

Unidad 1

Diagrama de Bloques de Proceso

Material de apoyo



E-LERNOVA

Tecnológico de
Energía e Innovación

E-lernova 2016

Juana Juyo – Ingeniera Química

contenido

GENERALIDADES.....	3
Bienvenida	3
Competencia.....	3
Objetivos de aprendizaje de la unidad	3
PRECONCEPTOS.....	4
CONCEPTOS.....	6
Sistemas de unidades	6
Sistema Internacional	6
Sistema Inglés.....	8
Otros sistemas y unidades de medida	9
Conceptos básicos	11
Temperatura	11
Presión.....	13
Volumen	16
Masa.....	17
Ley de conservación de la materia.....	18
Concentraciones	18
Características de los fluidos	18
Definición de fluido.....	18
Líquidos	19
Gases.....	19
Propiedades de los fluidos	19
Viscosidad	19
Densidad	20
Gravedad específica.....	20
Volumen específico	21
Compresibilidad	21
Presión de vapor	22
BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA.....	23



GENERALIDADES

Bienvenida

El propósito de este material es mostrarte los conceptos y definiciones básicas empleadas en el diseño de procesos industriales, buscando establecer bases concretas para el entendimiento de los diagramas de proceso, empezando por el diagrama de bloques de proceso.

El estudiante adquirirá conocimientos en unidades de medida de las diferentes propiedades. Y conceptos como temperatura, presión, masa, volumen, conservación de la materia, concentraciones y características de los fluidos.

Competencia

Identificar las unidades de medida y las características principales de los fluidos, buscando establecer bases concretas para el entendimiento y aplicación de estos en los diagramas de procesos, de acuerdo a las herramientas y conocimientos adquiridos.

Objetivos de aprendizaje de la unidad

Identificar las unidades para las dimensiones fundamentales de acuerdo a los diferentes sistemas de unidades: Sistema internacional, Sistema Inglés y sistema Cegesimal CGS.

Diferenciar las escalas de medición de temperatura: Celsius, Kelvin, Fahrenheit y Rankine.

Entender los conceptos de temperatura, presión, volumen y masa.



PRECONCEPTOS

El estudiante deberá tener claros conceptos de física elemental y de química general como base para el entendimiento de la unidad.

Longitud: magnitud física que determina la distancia, es decir, la cantidad de espacio que existe entre dos puntos.

Tiempo: magnitud física con la que se mide la duración de acontecimientos.

Metro: Unidad principal de unidades de longitud del sistema internacional de unidades.

Centímetro: medida de longitud, hay 100 centímetros en un metro.

Horas: Unidad de tiempo y corresponde a 60 minutos.

Moléculas: Corresponde a la partícula más pequeña que presenta todas las propiedades físicas y químicas de una sustancia. Se encuentra formada por dos o más átomos.

Átomos: Unidad constituyente más pequeña de la materia ordinaria que tiene las propiedades de un elemento químico.

Materia: Todo aquello que ocupa un lugar en el espacio.

Partícula: El átomo está compuesto por partículas aún más pequeñas como el electrón (carga eléctrica negativa), protón (carga positiva), neutrón (carga neutra). Los protones y neutrones forman el núcleo central del átomo.

Elemento: Sustancia que no puede descomponerse químicamente en otras más simples, formadas por átomos iguales.

Compuesto: Sustancias que se encuentran formadas por moléculas de dos o más clases de átomos.

Mezcla: Unión de dos o más sustancias que conservan sus propiedades.

Magnitud: Propiedad que puede ser medida.

Medición: Técnica a través de la cual se le asigna un número a una propiedad física.

Gravedad: Propiedad de atracción mutua que poseen los objetos compuestos de materia- se refiere a la fuerza gravitacional entre la tierra y los objetos que se encuentran en la superficie o cercana a ella.

Velocidad: variación de la posición de un cuerpo por unidad de tiempo.



Aceleración: Variación de la velocidad de un objeto por unidad de tiempo.

Sistema de unidades: Conjunto de distintas unidades básicas de las magnitudes fundamentales.



