Textos Académicos

JAVIER VARGAS VALENCIA
ILIANA RAMÍREZ VÉLASQUEZ
SANTIAGO PÉREZ WALTON
JAIRO MADRIGAL ARGÁEZ

Física mecánica
Conceptos básicos y problemas

ITM

Física mecánica
Conceptos básicos y problemas

Javier Vargas Valencia
Iliana Ramírez Velásquez
Santiago Pérez Walton
Jairo Madrigal Argáez

Textos Académicos

Instituto Tecnológico Metropolitano
Institución Universitaria

FÍSICA MECÁNICA. CONCEPTOS BÁSICOS Y PROBLEMAS

1a. Edición: diciembre de 2008

ISBN: 978-958-8351-47-6

Dirección editorial
Fondo Editorial ITM

Corrección de textos
Lucía Inés Valencia

Diagramación y montaje
L. Vieco e Hijas Ltda.

Impreso y hecho en Medellín, Colombia

Instituto Tecnológico Metropolitano
Calle 73 No. 76A 354
Tel.: (574) 440 51 00
Fax: 440 51 01
www.itm.edu.co
Medellín - Colombia

Contenido

Capítulo 1

Mediciones

La física es el arte de hacer aproximaciones.
E. Rutherford

Introducción

Desde su origen, la especie humana ha necesitado de los números para, por ejemplo, contar el ganado; medir la extensión de la tierra; comerciar con valores asignados a objetos como monedas y muchas otras actividades. Tal necesidad de los números también acarrea la necesidad de unas unidades en las cuales se mide cada una de las cosas que contamos, medimos, negociamos, etc. Por ejemplo, los billetes pueden tener unidades de pesos, de dólares u otro cualquiera; la tierra se puede medir en acres, hectáreas, kilómetros cuadrados, etc.; el tiempo en días, horas, etc. El tema de esta primera unidad temática es la manipulación de las diferentes magnitudes que la física ha establecido para hacer todo tipo de medidas que le sean útiles.

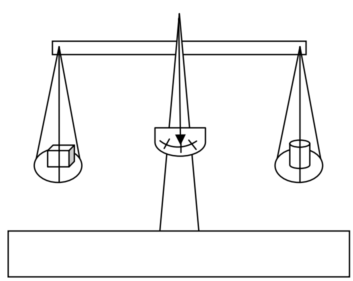
Todos los procesos que ocurren en la naturaleza obedecen a ciertas leyes que son intrínsecas al universo mismo, las leyes de la física. A lo largo de la historia se han descubierto muchas de esas leyes que describen con muy buena aproximación el comportamiento del mundo que nos rodea, involucrando de paso la necesidad de un sistema de unidades y el establecimiento de unos acuerdos entre todas las comunidades científicas que se vean en la necesidad de usar dichas unidades, tales acuerdos se llaman convenciones. También se han tratado de establecer unas convenciones que unifiquen los sistemas de medida usados en cada país, en un solo sistema que adopten todos los países, un sistema basado en una convención internacional. Dicha convención se estableció desde 1960 y agrupa a casi todos los países del mundo en el uso del llamado: *Sistema Internacional de Pesos y Medidas,* SI. Aunque también persiste el uso del Sistema Inglés, gracias al desarrollo histórico de la industria inglesa.

Conceptos de medida y magnitud

Las leyes de la naturaleza se pueden descubrir o corroborar a través de la experimentación y los métodos experimentales requieren de una manipulación de instrumentos de medida que pueden introducir errores en las cantidades que se quieren medir, así como de unas reglas matemáticas que permitan estimar cuanto se propagan estos errores al hacer operaciones con cantidades que tengan asociadas sus respectivas incertidumbres o errores. Medir con precisión ciertos datos que ayudan a describir el modo en que la naturaleza se comporta permite establecer Leyes Físicas en forma más *precisa*.

Para realizar mediciones se requieren instrumentos que describan los resultados medidos, según la cantidad que se desee medir, por ejemplo, si queremos medir la longitud del lado de una baldosa, puede usarse una regla común y corriente, pero si se quiere medir el espesor de una hoja de papel debe usarse un instrumento más preciso llamado tornillo micrométrico.

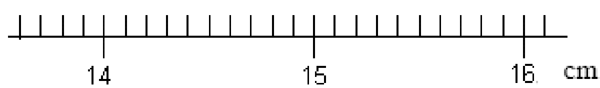
Figura 1.1 Balanza de brazos



El proceso de *medir* consiste en comparar una propiedad o cantidad física con otra similar, tomada como patrón o unidad de medida. Al medir se asigna un número a dicha propiedad física, por ejemplo, cuando se usa una balanza de brazos como la que se ve en la figura 1.1, la asignación del peso a un objeto se hace al compararlo con otro que hace las veces de unidad o patrón y que está en el otro brazo de la balanza. Todo aquello que sea *medible* es llamado una *magnitud*, ya que es cuantificable; cuando la cuantificación es objetiva, es decir, cuando no depende del observador y todos coinciden en la medida, la magnitud se denomina magnitud o cantidad física. Se puede cuantificar de manera objetiva el peso de un objeto, el tiempo, la temperatura, longitudes, energía, etc.

Teoría de errores

El intervalo de medición de un instrumento es el número de líneas existentes entre dos números consecutivos de la escala de medición del mismo. Lo que llamamos *precisión* del instrumento es el mínimo valor que mide su escala, esta se puede observar directamente en el instrumento o puede obtenerse al dividir la resta entre dos números consecutivos, entre el intervalo de medición. Veamos un ejemplo: supongamos que tenemos una regla común y corriente, entonces su precisión puede calcularse como sigue,



$$precisión = \frac{15{,}0 - 14{,}0}{10} = 0{,}1\ cm$$

La precisión para esta regla será el mínimo valor que mide la escala, es decir 0,1 cm ó 1mm.

Al realizar medidas, éstas nos arrojan unos datos numéricos que deben estar acompañados de una incertidumbre asociada al aparato de medida y que es igual a la precisión que se acaba de mencionar. El proceso de montar un experimento y tomar medidas conlleva a diferentes tipos de errores, los cuales pueden ser:

- **De escala:** Es el error determinado por la precisión del instrumento de medida.
- **Aleatorios:** Aparecen cuando se realizan medidas consecutivas de cierta magnitud física y se obtienen valores diferentes, debido a múltiples factores que afectan la medida.
- **Sistemáticos:** Dependen del sistema utilizado o del montaje experimental. Incluyen los errores humanos debidos a fallas de apreciación, de ubicación frente al aparato, de movimientos bruscos en el momento de medir, entre otros.

