

ALGUNOS TÉRMINOS DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA QUE GENERAN CONFUSIONES

RESUMEN

El presente artículo versa sobre algunos términos técnicos los cuales pueden ser mal interpretados y por lo tanto mal usados. El artículo señala la forma apropiada para usar estos términos.

PALABRAS CLAVES: Masa, peso, peso específico, gravedad específica, conversión de unidades, conversión de ecuaciones, universo, Universo, estado físico, fase.

ABSTRACT

This paper deals with some technical terms which to some extent can be both tricky and misleading. This piece shows the way to use those terms appropriately.

KEY WORDS: Mass, weight, specific weight, specific gravity, conversion of numerical values, conversion of equations, universe, Universe, physical state, phase.

LUIS GUILLERMO RÍOS A.

Ingeniero Químico, M. Ing., MBA.
Profesor Asistente
Facultad de Tecnología
Universidad Tecnológica de Pereira
luis@utp.edu.co

YAMAL MUSTAFÁ IZA

Ingeniero Mecánico, M. Ing.
Profesor Asistente
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Tecnológica de Pereira
yamal@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se abordan algunos términos de uso común en las Ciencias de la Ingeniería, los cuales son mal empleados en muchas ocasiones. Como puede verse a lo largo del mismo, lo anterior se debe al uso extensivo de los sistemas de unidades absolutos (ver numeral 2), a situaciones contraintuitivas (ver numerales 3, y 5), a la traducción¹ deficiente al español de libros ó artículos técnicos escritos originalmente en inglés (ver numerales 4, y 6), al empleo de palabras desafortunadas ó inapropiadas (ver numeral 6), y al “parentesco” que existe entre algunas de ellas (ver numeral 7). Dichos términos mal comprendidos ó mal manejados se permean en los textos utilizados en los cursos universitarios en nuestro medio, dando lugar a la difusión de conceptos confusos. El presente artículo, resultado de la experiencia de los autores en la docencia universitaria, además de llamar la atención sobre estas inconsistencias, aporta el verdadero significado de varios términos claves en cualquier profesión del área técnica.

2. MASA² Y PESO

¹ En estos trabajos generalmente se cometen errores involuntarios por parte de peritos traductores con poca fundamentación en el campo científico, ó bien por parte de profesionales expertos en la materia con poca fundamentación en el campo lexicográfico.

² En el estudio de la Metrología (palabra que etimológicamente se obtiene a partir de las palabras griegas “métron” que significa medida, y “lógos” que significa estudio) sea lo primero señalar que el origen de algunas unidades de medida ha sido completamente arbitrario; la definición inicial de algunas unidades fue la siguiente [1]:

Acre: La superficie de terreno que puede ser arada por una yunta de dos bueyes en un día.

Pie: La distancia cubierta por 36 granos de cebada unidos por sus extremos.

Yarda: La distancia entre la punta de la nariz y los dedos extendidos al extremo del brazo del rey anglosajón Enrique I (hace 1000 años).

Fecha de Recepción: 31 Agosto de 2006

Fecha de Aceptación: 30 Noviembre de 2006

Braza: Longitud de los brazos extendidos de un vikingo.

Milla: Distancia equivalente a mil pasos de un soldado romano. Un “paso”, como lo entendían los romanos, equivale a la distancia entre dos veces seguidas que el mismo pie toque tierra, o sea lo que nosotros llamaríamos dos pasos [2, p. 18 A].

Galón: ¿Sabía Ud. que el rey Jorge III de Inglaterra quien gobernó entre los años 1760 y 1820, decidió que el galón debía corresponder al volumen de su orinal (bacinilla)? Éste se volvió el galón imperial. Además mandó el orinal de su esposa a las colonias para que fuera el estándar allí. Este se convirtió en el galón U.S. [3, p. 5].

Escala Fahrenheit: Al buscar un punto que se reprodujera con facilidad, Fahrenheit escogió la temperatura del cuerpo humano y le asignó el número 96. Asignó el número 0 a una cierta mezcla salmuera-hielo. En esta escala el punto de congelación era aproximadamente 32. Cuando esta escala se revisó y se ajustó en términos del punto de congelación y el punto de ebullición normales del agua, se encontró que la temperatura del cuerpo humano era de 98.6 F [4, Chapter 2].

De la misma forma, el origen de algunas especificaciones ha sido dictado por necesidades de orden práctico, tal como en el caso de “el anca de un caballo romano” [5, pp. 182-184]: El ancho de las vías del ferrocarril en Estados Unidos es de 4 pies y 8.5 pulgadas. Es una magnitud bastante extraña. ¿Por qué se usa precisamente esa medida? Porque así es como se hace en Gran Bretaña, y las primeras vías férreas en Norteamérica fueron construidas por los ingleses.

¿Por qué los ingleses usaban esa magnitud? Porque los primeros ferrocarriles fueron construidos por las mismas personas que habían construido los antiguos tranvías, y esa era su medida.

