica.

v: Velocidad.

Sigue.....

Continuación de Conversión de Unidades.....

ρ : Densidad.

μ : Viscosidad.

Se le pide hallar las dimensiones del número de Reynolds.

$$[\text{Re}] = \frac{[a][v][\rho]}{[\mu]} = \frac{[\text{L}][\text{L}][\text{M}]}{[\text{T}][\text{L}]^3} \cdot \frac{[\text{L}][\text{T}]}{[\text{M}]} = [1]$$

El número de Reynolds no tiene dimensiones, significa que es un número adimensional y se expresa sin unidades.

Ejemplo 4: Para flujo dentro de tuberías se usa una de las relaciones adimensionales de mayor utilidad: el número de Reynolds, el cual está dado por la siguiente expresión:

$$\text{Re} = \frac{D U \rho}{\mu}$$

donde:

D... es el diámetro o longitud.

U.. es cierta velocidad característica.

ρ ...es la densidad del fluido.

μ ...es la viscosidad del fluido.

Calcular el número de Reynolds para los siguientes casos:

- a) D: 2 in
 U: 13 cm/min
 ρ : 52 lb/gal
 μ : 10^{-4} g/h.ft

Sigue.....

Continuación de Conversión de Unidades.....

- b) D: 2 mm
 U: 25 ft/s
 ρ : 43 g/L
 μ : $0,15 \cdot 10^{-6}$ cP

Solución: En el ejemplo anterior se había encontrado que el número de Reynolds era adimensional:

$$\begin{aligned} D &\rightarrow [L] \\ U &\rightarrow [L][t]^{-1} \\ \rho &\rightarrow [M][L]^{-3} \\ \mu &\rightarrow [M][t]^{-1}[L]^{-1} \end{aligned}$$

$$[\text{Re}] = \frac{[D] \cdot [U] \cdot [\rho]}{[\mu]} = \frac{[L][L][t]^{-1} \cdot [M][L]^{-3}}{[M][t]^{-1}[L]^{-1}} = [1]$$

Es decir que no tiene unidades. Por tanto, se pueden hacer los cálculos en cualquier sistema coherente, sin que varíe el resultado, mientras halla consistencia en las unidades.

$$\text{a) } \frac{D U \rho}{\mu} = \frac{2 \text{ in } 13 \text{ cm/min } 52 \text{ lb/gal}}{10^{-4} \text{ g/h.ft}}$$

Haciendo uso de tablas de conversión para escribir las unidades en forma consistente:

$$\frac{D U \rho}{\mu} = \frac{2 \text{ in } \frac{1 \text{ cm}}{0,3939 \text{ in}} 13 \frac{\text{cm}}{\text{min}} 52 \frac{\text{lbm}}{\text{gal}} \frac{453,59 \text{ g}}{1 \text{ lb}}}{10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{h ft}} \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \frac{1 \text{ ft}}{30,48 \text{ cm}} \frac{3785 \text{ cm}^3}{1 \text{ gal}}}$$

Sigue.....

Continuación de Conversión de Unidades.....

$$\frac{D U \rho}{\mu} = 7,526.10^9$$

$$b) \quad \frac{D U \rho}{\mu} = \frac{2 \text{ mm } 25 \text{ ft/s } 43 \text{ g/L}}{0,15.10^{-6} \text{ cP}}$$

$$\frac{D.U.\rho}{\mu} = \frac{2 \text{ mm} \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} \frac{25 \text{ ft}}{\text{s}} \frac{30,48 \text{ cm}}{\text{ft}} \frac{43 \text{ g}}{\text{L}} \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ cm}^3}}{0,15.10^{-6} \text{ cP} \cdot \frac{1 \text{ p}}{100 \text{ cP}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ cm} \cdot 1 \text{ s}} 1 \text{ P}}$$

$$\frac{D.U.\rho}{\mu} = 4,3688.10^9$$

Tema 2**Descripción de magnitudes físicas de uso frecuente en Ingeniería Química****Temperatura**

La temperatura es una medida de la energía térmica del movimiento aleatorio de las moléculas de una sustancia en equilibrio térmico. Regularmente, la temperatura se mide en grados Fahrenheit o Celsius. La escala científica común es la escala Celsius, en la que el 0°C es el punto de congelación del agua y 100°C es el punto de ebullición normal del agua. El punto de partida de la escala Fahrenheit, ó 0°F, es el que se produce rodeando el bulbo del termómetro con una mezcla de nieve o hielo y sal amoniacal a las mismas proporciones; la temperatura más alta es aquella a la cual el mercurio comienza a bullir. La distancia entre esos dos puntos se divide en 600 partes o grados. Fahrenheit observó que el mercurio de su termómetro se mantuvo a 32 de estas divisiones en el momento en que el agua comenzaba a congelarse, y a 212 divisiones cuando se sumergió el termómetro en el agua hirviendo. Las escalas Celsius o Fahrenheit son escalas relativas; es decir, sus puntos fueron fijados en forma arbitraria por sus inventores. Las escalas de temperatura absoluta tienen su punto cero en la temperatura única más baja posible. La escala absoluta basada en la escala Celsius, se llama escala Kelvin y la correspondiente a la escala Fahrenheit se llama escala Rankine. Así se puede decir que:

$$\Delta^{\circ}\text{F} = \Delta^{\circ}\text{R}$$

$$\Delta^{\circ}\text{C} = \Delta\text{K}$$

$$\Delta^{\circ}\text{C} = 1,8\Delta^{\circ}\text{F}$$

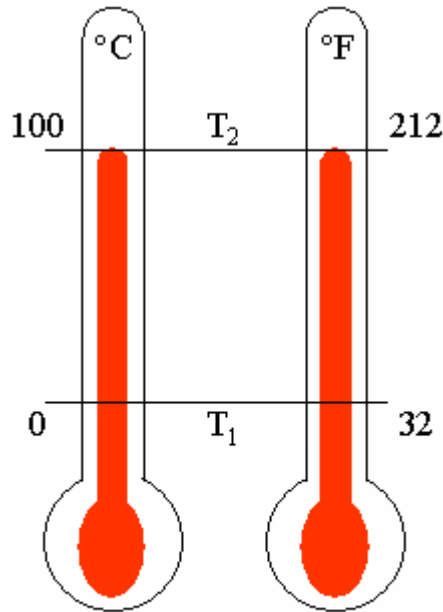
$$\Delta\text{K} = 1,8\Delta^{\circ}\text{R}$$

Sigue.....

