

## CONVERSIÓN DE UNIDADES

### 1. Magnitudes físicas y su medición.

Desde tiempos muy remotos el hombre ha tenido la necesidad de medir, es decir, saber cuál es la magnitud de un objeto comparándolo con otro de la misma especie que le sirva de base o patrón, pero el problema ha sido encontrar el patrón de medida. Por ejemplo, se habló de codos, varas, pies y jemes (distancia entre el dedo índice y pulgar al estar estirada la mano) para medir longitud; cuarterones, arrobas, quintales y cargas para medir masa; y lunas, soles y lustros para medir tiempo.

Los países grandes y ricos establecieron nuevas medidas propias para demostrar su poderío y autonomía, dando como resultado un serio obstáculo para el comercio entre los pueblos debido a la diversidad de unidades de medida.

Durante el siglo II a.C. y hasta el siglo IV de nuestra era, a causa del dominio que ejercía el Imperio Romano y al deseo de unificar las unidades empleadas, implantaron la libra como unidad de masa y la barra de bronce, llamada pie, como unidad de longitud. En la edad media, siglo V al siglo XV d.C. vuelve la anarquía en las unidades de medida. En 1795 vuelve la anarquía en las unidades de medida. En 1795 se implanta el **Sistema Métrico Decimal** como resultado de la Convención Mundial de Ciencia efectuada en Francia. Las unidades fundamentales fueron: el **metro**, el **kilogramo-peso** y el **litro**. En 1881 se adopta el Sistema Cegesimal o CGS propuesto por el físico alemán Karl Gauss en el Congreso Internacional de los Electricistas realizado en París, Francia. Las unidades fundamentales fueron: **centímetro**, **gramo-masa** y **segundo**. En 1935 se adopta el Sistema MKS propuesto por el ingeniero italiano Giovanni Giorgi en el Congreso Internacional de los Electricistas realizado en Bruselas, Bélgica. Las unidades fundamentales fueron: **metro**, **kilogramo-masa** y **segundo**. En 1960 en Ginebra, Suiza, el mundo científico adopta el Sistema Internacional de Unidades (SI) que se apoya en el MKS y cuyas unidades fundamentales son: **metro** (m) para medir longitud, **kilogramo** (Kg.) para masa, **segundo** (s) para tiempo, **kelvin** (K) para temperatura, **ampere** (A) para intensidad de corriente eléctrica, **candela** (cd) para intensidad luminosa y **mol** para cantidad de sustancia. El sistema Internacional que México, junto con otros países, aceptó y adoptó es el que esperamos se use en todo el mundo, evitando así la problemática histórica de batallar con múltiples unidades de medida para una misma magnitud física; la de tener que convertirlas de un sistema a otro para poder interpretarlas correctamente.

#### 1.1 Desarrollo histórico de las unidades de medida y de los sistemas de unidades.

Cuando el hombre primitivo tuvo la necesidad de encontrar referencias que le permitieran hablar de lapsos menores a los transcurridos entre la salida del Sol o de la Luna, observó que la sombra proyectada por una roca caminaba por el suelo a medida que el tiempo pasaba.

Se le ocurrió entonces colocar una piedra en lugares en los cuales se realizara alguna actividad especial, o bien, retornaría a su caverna para comer cuando la sombra de la roca llegara hasta donde había colocado la piedra. Gracias al desplazamiento de la sombra de la roca proyectada por el Sol, el hombre tuvo su primer reloj para medir el tiempo. También trataba de comparar el peso de dos objetos para saber cuál era mayor al colocar uno en cada mano. Pero un buen día, alguien tuvo la idea de poner en equilibrio una tabla con una roca en medio y colocar dos objetos en ambos extremos de la tabla, así el objeto que más bajara era el de mayor peso. Se había inventado la primera y burda balanza.

Para medir la longitud, el hombre recurría a medidas tomadas de su propio cuerpo. Los egipcios usaban la *brazada*, cuya longitud equivalía a las dimensiones de un hombre con los brazos extendidos.

Los ingleses usaban como patrón la longitud del pie de su rey. Los romanos usaban el paso y la milla equivalente a mil pasos. Para ellos un paso era igual a dos pasos de los actuales, pues cada uno era doble, ya que cada pie daba un avance. También se utilizaron otras partes del cuerpo humano; el *codo* era la distancia desde el codo hasta el extremo del dedo medio; el *palmo* o la *cuarta* era la distancia entre el extremo del dedo pulgar y el meñique, al estar abierta la mano. La elección de la unidad de medida de longitud se convirtió en una cuestión de prestigio, pues era inconcebible que una nación utilizara la medida de alguna parte del cuerpo del soberano de otro país. Por tanto, cada vez se crearon más unidades diferentes, y cada país poderoso tenía sus propias medidas. Es fácil imaginar el desconcierto reinante en esos tiempos para el comercio entre los pueblos.