CONCEPTOS

Sistemas de unidades

Toda cantidad que pueda ser medida o que sea contable debe tener un valor numérico y una unidad.

La propiedad que puede medirse (longitud, tiempo, masa o temperatura) es llamada dimensión, y la forma de expresar esas dimensiones (metros, centímetros, horas, segundos) unidad.

Al multiplicar y dividir dos unidades fundamentales o sus múltiplos, se obtienen las unidades derivadas (Volumen, fuerza, presión, energía, trabajo).

Actualmente existen tres sistemas de unidades empleados ampliamente en la ciencia y en la ingeniería: El sistema internacional (Systeme International d'unités), el sistema inglés o *sistemaplas (fps)* y el sistema *cgs*.

Sistema Internacional

El sistema internacional (SI) es el sistema oficial de unidades, ya que cubre todo el campo de la ciencia y de la Ingeniería. En este, la unidad de longitud es el metro (m), la del tiempo es el segundo (s) la de temperatura es el Kelvin (K); y la de la masa es kilogramo (kg).

A continuación se muestran las dimensiones fundamentales con su correspondientes unidades SI.

Tabla 1. Unidades del SI (Himmelblau, 1997).

Dimensión	Unidad (SI)	Símbolo de la Unidad	Definición de la unidad
Unidades Básicas del SI			
Longitud	metro	m	
Masa	Kilogramo	Kg	
Tiempo	Segundo	s	
Temperatura	kelvin	K	
Cantidad de sustancia	Mol	mol	



Corriente eléctrica	amperio	A	
Intensidad luminosa	candela	cd	
Unidades derivadas del SI			
Energía	joule	J	$\text{Kg.m}^2/\text{s}^2$
Fuerza	newton	N	$\text{Kg.m}/\text{s}^2$
Potencia	watt	W	J/s
Velocidad	Metro por segundo		m/s
Aceleración	Metro por segundo al cuadrado		m/s^2
Presión	Newton por metro cuadrado, pascal		N.m^2 , Pa
Capacidad calorífica	joule por (kilogramo kelvin)		$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Densidad	Kilogramo por metro cúbico		Kg/m^3
Unidades alternativas			
Tiempo	Minuto, hora, día, año	min, h, d, a	
Temperatura	Grado Celsius	$^{\circ}\text{C}$	
Volumen	Litro (dm^3)	L	
Masa	Tonelada , gramo	t, g	

En el sistema internacional, las unidades, sus múltiplos y submúltiplos se relacionan mediante el uso de prefijos. La tabla 2 resume los prefijos más comunes y sus abreviaturas.



Tabla 2. Prefijos y abreviaturas.

Factor	Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo
10^9	Giga	G	10^{-1}	deci	d
10^6	Mega	M	10^{-2}	centi	c
10^3	Kilo	K	10^{-3}	mili	m
10^2	Hecto	H	10^{-6}	micro	μ
10^1	Deca	da	10^{-9}	nano	n

Sistema Inglés

En cuanto al sistema inglés, las unidades fundamentales son el pie (ft) para la longitud, la libra (lb) para la masa y el segundo para el tiempo (s).

A continuación se muestran las unidades fundamentales del sistema inglés.

Tabla 3. Unidades del sistema Inglés (Himmelblau, 1997).

Dimensión	Nombre de la unidad	Símbolo
Longitud	Pie	ft
	Pulgada	In
	Yarda	Yd
	Milla	Mi
Masa	libra (masa)	lb _m
	Onza	Oz
	tonelada	t
Volumen	Galón	gal
	Cuarto	qt
	Pie cúbico	ft ³



Fuerza	libra (fuerza)	lb _f
Tiempo	segundo, hora	s,h
Temperatura	grado Rankine	° R
Unidades derivadas		
Energía	pie libra (fuerza)	Btu, (ft)(lb _f)
Potencia	Caballo de fuerza	hp
Densidad	Libra (masa) por pie cúbico	lb _m /ft ³
Velocidad	Pie por segundo	ft/s
Aceleración	Pie por segundo al cuadrado	ft/s ²
Presión	Libra (fuerza) por pulgada cuadrada	lb _f /pulg ²
Capacidad Calorífica	Btu por libra (masa) por grado Fahrenheit	Btu/(lb _m)(° F)

Otros sistemas y unidades de medida

El sistema cgs es muy similar al sistema internacional, la diferencia radica en que este utiliza como unidades de masa y longitud gramos (g) y centímetros (cm), en lugar de kilogramo y el metro (ver tabla 4).