¿Y por qué usaban tal cifra? Porque se valían de las mismas plantillas y herramientas que se empleaban para construir los carruajes. Esa era la distancia entre las ruedas.

¿Y por qué era exactamente esa la magnitud del espacio entre las ruedas? Porque si hubiesen usado otra medida cualquiera, los carruajes se habrían hecho pedazos en algún viejo camino inglés, ya que esa es la distancia entre los surcos (huellas dejadas por las ruedas de un carro).

¿Quién construyó esos viejos caminos? Las primeras carreteras de larga distancia en Europa, y específicamente en Inglaterra, fueron construidas por el Imperio romano, para el paso de sus legiones.

¿A qué se deben los surcos en dichos caminos? Los carros de guerra de las legiones romanas formaron, con el paso del tiempo, los surcos iniciales, que los otros tuvieron que imitar después para no destruir las ruedas de sus carruajes. Todos los carros del Imperio romano tenían el

Ocurre una confusión al usar el término peso porque este puede significar tanto fuerza como masa [6, p. 312]. Dado que la palabra peso está “atrincherada” en la literatura de la Ingeniería como sinónimo de masa, en la práctica común seguimos refiriéndonos frecuentemente a pesos de material en lugar de usar como medida de cantidad el término masa, el cual es más exacto [7, p. 25]. Se debe aclarar que el peso es la fuerza ejercida por la gravedad sobre un objeto [8, p. 12] y por lo tanto es una cantidad vectorial, mientras que la masa describe la cantidad de materia contenida en un objeto [8, p. 11] y por lo tanto es una cantidad escalar. Dada la ambigüedad involucrada en el uso dual del término peso, éste debería evitarse en la práctica técnica a menos que las condiciones sean tales que el significado sea totalmente claro [6, p. 312].

Por otra parte, al utilizar la unidad de fuerza del Sistema Internacional³, el newton, se pierde la noción de que un cuerpo con una masa de 1 kg masa pesa 1 kg fuerza (los pesos y las masas son numéricamente iguales solamente en un lugar donde la constante gravitacional tenga el valor estándar⁴; la variación del peso de una masa dada sobre la superficie de la Tierra es despreciable en el trabajo de Ingeniería ordinario [7, p. 25]). Por ejemplo, en nuestro medio el peso de una persona se expresa inconscientemente en kg fuerza, por lo cual nadie entendería si éste fuera expresado en la unidad correspondiente del Sistema Internacional, v. gr. 730 N; el poco uso de esta unidad representa cierta dificultad para determinar si este peso es alto ó promedio ó bajo⁵

mismo espacio entre las ruedas, equivalente al tamaño de las ancas de dos caballos.

Entonces, el ancho de las vías férreas en Estados Unidos deriva de las especificaciones originales de los carros de guerra romanos.

Pero hay algo más. Las naves espaciales tienen, a los lados del tanque de combustible principal, dos grandes cohetes. Son los llamados SRB, Solid Rocket Boosters, contruidos por Thiokol en su fábrica en Utah. Los ingenieros que los diseñaron habrían preferido hacerlos un poco más anchos, pero no fue posible. Los SRB han de ser enviados por tren desde la fábrica hasta el lugar de lanzamiento de la nave. La línea férrea pasa por un túnel en las montañas, y si los cohetes fueran más anchos simplemente no cabrían. Así, el diseño de los cohetes impulsores de las naves que viajan al espacio fue determinado hace dos mil años por el tamaño de las ancas de los caballos romanos.

³ Existen tres clases fundamentales de sistemas de unidades. La diferencia radica en el tipo de dimensiones fundamentales empleadas para cada uno de ellos. En los sistemas absolutos las magnitudes fundamentales son la masa, la longitud, y el tiempo (MLt); la fuerza es una magnitud derivada. En los sistemas gravitacionales las magnitudes fundamentales son la fuerza, la longitud, y el tiempo (FLt); la masa es una magnitud derivada. Los sistemas ingenieriles son una combinación de los sistemas anteriores, con dimensiones fundamentales F, M, L, t.

⁴ Gravedad estándar: a) aproximadamente la gravedad al nivel del mar y a una latitud de 45°; b) según norma DIN 1305: $g = 9.80665 \text{ m/s}^2 = 32.174 \text{ ft/s}^2$. Si se quiere tener en cuenta su variación con la latitud (ϕ) y con la altitud sobre el nivel del mar (h) puede utilizarse la fórmula $g = 9.8060606 - 0.025027 \cos 2\phi - 0.000003 h$ [10, pp. 11].

⁵ Si se divide mentalmente esta cantidad entre 10 (valor numérico aproximado de la gravedad terrestre) el peso sería de alrededor de 73 kg fuerza, siendo éste un valor cercano al peso promedio de una persona en nuestro medio.

