

Apéndice 1

SISTEMAS DE UNIDADES

Una de las características fundamentales de la química es que es una ciencia experimental, lo cual significa que está basada en la realización de mediciones. Cuando medimos algo, siempre debemos indicar:

- 1) qué es lo que se midió
- 2) con qué se lo comparó (unidad) y
- 3) qué número se obtuvo (medida)

Lo que estamos haciendo es comparar una cantidad de una magnitud con otra cantidad de la misma magnitud, a la cual se toma como unidad. La elección de la unidad es totalmente arbitraria.

Las magnitudes son interdependientes, es por esto que si se define un conjunto de unidades, las restantes surgen a partir de ellas por medio de las relaciones entre las magnitudes correspondientes. Por ejemplo, si definimos unidades para las magnitudes longitud y tiempo, la unidad de la magnitud velocidad se deriva de aquellas por la relación que define a la velocidad como el cociente entre el desplazamiento de un móvil, lo cual es una longitud, y el tiempo transcurrido.

Tendremos por lo tanto unidades fundamentales (las que definimos) y unidades derivadas (las que obtenemos a partir de las primeras utilizando las relaciones entre las magnitudes correspondientes).

La elección de las unidades fundamentales es convencional, lo importante es que debemos elegir el menor número posible necesario para poder obtener todas las otras. Las definiciones de las unidades fundamentales deben ser universales y no deben dejar lugar a ningún tipo de ambigüedad.

Las unidades correspondientes a las distintas magnitudes se agrupan en lo que se llaman los sistemas de unidades, de los cuales veremos aquí algunos aspectos de los más comunes, a saber: el sistema c.g.s., el técnico y el sistema internacional (S.I.). Este último fue adoptado en 1960 y ha sido aceptado universalmente. Está construido a partir de las siete siguientes unidades fundamentales:

MAGNITUD	NOMBRE	SIMBOLO
Masa	kilogramo	kg
Longitud	metro	m
Tiempo	segundo	s
Temperatura	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad de corriente	Ampere o amperio	A
Intensidad de la luz	candela	cd

De las siete unidades de la tabla son particularmente útiles en Química General las cinco primeras, cuyas definiciones son:

Metro:

Para medidas de longitud existe un patrón que es la distancia entre dos marcas de una barra de platino-iridio, mantenida a 0°C, que se encuentra en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas en París.

Un metro se define como la longitud igual a la distancia entre las dos marcas del patrón mencionado.

En 1960 fue redefinido como n veces la longitud de onda en el vacío de la radiación roja del kriptón 86, mantenido a una temperatura de -210°C, donde n se eligió de tal forma que el producto sea igual al metro definido anteriormente ($n = 1.650.763,73$).

Actualmente se lo define como la distancia recorrida por un haz de luz en $3,335639817 \cdot 10^{-9}$ segundos. Recordemos que todas estas definiciones son igualmente arbitrarias.

Kilogramo:

Para medidas de masa existe un patrón, constituido por una aleación de platino-iridio y depositado en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas en París.

Un kilogramo es la masa de dicho patrón.

Segundo:

En 1967 fue definido como la duración de 9.192.631.770 períodos de la radiación asociada con una transición específica del átomo de cesio 133. Anteriormente estaba definido como la 1/86.400 parte del día solar medio.

Kelvin:

Es 1/273,16 del intervalo de temperatura entre el cero absoluto y el punto triple del agua (0,01°C = 273,16 K).

Mol:

Esta unidad fue agregada al conjunto de unidades fundamentales del S.I. en el año 1971. Se define como la cantidad de sustancia que contiene el mismo número de entidades elementales que la constituyen, que los átomos que hay en exactamente 0,012 kg de carbono 12.

En la actualidad se está tendiendo a usar el sistema internacional pero por razones históricas, en muchos textos se siguen mencionando y utilizando unidades de otros sistemas, por lo cual mencionaremos también aquí aquellas que son de importancia para los temas abarcados en el presente texto.

Las primeras tres unidades fundamentales en cada uno de los sistemas anteriormente mencionados son:

SISTEMA	MAGNITUDES	UNIDADES FUNDAMENTALES
c.g.s.	masa longitud tiempo	gramo masa (g) centímetro (cm) segundo (s)
técnico	fuerza longitud tiempo	kilogramo fuerza (kgr)* metro (m) segundo (s)
internacional	masa longitud tiempo	kilogramo masa (kg) metro (m) segundo (s)

(*) También se acepta kgf.