Aunque el instrumento con el que se hace una medida sea muy preciso, y los errores sistemáticos sean mínimos, el proceso de medida conlleva a errores, bien sea de escala o aleatorios. Por esta razón toda medición posee una incertidumbre, lo que implica que el número arrojado por una medida no es exacto, está en un rango de valores donde se puede afirmar que allí se centra el valor de la medida. Por lo tanto la medida se presenta como $m' = m \pm \Delta m$, donde *m'* es la medida expresada con error, *m* es llamado el valor central de la medida y corresponde al dato que se toma del instrumento y Δm es la incertidumbre o error en la medida, dada por la precisión del instrumento. Por ejemplo, al medir un cordón de aproximadamente 12 cm de longitud, con una regla y teniendo en cuenta que lo mínimo que mide dicho instrumento es 0,1 cm, la medida se debe presentar así:

$$L = (12{,}0 \pm 0{,}1)\, cm$$

Donde ΔL = 0,1 cm es la incertidumbre en la medida y L = 12,0 cm es la medida tomada del instrumento. Podemos decir entonces que la medida se halla con gran probabilidad en el intervalo $(L - \Delta L, L + \Delta L)$, que en este caso corresponde al intervalo (11,9 , 12,1).

Para cualquier medida *m'*, la razón $\Delta m/m$ recibe el nombre de incertidumbre relativa o error relativo y en forma porcentual se denota por ε y viene dada por

$$\varepsilon = \frac{\Delta m}{m} \times 100 \qquad (1.1)$$

Para el caso anterior la incertidumbre relativa porcentual es **ε** = (0,1/12)*100 = 0,83%.

Si *m* es el valor experimental y *M* es el valor teórico de una magnitud física, el porcentaje de error relaciona el valor teórico con la medida experimental por medio de la ecuación:

$$\%E = \left| \frac{M - m}{M} \right| \times 100 \qquad (1.2)$$

Por ejemplo, si se usa un termómetro para medir la temperatura de evaporación del agua en Medellín y este arroja una medida de 97 ºC, podemos calcular el porcentaje de error teniendo en cuenta que un cálculo teórico da un resultado de 96 ºC, como

$$\%E = \left| \frac{96 - 97}{96} \right| \times 100 = 1{,}04\%$$

Propagación de errores

Cuando las cantidades medidas se deben manipular matemáticamente para buscar otro resultado, como ocurre cuando se miden los lados de un rectángulo y se quiere hallar el área del mismo, hay que multiplicar las dos medidas tomadas, por lo tanto debemos disponer de una forma para encontrar el nuevo error o incertidumbre en el área medida. Al realizar medidas indirectas, como el área planteada, se requiere hacer cálculos con los datos tomados, y como los datos poseen una incertidumbre en la medida, decimos que la incertidumbre se propaga. Existen ciertas reglas para operar matemáticamente medidas que incluyen incertidumbre y calcular la propagación de los errores. Dichas reglas se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1.1. Propagación de errores

Nombre de la Operación	Operación	Incertidumbre
Multiplicación por una constante	$C(X \pm \Delta x) = CX \pm \Delta z$	$\Delta z = C\,\Delta x$
Potencia	$(X \pm \Delta x)^n = X^n \pm \Delta z$	$\Delta z = \lvert n \rvert x^{n-1} \Delta x$
Suma / Diferencia	$(X \pm \Delta x) \pm (Y \pm \Delta y) = X \pm Y \pm \Delta z$	$\Delta z = \Delta x + \Delta y$
Producto	$(X \pm \Delta x)(Y \pm \Delta y) = XY \pm \Delta z$	$\Delta z = x.y\left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}\right)$
Cociente	$\frac{X \pm \Delta x}{Y \pm \Delta y} = \frac{X}{Y} \pm \Delta z$	$\Delta z = \frac{x}{y}\left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}\right)$
Producto de potencias	$(X \pm \Delta x)^n (Y \pm \Delta y)^m = X^n Y^m \pm \Delta z$	$\Delta z = x^n . y^m \left(n\frac{\Delta x}{x} + m\frac{\Delta y}{y}\right)$
Función seno	$\text{sen}(\theta \pm \Delta\theta) = \text{sen}\theta \pm \Delta z$	$\Delta z = (\cos\theta)\,\Delta\theta$
Función coseno	$\cos(\theta \pm \Delta\theta) = \cos\theta \pm \Delta z$	$\Delta z = (\text{sen}\theta)\,\Delta\theta$
Función tangente	$\tan(\theta \pm \Delta\theta) = \tan\theta \pm \Delta z$	$\Delta z = (\sec^2\theta)\,\Delta\theta$

Nota: el error al medir un ángulo $\Delta\theta$ debe escribirse en radianes, no en grados.

Ejemplo 1.1

Cómo se propaga el error al elevar una cantidad con error a una potencia:

$$\left[(5{,}0 \pm 0{,}1)\,cm\right]^{3} = \left[5{,}0^{3} \pm 3 \times 5{,}0^{2} \times 0{,}1\right] cm^{3} = \left[125{,}0 \pm 7{,}5\right] cm^{3}$$

Cómo se propaga el error en una suma de cantidades con error:

$$(6{,}0 \pm 0{,}1)\,cm + (5{,}0 \pm 0{,}1)\,cm = (11{,}0 \pm 0{,}2)\,cm$$

Cómo se propaga el error en un cociente:

$$\frac{(30{,}0 \pm 0{,}1)}{(5{,}0 \pm 0{,}1)} = 6{,}0 \pm 6\left(\frac{0{,}1}{30} + \frac{0{,}1}{5}\right) = 6 \pm 0{,}1$$

Unidades básicas: longitud, masa y tiempo

Antes de medir se debe elegir una unidad para cada magnitud. Al efectuar las mediciones de las diferentes magnitudes, podemos hablar unidades básicas y unidades derivadas o compuestas. En física se reconocen cuatro unidades fundamentales independientes: longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica. Las unidades compuestas o derivadas se escriben en términos de las fundamentales o básicas. Por ejemplo la velocidad se mide en términos de metros sobre segundo, que es una cantidad compuesta, donde las unidades fundamentales son metro y segundo.