También hay que advertir que en el campo de la Química se pueden presentar problemas, si no se establece la siguiente diferenciación para las unidades de la materia correspondientes a los mundos microscópico⁶ ó microfísico (mundo de las partículas) y macroscópico⁷ ó macrofísico (mundo de lo medible experimentalmente, p. ej. en un laboratorio) [9, pp. 18,19]:

Mundo Micro:	Entidad:	Mundo Macro:
átomo (át)	elemento	átomo-gramo (atg)
molécula (moléc)	compuesto	gramo-mole (gmol)
unidad de masa atómica (uma ⁸)	masa	gramo (g)

En estas condiciones, una unidad del mundo macro contiene alrededor de 6.023×10^{23} unidades del mundo micro (cantidad mejor conocida con el nombre de número de Avogadro, N_A ⁹). Vale la pena recordar las unidades correspondientes para los pesos (ó masas¹⁰) de las sustancias puras:

	Mundo Micro:	Mundo Macro:
Peso atómico de un elemento ¹¹	$A \frac{\text{uma}}{\text{át}}$	$A \frac{\text{g}}{\text{atg}}$
Peso molecular de un compuesto ¹²	$M \frac{\text{uma}}{\text{moléc}}$	$M \frac{\text{g}}{\text{gmol}}$

3. MASA Y VOLUMEN

A pesar de que estas propiedades de la materia son extensivas¹³, la primera es completamente aditiva,

⁶ De las palabras griegas “macrós” que significa grande y “scopéo” que significa visión.

⁷ De la palabra griega “micrós” que significa pequeño.

⁸ $1 \text{ uma} = 1 \text{ u} = 1 \text{ dalton} = (\text{masa atómica del isótopo } ^{12}\text{C}/12)$ [8, p. 42].

⁹ El número de Avogadro representa el número de átomos de ^{12}C contenidos en exactamente 12 g de ^{12}C [8, p. 57]. Si en lugar de tomar el gramo como unidad de masa macroscópica convencional, se toman otras tales como la onza, la libra, el kilogramo, ó la tonelada, se cambia el valor de esta constante.

¹⁰ Desde la época de John Dalton (Inglaterra, 1766 - 1844) las masas atómicas han sido llamadas “pesos atómicos”. Hoy en día, la mayor parte de los químicos los continúa llamando así. Como ya se dijo, la palabra masa es la más apropiada. Los viejos hábitos son resistentes al cambio [8, p. 46].

¹¹ En rigor este nombre pertenece al mundo micro; el nombre correspondiente en el mundo macro es peso atómico gramo ó peso símbolo gramo.

¹² En rigor este nombre corresponde solo a los compuestos formados vía enlaces covalentes, y no se aplica para los compuestos iónicos; por esta razón para un compuesto es aconsejable utilizar un nombre más general tal como peso fórmula en el mundo micro, y peso fórmula gramo ó masa molar en el mundo macro.

¹³ Las propiedades termodinámicas se clasifican en propiedades intensivas y propiedades extensivas. Generalmente se usan las letras minúsculas para denotar las propiedades intensivas (siendo excepciones obvias la presión P y la temperatura T) y las letras mayúsculas se usan para las propiedades extensivas (siendo la principal excepción la masa m ó n) [14, p. 11]. Las propiedades intensivas son aquellas que no dependen ni de la cantidad de masa contenida en el sistema (ó muestra)

mientras que la segunda no lo es. Como se sabe, la materia (toda la materia) se clasifica en dos grupos, a saber: Sustancias puras (elementos químicos, y compuestos químicos) y mezclas (mezclas homogéneas o soluciones, y mezclas heterogéneas). Desde el punto de vista de las primeras la no aditividad de los volúmenes no representa ningún problema. Este aparece en la Termodinámica de Soluciones a la hora de expresar la composición ó concentración de una solución líquida binaria que se prepara a partir de un volumen dado de un soluto líquido y de otro volumen dado de un solvente líquido, en términos de un cociente que puede ser, por ejemplo, masa (convencional en g, ó química¹⁴ en g/mol) de soluto a volumen de solución, ó de un cociente volumen de soluto (ya en solución) a volumen de solución. Un ejemplo de lo anterior es el siguiente [11, p. 217]: Si se tiene un volumen dado de agua y se adiciona un g/mol de agua, el volumen aumentará en 18 mL¹⁵; esa

ni del tamaño ni forma del mismo, tales como P, T, ρ , y composición química [16, p. 2]. (La densidad ó masa local por unidad de volumen es una propiedad intensiva que puede variar de un punto a otro dentro de un sistema no homogéneo. En estas condiciones, la masa asociada con