En los tres sistemas, el segundo es unidad fundamental de tiempo, y para la longitud, la unidad fundamental es el metro o un submúltiplo, el cm, de modo que no habrá ninguna dificultad para pasar de un sistema a otro cuando trabajemos con alguna de estas magnitudes. El problema surge cuando intentemos utilizar las magnitudes masa y fuerza, ya que se usan con unidades fundamentales en algún sistema y en otro con unidades derivadas. Por esto es necesario analizarlas cuidadosamente.

MASA:

Es una magnitud que tiene unidades fundamentales en el sistema c.g.s. y en el S.I., y unidad derivada en el sistema técnico.

gramo (g): en el sistema c.g.s., 1 g se define como la milésima parte de la masa del patrón que corresponde a 1 kilogramo.

kilogramo (kg): unidad fundamental del S.I., ya definida anteriormente.

unidad técnica de masa (U.T.M.): en el sistema técnico, la unidad de fuerza es una unidad fundamental, y la unidad de masa es por lo tanto deriva-

da. La relación entre ambas se obtiene a partir de la segunda ley de Newton: Fuerza = masa . aceleración.

La aceleración es una magnitud que tiene unidad derivada, ya que se la define como la magnitud física cuya medida se obtiene mediante el cociente entre la variación de la velocidad y el tiempo en que ésta ocurre, $a = \Delta v/t$. La velocidad a su vez también es una magnitud que tiene unidad derivada. La medida de la velocidad está dada por el cociente entre el espacio recorrido en un intervalo de tiempo, y la duración de ese intervalo. Así queda definida velocidad media. Sus unidades son cm s^{-1} en el sistema c.g.s. y m s^{-1} en los sistemas técnico e internacional. Por lo tanto, las unidades de aceleración serán $\text{cm s}^{-1} \text{s}^{-1} = \text{cm s}^{-2}$ en el sistema c.g.s. y m s^{-2} en los sistemas técnico e internacional.

En consecuencia, la unidad de masa en el sistema técnico será

$$\text{Unidad de masa} = \frac{\text{Unidad de fuerza}}{\text{Unidad de aceleración}} = \frac{\text{kgf} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

FUERZA:

Es una magnitud que tiene unidad fundamental en el sistema técnico y unidades derivadas en los sistemas c.g.s. e internacional.

dina: en el sistema c.g.s. se define una dina como la fuerza que produce en una masa de 1 gramo la aceleración de 1 cm s^{-2}

$$\text{dina} = \text{g cm s}^{-2}$$

Newton (N): en el S.I., la unidad de fuerza se llama Newton y es la fuerza que produce a una masa de 1 kg una aceleración de 1 m s^{-2}

$$\text{Unidad de fuerza} = \text{Unidad de masa} \cdot \text{Unidad de aceleración}$$

$$\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m s}^{-2}$$

Kilogramo fuerza (kgf): en el sistema técnico es unidad fundamental. Es la fuerza con que el kilogramo patrón es atraído por la Tierra en un lugar donde la aceleración de la gravedad es la normal, es decir a 45° de latitud y a nivel del mar ($9,80665 \text{ m s}^{-2} \cong 9,81 \text{ m s}^{-2}$).

Trataremos de encontrar ahora qué relación hay entre las unidades de fuerza en los tres sistemas y lo mismo para las unidades de masa.

La relación entre el Newton y la dina se puede calcular así:

$$\frac{\text{Newton}}{\text{dina}} = \frac{1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m s}^{-2}}{10^{-3} \text{ kg} \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-2}} = \frac{1}{10^{-5}} = 10^5$$

$$\begin{aligned} \text{O sea que: } 1 \text{ Newton} &= 10^5 \text{ dina} \\ 1 \text{ dina} &= 10^{-5} \text{ Newton} \end{aligned}$$

Para obtener la relación Newton - kgr, tenemos en cuenta que $P = m \cdot g$, donde P es el peso del cuerpo de masa m y g es la aceleración de la gravedad del lugar.

$$1 \text{ kgr} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} = 9,81 \text{ Newton} \text{ ó } 1 \text{ N} = 1 \text{ kgr}/9,81 = 0,102 \text{ kgr}$$