Cuando Roma se integra en un imperio y conquista a muchos territorios (siglo II a.C. al siglo IV d.C.) trata de poner orden a la diversidad de unidades y establece la *libra* como unidad de peso y el *pie* como unidad de longitud; para ello, modela un cuerpo representativo del peso de una libra patrón y una barra de bronce

que muestre la longitud equivalente al pie. Por primera vez existía una misma forma de pesar y de medir longitudes.

Cuando se dio la decadencia del Imperio Romano y el poder político y económico que ejercía quedó en ruinas, nuevamente surgió la anarquía en las unidades de medida, la cual duró todo el período de la Edad Media (siglo V al siglo XV d.C.). Fue hasta 1790 cuando la asamblea constituyente de Francia, por medio de la Academia de Ciencias de París, extendió una invitación a los países para enviar a sus hombres de ciencia con el objeto de unificar los sistemas de pesas y medidas, y adoptar uno solo para todo el mundo.

### 1.1.1 Sistema Métrico Decimal.

El primer sistema de unidades bien definido que hubo en el mundo fue el Sistema Métrico Decimal, implantado en 1795 como resultado de la Convención Mundial de la Ciencia celebrada en París, Francia; este sistema tiene una división decimal y sus unidades fundamentales son: el metro, el kilogramo-peso y el litro. Además, para definir las unidades fundamentales utiliza datos de carácter general como las dimensiones de la Tierra y la densidad del agua.

A fin de encontrar una unidad patrón para medir longitudes se dividió un meridiano terrestre en cuarenta millones de partes iguales y se le llamó metro a la longitud de cada parte.

Por tanto, definieron al metro como la cuarenta millonésima parte del meridiano terrestre. Una vez establecido el metro como unidad de longitud sirvió de base para todas las demás unidades que constituyeron al Sistema Métrico Decimal, derivado de la palabra metro que quiere decir medida.

Una ventaja importante del Sistema Métrico fue su división decimal, ya que mediante el uso de prefijos como *decí*, *centí*, o *mili*, que son algunos de los submúltiplos de la unidad, podemos referirnos a decímetro, como la décima parte del metro (0.1m); a centímetro, como la centésima parte (0.01m); y a milímetro, como la milésima parte del metro (0.001m). Lo mismo sucede para el litro o el kilogramo, de manera que al hablar de prefijos como *deca*, *hecto*, o *kilo*.

Algunos de los múltiplos de la unidad, podemos mencionar al decámetro, hectómetro o kilómetro como equivalentes a 10, 100 o 1 000 metros, respectivamente.

#### 1.1.1.1. Sistema Cegesimal o CGS.

En 1881, como resultado del gran desarrollo de la ciencia y por supuesto de la Física, se adopta en el Congreso Internacional de los Electricistas realizado en París, Francia, un sistema llamado absoluto: el Sistema Cegesimal o CGS propuesto por el físico alemán Karl Gauss. En dicho sistema las magnitudes fundamentales y las unidades propuestas para las mismas son: para la longitud el centímetro, para la masa el gramo y para el tiempo el segundo. En ese entonces ya se observa la diferenciación entre los conceptos de masa y peso de un cuerpo, porque se tenía claro que el peso era el resultado de la fuerza de atracción gravitacional ejercida por la Tierra sobre la masa de los cuerpos.

#### 1.1.1.2. Sistema MKS.

En 1935 en el Congreso Internacional de los Electricistas celebrado en Bruselas, Bélgica, el ingeniero italiano Giovanni Giorgi propone y logra que se acepte su sistema, también llamado absoluto, pues como magnitud fundamental se habla de la masa y no del peso de los cuerpos; este sistema recibe el nombre de MKS, cuyas iniciales corresponden al metro, al kilogramo y al segundo como unidades de longitud, masa y tiempo, respectivamente.