un volumen particular V se determina mediante la integral $m = \int_V \rho dV$

y no simplemente como el producto de la densidad por el volumen [15, p. 12]). Entre otras propiedades físicas intensivas de la materia pueden mencionarse [17, pp. 4 – 7] [8, pp. 6, 7]: Color, olor, sabor, punto ó temperatura de fusión, punto ó temperatura de ebullición, volatilidad, brillo metálico, dureza, ductilidad, maleabilidad, conductividad eléctrica y térmica, viscosidad, etc. El cociente entre dos propiedades extensivas arroja una propiedad intensiva v. gr. $\rho = m/V$, $P = F/A$. Por el contrario, las propiedades extensivas (de la palabra latina extensus que significa largo [18, p. 44]) son aquellas que dependen linealmente (son directamente proporcionales) de la cantidad de masa contenida en el sistema ó del tamaño del mismo; por lo tanto al doblar la masa de un sistema manteniendo sus propiedades intensivas constantes, se dobla su volumen [19, p. 46] [20, p. 25]. El valor de una propiedad extensiva se obtiene sumando los valores de esa propiedad en cada parte del sistema; es claro que el valor obtenido es independiente de la forma en la cual se subdivide el sistema [21, p. 11]. De esta manera, si una cantidad de materia en un estado dado se divide en dos partes iguales, cada parte tendrá el mismo valor de las propiedades intensivas originales, y la mitad del valor de las propiedades extensivas. Las propiedades extensivas por unidad de masa ó propiedades específicas, tales como el volumen específico, v, son propiedades intensivas [22, p. 19] y se simbolizan con letras minúsculas, como ya se dijo. Para la discusión de los principios, las variables intensivas son las variables significativas. En aplicaciones prácticas tales como el diseño de equipos y en Ingeniería, las propiedades extensivas son igualmente importantes, dado que éstas condicionan el tamaño de los equipos, la potencia de una máquina, la capacidad de producción de una planta en ton/día, etc. [21, p. 12].

¹⁴ La que aquí se denomina masa química corresponde a la magnitud conocida como “cantidad de sustancia” en el Sistema Internacional.

¹⁵ El símbolo para el litro, L, fue adoptado por la 16ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) de 1979 para evitar el riesgo de confusión entre la letra “ele” l y el número “uno” 1 [23]; esta unidad se usa solamente para medir los volúmenes de líquidos y gases [6, Appendix A]. Dado que la densidad del agua pura @ la temperatura ambiente tiene un valor cercano a 1 kg/L, resulta práctico decir que un volumen de 1 L de agua corresponde a 1 kg masa, y por esta razón el litro era una unidad muy usada en el viejo “sistema métrico decimal”, precursor en su versión “mks”, del Sistema Internacional. La unidad de volumen en éste último, el metro cúbico (m³), es muy grande para ser aplicada en el laboratorio, y en las industrias químicas en general. Para

cantidad, 18 mL/gmol, es el volumen molar del agua pura. Si se adiciona un g/mol de agua a un volumen dado de etanol, el volumen aumenta solo en 14 mL. La razón de un incremento más pequeño es que el volumen que ocupa un número determinado de moléculas de agua depende de la naturaleza de las moléculas que le rodean. Como hay mucho etanol presente, cada molécula de agua estará rodeada de etanol puro y el empaquetamiento de las moléculas que resulta ocupa sólo 14 mL. La cantidad 14 mL/gmol es el volumen molar parcial de agua en etanol. Los volúmenes molares parciales de los componentes de una mezcla se requieren debido a la no aditividad de las propiedades extensivas en los sistemas reales, y varían con la composición debido a que el entorno de cada tipo de molécula cambia cuando la composición pasa de agua pura a etanol puro.

4. PESO ESPECÍFICO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA

No debe confundirse la gravedad específica ó densidad relativa, cantidad adimensional que corresponde al cociente entre la densidad de una sustancia problema y la densidad de otra sustancia tomada como referencia, con el peso específico. Este último es el cociente peso/volumen y es numéricamente igual a la densidad absoluta de una sustancia cuando se usan los sistemas ingenieriles de unidades.

El simbolismo más empleado para la gravedad específica es sp gr (specific gravity); otros símbolos empleados son: s.g., SG, G. Para el caso de los gases, la gravedad específica. Corresponde al cociente entre la densidad de un gas y la densidad del aire, @ las mismas condiciones de presión y temperatura. Para el caso de los líquidos y sólidos, la gravedad específica corresponde al cociente entre la densidad del líquido ó sólido y la densidad del agua @ 4°C. Dado que la densidad del agua @ 4°C es muy cercana a 1.0000 g/mL, en el Sistema Internacional los valores numéricos de la gravedad específica y la densidad son esencialmente iguales. Por otra parte, dado que las densidades en el Sistema Inglés se expresan en lb/ft³ y la densidad del agua es del orden de 62.4 lb/ft³, se puede ver que los valores de la gravedad específica y la densidad no son numéricamente iguales en este sistema de unidades [12, pp. 23, 24].

Para medir la densidad relativa de los productos derivados del petróleo más ligeros que el agua se utiliza la escala API [13]: $^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{sp gr}} - 131.5$; sp gr @ 60F

El volumen y por esa razón la densidad de los productos del petróleo son funciones de la temperatura, y la industria petrolera ha establecido una temperatura estándar de 60 F para el volumen y la gravedad API. Los $^{\circ}\text{API}$ están saliendo gradualmente de uso y se están imponiendo las unidades SI para las densidades [12, p.

citar un ejemplo de lo anterior, el caudal que maneja el acueducto de Pereira es de alrededor de 2 m³/s.