En muchos casos no es fácil definir una unidad fundamental, por esta razón algunas veces la definición de masa, por ejemplo, no es cabalmente entendida, ya que alude a propiedades intrínsecas de la materia, o peor aún se define en términos de otra masa. En estos casos las definiciones pueden resultar un poco difíciles de entender, pero hay que tener en cuenta que éstas obedecen a la necesidad de la mayor precisión posible.

Para medir longitudes, en el mundo existe una unidad básica denominada metro; el Sistema Internacional de pesos y medidas se basa en esta unidad con múltiplos y submúltiplos decimales. Del metro se deriva el metro cuadrado, el metro cúbico y todos sus múltiplos y submúltiplos. La XVII Conferencia general de pesos y medidas *(Conférence Générale des Poids et Mesures)* del 20 de Octubre de 1983, en París, Francia, promulgó la siguiente definición de metro: *El metro es la distancia recorrida por la luz en el vacío durante un tiempo de 1/299 792 458 de segundo*. Esta definición obedece al hecho conocido por la física de que la velocidad de la luz en el vacío es una constante en cualquier sistema de referencia en que se mida.

Con frecuencia se requiere medir una cantidad llamada masa. En un sentido estricto decimos que la masa es la medida de la inercia de un objeto o de su resistencia a ser acelerado, pero en muchos casos se encuentran definiciones que hablan de la cantidad de materia de un cuerpo o de la existencia de un cuerpo patrón, con el cual podemos establecer la comparación en una balanza. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de masa es el kilogramo. El *kilogramo* se define como la masa de $5{,}01844721\text{x}10^{25}$ átomos del isótopo de carbono ^{12}C. Esta definición está basada en las propiedades físicas y químicas observables del isótopo en mención y es importante enunciarla y reconocerla aunque en muchos casos esta definición no tiene aplicaciones prácticas.

La unidad para medir el tiempo en el SI es el segundo. Para definir el patrón de tiempo se ha escogido un proceso atómico. Se utiliza una medición de la frecuencia de vibración asociada con el átomo de cesio. *Se define el segundo como el tiempo que tardan en efectuarse exactamente 9192631770 vibraciones de éstas*. El minuto, la hora y el día se definen en términos del segundo.

Sistema internacional de unidades

En la actualidad rige en casi todo el mundo el Sistema Internacional de Unidades (SI), el cual se adoptó en 1960 por convenio entre 36 países, siendo con el paso de los años aumentado este número. En reuniones posteriores del mismo grupo de países, se han modificado algunas de las definiciones básicas buscando siempre la mayor precisión en ellas.

Todas las magnitudes de las cantidades físicas mensurables se pueden expresar en función de siete unidades básicas, las cuales se exhiben en la siguiente tabla:

Tabla 1.2 Unidades básicas o fundamentales

Magnitud	Nombre	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

Unidades derivadas o compuestas

Las unidades derivadas se definen a partir de las unidades básicas por medio de expresiones algebraicas bajo la forma de productos de potencias. Algunas de estas unidades reciben un nombre especial y un símbolo particular, otras se expresan a partir de las unidades básicas.

Tabla 1.3 Unidades SI derivadas expresadas a partir de unidades básicas

Magnitud	Nombre	Símbolo
Superficie	metro cuadrado	m^2
Volumen	metro cúbico	m^3
Velocidad	metro por segundo	m/s
Aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s^2
Número de ondas	metro a la potencia menos uno	m^{-1}
Densidad volumétrica	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
Velocidad angular	radián por segundo	rad/s
Aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s^2

Tabla 1.4 Unidades derivadas con nombres y símbolos especiales

Magnitud	Nombre	Símbolo	Expresión en unidades SI básicas
Frecuencia	Hertz	Hz	1/s
Fuerza	Newton	N	$Kg.m/s^2$
Presión	Pascal	Pa	N/m^2
Energía, trabajo	Joule	J	N.m
Potencia	Watt	W	J/s
Carga eléctrica	Coulomb	C	s·A
Potencial eléctrico	Voltio	V	J/s.A
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω	V/A
Capacidad eléctrica	Faradio	F	C/V
Flujo magnético	Weber	Wb	V·s
Inducción magnética	Tesla	T	Wb/m^2
Inductancia	Henrio	H	Wb/A^1

Tabla 1.5 Nombres y símbolos especiales de múltiplos y submúltiplos decimales de unidades SI autorizados

Magnitud	Nombre	Símbolo	Relación
Volumen	Litro	l o L	$1\ dm^3=10^{-3}\ m^3$
Masa	Tonelada	T	10^3 kg
Presión y tensión	Bar	Bar	10^5 Pa

Equivalencia de unidades

Además del Sistema Internacional de Medidas, existen otros sistemas de unidades, tal como el Sistema Inglés, ampliamente utilizado. Por esta razón es importante conocer las equivalencias entre diferentes sistemas, o entre el mismo sistema. A continuación se muestran las tablas de equivalencia útiles para la conversión de unidades.

TABLA 1.6 EQUIVALENCIAS ENTRE SISTEMAS DE UNIDADES

	SISTEMA INTERNACIONAL			PULGADA (INCH) IN Ó "	PIE (FOOT)	YARDA (YARD) YD
	MILÍMETRO MM	CENTÍMETRO CM	METRO M			
1 milímetro =	1	0,1	0,001	0,0394	0,0033	0,0011
1 centímetro =	10	1	0,01	0,3937	0,0328	0,0109
1 metro =	1000	100	1	39,3701	3,2809	1,0936
1 pulgada =	25,4	2,54	0,0254	1	0,0833	0,0278
1 pie =	304,8	30,48	0,3048	12	1	0,3333
1 yarda =	914,4	91,44	0,9144	36	3	1
1 Milla	-	-	1609,344	-	-	-

OTRAS UNIDADES DE LONGITUD

En el SI también se utilizan otras unidades múltiplos de las fundamentales, que tienen cabida en algunas áreas de estudio particulares. Por ejemplo, para hacer medidas de tamaños atómicos se usa el Angstrom Å y el nanómetro nm, y para hacer medidas de tipo astronómico se usa el parsec y el año luz. En la siguiente tabla se ilustran algunas de éstas.