Continuación de Temperatura.....

Donde el Δ significa una diferencia de temperaturas.

Las dos últimas relaciones se obtienen comparando las escalas Celsius y Fahrenheit entre 0°C - 100°C y 32°F - 212°F . Puede notarse que los deltas de grados Celsius son más grandes que los deltas de grados Fahrenheit, entendiéndose por deltas las divisiones en la escala.



$$(\Delta T)_{\text{C}} = 1,8 (\Delta T)_{\text{F}}$$

Se puede pasar de una temperatura a otra muy fácilmente, basta con utilizar las siguientes ecuaciones:

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459,6$$

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Los instrumentos para medir temperatura utilizan diferentes fenómenos que son influidos por la temperatura como son:

- Variación en el volumen o en el estado de los cuerpos, ya sean sólidos, líquidos o gases.
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistor).

Sigue.....

Continuación de Temperatura.....

- d) Fuerza electromotriz (f.e.m.) creada en la unión de los metales distintos (termopares).
- e) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetro de radiación).

Ejemplos:**a) Termómetro de vidrio:**

Consta de un dispositivo que contiene, por ejemplo, mercurio y que al calentarse se expande y sube en el tubo capilar. El tubo capilar permite amplificar la dilatación del líquido que es muy pequeña. Los márgenes de trabajo de los fluidos empleados son:

Fluido de trabajo	Intervalo de Temperatura de Operación (°C)
Mercurio	-35 hasta 280
Mercurio (tubo capilar lleno de gas)	-35 hasta 450
Pentano	-200 hasta 20
Alcohol	-110 hasta 50
Tolueno	-70 hasta 100

b) Termómetro bimetalico:

Se fundamenta en la diferencia de coeficientes de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar (35,5% de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetalicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices.

Sigue.....

c) Termómetro de bulbo:

Los termómetros tipo bulbo consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expanden y el espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo.

d) Termómetro de resistencia:

La medida de la temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado, abobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. Los materiales usualmente utilizados son el platino y el níquel.

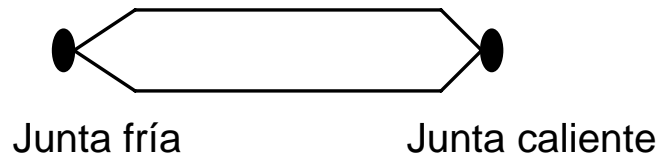
e) Termistores:

Son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado y que presenta una curva característica lineal tensión-corriente siempre que la temperatura se mantenga constante.

f) Termopares:

Se basan en el efecto descubierto por Seebeck (1821) de la circulación de corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida caliente y unión de referencia fría) se mantienen a distintas temperaturas.

Sigue.....



El termopar tipo T, Cu-Constantán, se usa en un intervalo de -200 a 260 °C. El tipo J, hierro Constantán, se usa de 0 a 550 °C. El tipo K, Cromel – Alumel, de 0 a 400 °C. El tipo R y S, Platino-Pt/Rh 13% y Pt-Pt/Rh 10%, de 0 a 1108 °C.

g) Pirómetros:

Los pirómetros de radiación se basan en la Ley de Stefan-Boltzmann, que dice que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo.

Ejemplos de cambios de unidades con temperatura:

a) Expresar $1,82 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ en $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

$$1,82 \frac{\text{Btu}}{\text{h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} = 1,82 \frac{\text{Btu}}{\text{h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} \times \frac{1,8^\circ\text{F}}{1\text{K}} \times \frac{1\text{W}}{3,412141 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}} \times \left(\frac{1\text{ft}}{0,3048\text{m}} \right)^2 = 10,3344 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

b) Para calcular el calor específico (C_p) del acetileno a una temperatura dada, se puede utilizar la siguiente correlación:

$$C_p(\text{C}_2\text{H}_2) = 42,43 + 6,053 \times 10^{-2} T - 5,033 \times 10^{-5} T^2$$

donde,

T: Temperatura (°C)

C_p : Calor específico (J/mol.K)

Sigue.....

Continuación de Temperatura.....

Se le pide modificar los coeficientes de la ecuación para que la temperatura (T) venga expresada en grados Rankine.

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{1,8} = \frac{T(^{\circ}\text{R}) - 460 - 32}{1,8} = \frac{T(^{\circ}\text{R}) - 492}{1,8}$$

sustituyendo en la ecuación de Cp, se tiene:

$$C_p = 42,43 + 6,053 \times 10^{-2} \times \left(\frac{T(^{\circ}\text{R}) - 492}{1,8} \right) - 5,033 \times 10^{-5} \left(\frac{T(^{\circ}\text{R}) - 492}{1,8} \right)^2$$

Resolviendo el binomio al cuadrado y reagrupando, se obtiene una nueva expresión para Cp:

$$C_p = 22,125 + 0,0489T(^{\circ}\text{R}) - 1,553 \times 10^{-5} T(^{\circ}\text{R})^2$$

Presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como:

lbf / in² (psi)
atm
bar
N / m² (pascal)

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales. Ejemplos:

- a) **Absoluta:** Se mide con relación al cero absoluto de presión (vacío).
- b) **Atmosférica:** Presión ejercida por la atmósfera terrestre y se mide mediante un barómetro.
- c) **Relativa o manométrica:** es aquella que se mide con un instrumento que detecta la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica.

Sigue.....

Continuación de Presión.....

d) Manométrica de vacío: es la diferencia de presiones entre la atmosférica y la absoluta; es decir, la presión medida por debajo de la atmósfera.

Ejemplos de instrumentos que se usan para medir presión:

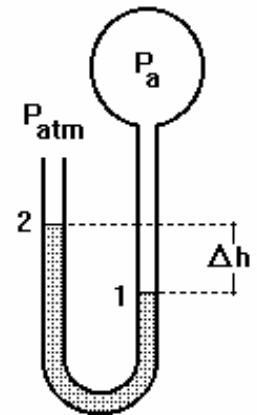
a) Barómetro:

Este instrumento mide la presión atmosférica y en forma simplificada puede representarse como un tubo de ensayo invertido, el cual está parcialmente inmerso en una piscina de mercurio.

b) Manómetro en "U":

Consiste de un tubo, generalmente de vidrio que presenta una forma de "U", que tiene en su interior un líquido manométrico. Por ejemplo, mercurio, tetracloruro de carbono, agua, etc.

$$\begin{aligned} P_a &= P_1 \\ P_1 &= P_2 + \rho g \Delta h \\ P_2 &= P_{\text{atm}} \\ P_a &= P_{\text{atm}} + \rho g \Delta h \end{aligned}$$



Sigue.....