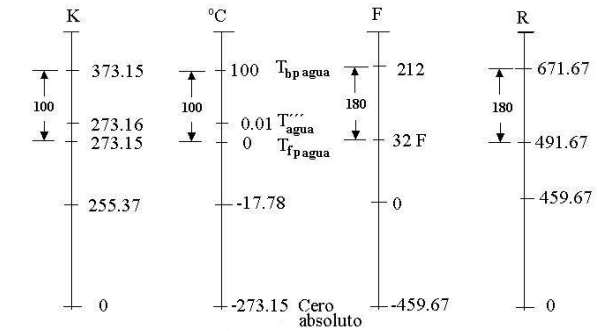
24]. En la industria de licores se emplean los grados Gay Lussac, °GL, que indican el porcentaje volumétrico de etanol en las bebidas alcohólicas. En la industria del azúcar se emplean los grados Brix; cada grado Brix corresponde a 1 g de sacarosa por 100 mL de agua [13].

Finalmente hay que señalar que para una mezcla de sólidos ó líquidos no se debe intentar obtener la gravedad específica promedio ó la densidad promedio multiplicando las gravedades específicas ó las densidades de los componentes individuales por las respectivas fracciones masa de los componentes de la mezcla, y sumando estos productos [12, p. 25]. El procedimiento correcto consiste en suponer que los volúmenes de los componentes de la mezcla son aditivos, y seleccionar como base de cálculo una unidad de masa convencional de la mezcla (en estas condiciones, las fracciones masa de cada componente serán iguales a la cantidad de masa seleccionada de cada uno de éstos). Finalmente, a partir de la masa y la densidad de cada componente se calcula el volumen del mismo, y la densidad de la mezcla se obtendrá al sacar el inverso de la sumatoria de los volúmenes de los componentes, dado que para el cálculo se seleccionó una masa unitaria de dicha mezcla.

5. CONVERSIÓN DE UNIDADES Y CONVERSIÓN DE ECUACIONES

Uno de los problemas más comunes encontrados en los cálculos de Ingeniería es la conversión de valores numéricos basados en un conjunto de unidades a valores numéricos basados en un conjunto de unidades diferente¹⁶. Otro problema que se encuentra

frecuentemente en el trabajo de Ingeniería es la modificación de una fórmula empírica si se alteran las unidades de uno o más miembros de la fórmula [7, p. 19]¹⁷. La conversión de fórmulas es determinante en las



Del gráfico anterior, se obtiene que:

$$\frac{K}{373.15} = \frac{R}{671.67} \rightarrow T(R) = 1.8 T(K)$$

$$\frac{°C}{100} = \frac{F - 32}{180} \rightarrow °C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$\Delta°C = \Delta K \text{ y } \Delta F = \Delta R ; \Delta°C = \Delta K = 1.8 \Delta F = 1.8 \Delta R$$

Volviendo al ejemplo de la conductividad térmica del acero inoxidable tipo 304, hay que hacer énfasis en que la mayor parte de ecuaciones donde aparece el parámetro temperatura, ó bien se trata de una temperatura absoluta, ó bien de un cambio de temperatura, para lo cual se pueden emplear las relaciones arriba obtenidas; en estas condiciones, la solución del ejemplo es la siguiente:

$$k = 16.2 \frac{\text{Btu}}{\text{h ft F}} * \frac{252 \text{ gcal}}{\text{Btu}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1 \text{ ft}}{30.48 \text{ cm}} * \frac{1.8 \Delta F}{1 \Delta°C} = 0.067 \frac{\text{gcal}}{\text{s cm } \Delta°C}$$

Por último, valga la pena aclarar que una caloría alimenticia, 1 Cal, equivale a 1000 gcal de las usadas en Termodinámica; 1 Cal = 4.1868 kJ.

¹⁷ La presión de saturación líquido/ vapor, p^{sat}, se representa a menudo como una función de la temperatura por una ecuación de la forma:

$$\log p^{\text{sat}} (\text{mmHg}) = a - \frac{b}{t(°C) + c}$$

constantes específicas de la sustancia. Suponga que se requiere representar la presión de saturación, P^{sat}, por medio de la ecuación equivalente

$$\ln P^{\text{sat}} (\text{kPa}) = A - \frac{B}{T(K) + C}$$

entre los parámetros de las dos ecuaciones [28, p. 11].

$$p^{\text{sat}} (\text{mmHg}) = P^{\text{sat}} (\text{kPa}) \frac{760 \text{ mmHg}}{101.325 \text{ kPa}}$$

$$p^{\text{sat}} = \frac{760}{101.325} P^{\text{sat}} ; p^{\text{sat}} = 7.5006 P^{\text{sat}}$$

$$\ln = 2.3026 \log ; \log = \frac{\ln}{2.3026}$$

$$\log p^{\text{sat}} = \frac{\ln (7.5006 P^{\text{sat}})}{2.3026} ; \log (XY) = \log X + \log Y$$