Tabla 4. Unidades del sistema CGS (Himmelblau, 1997).

Dimensión	Unidad (SI)	Símbolo de la Unidad	Definición de la unidad
Unidades Básicas del CGS			
Longitud	centímetro	cm	
Masa	gramo	g	
Tiempo	Segundo	s	



Temperatura	kelvin	K	
Cantidad de sustancia	mol	mol	
Corriente eléctrica	amperio	A	
Intensidad luminosa	candela	cd	
Unidades derivadas del CGS			
Energía	erg	J	$\text{g.cm}^2/\text{s}^2$
Fuerza	dina		$\text{g.cm}/\text{s}^2$
Potencia	watt	W	J/s
Velocidad	centímetro por segundo		cm/s
Aceleración	Centímetro por segundo al cuadrado		cm/s^2

En la industria del petróleo se emplea como unidad de volumen el barril o galones estadounidenses. Un barril equivale a 159 litros y a 42 galones E.E.U.U. La cantidad de crudo producido, transportado o tratado se expresa en barriles por día (bpd).

Para expresar la gravedad o la densidad del crudo se utilizan los grados API (American Petroleum Institute) y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$API = \left[\frac{141.5}{\text{Gravedad específica a } 60^\circ\text{F}} \right] - 131.5$$

De esta manera a mayor gravedad API, el crudo será más liviano.

A continuación se muestra los rangos de gravedad API para diferentes tipos de crudo:



Tabla 5. Densidad de Crudos

Aceite Crudo	Densidad (gr/cm ³)	Gravedad API
Extrapesado	>1.0	10
Pesado	1.0 - 0.92	10.0 - 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 - 31.1
Ligero/liviano	0.87 - 0.83	31.1 - 39
Superligero	<0.83	>39

*Tomado de : <http://profesores.fi-b.unam.mx/I3prof/Carpeta%20energ%EDa%20y%20ambiente/>

Es necesario tener en cuenta que cada uno de los términos de una ecuación tiene que tener las mismas dimensiones y unidades que todos los demás términos con los que se suma, resta o iguala. (Himmelblau, 1997).

Así mismo, los símbolos se pueden agrupar en grupos que no tengan unidades netas formando grupos adimensionales.

Conceptos básicos

Temperatura

La temperatura se define como una magnitud que refleja la cantidad de calor de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.

Generalmente la temperatura se registra en grados Fahrenheit (°F), que es la unidad inglesa, o en grados Celsius o centígrados (°C) que corresponde a la unidad del sistema internacional. Ambas utilizan como patrón el punto de congelación (0 °C) y el punto de ebullición del agua a 1 atmósfera de presión (100 °C). También se puede expresar la temperatura en grados Kelvin (K) o grados absolutos y en grados Rankine (°R). (Geankoplis, 1998).

La escala de temperatura para los grados Kelvin o de temperatura absoluta, se definió de tal forma que las diferencias de temperatura tengan el mismo valor que en la escala Celsius, es decir una diferencia de temperatura de 1°C es equivalente a 1°K. Sin embargo no usa como referencia la escala Celsius. (Picado, Ana Beatriz; Milton, Alvarez;, 2005).

Los puntos de referencia para la escala Kelvin son el cero absoluto de temperatura (0 K) y la temperatura del punto triple del agua (273.16 K). En la escala termodinámica, se tiene que el



punto de congelación del agua es de 273.15 K, por tal razón a los grados Celsius se le suman 273.15K para convertirlos a grados kelvin (Picado, Ana Beatriz; Milton, Alvarez;, 2005).