## 1.2. Sistema Internacional de Unidades (SI).

En virtud de que en el mundo científico se buscaba uniformidad en un solo sistema de unidades que resultara práctico, claro y acorde con los avances de la ciencia, en 1960 científicos y técnicos de todo el mundo se reunieron en Ginebra, Suiza, y acordaron adoptar el llamado: Sistema Internacional de Unidades (SI). Este sistema se basa en el llamado MKS cuyas iniciales corresponden a metro, kilogramo y segundo. El sistema Internacional tiene como magnitudes y unidades fundamentales las siguientes: para longitud al metro (m), para masa al kilogramo (kg), para tiempo al segundo (s), para temperatura al kelvin (K), para intensidad de corriente eléctrica al ampere (A), para intensidad luminosa la candela (cd) y para cantidad de sustancia al mol. Las definiciones del metro, kilogramo y segundo se dan a continuación.

El empleo del SI como único sistema que el hombre utilice a nivel científico y comercial en todo el mundo, representa no sólo el avance de la ciencia, sino también la posibilidad de emplear un lenguaje específico para expresar cada magnitud física en una unidad de medida basada en definiciones precisas respecto a fenómenos y situaciones naturales. Con el uso de SI ya no interpretamos longitudes en pies, millas, yardas, pulgadas, millas marinas, millas terrestres o leguas, pues con el metro y los respectivos prefijos podemos expresar cualquier longitud por pequeña o grande que esta sea. Lo mismo sucede para la masa, en la cual en

lugar de onzas, libras y toneladas sólo empleamos al kilogramo con sus múltiplos y submúltiplo, cuyos prefijos son los mismos del metro y de las diferentes unidades de medida. Esperamos que en poco tiempo, con el progreso de la ciencia y de la humanidad, el único sistema utilizado por sus múltiples ventajas sea el Sistema Internacional de Unidades (SI).

## 2. Unidades SI

### 2.1 Unidades SI de base

Las definiciones formales de todas las unidades de base del SI son aprobadas por el CGPM.

La primera de tales definiciones fue aprobada en 1889 y la más reciente en 1983. Estas definiciones se modifican a lo largo del tiempo en la medida que las técnicas de medición evolucionan y permiten realizaciones más exactas de las unidades de base.

#### 2.1.1 Definiciones

Las definiciones actuales de las unidades de base, tomadas de los Comptes Rendus (CR) de las correspondientes CGPM, se muestran aquí con márgenes y en negrita. Otras decisiones relacionadas que clarifican esas definiciones, pero que no son parte formalmente de las mismas, tomadas de los Comptes Rendus (CR) de los correspondientes CGPM o de los Procès-Verbaux (PV) del CIPM, también se muestran con márgenes y en caracteres corrientes. El texto de enlace provee notas históricas y explicaciones, pero no es parte de las definiciones.

##### 2.1.1.1 Unidad de longitud (metro)

La definición de 1889 del metro, basada en el prototipo internacional de platino- iridio, fue reemplazada por la 11ª. CGPM (1960), usando una definición basada en la longitud de onda de la radiación de kriptón 86. Esta definición fue adoptada con el propósito de mejorar la exactitud con la cual se realizaba el metro. A su vez, fue reemplazada en 1983 por la 17ª.

CGPM (Resolución 1, CR, 97 y *Metrología* 1984, 20,25):

***El metro es la longitud del camino recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo.***

Nótese que esta definición tiene como efecto fijar la velocidad de la luz en exactamente  $299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ . El prototipo internacional original del metro, el cual fue sancionado por la 1ª. CGPM en 1889 (CR, 34-38) todavía se mantiene en el BIPM bajo las condiciones especificadas en 1889.

##### 2.1.1.2 Unidad de masa (kilogramo)

El prototipo internacional del kilogramo, hecho de platino – iridio, se mantiene en el BIPM bajo las condiciones especificadas por la 1ª. CGPM en 1889 (CR, 34-38) cuando sancionó el prototipo y declaró que: Este prototipo será de aquí en adelante considerado la unidad de masa La 3ª. CGPM (1901, CR, 70), en una declaración que intentaba terminar con la ambigüedad en el uso popular de la palabra ‘peso’, confirmó que:

**El kilogramo es la unidad de masa: es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.**

##### 2.1.1.3 Unidad de tiempo (segundo)

La unidad de tiempo, el segundo, fue en una época considerada la fracción  $1/86\,400$  del día solar medio. La definición exacta de ‘día solar medio’ estaba basada en teorías astronómicas. No obstante, mediciones mostraron que existían irregularidades en la rotación de la Tierra que no podían ser explicadas por la teoría y que tenían como efecto que esa definición no permitía lograr el nivel de exactitud requerido. Para definir la unidad de tiempo de una manera más precisa, la 11ª. CGPM (1960;CR,86) adoptó una definición dada por la Unión Astronómica Internacional basada en el año trópico. No obstante, existía base experimental que ya había mostrado que un intervalo de tiempo atómico patrón, basado en la transición entre dos niveles de energía de un átomo o de una molécula, podía ser realizado y reproducido con mucha mayor precisión. Considerando que una definición muy precisa de la unidad de tiempo es indispensable para el Sistema Internacional, la 13ª.