¹⁶ El procedimiento recomendado se demuestra en el siguiente ejemplo [7, p. 19.]: El acero inoxidable austenítico, no magnético tipo 304 (18% Cr, 8% Ni, 0.08% C max), tiene una conductividad térmica k de 16.2 $\frac{\text{Btu}}{\text{h ft F}}$. Convertir este valor de conductividad térmica a

$\frac{\text{gcal}}{\text{s cm } \Delta°C}$. Sea lo primero decir que la temperatura indica

directamente la energía cinética promedio de las moléculas en un sistema gaseoso [17, Chapter 6]. La temperatura se mide con termómetros (palabra que etimológicamente se obtiene a partir de las palabras griegas “thérme” que significa calor, y “métron”) según las escalas empíricas ó relativas ó convencionales ó artificiales Celsius y Fahrenheit. La primera lleva este nombre desde la 9ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1948, en honor del astrónomo Anders Celsius (Suecia, 1701 - 1744) quien la diseñó [24, p. 27]; desafortunadamente la unidad de temperatura “grados centígrados” se sigue empleando en la actualidad. La segunda lleva este nombre en honor del constructor de instrumentos Gabriel Daniel Fahrenheit (Alemania, 1686 - 736). Las escalas de significado fundamental ó termodinámico son las escalas Kelvin y Rankine, respectivamente. La primera lleva este nombre en honor de Lord Kelvin, William Thomson (Inglaterra, 1824 - 1907). El símbolo de grado (°) se eliminó en la 13ª CGPM de 1967, donde se definió la magnitud del grado como $1 K = T / 273.16$. Usando técnicas de refrigeración no convencionales (la desimantación adiabática electrónica y nuclear) los científicos se han aproximado al cero absoluto; ellos alcanzaron 0.000000002 K en 1989 [14, Capítulo 1.]. La segunda lleva este nombre en honor del ingeniero William John MacQuorn Rankine (Escocia, 1820 - 1872). En la figura siguiente se muestran las diferentes escalas de temperatura:

operaciones unitarias de: Transferencia de Momentum, Transferencia de Calor, y Transferencia de Masa, ciencias en las cuales los modelos experimentales tienen un peso invaluable. Al estudiar estas operaciones se puede comprobar fácilmente el famoso dicho que señala que “la Ingeniería es mitad ciencia y mitad arte”.

6. UNIVERSO (FISICO) Y UNIVERSO TERMODINÁMICO

La palabra universo (con u minúscula), universo termodinámico¹⁸, se usa en Termodinámica para referirse al conjunto formado por un sistema más sus alrededores locales¹⁹ (ó entorno ó exterior); dicha palabra no tiene nada que ver con el conjunto de galaxias al cual pertenece nuestro sistema solar, es decir, con el Universo físico real (con U mayúscula) [25, pp. 31, 32].

La confusión al utilizar la palabra universo a secas puede tener su origen en el hecho de que en el idioma inglés los nombres propios no necesariamente se escriben con mayúscula, regla que si se observa en el idioma español. En estas condiciones, cuando se hace referencia a dicha palabra en términos no específicos, fácilmente se puede enviar un mensaje distorsionado. Por ejemplo, un enunciado no apropiado y confuso de la Primera Ley de

$$\log p^{\text{sat}} = \frac{2.0150 + \ln P^{\text{sat}}}{2.3026} = a - \frac{b}{t(^{\circ}\text{C}) + c}$$

$$\ln P^{\text{sat}} = 2.3026(a) - 2.0150 - \frac{2.3026(b)}{T(\text{K}) - 273.15 + c}$$

$$\ln P^{\text{sat}} = A - \frac{B}{T(\text{K}) + C}$$

$$A = 2.3026(a) - 2.0150 \quad B = 2.3026(b) \quad C = c - 273.15$$

En la ecuación de Antoine si solamente se conocen dos puntos de ebullición, se da un valor a uno de los parámetros ($C = 230$) y se evalúan A y B a partir de las siguientes expresiones

$$A = \log P^{\text{sat}} + \frac{B}{T + 230} \quad B = \frac{\log(P_1^{\text{sat}} / P_2^{\text{sat}})(T_1 + 230)(T_2 + 230)}{T_1 - T_2}$$

donde las unidades de mmHg y K son las más usadas. Una ecuación de Antoine ajustará con exactitud los datos de la presión de vapor desde la temperatura de fusión hasta $T_r = 0.85$ a 0.95 . La exactitud es mejor cuando las tres constantes son evaluadas a partir de datos experimentales; cuando las ecuaciones anteriores se usan con dos puntos de ebullición, el método pierde exactitud para temperaturas normales de ebullición menores que 250 K ó para compuestos altamente polares a temperaturas reducidas menores que 0.65 [29, p. 3-246].