Como $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dina}$,

$$1 \text{ dina} = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ kgr} \text{ ó } 1 \text{ kgr} = 9,81 \cdot 10^5 \text{ dina}$$

Las relaciones entre las unidades de masa se obtienen de:

$$m = P \cdot g^{-1} = 1 \text{ kgr}/(9,81 \text{ m s}^{-2}) = 0,102 \text{ U.T.M.}$$

Utilizando la definición de kgr (fuerza con que 1 kg (kilogramo masa) es atraído por la Tierra en un lugar donde la gravedad es normal), se llega a la conclusión que:

$$1 \text{ kg} = 0,102 \text{ U.T.M.} \text{ ó } 1 \text{ U.T.M.} = 9,81 \text{ kg}$$

También vale

$$1 \text{ U.T.M.} = 9,81 \cdot 10^3 \text{ g} \text{ ó } 1 \text{ g} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ U.T.M.}$$

Daremos a continuación otras unidades derivadas que nos serán útiles para el presente curso de química básica.

VOLUMEN:

metro cúbico (m^3): En el sistema internacional y en el sistema técnico, la unidad de volumen es el metro cúbico. Este es el volumen de un cubo de 1 m de arista.

centímetro cúbico (cm^3): Es la unidad de volumen en el sistema c.g.s. Para poder definirlo, debemos primero definir el centímetro. Un centímetro (unidad fundamental de longitud en el sistema c.g.s.) es la longitud igual a la centésima parte de la distancia entre las dos marcas del patrón de platino-iridio ya mencionado. Un centímetro cúbico es el volumen de un cubo de 1 cm de arista.

Habitualmente se usan también como unidades de volumen el litro y el mililitro:

$$1 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ l} = 1000 \text{ ml}$$

Desde 1901 hasta 1964 se definía 1 litro como el volumen de 1 kg de agua a 4°C. Definido de esta forma, el litro resultó ser algo mayor que el decímetro cúbico. En 1964 se definió el litro como el volumen exactamente igual a 1 dm^3 , es decir 1000 cm^3 .

TRABAJO MECANICO:

Es el producto de una fuerza F que actúa sobre un cuerpo por la distancia recorrida por éste, d . Recordemos que, como la fuerza es una magnitud vectorial, en el caso en que la fuerza y el desplazamiento del cuerpo no tienen la misma dirección, al calcular el trabajo habrá que tomar la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento del cuerpo (F'):

$$W = F' \cdot d$$

Las unidades de trabajo mecánico son:

ergio (erg): es la unidad de trabajo mecánico en el sistema c.g.s. Un ergio es el trabajo realizado por una fuerza de una dina al desplazarse 1 cm en la dirección de su recta de acción.

$$\begin{aligned}\text{ergio} &= \text{dina cm} \\ \text{ergio} &= \text{g cm}^2 \text{ s}^{-2}\end{aligned}$$

Joule (J): es la unidad de trabajo mecánico en el sistema internacional. Un Joule es el trabajo mecánico realizado por una fuerza de 1 Newton al desplazarse 1 metro en la dirección de su recta de acción.

$$\begin{aligned}\text{Joule} &= \text{Newton m} \\ \text{Joule} &= \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}\end{aligned}$$

kilográmetro (kgm): es la unidad de trabajo mecánico en el sistema técnico. Un kilográmetro es el trabajo realizado por una fuerza de un kilográmo fuerza al desplazarse 1 metro en la dirección de su recta de acción.

$$\text{kilográmetro} = \text{kgr} \cdot \text{m}$$

Recordando que $1 \text{ kgr} = 9,81 \cdot 10^5 \text{ dina}$, resulta que

$$\begin{aligned}1 \text{ kgr} \cdot 1 \text{ m} &= 9,81 \cdot 10^5 \text{ dina} \cdot 100 \text{ cm} && \text{y por lo tanto} \\ 1 \text{ kgm} &= 9,81 \cdot 10^7 \text{ ergios}\end{aligned}$$

Igualmente se demuestra que $1 \text{ kgm} = 9,81 \text{ Joules}$.

POTENCIA:

Es la relación entre el trabajo realizado y el tiempo empleado en realizarlo.