Continuación de Presión.....

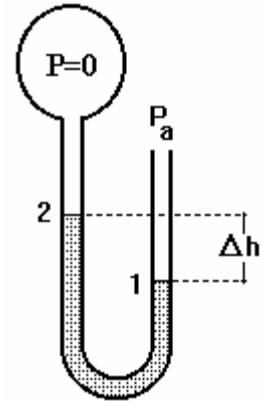
También podría ser:

$$P_a = P_1$$

$$P_1 = P_2 + \rho g \Delta h$$

$$P_2 = P_{\text{vacío}} = 0$$

$$P_a = \rho g \Delta h$$



c) Manómetro de Bourdon:

Es un tubo metálico delgado con una sección transversal elíptica, cerrado en uno de sus extremos, que ha sido doblado en forma de arco. A medida que la presión aumenta en el extremo abierto, el tubo tiende a enderezarse y el movimiento del mismo se transformará, por medio de engranajes y palancas, en un desplazamiento que se observa en una escala.

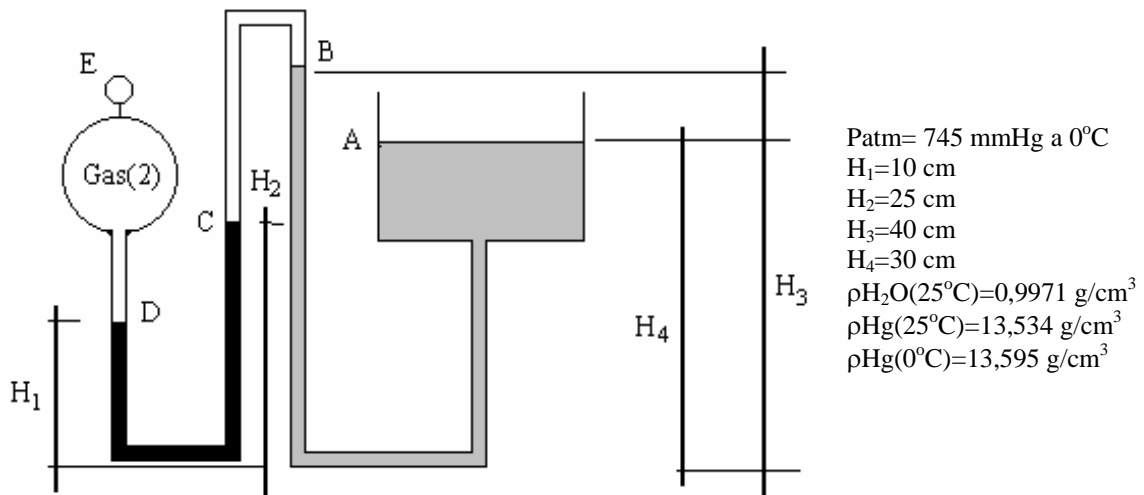
Si el manómetro marca, cuando está abierto a la atmósfera, una presión cero, la lectura en él será una presión relativa. En cambio si marca la presión atmosférica, medirá presiones absolutas.

La atmósfera estándar referida a un campo gravitacional estándar es equivalente a: 14,7 psi, 760 mm Hg, 1 atm, 33,91 ft H₂O, 29,92 in Hg y 101300 Pa.

Ejemplo: Calcúlese la presión del gas en (1) y en (2). ¿Qué presión marcará el manómetro E?

Sigue.....

Continuación de Presión.....



$$P_A = P_{atm}$$

$$P_B = 745 \text{ mmHg}_g(0^\circ\text{C}) \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} 13,595 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \frac{981 \text{ cm}}{\text{s}^2} \frac{1 \text{ grf s}^2}{981 \text{ g cm}}$$

$$+ (30 \text{ cm} - 40 \text{ cm}) 13,534 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \frac{981 \text{ cm}}{\text{s}^2} \frac{1 \text{ grf s}^2}{981 \text{ g cm}}$$

$$P_B = 877,49 \text{ grf/cm}^2$$

Se puede suponer que todo el gas contenido en (1) tiene la misma presión, que su densidad es ínfima respecto a la de los líquidos; por lo tanto.

$$P_C = P_B$$

$$P = P_C + \rho_{H_2O}(H_2 - H_1) \frac{\text{g}}{\text{g}_c}$$

$$P = 877,49 \text{ grf/cm}^2 + 0,9971 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} (25 \text{ cm} - 10 \text{ cm}) 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \frac{1 \text{ grf s}^2}{981 \text{ g cm}}$$

$$P = 892,44 \text{ grf/cm}^2$$

Sigue.....

Continuación de Presión.....

Por la misma razón que la anterior:

$$P_E = P_D$$

$$P_{\text{man}} = P_E - P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{man}} = 892,44 \frac{\text{grf}}{\text{cm}^2} - 745 \text{ mmHg} \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} 19,595 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \frac{1 \text{ grf s}}{981 \text{ g cm}}$$

$$P_{\text{man}} = -120,39 \frac{\text{grf}}{\text{cm}^2}$$

El signo menos indica que el manómetro medirá 120,39 grf/cm² de vacío.

Densidad

La densidad se define como la relación entre la masa y el volumen. Las técnicas más comunes para medirlas son:

- Desalojamiento de un líquido para el cálculo del volumen.
- Determinación de las dimensiones características para el cálculo del volumen (V).
- Picnometría.
- Hidrómetro.
- Balanza de Westphal y balanza de Edward.

Peso Específico:

El peso específico de una sustancia se define como:

$$p.e. = \frac{\rho}{\rho_{\text{ref}}}$$

Sigue.....