CGPM (1967 – 1968, Resolución 1; CR 103 y *Metrología*, 1968, 4, 43) reemplazó la definición del segundo por la siguiente:

**El segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de cesio 133**

En su reunión de 1997, el CIPM estableció que: Esta definición se refiere a un átomo de cesio en reposo a la temperatura de 0 K

### fundamentales y derivadas.

#### UNIDADES BÁSICAS O FUNDAMENTALES

Reciben el nombre de magnitudes fundamentales aquellas que no se definen en función de otras magnitudes físicas y, por tanto, sirven de base para obtener las demás magnitudes utilizadas en la Física.

Existen siete magnitudes fundamentales: longitud, masa, tiempo, temperatura, intensidad de corriente eléctrica, intensidad luminosa y cantidad de sustancia.

MAGNITUD	NOMBRE DE LA UNIDAD SI BÁSICA	SÍMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	Mol
Intensidad luminosa	candela	Cd

#### UNIDADES DERIVADAS DE LAS FUNDAMENTALES

Las magnitudes derivadas resultan de multiplicar o dividir entre sí las magnitudes fundamentales. Por ejemplo al multiplicar la magnitud fundamental longitud por sí misma nos da como resultado longitud al cuadrado ( $LL = L^2$ ) equivalente a la magnitud derivada área o superficie. Al multiplicar longitud por longitud por longitud obtenemos longitud al cubo ( $LLL = L^3$ ), la cual corresponde a una magnitud derivada llamada volumen ( $V = L^3$ ). Lo mismo sucede con la aceleración, fuerza, trabajo y energía, presión, potencia, densidad, etc., que reciben el nombre de magnitudes derivadas porque se obtienen a partir de las fundamentales.

MAGNITUD	NOMBRE DE LA UNIDAD SI DERIVADA	SÍMBOLO
Superficie	metro cuadrado	m <sup>2</sup>
Volumen	metro cúbico	m <sup>3</sup>
Velocidad	metro por segundo	m/s
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m/s <sup>2</sup>
Densidad	kilogramo por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>
Densidad de corriente	amperio por metro cuadrado	A/m <sup>2</sup>
Fuerza de campo magnético	amperio por metro	A/m
Volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m <sup>3</sup> /kg
Luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m <sup>2</sup>

MAGNITUD	NOMBRE	SÍMBOLO (1)	EXPRESIÓN (2)
Ángulo plano	Radián	rad	$\text{m} \cdot \text{m}^{-1} = 1$
Ángulo sólido	Estereorradián	sr	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2} = 1$
Frecuencia	Hercio	Hz	1/s
Fuerza	Newton	N	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
Presión, tensión mecánica	Pascal	Pa	$\text{N}/\text{m}^2$
Energía, trabajo, cantidad de calor	Julio	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
Potencia	Vatio	W	J/s
Cantidad de electricidad	Culombio	C	A·s
Potencial eléctrico, diferencia de potencial, tensión eléctrica y fuerza electromotriz	Voltio	V	J/C
Capacidad eléctrica	Faradio	F	C/V
Resistencia eléctrica	Ohmio	$\Omega$	V/A
Conductancia eléctrica	Siemens	S	$1/\Omega$
Flujo magnético, flujo de inducción magnética	Weber	Wb	V·s
Densidad de flujo magnético, inducción magnética	Tesla	T	$\text{Wb}/\text{m}^2$
Inductancia	Henrio	H	$\text{Wb}/\text{A}$
Temperatura Celsius	grado Celsius	°C	$1\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$
Flujo luminoso	Lumen	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
Iluminancia	Lux	lx	$\text{lm}/\text{m}^2$
Actividad (radiaciones ionizantes)	Becquerel	Bq	1/s
Dosis absorbida	Gray	Gy	J/kg
Dosis equivalente	Sievert	Sv	J/kg

### Sistemas de Unidades Absolutos.

Reciben el nombre de Sistemas de Unidades Absolutos aquellos que como una de sus magnitudes fundamentales utilizan a la masa y no al peso ya que éste es considerado una magnitud derivada. En el siguiente cuadro se tienen algunas magnitudes y sus unidades en el Sistema Internacional (SI), el sistema CGS y el Sistema Inglés, todos ellos sistemas absolutos. Observemos que en este cuadro sólo se trabaja con tres magnitudes fundamentales: longitud, masa y tiempo, y todas las demás son derivadas de ellas, pues se obtienen al multiplicar o dividir entre sí a esas tres magnitudes.