TABLA 1.7 OTRAS UNIDADES

1 Angstrom (Å)	= 10^{-10} m
1 Unidad Astronómica (ua)	= $1{,}496 \times 10^{11}$ m
1 Parsec (pc)	= $3{,}0857 \times 10^{16}$ m
1 Año Luz (al)	= $9{,}4605 \times 10^{15}$ m

ANÁLISIS DIMENSIONAL

La respuesta a un problema puede ser estimada, es decir, considerar si el resultado es aproximadamente erróneo o no, haciendo un análisis dimensional, de acuerdo con el concepto de las dimensiones físicas. El tiempo, la longitud y la masa son tipos distintos de cantidades físicas y éstas reciben el nombre de dimensión, a diferencia de sus unidades, que son respectivamente: segundo, metro y kilogramo. A cada dimensión le corresponde una unidad básica o fundamental. La dimensión de una cantidad física se representa encerrándola entre corchetes. Los símbolos de las dimensiones fundamentales son:

$$[\text{tiempo}] \equiv [\text{T}]$$
$$[\text{Longitud}] \equiv [\text{L}]$$
$$[\text{Masa}] \equiv [\text{M}]$$

Las otras cantidades que se miden tienen dimensiones que son combinaciones de éstas. Por ejemplo, la aceleración se mide en metros sobre segundo al cuadrado; estas unidades tienen dimensiones de la longitud dividida entre el tiempo al cuadrado, por lo tanto

$$Dimensión\ de\ la\ acelaración = \frac{Dimensión\ de\ longitud}{(Dimensión\ de\ tiempo)^2}$$

Simbólicamente, se escribe:

$$[Aceleración] = \frac{[L]}{[T]^2}$$

Examinar las dimensiones en una ecuación puede suministrar información útil. Por ejemplo, para la ecuación: Fuerza = (masa)(aceleración), la dimensión es el resultado de multiplicar la dimensión de la masa por la dimensión de la aceleración:

$$Dimensión\ de\ la\ Fuerza = (Dimensión\ \ de\ la\ masa)\left(\frac{Dimensión\ de\ longitud}{(Dimensión\ de\ tiempo)^2}\right)$$

Simbólicamente tenemos que:

$$[Fuerza] = [M]\frac{[L]}{[T]^2}$$

La expresión anterior representa la unidad de fuerza denominada *Newton* (N).

EJEMPLO 1.2

1) Determinar si la ecuación $x = \frac{1}{2}at^2$ es dimensionalmente correcta.
   Solución:
   Las unidades de aceleración se representan simbólicamente por:

$$\frac{[L]}{[T^2]}$$

   La unidad de tiempo al cuadrado por la expresión
   $[T^2]$
   Al multiplicarse será:

$$\frac{[L]}{[T^2]}[T^2] = [L]$$

Al cancelar la unidad de tiempo al cuadrado se obtiene como resultado la unidad de longitud.

2) Se tiene la expresión: $|\vec{F}||\vec{x}|$, donde $|\vec{F}|$ es la magnitud de la fuerza y $|\vec{x}|$ la magnitud del desplazamiento. ¿Cuáles son las dimensiones correspondientes?.
   Solución:

$$[Fuerza]\cdot[Desplazamiento] = [M]\frac{[L]}{[T^2]}[L] = [M]\frac{[L^2]}{[T^2]} = [Energía]$$

Lo que corresponde a las unidades de Fuerza (newton) multiplicada por unidad de longitud (metros), es decir $N.m = J$ (Julio, unidad de energía).

PREFIJOS DEL SISTEMA DE UNIDADES Y NOTACIÓN CIENTÍFICA

Una ventaja del sistema métrico es el uso de prefijos para denotar los múltiplos de las unidades básicas. Por ejemplo el prefijo *kilo* significa 1000 veces la unidad básica o derivada; así un *kilometro* son 1000 metros, un *kilogramo* son 1.000 *gramos* y un *centímetro* equivale a 0,01 *metro*, es decir 10^{-2} m = 1m/100.

La siguiente tabla muestra el factor, el nombre y el símbolo de los prefijos utilizados en física o en cualquier otra ciencia.

Tabla 1.8 Prefijos de las potencias de diez

Factor	Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zeta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	µ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^{9}	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^{6}	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^{3}	kilo	K	10^{-18}	atto	a
10^{2}	hecto	H	10^{-21}	zepto	z
10^{1}	deca	Da	10^{-24}	yocto	y

Ejemplo 1.3

1) Si se tiene por ejemplo 87000000 *m*. Entonces para aplicar los prefijos se puede decir que

$$87000000\ m = 87x10^{6}\,\mathrm{m} = 57\ Mm$$

Lo que se ha hecho es cambiar la escritura ($x10^{6}$) por el prefijo M, llamado: mega.

2) Escribir con prefijos la cantidad 1750000000000 gramos

$$1750000000000\ g = 1750000000\ Kg$$
$$1750000\ Mg$$
$$1750\ Gg$$

3) 5 nanómetros equivalen a $5x10^{-9}$ *metros;* la expresión simbólica es: 5 *nm.*

4) 67 microamperios equivalen a $67x10^{-6}$ Amperios; simbólicamente es: 67 μA.

5) 34 picofaradios equivalen a $34x10^{-12}$ Faradios; simbólicamente es: 34 *pF.*

6) 25 megavoltios equivalen a $25x10^{6}$ Voltios; simbólicamente es: 25 *MV.*

Notación científica

En Física, existen valores de múltiples órdenes de magnitud, es decir, van desde muchas veces las cantidades que se manejan en Física son de tamaños muy diferentes a las que se manipulan diariamente. Por ejemplo el sol tiene una masa de: 2000000000000000000000000 000000 Kg; Un átomo de hidrógeno tiene un diámetro aproximado de 0,0000000001 m y una masa aproximada de 0,0000000000000000000 0000000167 Kg. Manipular cantidades tan grandes o tan pequeñas requiere que hagamos uso de la notación científica, en la cual se utilizan las potencias de 10 para simplificar los cálculos a realizar y para facilitar su escritura. La convención de la escritura es la siguiente: un dígito seguido de los decimales, si los hay, multiplicado por alguna potencia de 10, de esta manera el símbolo $5,3x10^{3}$ significa que hay que multiplicar el 5,3 por 10 tres veces.