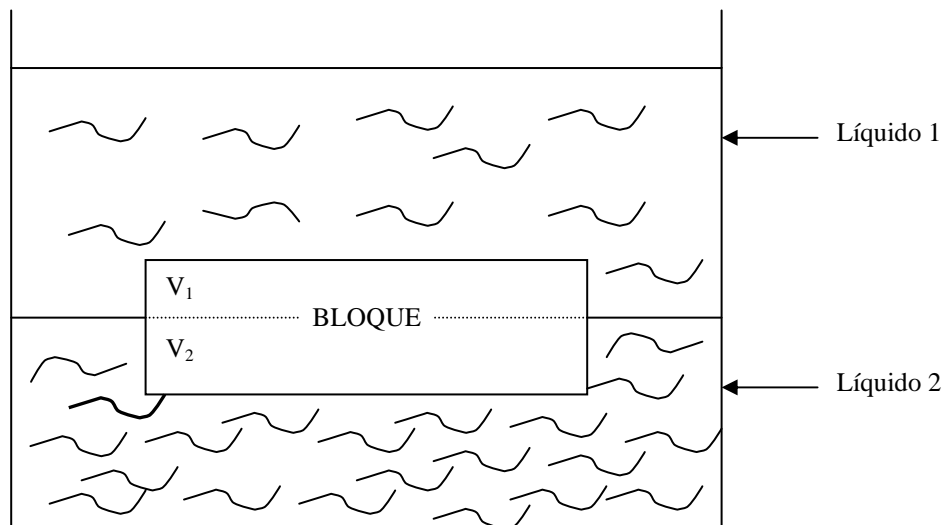
Continuación de Peso Específico.....

La densidad que aparece en el denominador es la densidad del agua a una temperatura de referencia. Por ejemplo, si se lee: $p.e. = 0,4 \frac{25^\circ}{10^\circ}$, significará que el peso específico de la sustancia en cuestión es de 0,4 a 25°C con respecto a la densidad del agua a 10°C .

Ejemplo: Dos líquidos inmiscibles se dejan separar en un recipiente. Uno de los líquidos tiene una gravedad específica de 0,936; el segundo líquido pesa 9,63 lb/gal. Un bloque cuyas dimensiones son $9 \times 9 \times 9 \text{ in}^3$ y que pesa 25,8 lb, se deja caer dentro del recipiente. Se desea saber si el bloque flotará en la parte superior, si se quedará suspendido en la interfase entre los dos líquidos o si se hundirá. ¿Qué fracción del volumen del bloque se encuentra en uno o en ambos líquidos?

Primeramente deben escogerse las unidades de trabajo del ejercicio:

$$m \rightarrow \text{lb}; V \rightarrow \text{gal}; F \rightarrow \text{lbf.}$$



Sigue.....

Continuación de Peso Específico.....

Se supone que haya suficiente volumen de ambos líquidos como para que el bloque quepa en cualquiera de ellos.

$$\rho_1 = 0,936 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 8,345 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} / \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_1 = 7,811 \text{ lb/gal}$$

$$\rho_2 = 9,63 \text{ lb/gal}$$

$$\rho_B = \frac{25,8 \text{ lb}}{9^3 \text{ in}} \frac{0,13368 \text{ ft}^3}{1 \text{ gal}} \left[\frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \right]^3$$

$$\rho_B = 8,175 \text{ lb/gal}$$

El bloque quedará en la interface, ya que podría hundirse totalmente en el líquido 1, pero flotaría sobre el 2. Como va a desalojar fluido de ambos líquidos, la ecuación del empuje vendrá dado por:

$$E = \frac{\rho_1 V_1 g}{g_c} + \frac{\rho_2 V_2 g}{g_c}$$

Donde V_1 y V_2 son los volúmenes sumergidos en los líquidos 1 y 2, respectivamente. Por otra parte, ya que el bloque flota dentro de los líquidos

$$E = \frac{\rho_B V_B g}{g_c} = \frac{m_B g}{g_c}$$

Por último,

$$V_1 + V_2 = V_B$$

Resolviendo:

Sigue.....

Continuación de Peso Específico.....

$$7,811 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} V_1 \frac{\text{g}}{\text{g}_c} + 9,63 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} V_2 \frac{\text{g}}{\text{g}_c} = 25,81 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \frac{\text{g}}{\text{g}_c}$$

$$V_1 + V_2 = 729 \text{ in}^3 \left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right)^3 \frac{1 \text{ gal}}{0,13368 \text{ ft}^3}$$

$$V_1 + V_2 = 3,156 \text{ gal}$$

$$V_1 = 2,525 \text{ gal}; V_2 = 0,631 \text{ gal}$$

$$\% \text{ en el líquido 1: } \frac{V_1}{V_B} 100 = \frac{2,525}{3,156} 100 = 80\%$$

$$\% \text{ en el líquido 2: } \frac{V_2}{V_B} 100 = \frac{0,631}{3,156} 100 = 20\%$$

Gravedad API:

En la industria petrolera se utilizan los °API muy frecuentemente cuando se desea caracterizar un crudo. Estos grados se definen de la siguiente forma:

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{p \cdot e^{\frac{60}{\rho}}} - 131,5$$

Volumen específico:

Se define como el inverso de la densidad:

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

Sigue.....

Continuación.....

Mol:

En el Sistema Internacional se define como: La cantidad de una sustancia que contiene tantas entidades elementales como número de átomos hay en 0,012 kg de Carbono 12. Se le denomina también gramo-mol (gmol).

Unidades de Composición:

Cuando se tiene un sistema en el cual hay más de un componente, se debe conocer las características de cada uno de ellos así como la proporción de cada uno de los componentes con respecto al total. Es por ello que se definen las unidades de composición o concentración.

a) Concentración molar:

Moles de un componente por volumen de solución. Ejemplo: Molaridad (mol/L).

b) Concentración en masa:

Masa de un componente por volumen de solución.

c) Fracción molar (x_i):

Moles de un componente por mol de mezcla.

d) Fracción en masa (w_i):

Masa de un componente por unidad de masa de la mezcla. Ejemplo: partes por millón (ppm).

REFERENCIAS

Creus, A., Instrumentación Industrial, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, 1979.

Felder, R. y R. Rousseau, Principios Elementales de los Procesos Químicos, 2da. Edición, Addison-Wesley Iberoamericana, Delaware, 1991.

Himmelblau, D., Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, Prentice-Hall International Series, London, 1989.

Hougen, O., Watson, K. y R. Ragatz, Principios de los Procesos Químicos, Tomo I: Balances de Materia y Energía. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1982.

Ledanois, J. M. y A. L. López de Ramos, Magnitudes, Dimensiones y Conversiones de Unidades, Equinoccio, Caracas, 1996.

Perry, R. y D. Green, Perry's Chemical Engineer's Handbook, 6th. Ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1984.

Reklaitis, G., Balances de Materia y Energía, McGraw-Hill, México, 1989.

Whitweel, J. y R. Toner, Conservation of Mass and Energy, McGraw-Hill Kogakusha, LTD., Tokyo, 1969.

EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Expresar las siguientes magnitudes en las unidades requeridas:
 - a) 635 g en lbm
 - b) 820 l en ft³
 - c) 23 g/l en lbm/ft³
 - d) 18,3 lbf/in² en kgf/cm² y en kN/m²
 - e) 50 milla/h en ft/s y en m/s
 - f) 5,30 cm/h² en mm/s²
 - g) 75 J en BTU y en cal
 - h) 35 kJ/kg en BTU/lb y en cal/g
 - i) 120 HP en kW y en BTU/min
 - j) 12 kW/(m K) en BTU/(h ft °R)
 - k) 1,82 BTU/(h ft² °F) en W/(m² K)

2. Por un ducto fluyen 50 lbm de gasolina a una velocidad de 5 ft/s. ¿Cuál es la energía cinética de la gasolina en [lbf.ft] y en Joules?

3. La capacidad calorífica del acetileno (C₂H₂) a 30 °C es de 10,6 cal/(gmol °C). Expresar esta cantidad en BTU/(lbmol °F) y en kJ/(kmol K)

4. Bajo ciertas circunstancias la variación de la densidad con la temperatura se puede modelar mediante una relación lineal de la forma:

$$\rho = \rho_0 + A T$$
 donde:

ρ :	densidad a la temperatura T (lbm/ft ³)
ρ_0 :	densidad a la temperatura T ₀
T:	temperatura en °F

 - a) Si la ec. es dimensionalmente consistente, determine las unidades de A.
 - b) Si para el agua líquida $A = -7,116 \cdot 10^{-3}$ y $\rho_0 = 62,6$ en las unidades correspondientes, ¿cuáles serían sus nuevos valores si se quiere trabajar en el sistema internacional (ρ en kg/m³ y T en K)?

5. La caída de presión debida a la fricción de un líquido que fluye a través de una tubería se calcula mediante la ecuación:

$$\Delta P = \frac{2fL\rho V^2}{D}$$

- donde:
- | | |
|--------------|---------------------------|
| ΔP : | Caída de presión |
| L: | Longitud del tubo |
| D: | Diámetro interno del tubo |
| V: | Velocidad |
| ρ : | Densidad del fluido |
| f: | Factor de fricción |

Sigue.....

Continuación Ejercicios.....

- a) Determine si la ecuación es dimensionalmente consistente y qué unidades debe tener f.
 b) ¿Dejaría de ser consistente la ecuación si se utiliza el sistema inglés de ingeniería?

6. La densidad de cierto líquido está dada por la ecuación:

$$\rho = (A + BT) * \exp(cP)$$

donde: ρ : densidad en g/cm³
 P: presión en atm
 T: temperatura en °C

- a) Si la ecuación es dimensionalmente consistente, ¿cuáles son las unidades de A, B y c?
 b) En las unidades deducidas previamente: A = 1,096; B = 0,00086; c = 0,000953. Determinar A, B y c cuando se requiere ρ en lb/ft³, se mide T en °R y P en lbf/in²

7. El calor específico del aire viene dado por la ecuación:

$$C_p = 6,357 + 1,477 * 10^{-3} T + 2,148 * 10^{-7} T^2$$

donde: C_p : calor específico, cal/(gmol K)
 T: temperatura en K

- a) ¿Cómo quedaría esta ecuación si se desea obtener C_p en BTU/(lbmol °R) y sustituir T en °R?

8. El coeficiente de transferencia de calor por convección de un tubo al aire, se calcula en forma simplificada mediante la siguiente ecuación:

$$h = \frac{0,026 * G^{0,6}}{D^{0,4}}$$

donde: h: coeficiente de transferencia de calor, BTU/(h ft² °F)
 G: flujo de masa por unidad de área, lbm/(h ft²)
 D: diámetro interno del tubo

- a) Si se quiere obtener h en cal/(min cm² °F), ¿cuál sería la nueva constante en la ecuación en sustitución de 0,026?
 b) Si ahora se quiere evaluar la ecuación con G en g/(min cm²) y D en cm, ¿cuál sería el nuevo valor de la constante?

9. La ecuación para el flujo de agua a través de una boquilla es la siguiente:

$$q = C \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{d1}{d2}\right)^4}} * A \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

donde: g: aceleración de gravedad local
 d1: diámetro menor de la boquilla
 d2: diámetro mayor de la boquilla

Sigue.....

Continuación Ejercicios.....

ΔP : caída de presión a través de la boquilla

ρ : densidad del fluido

C: constante adimensional

A: área de la boquilla

Diga si la ecuación es dimensionalmente consistente. Explique.

10. De la Ley de Fourier, la conductividad térmica puede ser definida como:

$$k = - \frac{Q}{\left(\frac{dT}{dx} \right)}$$

donde: Q: calor transferido por unidad de área

T: temperatura

x: distancia

Halle las unidades de k expresando el resultado únicamente en función de dimensiones fundamentales.

11. La densidad del etanol en g/cm^3 se puede expresar como:

$$\rho = 1,032 - 5,392 * 10^{-4} T - 8,712 * 10^{-7} T^2$$

donde: T: temperatura [K]

- ¿Cuáles deben ser las unidades de las tres constantes para que la correlación sea dimensionalmente consistente?
- ¿Cómo debe modificarse la correlación si se quiere la densidad en $[\text{gmol/l}]$?

12. Cambiar del ejercicio anterior la temperatura de K a °F, °C y °R en la correlación de densidad del etanol.

13. El número de Grashof representa la razón de la fuerza de flotación a la fuerza viscosa y se define como:

$$\text{Gr} = \frac{\rho^2 g \beta (T - T_\infty) L^3}{\mu^2}$$

donde: ρ : densidad

g: aceleración

T: temperatura

T_∞ : temperatura del medio

L: longitud

μ : viscosidad

β : coeficiente de expansión volumétrica, tiene dimensiones de $1/T$

- ¿Cuáles son las dimensiones del número de Grashof?

Sigue.....

Continuación Ejercicios.....

- b) Calcular el número de Grashof en el sistema SI sabiendo que:
 $\rho = 52 \text{ lb/gal}$ $T = 270 \text{ }^\circ\text{F}$ $T_\infty = 68 \text{ }^\circ\text{F}$
 $L = 6 \text{ in}$ $\mu = 10^{-4} \text{ g/(h ft)}$ $\beta = 2,18 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{F}$
- c) ¿Cuál será el resultado de la parte b en el sistema inglés? Razone su respuesta.