Como se puede observar los símbolos de las unidades se escriben con minúsculas a menos de que se trate de nombres propios, en tal caso será con mayúsculas; los símbolos se anotan en singular y sin punto. Por tanto, debemos escribir para kilogramo; kg. y no Kg., para kilómetro km y no Km., para gramo g y no gr., para newton; N y no n ni Nw. Mediante el empleo de prefijos y sus respectivos símbolos, aceptados internacionalmente, podemos obtener múltiplos y submúltiplos para cada unidad de medida de acuerdo con el cuadro anterior.

De manera que si decimos kilogramo, kilómetro, kilosegundo y kilopié, nos referimos a mil gramos, mil metros, mil segundos y mil pies, respectivamente. Si mencionamos nanómetro, nanogramo, nanosegundo y nanopié, hablamos de mil millonésima de metro, mil millonésima de gramo, mil millonésima de segundo y mil millonésima de pié, respectivamente .

### 3. Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI

#### 3.1 Prefijos SI

La 11ª. CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87) adoptó una serie de prefijos y símbolos de prefijos para formar los nombres y símbolos de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI en el rango de  $10^{12}$  a  $10^{-12}$ . Los prefijos para  $10^{-15}$  y  $10^{-18}$  fueron agregados por la 12ª. CPGM (1964, Resolución 8; CR, 94),

para 1015 y 1018 por la 15ª. CGPM (1975, Resolución 10; CR, 106 y *Metrología*, 1975, 11, 180 –181) y para 1021, 1024, 10–21 y 10–24 por la 19ª. CGPM (1991, Resolución 4; CR, 185 y *Metrología*, 1992, 29, 3).

Tabla 5 lista todos los prefijos y símbolos aprobados.

PREFIJO	SÍMBOLO	AUMENTO O DISMINUCIÓN DE LA UNIDAD
exa	E	1.000.000.000.000.000.000 (un trillón)
peta	P	1.000.000.000.000.000 (mil billones)
tera	T	1.000.000.000.000 (un billón)
giga	G	1.000.000.000 (mil millones, un millardo)
mega	M	1.000.000 (un millón)
kilo	k	1.000 (un millar, mil)
hecto	h	100 (un centenar, cien)
deca	da	10 (una decena, diez)
deci	d	0,1 (un décimo)
centi	c	0,01 (un centésimo)
mili	m	0,001 (un milésimo)
micro	μ	0,000001 (un millonésimo)
nano	n	0,000000001 (un milmillonésimo)
pico	p	0,000000000001 (un billonésimo)
femto	f	0,000000000000001 (un milbillonésimo)
atto	a	0,000000000000000001 (un trillonésimo)

Estos prefijos pueden agregarse a la mayoría de las unidades métricas para aumentar o disminuir su cuantía. Por ejemplo, un kilómetro es igual a 1.000 metros.

De Manera más concisa la tabla anterior quedaría expresada como sigue:

Prefijo	Símbolo	Factor de multiplicación
Deca	Da	10 10 <sup>1</sup>
Hecto	h	100 10 <sup>2</sup>
Kilo	k	1 000 10 <sup>3</sup>
Mega	M	1 000 000 10 <sup>6</sup>
Giga	G	1 000 000 000 10 <sup>9</sup>
Tera	T	1 000 000 000 000 10 <sup>12</sup>
Peta	P	1 000 000 000 000 000 10 <sup>15</sup>
Exa	E	1 000 000 000 000 000 000 10 <sup>18</sup>



Prefijo	Símbolo	Factor de multiplicación
Deci	d	$\frac{1}{10^{-1}}$
Centi	c	$\frac{1}{10^{-2}}$
Mili	m	$\frac{1}{10^{-3}}$
Micro	$\mu$	$\frac{1}{10^{-6}}$
Nano	n	$\frac{1}{10^{-9}}$
Pico	p	$\frac{1}{10^{-12}}$
Femto	f	$\frac{1}{10^{-15}}$
atto	a	$\frac{1}{10^{-18}}$

### Sistemas de Unidades Técnicos o Gravitacionales.

Además de los tres sistemas de Unidades Absolutas ya señalados, existen los Sistemas de Unidades Técnicos, también llamados Gravitacionales o de Ingeniería, mismos que se caracterizan porque utilizan el peso como magnitud fundamental y a la masa la consideran una magnitud derivada.