Por ejemplo la forma abreviada de escribir el número 100 es 10^{2}. Esto es equivalente a escribir:

$$100 = 10x10 = 10^{2}$$

El número 20.000 puede verse como el producto 2x10x10x10x10, el cual tiene cuatro potencias de diez, por lo tanto se escribe como $2x10^{4}$. En resumen:

$$20000 = 2x10x10x10x10 = 2x10^{4}$$

y,

$$7x10^{4} = 70000;\ 1,5x10^{3} = 1500;\ 4,3x10^{4} = 43000$$

Ejemplo 1.4

En el siguiente cuadro se describen algunos ejemplos que ilustran cómo se expresa una cantidad en notación científica, teniendo en cuenta que en algunos casos hay que escribir potencias negativas

Tabla 1.9 Ejemplos de manipulación de potencias de diez

$78000 = 7,8\ x10^4$	Se corre la coma decimal cuatro lugares hacia la izquierda y el exponente del 10 aparece aumentado en cuatro unidades.
$1500 = 1,5x10^3$	Se corre el punto decimal tres lugares hacia la izquierda y el exponente del 10 aparece aumentado en tres unidades.
$68x10^5 = 6,8x10^4$	Se corre el punto decimal un lugar a la derecha y se disminuye el exponente del 10 en una unidad.
$0,56x10^7 = 5,6x10^6$	Se corre el punto decimal un lugar a la derecha y se disminuye el exponente del 10 en una unidad.
$0,091x10^6 = 9,1x10^4$	Se corre el punto decimal tres lugares a la derecha y el exponente del 10 aparece disminuido en dos unidades.
$0,0005 = 5\ x10^{-4}$	Se corre la coma decimal cuatro lugares hacia la derecha y el exponente del 10 aparece disminuido en cuatro unidades.
$0,00676 = 6,76x10^{-3}$	Se corre la coma decimal cinco lugares hacia la derecha y el exponente del 10 aparece disminuido en cinco unidades.
$0,045 = 4,5x10^{-2}$	Se corre la coma decimal dos lugares hacia la derecha y el exponente del 10 aparece disminuido en dos unidades.
$0,56x10^{-6} = 5,6x10^{-7}$	Se corre la coma decimal un lugar hacia la derecha y el exponente del 10 aparece disminuido en una unidad.
$0,0009x10^6 = 9x10^2$	Se corre la coma decimal cuatro lugares hacia la derecha y el exponente del 10 aparece disminuido en cuatro unidades.

Nota: Por cada lugar que se corre la coma decimal hacia la izquierda, el exponente del número 10 aumenta en una unidad. Si la coma decimal se corre hacia la derecha un lugar, el exponente del número 10 disminuye una unidad.

Ejemplo 1.5

1) La velocidad de la luz se aproxima a 300000000 m/s. ¿Cómo abreviar esta expresión?
   Este número puede escribirse como

$$3x10x10x10x10x10x10x10x10$$

En notación científica, por cada potencia de diez se suma uno en el exponente, entonces dado que hay 8 veces diez puedo escribirlo como $3x10^8$ m/s.

2) El diámetro promedio de un átomo de hidrógeno es de 0,000000000 1m.
   Entonces este número puede escribirse como

$$1/(10\,000\,000\,000) = 1/(10x10x10x10x10x10x10x10x10x10) = 1x10^{-10}.$$

3) Vamos a calcular el área de un cuadrado cuyo lado es $18x10^{-2}$ m.
   Se sabe que el área del cuadrado L^2, donde:
   $L = 18x10^{-2}$ m , luego:

$$\text{Área} = A = (18x10^{-2}\,m)\,(18x10^{-2}\,m) = 324X10^{-2}x10^{-2}\,m^2.$$

Una de las propiedades de los exponentes dice que: $10^p x\, 10^q = 10^{p+q}$, así:

$$A = 324x10^{-4}\,m^2 = 0{,}0324\,m^2 = 3{,}24\,x10^{-2}\,m.$$

4) Si se considera la Tierra como una esfera de radio 6400 km. Encuentre el volumen de la Tierra expresado en metros.

   Se tiene que el volumen de una esfera es $\frac{4}{3}\pi\, r^3$.

   Para el ejemplo, el radio *r* en metros se expresa como:

$$r = 6400x10^3\,m = 6{,}4x10^6\,m$$

$$Volumen =$$

$$V = \frac{4}{3}\pi\ (6{,}4\times10^{6}\ m)^{3} = \frac{4}{3}\pi\,(262{,}144\times10^{18})\ m^{3} = 1098{,}0662\times10^{15}\ m^{3}$$

5) La masa del sol en notación científica es $2{,}0x10^{33}$ g, expresarla en

   a) Hg
   b) Gg
   c) mg

   Solución

   a) Como queremos pasar a Hg debemos multiplicar por el factor adecuado

$$2{,}0\times10^{33}\,g \rightarrow 2{,}0\times10^{33}\,g\times\left(\frac{1Hg}{10^{2}\,g}\right) = 2{,}0\times10^{33}\times10^{-2}\,Hg = 2{,}0\times10^{31}\,Hg$$

Se puede ver que los *g* se cancelan y luego los exponentes de las potencias de diez se suman.

   b) Para expresar el valor de la masa del sol en Gg, se debe multiplicar por el factor adecuado

$$2{,}0\times10^{33}\,g \rightarrow 2{,}0\times10^{33}\,g\times\left(\frac{1Gg}{10^{9}\,g}\right) = 2{,}0\times10^{33}\times10^{-9}\,Gg = 2{,}0\times10^{24}\,Gg$$

   c) Para pasar a mg, se debe multiplicar por el factor adecuado, y éste debe tener en el numerador las unidades a las cuales se va a pasar, y en el denominador las unidades iniciales para que se cancelen. Obviamente la cantidad en el numerador debe ser igual en valor a la que está en el denominador

$$2{,}0\times10^{33}\,g \rightarrow 2{,}0\times10^{33}\,g\times\left(\frac{10^{3}\,mg}{1g}\right) = 2{,}0\times10^{33}\times10^{3}\,mg = 2\times10^{36}\,mg$$

6) Se dice que un guepardo puede alcanzar una velocidad de 100 km/h. ¿A cuánto equivale este valor en m/s?