¹⁸ En Termodinámica un sistema cerrado completamente aislado (en rigor, no existe en la Naturaleza ningún sistema aislado [30, p. 1275]) es un universo termodinámico [25, pp. 31, 32]. En este tipo de sistema no hay intercambio ni de energía ni de masa con los alrededores [31, p. 4]

¹⁹ Local es cualquier parte de un universo termodinámico con la cual interactúa el sistema [32, p. 6]. Se debe hacer una distinción entre alrededores, alrededores locales ó inmediatos, y el ambiente. Por definición, alrededores son la totalidad por fuera de las fronteras del sistema. Los alrededores locales ó inmediatos hacen referencia a la parte de los alrededores que es afectada por el proceso (es desde donde se hacen las observaciones sobre el sistema [33, p. 38]), y el ambiente hace referencia a la región mas allá de los alrededores locales cuyas propiedades no son afectadas de ninguna forma por el proceso [14, p. 392].

la Termodinámica, también conocida como el Principio de la Conservación de la Energía Total en los sistemas mecánicos [26, p. 53], es el siguiente: La energía del universo es constante²⁰. Un enunciado correcto de la Ley anterior es: La energía de un universo termodinámico se conserva (la energía es una propiedad conservativa²¹) [25, p. 39]. Se concluye entonces que “universo” es una palabra muy desafortunada en Termodinámica [27, p. 57].

7. ESTADO Y FASE

Si nosotros consideramos una masa dada de agua, reconocemos que esta agua puede existir en varios estados. Si ésta es líquida inicialmente, se puede convertir en vapor si se calienta ó en hielo si se enfría [22, p. 18]. De esta manera, nosotros hablamos de los diferentes estados físicos ó estados de agregación de una sustancia ó de la materia. Por otra parte, el término fase se refiere a una cantidad de materia homogénea en toda su extensión tanto en la composición química como en la estructura física [15, p. 6]; una fase es un sistema homogéneo (propiedades uniformes) [16, p. 8]. Un gas ó una mezcla de gases, un líquido ó una solución líquida, y un sólido cristalino son ejemplos de fases. Una fase no necesita ser continua; ejemplos de fases discontinuas son un gas disperso en forma de burbujas en un líquido, un líquido disperso en forma de gotas en otro líquido siendo estos líquidos inmiscibles, y cristales sólidos dispersos bien sea en un gas ó en un líquido. En cada caso se distribuye una fase dispersa en toda la extensión de una fase continua [28, p. 29].

Una sustancia puede tener varias fases en equilibrio dentro de un mismo estado físico ó estado de agregación de la materia, cada una con estructura molecular diferente. El carbono, por ejemplo, puede existir como grafito ó como diamante en el estado sólido (la conversión del grafito en diamante @ alta presión es un ejemplo de una transición de fase²², ó cambio de fase sin cambio en la composición química [33, p. 95]). El helio tiene dos fases líquidas; el hierro tiene tres fases sólidas.

²⁰ Este enunciado de la Primera Ley de la Termodinámica que fue formulado en 1865 [31, p. xiii] se debe al físico Rudolf Julius Emmanuel Clausius (Alemania, 1822-1888) [21, p. 118], quien en conjunto con el físico inglés Lord Kelvin ó William Thomson, fijaron las bases de la moderna ciencia de la Termodinámica [28, p.10].

²¹ La energía se puede transferir entre el sistema y los alrededores, pero la energía total del sistema mas la de los alrededores es constante [20, p. 14]. La cantidad total de energía se conserva en todas las transformaciones y transferencias [15, p. 35]. Esto quiere decir que cuando hacemos balances de energía alrededor de un sistema, es muy importante identificar todas las formas de energía que entran ó salen del mismo. Si hacemos esto correctamente, entonces un balance de la forma: Energía total que entra = Energía total que sale es válido. Hay que señalar que “energía total” quiere decir la suma de todas las formas de energía involucradas. Es muy importante saber que una forma especial de energía no se conserva necesariamente; de hecho, por lo general no se conservará. Por ejemplo, “calor que entra” no es necesariamente igual a “calor que sale” [34, p. 74].

²² Una transición de una fase sólida a otra se denomina transformación alotrópica [4, p. 43].

El hielo puede existir en siete fases diferentes @ altas presiones [14, p. 64]. Cuando mas de una fase está presente, éstas se separan de las otras por medio de interfaces denominadas fronteras de fase [22, p. 19] fácilmente identificables. Las dos fases del H₂O en un sistema H₂O(l)-hielo son un buen ejemplo de esto [14, p. 64]. También podemos describir el agua líquida en equilibrio con su vapor como una mezcla de dos fases. El líquido es una fase y el gas, ó vapor, es la otra. En este caso las fases, líquido y gas, coinciden con los estados de la materia presentes, líquido y gas [8, p. 435].