El Sistema MKS Técnico o Gravitacional (MK<sub>Sg</sub>) y el Sistema Británico Gravitacional (S<sub>bg</sub>) o Sistema Inglés Técnico son los más utilizados, ambos tienden a desaparecer por la complejidad de su manejo, dando paso al Sistema Internacional de Unidades (SI) de cuyas ventajas cada día se convencen más los británicos y los estadounidenses, quienes aún no lo adoptan por completo.

La equivalencia entre la unidad de peso o fuerza en el MK<sub>Sg</sub> y el S<sub>bg</sub> es la siguiente:

$$1 \text{ kg} = 2.2 \text{ lb}$$

$$1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg}$$

Un kg es la fuerza que le imprime a una masa de 1kg una aceleración de  $9.8 \text{ m/s}^2$ . Por tanto, utilizando la expresión  $F=ma$  tenemos:

$$1 \text{ kg} = 1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 9.8 \text{ kg m/s}^2$$

$$\text{donde: } 1 \text{ kg} = 9.8 \text{ N}$$

Una lb es aquella fuerza que le imprime a una masa de una libra, o sea, 0.454 kg, una aceleración de  $32.17 \text{ pies/s}^2$  equivalente a  $9.8 \text{ m/s}^2$ . Utilizando la expresión  $F=ma$ , calculamos la equivalencia de 1 lb a newton:

$$1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 4.45 \text{ N}$$

Con las equivalencias anteriores podemos convertir unidades de fuerza de los Sistemas de Unidades Absolutos a Técnicos o Gravitacionales y viceversa.

### Análisis de errores en la medición.

Al medir y comparar el valor verdadero o exacto de una magnitud y el valor obtenido siempre habrá una diferencia llamada error de medición. Por tanto, al no existir una medición exacta debemos procurar reducir al mínimo el error, empleando técnicas adecuadas y aparatos o instrumentos cuya precisión nos permitan obtener resultados satisfactorios. Una forma de reducir la magnitud del error es repetir el mayor número de

veces posible la medición y obtener la media aritmética o valor promedio de las mediciones, ya que el promedio de las mediciones resultará más confiable que cualquiera de ellas.

**Causas de error en las mediciones.**

Los errores que se cometen al hacer una medición tienen su origen en diferentes causas, veamos:

**Errores sistemáticos.** Estos errores se presentan de manera constante a través de un conjunto de lecturas realizadas al hacer la medición de una magnitud determinada. Las fuentes o causas de este tipo de errores son:

- a). Defecto en el instrumento de medición. Se produce, por ejemplo, al determinar el tiempo con un cronómetro que marche más rápido o más lento de lo debido.
- b). Mala calibración del aparato o instrumento usado. Se da por fallas de fabricación.
- c). Error de escala. Se produce por el rango de precisión del instrumento empleado, lo que provocará una incertidumbre en la medición.

**Errores circunstanciales** (estocástico o aleatorios). Este tipo de errores no se repite regularmente de una medición a otra, sino que varían y sus causas se deben a los efectos provocados por las variaciones de presión, humedad y temperatura del ambiente sobre los instrumentos. Así, por ejemplo, con la temperatura la longitud de una regla puede variar ligeramente de una medición a otra; o una balanza sensible puede dar variaciones pequeñas al medir varias veces la masa de un cuerpo. Los errores circunstanciales pueden llamarse estocásticos, ya que son difíciles de apreciar debido a que son muy pequeños y se producen en forma irregular o estocástica de una medición a otra, es decir, azarosa. También se les da el nombre de error aleatorio porque son el resultado de factores inciertos y, por lo tanto, tienen la misma posibilidad de ser positivos o negativos. Otro ejemplo de error circunstancial, es el error de paralaje. Este se comete por una incorrecta postura del observador, la cual le impide hacer una adecuada lectura de medición.

### Precisión de los aparatos o instrumentos

La precisión de un aparato o instrumento de medición es igual a la mitad de la unidad más pequeña que puede medir. También recibe el nombre de incertidumbre o error de instrumento o aparato de medida. Por ejemplo, si se realiza la medición de la masa utilizando una balanza que está graduada para leer valores hasta de décimas de gramo (0.1g) la precisión, incertidumbre o error de la balanza será de: 0.05 g, ya sean de más o de menos (  $\pm 0.05$  g).