El punto de congelación del agua en la escala Fahrenheit es de 32 °F y el de ebullición de 212 °F, es decir que la diferencia entre estos dos puntos es de 180 °F. Por lo que una diferencia de 5 °C es igual a una diferencia de temperaturas de 9 °F, es decir: $1 = 5^{\circ}\text{C} / 9^{\circ}\text{F}$. (Picado, Ana Beatriz; Milton, Alvarez;, 2005)

Comúnmente la temperatura se mide en termómetros, los cuales contienen mercurio u otro fluido que pueden indicar el grado de “calentamiento” por longitud de la columna de fluido.

A continuación se muestran las escalas de temperatura y sus equivalencias:

Tabla 6. Escalas de temperatura y equivalencias. (Geankoplis, 1998)

	Centígrados	Fahrenheit	Kelvin	Rankine
Agua en ebullición	100 °C	212 °F	373.15 K	671.7 °R
Fusión del hielo	0 °C	32 °F	273.15 K	491.67 °R
Cero absoluto	-273.15 °C	-459.7 °F	0 K	-273.15 °C

Figura 1. Escalas de temperatura. Tomado de:
<http://www.mailxmail.com/curso-refrigeracion-domestica-manual-tecnico/temperatura-concepto>

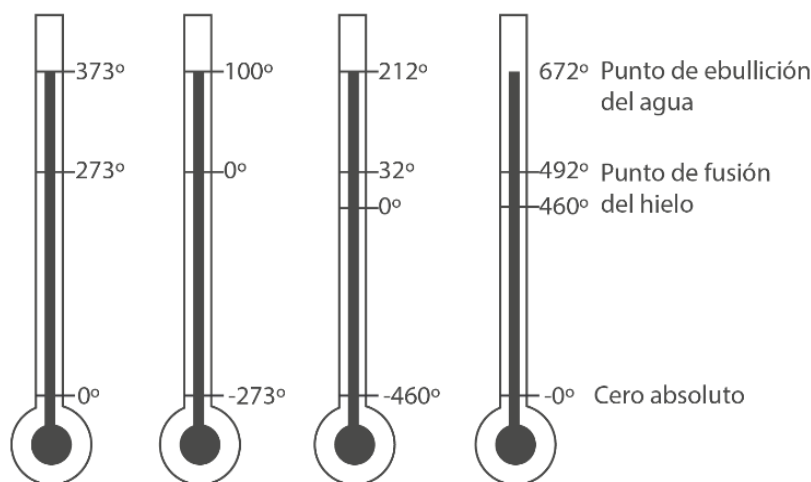


Figura 2. Conversiones escalas de temperatura.

Fahrenheit a Celsius: $C = \frac{F - 32}{1,8}$	Celsius a Fahrenheit: $F = C * 1,8 + 32$	Kelvin a Celsius: $K = C + 273,15$	Celsius a Kelvin: $C = K - 273,15$
Kelvin a Fahrenheit $F = \frac{9(K - 273,15)}{5} + 32$	Fahrenheit a Kelvin $K = \frac{5(F - 32)}{9} + 273,15$		
Rankine a Fahrenheit $F = Ra - 459,67$	Fahrenheit a Rankine $Ra = F + 459,67$		
Rankine a Celsius $C = \frac{5(Ra - 491,67)}{9}$	Celsius a Rankine $Ra = \frac{9C}{5} + 491,67$		
	Celsius a Réaumur $Re = \frac{4C}{5}$		

* Tomado de: <http://guias.masmar.net/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/Temperatura.-la-temperatura-en-la-atm%C3%B3sfera>

Presión

La presión se define como la fuerza que se ejerce en una unidad de área superficial.

