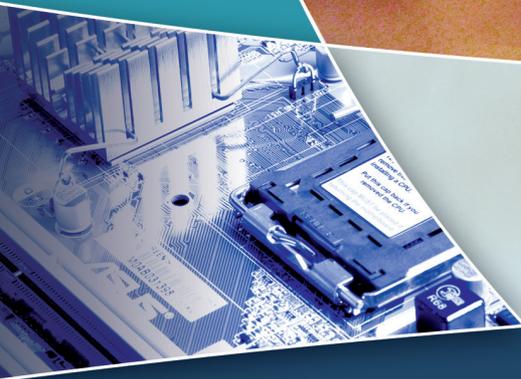




Física básica para ingenieros. Tomo I

Antonio Sanchís Sabater



EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Antonio Sanchis Sabater

Física básica para ingenieros

Volumen I

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Primera edición, 2013

© Antonio Sanchis Sabater

© de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València

Distribución: pedidos@editorial.upv.es /
Telf. 963 877 012/ www.lalibreria.upv.es / Ref. 35

Imprime: Byprint Percom, S.L.

Impreso en papel Creator Silk



ISBN: 978-84-9048-044-1 (Obra Completa)

ISBN: 978-84-9048-102-8 (Volumen I)

Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, la distribución, la comercialización, la transformación y, en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de la totalidad o de cualquier parte de esta obra sin autorización expresa y por escrito de los autores.

Impreso en España

Prefacio

La física es una materia básica de la ingeniería. A la hora de empezar los estudios de un grado de ingeniería el alumno cuenta con los conocimientos de física que ha adquirido en el bachillerato, tales como unidades, errores, cinemática del punto con el estudio de la caída de graves o los tiros horizontal y parabólico. La dinámica de la partícula, el estudio del trabajo y conservación del movimiento inicio de la termodinámica y el estudio de la electricidad con estudios de circuitos sencillos donde se aplica la ley de Ohm y el efecto Joule obteniendo la potencia eléctrica todos estos adquiridos en primero de Bachillerato, completando sus conocimientos preuniversitarios en el segundo de bachillerato con el campo gravitatorio (leyes de Kepler y ley de Newton) y el eléctrico. También cuenta con los conocimientos de movimiento armónico simple y el movimiento ondulatorio o la óptica geométrica. Además ha analizado el campo magnético con las ley de Ampere, fuerza de Lorentz o la ley de Laplace leyes de Faraday y Henry y la ley de Lenz, completando con elementos de física relativista, mecánica cuántica, y física nuclear.

Por ello cabe preguntarse si en un libro es necesario partir de los conceptos más básicos de la Física hasta alcanzar los contenidos que se pretende o hay que partir de lo que ya el estudiante sabe y centrarse en lo que le resulta novedoso. Es difícil saber que enfoque desarrollar en un texto dirigido a estudiantes, principalmente de los grados de ingeniería de la rama industrial. Por ello he buscado por una parte no incidir demasiado en lo que ya conocen para no hacer que el texto sea muy extenso (así y todo hay más de 1000 páginas), pero tampoco se puede omitir algunos conceptos previos que sirvan para centrar la materia, así algunas lecciones como la primera (*la magnitud física y su medida*) repite contenidos que el estudiante ha reproducido durante varios cursos, pero sirve como introducción a la materia objeto del libro, o la lección de óptica geométrica que ya ha estudiado en segundo de bachiller. Esta lección de óptica geométrica he creído conveniente incluirla porque en caso contrario parece que quedaría coja la parte de estudio de la óptica, pero esta desarrollada de forma que un alumno que no ha estudiado el libro pueda abordarlo, por ello se repiten conceptos ya vistos en otras lecciones anteriores, como los vistos en el bachillerato. Un alumno podría prescindir de la lección si domina el segundo de bachillerato y además podría estudiar sólo esa lección sin el estudio previo de las anteriores.