Si se utiliza un cronómetro construido para medir tiempos de centésimas de segundo (0.01 s), su precisión será de:  $\pm 0.005$  s.

**Cuantificación del error en las mediciones.** Con el objetivo de cuantificar el error que se comete al medir una magnitud, se consideran los siguientes errores:

**o Error absoluto o desviación absoluta.** Es la diferencia entre la medición y el valor promedio.

**o Error relativo.** Es el cociente entre el error absoluto y el valor promedio. (Se expresa en valores absolutos sin importar el signo del error absoluto.) o Error porcentual. Es el error relativo multiplicado por 100, con lo cual queda expresado en porcentaje.

En muchas situaciones en Física, tenemos que realizar operaciones con magnitudes que vienen expresadas en unidades que no son homogéneas. Para que los cálculos que realicemos sean correctos, debemos transformar las unidades de forma que se cumpla el principio de homogeneidad.

El proceso de medición es un proceso físico experimental, fundamentalmente para la ciencia, en donde lo que concretamente se mide es una cantidad de una magnitud física. Por ejemplo, con un cronómetro se miden cantidades de tiempo, con una regla, cantidades de longitud, con un dinamómetro cantidades de fuerza con una balanza cantidades de masa, etc. En estos ejemplos, longitud, tiempo, fuerza y masa (cuyas cantidades son las que se miden), son magnitudes de tipo física.

La cantidad de magnitud se expresa por medio de un producto algebraico de un número por una unidad de medida adecuada. Por ejemplo, 39 kg, 350mg, 25 lb, etc. son cantidades de masa.

### Causas de error en las mediciones.

Los errores que se cometen al hacer una medición tienen su origen en diferentes causas, veamos:

**Errores sistemáticos.** Estos errores se presentan de manera constante a través de un conjunto de lecturas realizadas al hacer la medición de una magnitud determinada. Las fuentes o causas de este tipo de errores son:



- a). Defecto en el instrumento de medición. Se produce, por ejemplo, al determinar el tiempo con un cronómetro que marche más rápido o más lento de lo debido.
- b). Mala calibración del aparato o instrumento usado. Se da por fallas de fabricación.
- c). Error de escala. Se produce por el rango de precisión del instrumento empleado, lo que provocará una incertidumbre en la medición.

**Errores circunstanciales (estocástico o aleatorios).** Este tipo de errores no se repite regularmente de una medición a otra, sino que varían y sus causas se deben a los efectos provocados por las variaciones de presión, humedad y temperatura del ambiente sobre los instrumentos. Así, por ejemplo, con la temperatura la longitud de una regla puede variar ligeramente de una medición a otra; o una balanza sensible puede dar variaciones pequeñas al medir varias veces la masa de un cuerpo. Los errores circunstanciales pueden llamarse estocásticos, ya que son difíciles de apreciar debido a que son muy pequeños y se producen en forma irregular o estocástica de una medición a otra, es decir, azarosa. También se les da el nombre de error aleatorio porque son el resultado de factores inciertos y, por lo tanto, tienen la misma posibilidad de ser positivos o negativos. Otro ejemplo de error circunstancial, es el error de paralaje. Este se comete por una incorrecta postura del observador, la cual le impide hacer una adecuada lectura de medición.

En muchas situaciones en Física, tenemos que realizar operaciones con magnitudes que vienen expresadas en unidades que no son homogéneas. Para que los cálculos que realicemos sean correctos, debemos transformar las unidades de forma que se cumpla el principio de homogeneidad.

El proceso de medición es un proceso físico experimental, fundamentalmente para la ciencia, en donde lo que concretamente se mide es una cantidad de una magnitud física. Por ejemplo, con un cronómetro se miden cantidades de tiempo, con una regla, cantidades de longitud, con un dinamómetro cantidades de fuerza con una balanza cantidades de masa, etc. En estos ejemplos, *longitud, tiempo, fuerza y masa* (cuyas cantidades son las que se miden), son magnitudes de tipo física. La cantidad de magnitud se expresa por medio de un producto algebraico de un número por una unidad de medida adecuada. Por ejemplo, 39 kg, 350mg, 25 lb, etc. son cantidades de masa.