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

Donde:

$$F = m * g$$

m= Masa del objeto (kg)

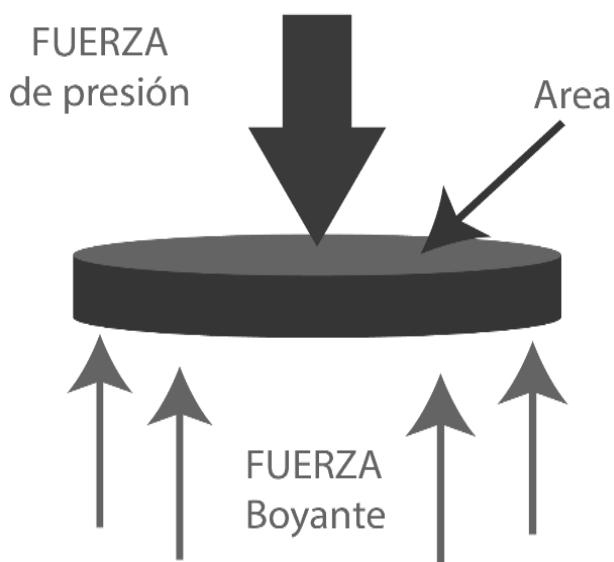
g= Gravedad (m/s)

A= Área superficial (m²)



La unidad estandarizada es el pascal (Pa) que corresponde a N / m^2

Figura 3. Concepto de presión.



Teniendo en cuenta el concepto de presión, se concluye que a mayor área superficial, la presión aplicada va a ser menor, y a menor área superficial, la presión va a ser mayor.

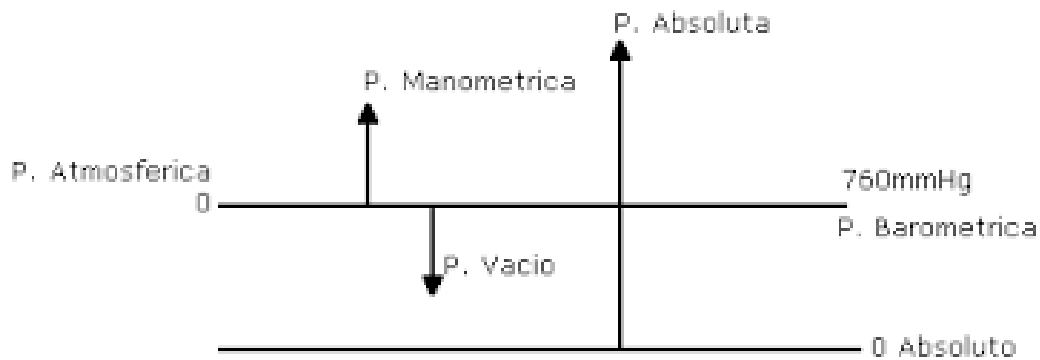
La presión absoluta hace referencia a la presión real que se encuentra en una posición dada. Es decir es la que se mide con respecto al cero absoluto de presión (vacío).

La presión atmosférica o barométrica es la que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre. Esta varía dependiendo del lugar, a nivel del mar esta presión es de 760 mmHg o 1 atmósfera.

La presión manométrica es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica.

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{manometrica}} + P_{\text{atmósferica}}$$

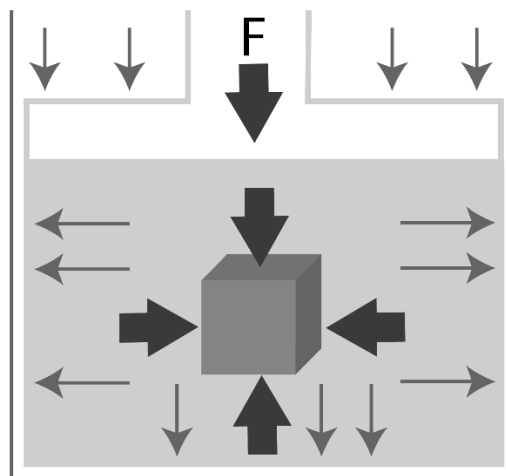
Figura 4. Medidas de presión.



* Tomado de:

http://es.slideshare.net/camilorene/instrumentacin-de-control-clase-7-presion?qid=5f7771e3-fc30-4e80-98c6-e3da8e1edc33&v=qf1&b=&from_search=5

Figura 5. Presión de un fluido.