Las unidades de potencia son:

ergio por segundo: es la unidad de potencia en el sistema c.g.s. Un ergio

por segundo es la potencia obtenida cuando se realiza un trabajo de 1 ergio durante 1 segundo:

$$\begin{aligned} \text{erg s}^{-1} &= \text{dina cm s}^{-1} = \text{g cm s}^{-2} \text{ cm s}^{-1} = \\ &= \text{g cm}^2 \text{ s}^{-3} \end{aligned}$$

kilográmetro por segundo: es la unidad de potencia en el sistema técnico. Un kilográmetro por segundo es la potencia obtenida cuando se realiza un trabajo de 1 kilográmetro durante 1 segundo.

$$\text{kgm s}^{-1} = \text{kgf m s}^{-1}$$

Watt o vatio: es la unidad de potencia en el S.I. Un vatio es la potencia obtenida cuando se realiza un trabajo de 1 Joule durante 1 segundo.

$$\begin{aligned} \text{vatio} &= \text{Joule s}^{-1} = \text{Newton m s}^{-1} = \text{kg m s}^{-2} \text{ m s}^{-1} \\ \text{vatio} &= \text{kg m}^2 \text{ s}^{-3} \end{aligned}$$

Otra unidad muy utilizada es el H.P. (horse power = potencia de un caballo).

$$1 \text{ H.P.} = 75 \text{ kgm s}^{-1}$$

La unidad kilowatt-hora se define como el trabajo realizado en una hora por una máquina que tiene una potencia de un kilowatt. Se utiliza para medir el trabajo eléctrico gastado. Por su nombre, se suele confundir esta unidad, que es una unidad de trabajo, con la unidad de potencia. Se puede demostrar fácilmente que es una unidad de trabajo:

$$1 \text{ kilowatt-hora} = 10^3 \text{ Joule s}^{-1} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

ENERGIA:

Se define como la capacidad de un sistema de realizar trabajo. Recordemos las expresiones para las formas más habituales de la energía:

$$\text{Energía potencial: } E_p = m_c \cdot g \cdot h$$

h es la altura a la que se encuentra el cuerpo, m_c su masa y g la aceleración de la gravedad

$$\text{Energía cinética: } E_c = m_c v^2/2$$

v es la velocidad del cuerpo de masa m_c

Las unidades de energía son las mismas que las de trabajo, vistas en el punto anterior.

ergio: unidad de energía en el sistema c.g.s.

$$\text{ergio} = \text{g cm}^2 \text{ s}^{-2}$$

Joule: unidad de energía en el S.I.

$$\text{Joule} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

kilográmetro: unidad de energía en el sistema técnico

$$\text{kilográmetro} = \text{kgr m}$$

Otra unidad de energía que se utiliza frecuentemente y que aparece en muchos libros de texto es la *caloría*, definida como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en 1 grado Celsius cuando el agua está a 15°C. La relación de la caloría con la unidad de energía en el sistema internacional, el Joule, es la siguiente:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ Joule}$$

DENSIDAD:

Es la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. Se usa generalmente la letra griega delta minúscula (δ) para representarla, aunque muchas veces se la simboliza con d.

$$\delta = m_c \cdot V^{-1}$$

Sus unidades son:

gramo por centímetro cúbico: es la unidad de densidad en el sistema c.g.s.

$$\text{g cm}^{-3}$$

U.T.M. por metro cúbico: es la unidad de densidad en el sistema técnico

$$\text{U.T.M. m}^{-3} = \text{kgr m}^{-4} \text{ s}^2$$

kilogramo por metro cúbico: es la unidad de densidad en el S.I.

$$\text{kg m}^{-3}$$

Se puede deducir fácilmente que

$$1 \text{ kg m}^{-3} = 10^{-3} \text{ g cm}^{-3} = 0,102 \text{ U.T.M. m}^{-3}$$

PESO ESPECIFICO:

Se define como la relación entre el peso de un cuerpo y el volumen que ocupa. Se usa normalmente la letra griega rho minúscula (ρ) para representarlo:

$$\rho = \text{Peso} \cdot V^{-1}$$

Sus unidades son:

dina por centímetro cúbico: es la unidad de peso específico en el sistema c.g.s.

$$\text{dina cm}^{-3} = \text{g cm}^{-2} \text{ s}^{-2}$$

kilogramo por metro cúbico: es la unidad de peso específico en el sistema técnico

$$\text{kg m}^{-3}$$

Newton por metro cúbico: es la unidad de peso específico en el S.I.

$$\text{Newton m}^{-3} = \text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-2}$$

Como ejercicio para el lector, demostrar las relaciones existentes entre estas unidades.

$$1 \text{ Newton m}^{-3} = 10^{-1} \text{ dina cm}^{-3} = 0,102 \text{ kg m}^{-3}$$

Se demuestra fácilmente que $\rho = \delta \cdot g$, donde g es la aceleración normal de la gravedad.