Solución

En este caso se debe tener en cuenta que hay que multiplicar por dos factores, uno para pasar los km a m y otro para pasar las horas a segundos

$$100\frac{km}{h}=10^2\frac{km}{h}\times\left(\frac{10^3 m}{1km}\right)\times\left(\frac{1h}{3600S}\right)$$

$$=\frac{10^2\times10^3}{3600}\frac{m}{S}=\frac{10^5}{3600}\frac{m}{S}=\frac{100000}{3600}\frac{m}{S}=27{,}78\frac{m}{S}$$

7) Expresar pulgadas en centímetros

$$1Pu\lg=(1\,Pu\lg)\times\left(\frac{2{,}4\ cm}{1\ Pu\lg}\right)=2{,}54\ cm$$

8) Cómo convertir 3800000 millas a m

$$3800000mi=(3{,}8\times10^6\ mi)\times\left(\frac{1{,}6km}{1\,mi}\right)\times\left(\frac{10^3 m}{1km}\right)=6{,}08\times10^9 m$$

Ejercicios

1) Complete los espacios en blanco:
   a) 46891000 = 4,6891x____ = 46,891x _____
   b) $58{,}9\text{x}10^5$ = 0,589X____ = 589x ____
   c) $78{,}9\text{x}10^4$ =_____$\text{x}10^0$
   d) $6{,}18\text{x}10^{-2}$ = ____$\text{x}10^0$
   e) 0,0076 = 7,6 x____ = 76x____
   f) $6\text{X}10^{-3}$ = 0,6x____ = ____$\text{x}10^0$
   g) $3{,}1\text{x}10^4$= ____$\text{x}10^0$
2) Escribir en notación científica:
   a) 550000000000
   b) 0,0000000000000068

3) La medida del radio de una circunferencia es 0,00034 m, calcule a) su área y b) su longitud. Exprese los resultados en cm.

4) Al convertir 75 Mg a mg y expresado en notación científica, el resultado es

   a) $750x10^{10}$ mg
   b) $7,5x10^{12}$ mg
   c) $7,5x10^{9}$ mg
   d) $75x10^{9}$ mg
   e) $7,5x10^{10}$ mg

5) Al convertir 15000 pies a Pm y expresado en notación científica, el resultado es

   a) 4572×10^{12} Pm
   b) $4,572 \times 10^{-9}$ Pm
   c) 4572×10^{-12} Pm
   d) $4,572 \times 10^{-12}$ Pm
   e) $4,572 \times 10^{12}$ Pm

6) Pasar 8 m^2 a cm^2

7) Convertir 83 Litros a cm^3

Reglas para el redondeo de números y cifras significativas

Redondeo de cifras

Si al realizar un cálculo se obtiene como respuesta, por ejemplo, el número 6,3795 y se quiere expresar la respuesta con dos decimales, se debe redondear a 6,38. Un número se redondea al número de decimales deseados eliminando uno o más dígitos a la derecha, de acuerdo con las siguientes reglas:

- Si la primera cifra que se elimina es menor que 5, la última cifra retenida permanecerá sin cambio. Ejemplos:
  1) Si se quiere dejar una sola cifra decimal en el número 345,321 quedará 345,3.

2) Redondear a dos cifras decimales:
   a) $3{,}2\underline{3} \approx 3{,}2$
   b) $6{,}3\underline{1} \approx 6{,}3$

- Si la primera cifra eliminada es mayor que 5, se aumenta en una unidad la última cifra retenida. Ejemplos:

1) Si se quiere dejar una sola cifra decimal en el número 643,371 quedará 643,4.
2) Redondear a dos cifras decimales:
   a) $7{,}3\underline{6} \approx 7{,}4$
   b) $9{,}5\underline{7} \approx 9{,}6$

- Si la cifra eliminada es 5, y las cifras que le siguen no son todas cero, la cifra retenida se aumenta en una unidad. Ejemplos:

1) Si se quiere dejar dos cifras decimales en el número 47,37544 quedará 47,38
2) Redondear a dos cifras decimales:

   a) $7{,}4\underline{535} \approx 7{,}5$
   b) $9{,}6\underline{567} \approx 9{,}7$

- Si la cifra eliminada es 5, y las cifras que le siguen son todas cero, entonces, si la última cifra retenida es par se conserva, y si es impar se aumenta en una unidad. Ejemplos:

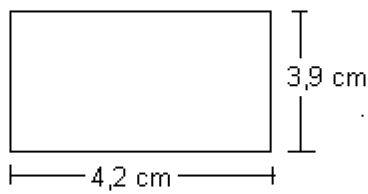
1) Si se quiere dejar dos cifras decimales en el número 39,67500, quedará 39,68.
2) Si se quiere dejar dos cifras decimales en el número 255,76500, quedará 255,7.
3) Redondear a dos cifras decimales:

   c) $7{,}3\underline{500} \approx 7{,}4$
   d) $9{,}6\underline{50} \approx 9{,}6$
   e) $1{,}4\underline{5000} \approx 1{,}4$
   f) $2{,}7\underline{5110} \approx 2{,}8$
   g) $3{,}7\underline{56700} \approx 3{,}8$

Cifras significativas

Las cifras significativas de un número son aquellas que aportan alguna información, es decir son razonablemente confiables. Al medir la longitud de una cuerda con una regla, teniendo en cuenta que la mínima división de una regla es de 0,1 cm, se registra el valor de 17,4 cm, esto significa que la longitud se midió con una aproximación de décimas de centímetro. El valor 17,4 cm representa tres cifras significativas, que son 1, 7 y 4. Suponga que se desea saber el área de un rectángulo y se han medido el largo y el ancho del mismo (ver figura).