8. CONCLUSIONES

Como puede verse, los aportes del presente artículo consisten en reunir, y aclarar el significado de algunos términos de uso común en las Ciencias de la Ingeniería, los cuales son mal empleados en muchas ocasiones. Además de lo anterior, el artículo presenta otros componentes tales como: La etimología, la sinonimia, y las notas históricas, los cuales consideramos de utilidad para alcanzar los objetivos antes mencionados.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Seminario de Aseguramiento Metrológico. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica, 4 y 5 de Junio de 2000.
- [2]. DREZNER, Manuel. La milla; la maratón; la caballería. En: El Espectador, Semana del 5 al 11 de Septiembre de 2004.
- [3]. LEVENSPIEL, Octave. Fundamentos de Termodinámica, Primera Edición. México D. F.: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1997.
- [4]. SONNTAG, Richard E., and Van WYLEN, Gordon J. Introduction to Thermodynamics Classical and Statistical. New York: John Wiley and Sons, 1991.
- [5]. LOPERA GUTIERREZ, Jaime y BERNAL TRUJILLO, Marta Inés. La culpa es de la vaca. Bogotá: Intermedio Editores, 2002.
- [6]. PETERS, Max. Elementary Chemical Engineering, Second Edition, International Student Edition. Tokyo: McGraw-Hill International Book Company, 1984.
- [7]. HOUGEN, Olaf A. et al. Chemical Process Principles: Part I Material and Energy Balances, Second Edition. New York: John Wiley and Sons, Inc. 1959.
- [8]. PETRUCCI, Ralph H., and HARWOOD, William S. General Chemistry: Principles and Modern Applications, Seventh Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.
- [9]. MONTOYA V., Luis Fernando. Didáctica de la Estequiometría, Segunda Edición. Medellín: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 1997.
- [10]. MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Segunda Edición. México D. F.: Harla, 1982.
- [11]. GARGALLO G., Ligia, y RADIC F., Deodato. Termodinámica Química, Segunda Edición. México D.F.: Alfaomega-Ediciones Universidad Católica de Chile, 2000.
- [12]. HIMMELBLAU, David M. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th Edition. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1996.
- [13]. VALIENTE BARDERAS, Antonio. Diccionario de Ingeniería Química, Primera Reimpresión. México D. F.: Longman de México Editores S.A. de C.V., Editorial Alhambra Mexicana, 1996, 237 pág.
- [14]. CENGEL, Yunus A., y BOLES, Michael A. Thermodynamics: An Engineering Approach, Fourth Edition. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2002.
- [15]. MORAN, Michael J., and SHAPIRO, Howard N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [16]. PRAUSNITZ, John M. Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1969.
- [17]. SIENKO, Michell J., and PLANE, Robert A. Chemistry, Second Edition. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1961.
- [18]. KRICHEVSKI, I. R., y PETRIANOV, I. V. Termodinámica para Muchos. Moscú: Editorial Mir, 1980.
- [19]. REISS, Howard. Methods of Thermodynamics. Mineola, N.Y.: Dover Publications, Inc., 1965.
- [20]. TINOCO, Jr. Ignacio, et al. Physical Chemistry: Principles and Applications in Biological Sciences, Third Edition. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1995.
- [21]. CASTELLAN, Gilbert W. Physical Chemistry, Second Edition. Manila: Addison-Wesley Publishing Company, 1973.
- [22]. SONNTAG, Richard E., et al. Fundamentals of Thermodynamics Fifth Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [23]. [http:// physics.nist.gov/cuu/Units/meter.html](http://physics.nist.gov/cuu/Units/meter.html)
- [24]. JONES, J. B., y DUGAN, Regina E. Ingeniería Termodinámica, Primera Edición. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1997.
- [25]. ATKINS, P. W. La Segunda Ley, Primera Edición. Barcelona: Prensa Científica, S.A., 1992.
- [26]. DYKSTRA, Clifford E. Physical Chemistry: A Modern Introduction. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1997.
- [27]. GARCÍA-COLÍN S., Leopoldo. De la Máquina de Vapor al Cero Absoluto (Calor y Entropía). México, D. F.: Fondo de Cultura Económica, La Ciencia para Todos, 2000.
- [28]. SMITH, J. M., et al. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, Sixth Edition. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [29]. PERRY, Robert H., and CHILTON, Cecil H. (Editors). Chemical Engineers' Handbook, Fifth Edition. New York: McGraw-Hill Book Company, 1973.
- [30]. Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana. Madrid: Espasa-Calpe S.A., 1994, Tomo 60.
- [31]. KONDEPUDI, Dilip, and PRIGOGINE, Ilya. Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 1998.
- [32]. VAN NESS, H. C. Understanding Thermodynamics. New York: Dover Publications, Inc., 1969.
- [33]. ATKINS, P. W. The Elements of Physical Chemistry With Applications in Biology, Third Edition. New York: W. H. Freeman and Company, 2001.
- [34]. THOMPSON, Edward V., y CECKLER, William H. Introducción a la Ingeniería Química. Bogotá: Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S. A., 1979.