De acuerdo con lo anterior, se podrá inferir que sólo por medio del proceso de medición es posible identificar y definir a las magnitudes físicas, las cuales se definen como todo aquello cuyas cantidades, directa o indirectamente se pueden medir.

**Medir** es una cantidad de una magnitud física la cual es compararla con otra unidad de la misma magnitud (de la misma especie), elegida previamente como unidad de medida.

Recibe el nombre de **unidad de medida o patrón** a toda magnitud de valor conocido y perfectamente definido que se utiliza como referencia para medir y expresar el valor de otras magnitudes de la misma especie. Una de las principales características que debe cumplir un patrón de medida es que sea reproducible. Por ejemplo, si queremos calcular el espacio recorrido por un móvil que se mueve a velocidad constante de 72 km/h en un trayecto que le lleva 30 segundos, debemos aplicar la sencilla ecuación siguiente  $S = v \cdot t$ , pero tenemos el problema de que la velocidad viene expresada en kilómetros/hora, mientras que el tiempo viene en segundos. Esto nos obliga a transformar una de las dos unidades, de forma que ambas sean la misma, para no violar el principio de homogeneidad y que el cálculo sea acertado.

Para realizar la transformación utilizamos los factores de conversión. Llamamos **factor de conversión** a la relación de equivalencia entre dos unidades de la misma magnitud, es decir, un cociente que nos indica los valores numéricos de equivalencia entre ambas unidades.

El factor de conversión o de unidad es una fracción en la que el numerador y el denominador son medidas iguales expresadas en unidades distintas, de tal manera, que esta fracción vale la unidad. Método efectivo para cambio de unidades y resolución de ejercicios sencillos dejando de utilizar la regla de tres.

Ejemplo 1: pasar 15 pulgadas a centímetros (factor de conversión: 1 pulgada = 2,54 cm)

$$15 \text{ pulgadas} \times (2,54 \text{ cm} / 1 \text{ pulgada}) = 15 \times 2,54 \text{ cm} = 38,1 \text{ cm}$$

Ejemplo 2: pasar 25 metros por segundo a kilómetros por hora (factores de conversión: 1 kilómetro = 1000 metros, 1 hora = 3600 segundos)

$$25 \text{ m/s} \times (1 \text{ km} / 1000 \text{ m}) \times (3600 \text{ s} / 1 \text{ h}) = 90 \text{ km/h}$$

Ejemplo 3: obtener la masa de 10 litros de mercurio (densidad del mercurio: 13,6 kilogramos por decímetro cúbico)

Nótese que un litro es lo mismo que un decímetro cúbico.

$$10 \text{ litros de mercurio} \times (1 \text{ decímetro cúbico de mercurio} / 1 \text{ litro de mercurio}) \times (13,6 \text{ kilogramos} / 1 \text{ decímetro cúbico de mercurio}) = 136 \text{ kg}$$

Ejemplo 4: pasar  $242^\circ$  sexagesimales a radianes (Factor de conversión:  $180^\circ = \pi \text{ rad}$ )

$$242^\circ \times (\pi \text{ rad} / 180^\circ) = 4,22 \text{ rad}$$

En cada una de las fracciones entre paréntesis se ha empleado la misma medida en unidades distintas de forma que al final sólo quedaba la unidad que se pedía.

Por ejemplo, el factor de conversión entre horas y segundos viene dado por la expresión:

$$\frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ segundos}}$$

o la equivalente  $\frac{3600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}}$  ya que  $1 \text{ hora} = 3600 \text{ segundos}$ .

Para realizar la conversión, simplemente colocamos la unidad de partida y usamos la relación o factor adecuado, de manera que se nos simplifiquen las unidades de partida y obtengamos el valor en las unidades que nos interesa. En nuestro caso, deseamos transformar la velocidad de Km/hora a Km/segundo, por lo cual usaremos la primera de las expresiones, ya que así simplificamos la unidad hora:

$$72 \frac{\text{Km}}{\cancel{\text{hora}}} \times \frac{1 \cancel{\text{hora}}}{3600 \text{ segundos}} = 0,02 \text{ Km/segundo}$$

Si tenemos que transformar más de una unidad, utilizamos todos los factores de conversión sucesivamente y realizamos las operaciones. Por ejemplo, transformemos los 72 Km/h a m/s:

$$72 \frac{\cancel{\text{Km}}}{\cancel{\text{hora}}} \times \frac{1 \cancel{\text{hora}}}{3600 \text{ segundos}} \times \frac{1000 \text{ metros}}{1 \cancel{\text{Km}}} = 20 \text{ m/s}$$