Figura 1.2 Representación del rectángulo



Como el instrumento empleado para tomar las medidas fue una regla, la incertidumbre en la medida es del orden de 0,1 cm. Al encontrar el área del rectángulo empleando la calculadora se tiene que:

A= (4,2 cm)(3,9 cm) = 16,38 cm^2

En principio se podría decir que el resultado tiene cuatro cifras significativas, el último dígito, el número 8, ocupa la posición de las centésimas, como el error o incertidumbre del instrumento de medida es 0,1 cm, la última cifra del cálculo efectuado también debe estar en la posición de las décimas. El número 8, debido a su posición no es confiable, por lo tanto no es significativo. El resultado presentado correctamente, al redondear la cifra, es:

A= (4,2 cm)(3,9 cm) = 16,4 cm^2

Los ceros pueden ser significativos o servir para localizar la coma decimal. Por ejemplo, si un objeto pesa 1500 kg y se pesó con aproximación de 100 kg, el peso contiene dos cifras significativas (1,5) y puede escribirse como $1,5 \times 10^3$ kg. Si el objeto se hubiera pesado con aproximación de 10 kg, el primer cero es significativo, pero el segundo no lo es; el peso podría escribirse como $1,50X10^3$ kg presentado tres cifras significativas. Si el objeto se pesó con la aproximación de 1 kg, el peso se podría escribir $1,500X10^3$ kg, exhibiendo cuatro cifras significativas. Cabe aclarar que si se presenta un cero entre dos cifras significativas, es en sí mismo significativo.

Se deben tener en cuenta además las siguientes reglas:

- Cualquier dígito diferente de cero es significativo.
- Los ceros ubicados entre dígitos distintos de cero son significativos.
- Los ceros a la izquierda del primer dígito diferente de cero no son significativos.
- Si un número es mayor que la unidad, todos los ceros escritos a la derecha del punto decimal cuentan como cifras significativas.
- Si un número es menor que la unidad, solamente los ceros que están al final del número o entre dígitos diferentes de cero son significativos.
- Para números sin punto decimal, los ceros que están después del último dígito diferente de cero pueden ser o no significativas.

Ejemplo 1.6

La siguiente tabla muestra una lista de cantidades y al frente se muestra el número de cifras significativas correspondiente.

Tabla 1.10 Cantidad de cifras significativas

Número	Cifras significativas
1734	4
80502	5
0,07	1
5,0	2
4,002	4

Número	Cifras significativas
0,0000349	3
0,090	2
0,3005	4
400	3
4×10^2	1
$4{,}0 \times 10^2$	2
$4{,}00 \times 10^2$	3
$12{,}03410 \times 10^3$	7
0,00801	3

Operaciones con cifras significativas

Suma y resta

El número de cifras significativas a la derecha de la coma decimal en la suma o la resta, es determinado por el número con menos cifras significativas a la derecha de la coma decimal de cualquiera de los números originales. Ejemplos

1) Cuando se desea sumar tres números como:

$$179{,}9 + 24{,}45 + 788{,}532$$

El resultado de la suma es 992,9 ya que el sumando de menos cifras decimales tiene una sola. Además note que se ha hecho uso de las reglas para redondeo.

2) $6{,}3476 + 5{,}3 = 11{,}6476$ redondeado a 11,6

3) $4{,}7834 + 3{,}56 = 8{,}3434$ redondeado a 8,34

Multiplicación y división

Cuando se multiplican o dividen varias cantidades, el número de cifras significativas en el resultado debe redondearse sólo a tantas cifras significativas como son las que contenga el menos exacto de los factores. Ejemplos

1) Cuando queremos multiplicar los siguientes números:

$$1146{,}336 \times 80{,}711$$

Se obtendrá 92522 ya que el de menos cifras significativas tiene cinco. Además se ha hecho uso de las reglas para redondeo.

2) Efectuar las siguientes operaciones:

a) 2,71x3,30 = 8,943 redondeada a 8,94
b) 3,4x0,000674 = $2{,}2916 \times 10^{-3}$ redondeado a $2{,}3 \times 10^{-3}$
c) 78,34x0,002 = 0,15668 redondeado a 0,1567
d) 20x0,3 = 6,0
e) 56x0,004 = 0,224 redondeado a 0,22
f) 0,0005x0,1 = 5×10^{-5}

Instrumentos de medida

Al realizar medidas se obtienen datos numéricos que representan la magnitud física que se quiere medir, los valores que surgen requieren de un tratamiento especial, lo que hace necesario tener en cuenta el carácter de las medidas, la exactitud de ellas, los sistemas de unidades y los tipos de errores.

Las magnitudes físicas se pueden medir en forma directa o indirecta. La medida directa es la que se realiza con un instrumento, por ejemplo utilizando un metro, una balanza, o un cronómetro. La medida indirecta requiere de una relación matemática, y/o geométrica para obtener el valor de la medida que se desea encontrar, por ejemplo se mide el radio y la longitud de un cilindro para obtener su volumen.

En toda medida directa o indirecta se utiliza algún instrumento que tenga una escala para realizar la lectura de la medida. Existen instrumentos de medida con una sola escala lineal, es decir la diferencia entre dos números consecutivos es constante, como el flexómetro, el termómetro, la balanza, entre otros. Y otros con una escala lineal fija y otra móvil sujeta a la primera, representan este tipo de instrumentos el pie de rey o calibrador y el tornillo micrométrico.

Figura 1.3 Pie de rey

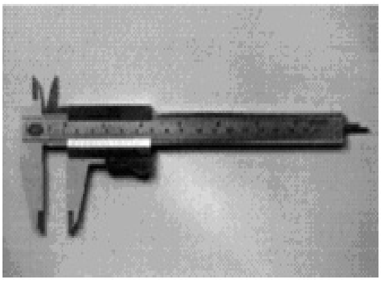


Figura 1.4 Detalle de nonio

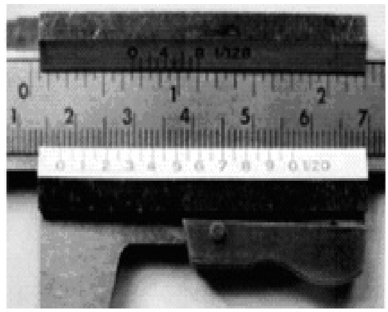


Figura 1.5 Tornillo micrométrico

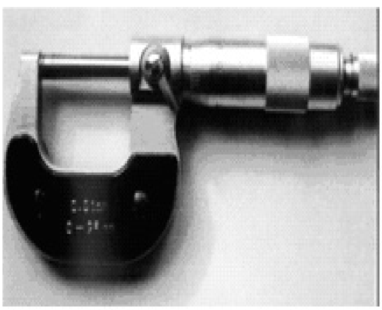
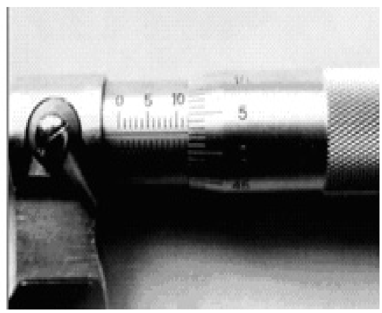


Figura 1.6 Detalle del tambor



También existen instrumentos con escala digital, no lineal como el multímetro.