*Tomado de:

<http://genesis.uag.mx/edmedia/material/fisicall/hidraulica.cfm>

La presión que ejerce un fluido en un tubo de sección transversal, se puede obtener a través de la siguiente ecuación:

$$P = \rho gh$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido

g = gravedad

h = altura

Por lo tanto se tiene lo siguiente:

$$P \text{ absoluta} = P \text{ atmosferica} + \rho gh$$

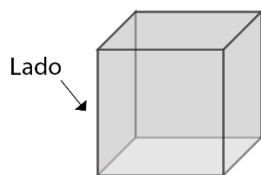
Tip: No confunda los conceptos de presión absoluta, manométrica y atmosférica. Recuerde que la presión absoluta es la presión interna que tiene un sistema. La presión atmosférica, que es llamada también barométrica corresponde a la presión que ejerce la atmosfera sobre los cuerpos y la manométrica es la diferencia de las presiones anteriores.

Volumen

El volumen es la cantidad de espacio que ocupa un cuerpo. Es una magnitud derivada que se obtiene multiplicando las longitudes correspondientes a las 3 dimensiones del espacio.



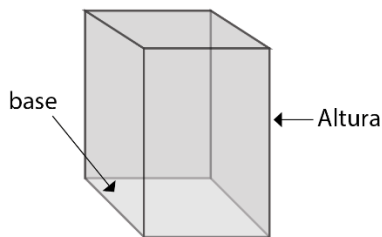
Cubo



$$\text{Volumen cubo} = l^3$$

El volumen de un cubo se obtiene elevando al cubo la longitud de su arista.

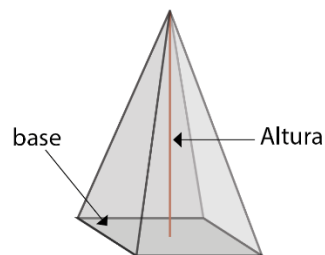
Prisma



$$\text{Volumen prisma} = \text{sup. base} \times h$$

El volumen de un prisma se obtiene multiplicando la superficie de su base por la altura del prisma.

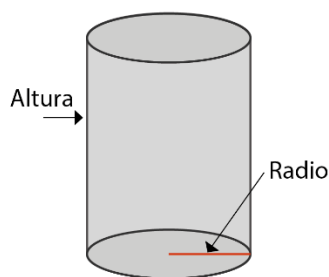
Pirámide



$$\text{Volumen pirámide} = \frac{\text{sup. base} \times h}{3}$$

El volumen de una pirámide es equivalente a un tercio del volumen de un prisma de igual base y altura.

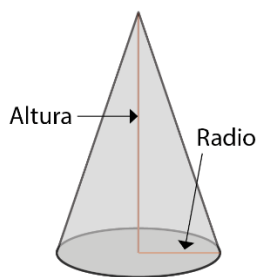
Cilindro



$$\text{Volumen cilíndrico} = (\pi \times r^2) \times h$$

El volumen de un cilindro se obtiene multiplicando la superficie de su base por la altura del cilindro.

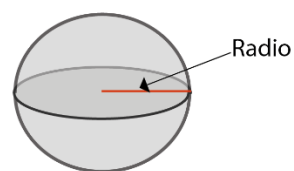
Cono



$$\text{Volumen cono} = \frac{(\pi \times r^2) \times h}{3}$$

El volumen de un cono es equivalente a un tercio del volumen de un cilindro de igual base y altura.

Esfera



$$\text{Volumen esfera} = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3$$

El volumen de una esfera es igual a $\frac{4}{3}$ de un π por el radio al cubo.

Masa

La masa se define como una magnitud física que indica la cantidad de materia (átomos o moléculas) contenida en un cuerpo. Aunque dos cuerpos o fluidos ocupen el mismo volumen, estos pueden diferir en el número de moléculas o átomos presentes, o pueden ocupar diferente volumen, y tener el mismo número de átomos.