Además, como se ha indicado, creo que muchos de los conceptos que se han introducido en el libro, que el alumno conoce del bachillerato, tales como las lecciones del movimiento ondulatorio o ondas mecánicas, si se hubiese prescindido de su reiteración se rompería el esquema coherente de la lección, así que he preferido extenderme en ese caso. También en la dinámica, la electrostática o el electromagnetismo he reproducido ideas que el estudiante ya posee, pero que no se pueden obviar en un texto que pretende estudiar dichas partes de la física.

Sin embargo se han repetido pocos conocimientos que el alumno conoce de cinemática, y se ha partido de que dichos conceptos ya están adheridos al estudiante, entendiendo que la repetición de dichos conceptos no son inevitables para buscar una coherencia en el texto.

Para completar el temario de lo que constituye la materia básica de Física falta en el libro la mecánica analítica, que si bien el estudiante la aborda, hoy por hoy ,no he considerarlo conveniente incluirla, no descarto que en próximas ediciones la incluya.

Las lecciones de la 2 a la 13 incluyen los contenidos de la asignatura de 9 créditos Física I de los grados de ingeniería que se imparten en la ETSII de la Universidad Politécnica de Valencia, las lecciones de la 15 a 21, con parte de los contenidos de las lecciones siguientes, además de la mecánica analítica, que no aborda este libro, completan el temario de Física II (asignatura de 6 créditos), siendo ambas asignaturas la que constituyen la materia básica de física que se imparte en primer curso. El resto de contenidos de este libro, según titulaciones de la Escuela, se estudia en la asignatura Física III, al menos la parte de dicha asignatura que corresponde a física aplicada, pero dada la diversidad de grados, a partir de la lección 22, unas lecciones son de Física II otras de Física III y otras no se estudian en dicha titulación

Es mi deseo que el libro sea de gran utilidad para el estudiante, y con esa intención lo he hecho.

En Valencia, septiembre de 2013

Índice

TOMO I

Lección 1	<i>La magnitud física y su medida</i>	7
Lección 2	<i>Sistemas de vectores</i>	45
Lección 3	<i>Tensores cartesianos</i>	83
Lección 4	<i>Centro de gravedad</i>	113
Lección 5	<i>Momentos de inercia</i>	127
Lección 6	<i>Cinemática de los sistemas indeformables</i>	153
Lección 7	<i>Movimiento plano</i>	177
Lección 8	<i>Cinemática del movimiento relativo</i>	205
Lección 9	<i>Dinámica de los sistemas</i>	215
Lección 10	<i>Dinámica del sólido rígido</i>	261
Lección 11	<i>Dinámica de sólidos planos rígidos con movimiento plano en su plano</i>	281
Lección 12	<i>Dinámica de percusiones</i>	293
Lección 13	<i>Estática</i>	327
Lección 14	<i>Grafoestática</i>	351
Lección 15	<i>Primera ley de la Termodinámica</i>	361
Lección 16	<i>Segunda ley de la Termodinámica</i>	399
Lección 17	<i>Teoría elemental de campos</i>	447
Lección 18	<i>Estática de los fluidos</i>	473
Lección 19	<i>Dinámica de los fluidos</i>	503

TOMO II

Lección 20 <i>Movimiento ondulatorio</i>	547
Lección 21 <i>Ondas mecánicas</i>	597
Lección 22 <i>El campo electrostático en el vacío</i>	663
Lección 23 <i>Conductores y capacidad eléctrica</i>	693
Lección 24 <i>Condensadores. Dieléctricos</i>	719
Lección 25 <i>Corriente continua</i>	755
Lección 26 <i>Redes de conductores</i>	781
Lección 27 <i>El campo magnético en el vacío</i>	805
Lección 28 <i>El campo magnético en la materia</i>	839
Lección 29 <i>Inducción electromagnética</i>	865
Lección 30 <i>Corrientes alternas</i>	893
Lección 31 <i>Óptica geométrica</i>	929
Lección 32 <i>Naturaleza de la luz</i>	993
Lección 33 <i>Fotometría</i>	1017
Lección 34 <i>Teoría del color</i>	1043
APÉNDICES.....	1063