14. Se tiene la siguiente expresión:

$$Y = \alpha \frac{\left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right)^2}{\frac{\partial^2 W}{\partial Z^2}}$$

donde:

$$\begin{aligned} [Y] &= T^2/L \\ [Z] &= MT/L^2 \\ [x] &= MT^2/L^3 \\ [W] &= ML/T \end{aligned}$$

Halle las dimensiones del coeficiente α y sus correspondientes unidades en el sistema internacional y en el sistema gravitacional inglés.

15. La ecuación que relaciona la presión de vapor con la temperatura es la siguiente:

$$\log P = A + \frac{B}{T} + C * \log T + DT$$

donde:

$$\begin{aligned} P: & \text{ presión de vapor [mm Hg]} \\ T: & \text{ temperatura absoluta [K]} \\ A &= 51,204 \\ B &= -3245,7 \\ C &= -16,403 \\ D &= 7,540 \end{aligned}$$

Determine una ecuación de las mismas características que dé la presión en Pascales cuando la temperatura se expresa en escala centígrada.

16. La conductividad térmica de cierto aislante varía con la temperatura de acuerdo a la siguiente expresión:

$$k = C_0 * r + C_1 * \left(\frac{T - T_0}{T_1 - T_0}\right) + C_2 * r * T$$

donde:

$$\begin{aligned} k: & \text{ conductividad térmica en kJ/(m }^\circ\text{C)} \\ r: & \text{ radio del aislante en m} \\ T: & \text{ temperatura del aislante en }^\circ\text{C} \\ T_1 \text{ y } T_0: & \text{ temperatura del medio interno y externo} \\ & \text{ respectivamente en }^\circ\text{C} \\ C_0, C_1 \text{ y } C_2: & \text{ constantes} \end{aligned}$$

Sigue.....

Continuación Ejercicios.....

- a) Determine las unidades de las constantes para que la ecuación sea dimensionalmente consistente.
- b) Determine una ecuación de las mismas características que dé la conductividad térmica en BTU/(ft °R), cuando la temperatura se expresa en °F y el radio en in.

17. Uno de los parámetros de mayor utilidad en ingeniería química es el número de Reynolds, el cual está dado por la siguiente expresión:

$$Re = \frac{D * u * \rho}{\mu}$$

donde: D: diámetro o longitud característica
 ρ: densidad del fluido
 u: velocidad
 μ: viscosidad del fluido

- a) ¿Cuáles son las dimensiones del número de Reynolds?
- b) Calcular el número de Reynolds para los siguientes casos:
 b.1) D=2 in; u=13 cm/min; ρ=52 lb/gal; μ=10⁻⁴ g/(h ft). (Resultado en SI)
 b.2) D=2 mm; u=13 ft/s; ρ=43 g/l; μ=0,15 cP. (Resultado en S. inglés)
- c) ¿Cuál será el resultado de la parte b.1) en el sistema inglés? Razone su respuesta.

18. Se mezclan 12 galones de un crudo que tiene una densidad de 52 lb/ft³ con 70 l de otro hidrocarburo con una gravedad API de 20. Si los volúmenes son aditivos, determine la gravedad API de la mezcla.

19. Se tiene un medidor placa orificio ubicado en una tubería por donde circula aire. La máxima caída de presión que se espera en el orificio es de 20,7 kPa. Se desea instalar un manómetro en “U” para medir la caída de presión al variar el caudal que circula por la tubería (ver Figura 1.1). Diseñe el manómetro que mejor se ajuste a las condiciones del problema (ver Tabla 1.1), y explique por qué descarta los otros.

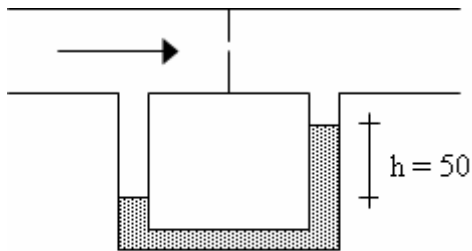


Figura 1.1

Sigue.....

Tabla 1.1

Líquido manométrico	Densidad (kg/m^3)
CCl_4	1590
Agua	1000
Metanol	790
Mercurio	13600

20. El manómetro mostrado en la Figura 1.2 utiliza como líquido manométrico aceite con una densidad relativa de 0,90 y permite medir la diferencia de nivel entre los dos tanques, tal como se indica. Si la presión ejercida sobre la superficie libre de cada tanque es la misma, determine la diferencia de nivel existente entre los dos tanques.

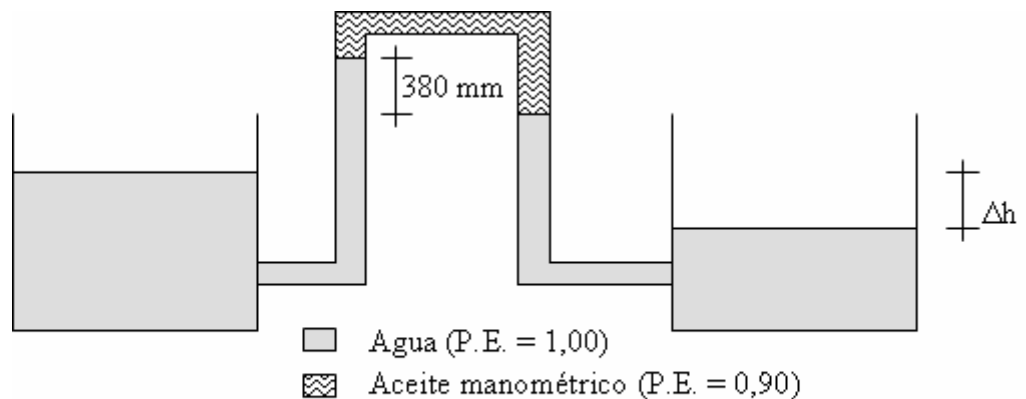


Figura 1.2

21. En el sistema mostrado en la Figura 1.3 se lee una presión de 413,7 kPa en el manómetro A, y el manómetro C marca 344,7 kPa. El émbolo D tiene una masa de 181 kg y un área transversal de $0,0465 \text{ m}^2$. La presión barométrica local es de 740 mmHg y la gravedad local es de $9,8 \text{ m/s}^2$. La densidad del líquido manométrico (Hg) es de $13,6 \text{ g/cc}$. Calcular:
- Presión absoluta en kPa de la sección II.
 - La lectura del manómetro B en kPa
 - La altura de la columna de mercurio h
 - Valor de h si el líquido manométrico fuera agua (1 g/cm^3) en lugar de mercurio.