Hay que tener en cuenta que masa y peso son dos conceptos diferentes, ya que el peso es una fuerza que depende de la atracción gravitacional. Este último se calcula multiplicando la masa por la gravedad (<http://iquimicas.com/clases-de-quimica-general-definiciones-de-masa-volumen-densidad-energia-y-trabajo-leccion-de-quimica-n-2/>):

$$P = m \times g$$

Tip: No confunda el concepto de masa y peso. El peso es una fuerza que depende de la atracción gravitacional y la masa es una magnitud que indica la cantidad de materia contenida en un cuerpo.

Ley de conservación de la materia

La ley de conservación de la materia en resumen es:

“La materia no se crea ni se destruye solo se transforma.”

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} - \text{Consumo}$$

El balance de materia se puede realizar de manera global para todo el sistema o por componentes.

Para un sistema en estado estacionario, en el que las variables del sistema no cambian con el tiempo, el término acumulación es cero.

De acuerdo con esto y si no se tienen en cuenta los parámetros de generación y consumo, el balance de materia se reduce a: Lo que entra debe ser igual a lo que sale.

Concentraciones

Cualquiera sea la forma de expresar la concentración, esta referirá la cantidad de soluto disuelto en una determinada cantidad de disolvente o disolución. Dado que estas cantidades pueden expresarse en unidades de masa, cantidad de sustancia o volumen, la concentración de una disolución puede expresarse de diferentes formas. Por ejemplo, la concentración de crudo en agua puede expresarse en fracción másica, fracción volumétrica, o en unidades de concentración como ppm (partes por millón)

Características de los fluidos

Definición de fluido

Un fluido se considera como una sustancia capaz de fluir, que cambia su forma continuamente cuando es sometido a un esfuerzo cortante (Shames, 1995). Por lo tanto en ausencia de este, no habrá deformación.



Un esfuerzo cortante corresponde a la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado.

Pueden dividirse en líquidos o gases. Estos no tienen forma definida y pueden adquirir la forma del recipiente que los contiene.

Líquidos

El líquido es un estado de la materia en forma incompresible, es decir, que su volumen no cambia cuando es sometido a una fuerza de presión. A diferencia de un sólido, las moléculas en los líquidos no se encuentran tan próximas como las de un sólido, pero menos separadas que los gases, y pueden deslizarse unas sobre otras facilitando su fluidez.

Gases

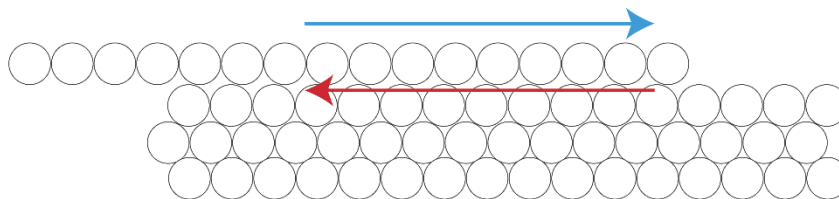
Los gases son más simples que los líquidos y los sólidos, ya que bajo condiciones de temperatura y presión, sus moléculas interactúan débilmente entre sí, adoptando la forma y el volumen del recipiente que las contiene.

Propiedades de los fluidos

Viscosidad

Llamada también viscosidad dinámica o absoluta (μ), y hace referencia a una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido o la fricción entre las capas internas de un fluido. Esta resistencia se produce debido a las fuerzas de interacción entre las moléculas que se deslizan unas contra otras. (Ver dibujo).

La viscosidad dinámica se expresa en Poises ($\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$). Esta propiedad es la responsable por la resistencia de la deformación de los fluidos. Algunos líquidos presentan esta propiedad con mayor intensidad que otros, por ejemplo ciertos aceites pesados, las melazas y el alquitrán fluyen más lentamente que el agua y el alcohol. (Díaz Ortiz, 2006).



En el siguiente ejemplo, se puede observar que el agua es menos viscosa que la glicerina, esto se comprueba al dejar caer un objeto a través de dos recipientes que contienen cada una de estas sustancias. El objeto que se sumerge en el agua se desplaza más fácilmente y en menor



tiempo que el objeto sumergido en la glicerina, ya que el agua al ser menos viscosas genera menos resistencia:

La temperatura cumple un papel fundamental en la viscosidad de un líquido y de un gas. Al aumentar la temperatura se incrementa la viscosidad de un gas y disminuye la de un líquido.