LECCIÓN 1

LA MAGNITUD FÍSICA Y SU MEDIDA

Objetivos

1. *Saber expresar una misma cantidad en distintas unidades.*
2. *Conocer el Sistema Internacional de Unidades.*
3. *Conocer los sistemas físicos de unidades.*
4. *Conocer los sistemas técnicos de unidades.*
5. *Determinar la ecuación dimensional de cualquier magnitud.*
6. *Saber aplicar la ley de homogeneidad.*

Contenido

- 1.1. *La Ciencia física.*
- 1.2. *Magnitudes.*
 - 1.2.1. *Observables.*
 - 1.2.2. *Magnitudes físicas.*
- 1.3. *Unidades y medidas.*
- 1.4. *Leyes fundamentales. Constantes universales.*
- 1.5. *Sistemas de ecuaciones de definición. Sistema acorde de unidades.*
- 1.6. *Sistemas físicos de unidades.*
- 1.7. *Sistema internacional de unidades. Unidades Fundamentales*
- 1.8. *Unidades derivadas en el Sistema Internacional.*
- 1.9. *Otras unidades internacionales*
- 1.10. *Sistemas técnicos de unidades.*
- 1.11. *Otras unidades mecánicas.*
- 1.12. *Errores de medición.*
 - 1.12.1. *Clasificación de los errores.*
 - 1.12.2. *Cálculo del error en las medidas indirectas.*
 - 1.12.3. *Teoría de errores. Curva de Gauss.*
- 1.13. *Ecuaciones dimensionales.*
- 1.14. *Cambio de unidades.*
- 1.15. *Ley de homogeneidad.*

1.1. LA CIENCIA FÍSICA

La ciencia física se divide desde hace tiempo en las fracciones de mecánica, acústica, termodinámica, electricidad, magnetismo y óptica, a las que se añaden las secciones, hoy a la delantera de la investigación, de la naturaleza y estructura de la materia, física atómica y nuclear. Cuanto más se perfeccionan los conocimientos tanto más arbitrarios son los límites entre estas disciplinas. La acústica y la termodinámica se interpretan con ejemplos mecánicos; la óptica y el electromagnetismo se amalgaman en un único campo; la radiación térmica y la luz se consideran una misma cosa. Así con el modelo de onda se explican fenómenos tan distintos, en apariencia, como los acústicos, térmicos u ópticos. Grandes principios, como el de la energía cuya validez se restringía antiguamente a un campo acotado, rebosaron sus propios límites al avanzar la ciencia, abarcando a la totalidad de la física y logrando una posición predominante en todas las ciencias naturales. Todo esto, lleva a que el investigador se obstine en la exploración de teorías que aúnen la exposición de estas partes de forma que con el mínimo número de principios factibles y reglas, se describan el máximo número de fenómenos.

Excluyendo la biofísica, que en un rápido desarrollo se ha transformado en una ciencia independiente. La física de los fenómenos de la naturaleza inanimada son tan distintos que englobarlos y exponerlos parece, a primera vista, una tarea exasperada. Así y todo, resulta que es posible explicarlos por medio de un conjunto de conceptos que, seleccionados adecuadamente, no son tan considerables como para que no se puedan recopilar en un sencillo sistema conceptual, tal como longitud, tiempo, masa, velocidad, aceleración, carga eléctrica, etc. Su denominación se ha obtenido corrientemente del lenguaje ordinario. Pueden significar lo mismo que en éste último, pero no tiene por que ser así; su peculiaridad consiste en la necesidad de fijar de un modo unívoco su significado. La condición previa para establecer la ciencia física es la definición exacta e inconfundible de cada uno de los conceptos.