PRESION:

Es la relación entre la fuerza ejercida perpendicularmente sobre una superficie y el área de esa superficie.

$$\text{Presión} = \text{Fuerza} \cdot \text{superficie}^{-1}$$

Sus unidades son:

baria (b): es la unidad de presión en el sistema c.g.s. Una baria es la presión ejercida por una fuerza de 1 dina sobre una superficie de 1 cm².

$$\text{baria} = \text{dina cm}^{-2} = \text{g cm}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

Pascal (Pa): es la unidad de presión en el S.I. Un Pascal es la presión ejercida por la fuerza de 1 Newton sobre una superficie de 1 m².

$$\text{Pascal} = \text{Newton} \cdot \text{m}^{-2} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

kilogramo por metro cuadrado: es la unidad de presión en el sistema técnico. Un kilogramo por metro cuadrado es la presión ejercida por 1 kilogramo fuerza sobre la superficie de 1 m².

$$\text{kgf} \cdot \text{m}^{-2}$$

Se puede demostrar fácilmente que 1 Pa = 10 b.

La presión atmosférica se mide muchas veces en las unidades atmosféricas o mm de mercurio. También se suele usar la unidad torr (1 torr = 1 mm de mercurio). Es bien sabido que una presión de 1 atmósfera corresponde a la presión que ejerce sobre su base una columna de mercurio de 760 mm de altura (o sea 760 torr).

¿Cómo se relacionan estas unidades con las que ya vimos?

Para obtener esas relaciones, calculemos la presión ejercida por una columna de mercurio de altura h.

$$\text{Presión} = F \cdot S^{-1}$$

La fuerza ejercida F es el peso de la columna; este peso puede ser calculado como el peso específico ρ multiplicado por el volumen.

$$\text{Presión} = \text{Peso} \cdot S^{-1} = \rho \cdot V \cdot S^{-1}$$

Para una columna cilíndrica $V = S \cdot h$

$$\text{Presión} = \rho \cdot S \cdot h \cdot S^{-1} = \rho \cdot h$$

Sabiendo que la densidad del mercurio es 13,59 g · cm⁻³, podremos efectuar el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= \rho \cdot h = \delta \cdot g \cdot h \\ &= 13,59 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 980,7 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 76,00 \text{ cm} \\ &= 1,013 \cdot 10^6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = 1,013 \cdot 10^6 \text{ dina} \cdot \text{cm}^{-2} \\ &= 1,013 \cdot 10^6 \text{ b} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la presión atmosférica normal puede expresarse en los distintos sistemas de unidades de las siguientes formas:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ torr} = 1,013 \cdot 10^6 \text{ b} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

INTENSIDAD DE CORRIENTE:

Solo mencionaremos aquí que la unidad fundamental de intensidad de corriente en el S.I. es el:

Ampere (A): esta unidad queda definida como la cantidad de corriente que al fluir a través de dos alambres largos y paralelos, separados 1 m en el espacio libre, produce una fuerza entre los dos alambres de $2 \cdot 10^{-7}$ N por cada metro de longitud. De esta unidad se derivan el Coulomb (C), unidad de carga eléctrica definida como A.s, el Volt (V), unidad de diferencia de potencial ($V = J.C^{-1}$), y el ohm (Ω), unidad de resistencia eléctrica ($\Omega = V.A^{-1}$).

CARGA ELECTRICA:

En este Manual se menciona la unidad electrostática de carga (u.e.s.), que es la unidad de carga en el sistema c.g.s. Está definida como la carga que, al estar situada a 1 cm de distancia de otra igual, pero de signo opuesto, produce una fuerza de atracción igual a 1 dina. Su relación con el Coulomb es la siguiente:

$$1 \text{ u.e.s.} = 3,334 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$