Densidad

Esta propiedad describe como están unidas los átomos que componen el fluido. Es decir, el grado de compactación que existe internamente. Por lo tanto la densidad corresponde a la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia. Esto quiere decir que entre mayor masa tenga un cuerpo en un mismo volumen, mayor será su densidad. La densidad disminuye al aumentar la temperatura: (http://es.slideshare.net/moises_galarza/mecnica-de-fluidos-propiedades-de-los-fluidos?qid=6e7102b6-a0cb-4ee1-ad13-ad096e6294a1&v=default&b=&from_search=4).

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

La unidad de medida en el S.I. de unidades es Kg / m³, también se utiliza frecuentemente la unidad g/cm³.

Gravedad específica

Indica la densidad de un fluido respecto a la densidad del agua a temperatura estándar (4 °C), es de decir 1000 kg/m³. Esta propiedad es adimensional, ya que resulta del cociente de dos unidades de igual magnitud. http://es.slideshare.net/moises_galarza/mecnica-de-fluidos-propiedades-de-los-fluidos?qid=6e7102b6-a0cb-4ee1-ad13-ad096e6294a1&v=default&b=&from_search=4

Sistema internacional

$$s. g = \frac{Psustancia}{1000 \frac{kg}{m^3}}$$

$$s. g = \frac{Psustancia}{1000 \frac{kg}{m^3}}$$

Para la realización de algunos cálculos de diseño se utiliza la densidad del agua a una temperatura de 60 ° F (15,6 ° C). La densidad del agua a la condición anterior es de 999,04 kg/m³.



Ejemplo: ¿Cuál es la densidad de un cubo de cobre cuya arista mide 3 cm y pesa 241,92 gramos?
¿Cuál es su gravedad específica?

$$\text{Volumen: } a^3 = (3 \text{ cm})^3 = 27 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{241,92 \text{ gramos}}{27 \text{ cm}^3} = 8,96 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$s.g = \frac{\rho_{\text{cobre}}}{\rho_{\text{agua a } 4^\circ\text{C}}}$$

$$\rho_{\text{agua a } 4^\circ\text{C}}: 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$s.g = \frac{8,96 \text{ gr/cm}^3}{1 \text{ gr/cm}^3} = 8,96$$

Tip: Recuerde que la gravedad específica es una propiedad adimensional y que indica la densidad de un fluido respecto a la densidad del agua a temperatura estándar que es 4 °C.

Volumen específico

Es el volumen ocupado por unidad de masa de una sustancia, es decir, corresponde al inverso de la densidad:

$$v = \frac{\text{volumen}}{\text{masa}} = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Compresibilidad

Hace referencia al cambio de volumen de una sustancia que está sujeta a un cambio de la presión que se ejerce sobre ella. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado, sin embargo los líquidos son altamente incompresibles a diferencia de los gases que son altamente compresibles. Para presiones muy altas, la compresibilidad de los líquidos puede ser importante.

Este fenómeno se mide a través del módulo volumétrico de elasticidad:

$$E = \frac{-\Delta P}{(\Delta V)/V}$$



Presión de vapor

Corresponde a la fuerza ejercida por las moléculas de vapor en la superficie de un líquido al ser evaporado.

En otras palabras, la presión de vapor es la presión de un sistema cuando el sólido o líquido hallan en equilibrio con su vapor.



BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

Díaz Ortiz, J. E. (2006). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Colombia: Programa editorial Universidad del Valle.

Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México: Compañía editorial continental S.A.

Himmelblau, D. M. (1997). *Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química*. Mexico: Prentice Hall.

McCabe, Warren L.; Smith, Julian C.; Harriot, Peter;. (1991). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. España: McGraww-Hill.

Picado, Ana Beatriz; Milton, Alvarez;. (2005). *Química I Introducción al estudio de la materia*. Costa Rica: Universidad Estatal a distancia.

Shames, I. H. (1995). *Mecánica de fluidos*. New York: McGraw-Hill.