Sigue.....

Continuación Ejercicios.....

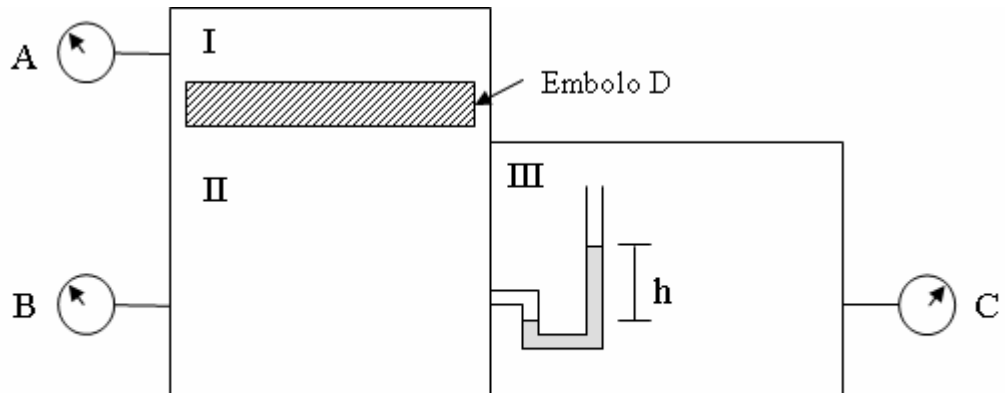


Figura 1.3

22. Un gas está contenido en dos cilindros A y B conectados por un pistón doble de diámetros diferentes (ver Figura 1.4). La masa del pistón es de 10 kg y la presión en A es de 200 kPa. Se tiene además que el diámetro del cilindro A es de 15 cm y el de B es de 5 cm. Calcular la presión en el cilindro B si la aceleración de gravedad es de $9,7 \text{ m/s}^2$

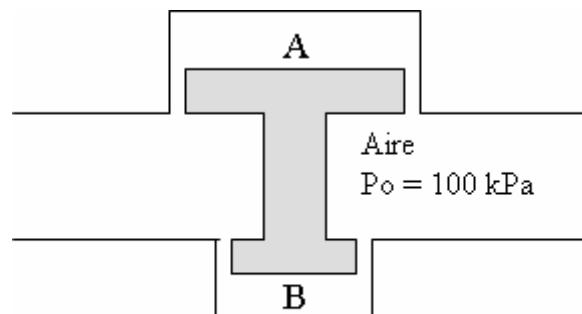


Figura 1.4

23. Se tiene el siguiente sistema mostrado en la Figura 1.5. Al recipiente A está conectado un manómetro diferencial cuyo fluido manométrico tiene una densidad de $13,6 \text{ g/cm}^3$. La lectura del manómetro de Bourdon conectado al recipiente B es de 500 kPa, y el que está conectado al recipiente C indica una lectura de 200 kPa. Determinar las presiones absolutas en los tres recipientes. Considere la presión atmosférica de 100 kPa y $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Sigue.....

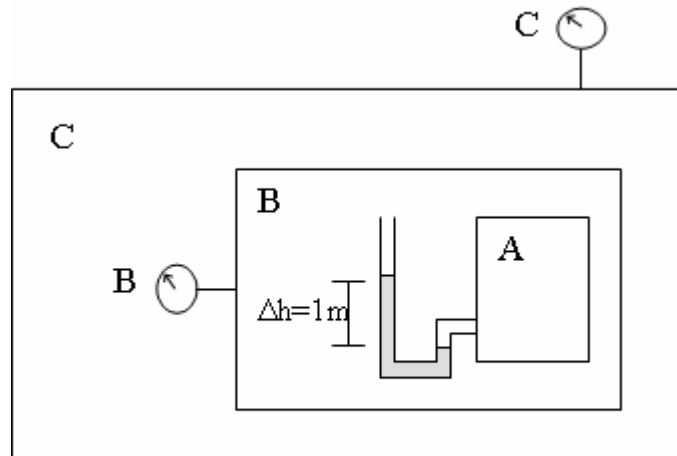


Figura 1.5

24. En el sistema mostrado en la Figura 1.6, determine la densidad del fluido intermedio (ρ^*), sabiendo que: $h_1 = 16$ cm, $h_2 = 4$ cm, $h_3 = 10$ cm, $h_4 = 15$ cm. Comente su respuesta.

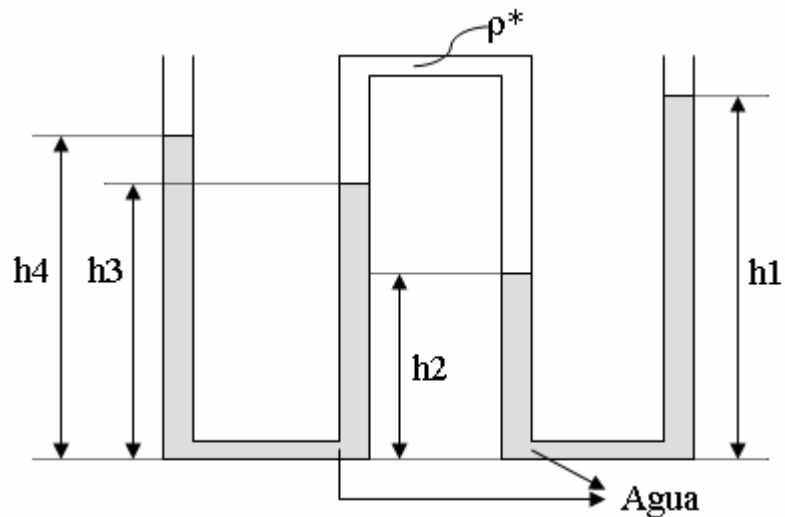


Figura 1.6

25. Un tanque cerrado, tal como se muestra en la Figura 1.7 contiene agua hasta una altura de 15 m, y el volumen restante es ocupado por aire a una presión manométrica de 0,14 MPa. Dicho tanque está conectado por aire a una tubería a un cilindro que contiene agua y está encerrado dentro de una cámara de aire a presión. El cilindro está provisto de un pistón cuya masa es de 50 kg. Para las condiciones indicadas, ¿qué diámetro debe tener el pistón? Considere gravedad y presión atmosférica estándar.

Sigue.....