Escala nonio o vernier

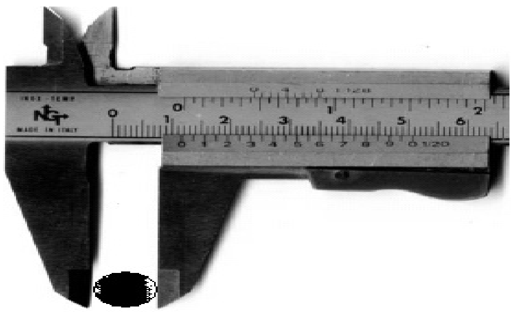
Es un instrumento que al agregar a la escala fija, una escala auxiliar móvil llamada nonio, aumenta la precisión. Con un ejemplo se ilustrará la forma de utilizar el calibrador. Primero se determina la precisión de la escala fija o regla. La precisión de la escala fija es:

$$precisión = \frac{30-20}{10} mm = 1\ mm$$

El nonio tiene 20 divisiones en una longitud de 39 mm de la escala fija, de modo que la precisión es de $\frac{1}{20}\,mm = 0{,}05\,mm$, es decir, cada división del nonio equivale a 0,05 mm.

La figura 1.6 muestra el modo de utilizar el instrumento. El cero del nonio sobrepasa 11 divisiones de la escala fija en una fracción de milímetro. La séptima división del nonio coincide con una división de la regla. La fracción decimal es 14(0,05) mm = 0,70 mm, por lo tanto la longitud del objeto es 11,70 mm.

FIGURA 1.7 NONIO O VERNIER



EJERCICIOS

Materiales: balines, figuras geométricas de cartulina, disco, flexómetro y pie de rey.

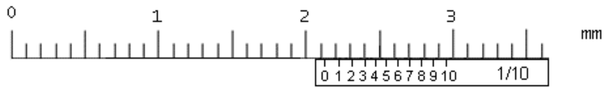
1) Mida el diámetro de la esfera con el calibrador y el diámetro del disco con el flexómetro. Exprese la medida con su incertidumbre correspondiente, calcule la incertidumbre relativa porcentual y anote en la tabla.

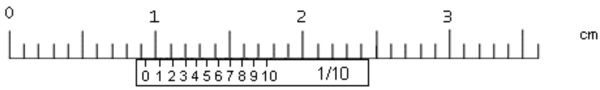
	ESFERA	DISCO
Medida del diámetro		
Incertidumbre relativa porcentual		

2) Mida con el calibrador cada uno de los lados del triángulo. Exprese la medida con la incertidumbre y calcule el área.

3) Mida los lados del triángulo con la regla y el espesor en el calibrador; exprese las medidas con incertidumbre y calcule el volumen del prisma.

4) Indique la lectura:

a) 

b) 

5) Aproxime a tres cifras numéricas las cantidades

a) 634501 ; 8,3500 ; 7,2532
b) 62351 ; 8,235 ; 6,2355

6) Aplique el criterio de cifras significativas en las siguientes operaciones

a) 1,25 + 4,786 + 3,7 =................................
b) 558,626 – 43,5371 =…..............................
c) 2,6 x 3,35 =..
d) $[4.567 \times 10^{4}]\ [77.893 \times 10^{-2}]$ =.................

7) Escriba en notación científica las siguientes magnitudes físicas

a) Constante gravitacional G = 0,0000000000667 [$N\ m^2/\ kg^2$] ....
b) Rapidez de la luz c = 299790000 [m / s] ....
c) Permitividad en el espacio vacio $\varepsilon = 8,85X10^{-12}$ [$C^2/N\ m^2$] ....

8) Aproxime a tres cifras numéricas y exprese la cantidad en notación científica

a) $1,575 \times 10^{-4}$ ....

b) 184,4079...
c) 0,000035519.....................................
d) 742,86 x 10^{-6} ....
e) 925,49000...
f) 0,459 x 10^{2}...
9) Exprese la cantidad $2x10^{17}$ segundos en
a) Minutos
b) Horas
c) Días

10) Sean $A' = A \pm \Delta A = 124{,}48 \pm 0{,}02$, $B' = B \pm \Delta B = 57{,}6 \pm 0{,}7$ y $C' = C \pm \Delta C = 16{,}6 \pm 0{,}5$. Haga uso de las reglas para el manejo de errores y realice las siguientes operaciones.

a) $A' + B'$

b) $A' - C'$

c) $\dfrac{(A' - C')}{A' \times B'}$

d) $(C')^2$

Bibliografía

Giancoli, Douglas C. Física para universitarios. Volumen II. México: Prentice Hall 3 ed. 2002.

Lea. Susan M. Burke Hohn Robert. La naturaleza de las cosas. Volumen II Internacional Thomson Editores.

Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

Lineamientos curriculares. Ministerio de Educación Nacional. Bogotá.

Mahecha, J. Manual de laboratorio de Física I (mecánica). Ed. Universidad de Florey, Francis G. Álgebra Lineal y aplicaciones. México: Prentice Hall.

Alonso, Marcelo. Finn Edgard. Física. México: Addison-Wesley Iberoamericana

Serway, Raymond A., Jewett Jr. John W., Física para ciencias e ingenierías, Thomson, sexta edición Volumen I, 2005.

Resnick R., Halliday D., Krane Kenneth., Física, Volumen 1, cuarta edición, 1992

www.ciencianet.com

www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/unidades/unidades.htm# Antecedentes.%20El%20Sistema%20Métrico%20Decimal

http://imartinez.etsin.upm.es/ot1/Units_es.htm

http://www.construir.com/Econsult/C/Consulta/Renison/document/medidas.htm

TEXTOS ACADÉMICOS

Física mecánica: Conceptos básicos y problemas

se terminó de imprimir en diciembre de 2008.
Para su elaboración se utilizó papel Bond de 75 g,
en páginas interiores, y cartulina Propalcote 240 g para la carátula.
Las fuentes tipográficas empleadas son Times New Roman 11 puntos,
en texto corrido, y Myriad Pro 14 puntos en títulos.