Continuación Ejercicios.....

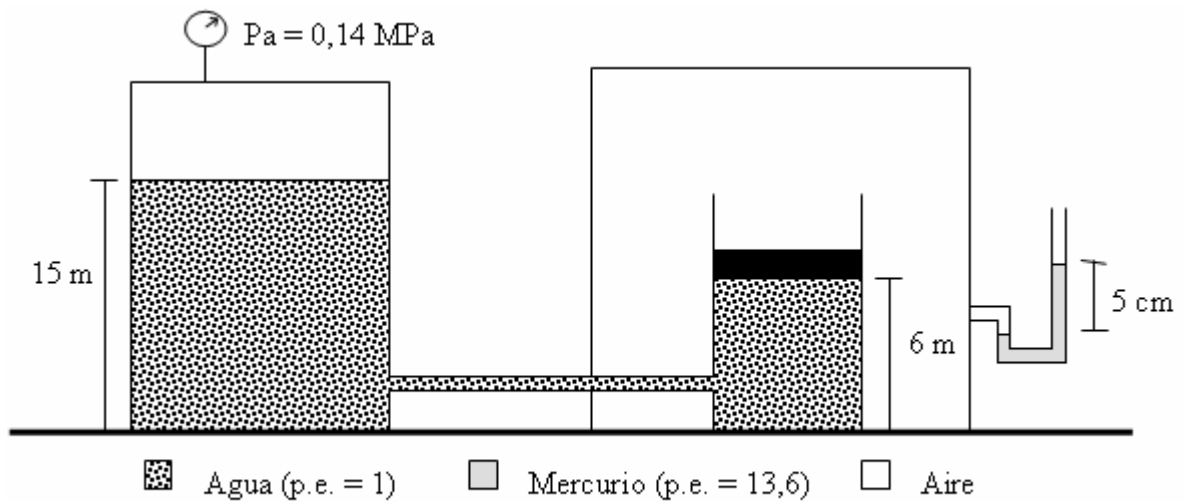


Figura 1.7

26. El sistema mostrado en la Figura 1.8 se encuentra en equilibrio y el manómetro A indica 0,11 MPa. Las masas de ambas paredes móviles (I-II) y (I-III) son de 56 kg y sus áreas transversales de $0,0271 \text{ m}^2$. Calcule la presión absoluta en cada uno de los compartimentos si la densidad del líquido manométrico es de $13,6 \text{ g/cm}^3$. La presión atmosférica no es dato.

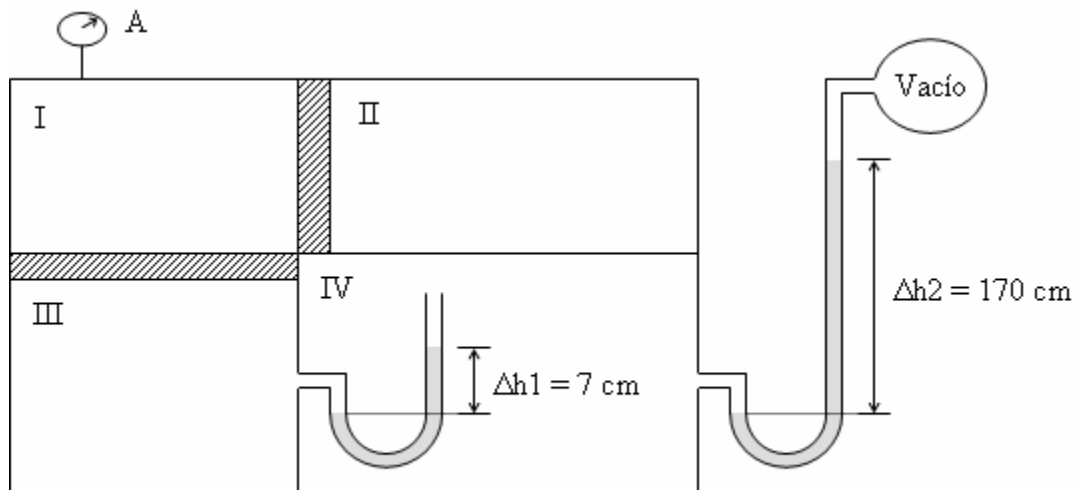


Figura 1.8

Sigue.....

Continuación Ejercicios.....

27. Para el sistema mostrado en la Figura 1.9, sabiendo que $h_1 = 15$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 40$ cm, $h_4 = 30$ cm y la presión atmosférica es de 760 mm Hg, calcule:

- La presión del gas en (1) y (2).
- La presión que marcará el manómetro de Bourdon.

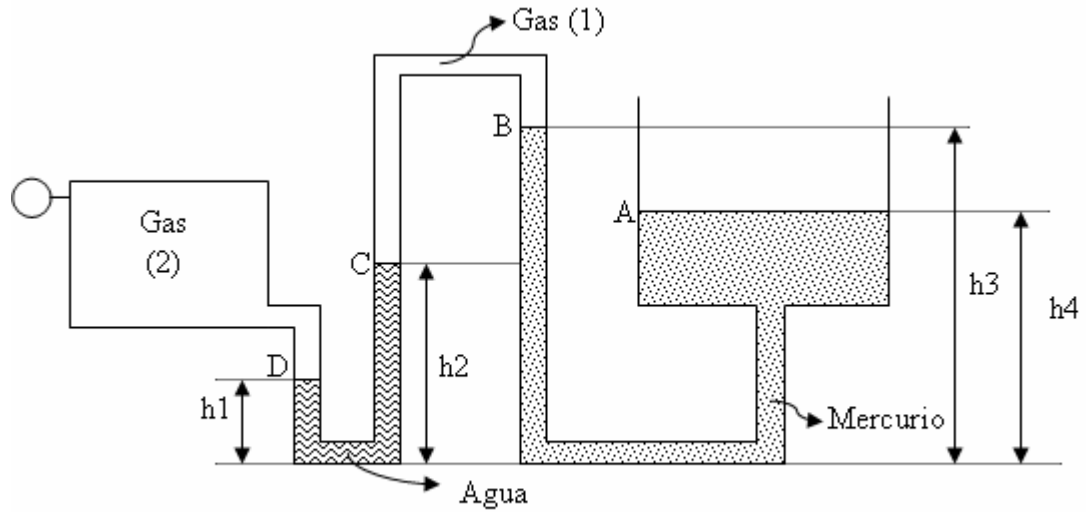


Figura 1.9