El paso siguiente a la mera descripción de la naturaleza es el descubrimiento de unas leyes; para formularlas exactamente, los conceptos físicos tienen que poder considerarse cuantitativamente, es decir, medirse, o sea expresarse mediante unidades y números. Por esta razón, para la formulación de las leyes naturales sólo resulta adecuada una determinada elección de conceptos.

La formulación matemática de un fenómeno físico se le denomina ley física, dicha formulación se puede hacer mediante la observación o mediante la imitación del fenómeno en condiciones engendradas y controladas (experimento físico). Cuando, al contrario, el experimentador provoca un fenómeno que sigue un trayecto apetecido y conocido, las leyes físicas están al beneficio de los fines del hombre. Por eso la física es la base de la técnica. El físico aspira prever las propiedades y leyes de la naturaleza

y en general no se cuestiona la utilidad de la investigación. Pero la historia muestra que todo descubrimiento importante, por muy alejado que esté cuando aparece de toda aplicación práctica, fomenta más tarde el desarrollo de la técnica.

El fin investigador de la física consiste en asentar la teoría de los fenómenos naturales que estudia. El trayecto hasta ella pasa en primer lugar por la elaboración de una hipótesis. Las conclusiones que se derivan han de confirmarse siempre con la experiencia. Si la hipótesis da buenos resultados, ésta se denomina teoría. El concepto de teoría no tiene en la física el defecto de inseguridad que se da en el lenguaje habitual.

Pero la razón de la ley descubierta no es organizar lo observado y sintetizar los fenómenos complicados a lo más sencillo. Debe concebir, sobre todo, la posibilidad de pronosticar cuantitativamente el hecho físico.

1.2. MAGNITUDES

1.2.1. OBSERVABLES

Por medio de la observación de los fenómenos naturales el raciocinio humano construye las entidades utilizadas en Física; se alcanzan por un camino de abstracción que estriba en coger una cualidad común y excluir todas las demás. De esa manera, el concepto de tiempo brota de la contemplación de la duración de las cosas sujetas a cambio, cualesquiera que sean su color, tamaño y naturaleza. Lo mismo sucede con la longitud, el área y el volumen, etc.

Algunos entes físicos son **observables** mediante los sentidos (belleza, color, olor, sabor, velocidad, temperatura, longitud, fuerza, presión, etc.). Otros se conciben como causas de hechos observables. (Tal ocurre con la masa, carga eléctrica, energía, etc.). Se denomina observables tanto a unos como a otros.

La explicación del efecto observable propio de cada ente físico conforma una definición cualitativa, que no debe excluirse. Estas definiciones cualitativas son válidas para conocer de qué se trata y para reconocerlo siempre que se trate con él.

1.2.2. MAGNITUDES FÍSICAS

La física emplea observables que se pueden cuantificar, es decir, han de poder medirse. Se denomina **magnitud física** a todo observable que se puede medir. De esta definición se puede estimar que el objeto de la física es alterable, en función de que los

fenómenos físicos observados sean medibles o no; de forma que el progreso en las tecnologías de instrumentación de medida, sin duda aumentan el dominio de la física tomando conceptos y leyes, derivadas de estas nuevas medidas.

Por ejemplo, conforme la tecnología ha facultado medir los fenómenos vinculados al átomo, su estructura, su núcleo y sus electrones la física se ha ido ampliando hasta incluir en ella una nueva sección, la física atómica y nuclear, que trata de esto.

La longitud, tiempo, velocidad, aceleración, fuerza, masa, color, etc. son ejemplos de magnitudes físicas. La belleza, el sabor, el olor, el amor, la satisfacción, etc. son observables que no constituyen magnitudes físicas ya que no se pueden medir.

Las magnitudes pueden clasificarse en escalares, vectoriales y tensoriales, a su vez, las primeras, se pueden clasificar en extensivas e intensivas. Son magnitudes escalares aquellas que quedan determinadas por un número real, acompañado de un estado elegido de esta magnitud, de entre las magnitudes escalares extensibles se encuentran la masa, energía, tiempo, carga eléctrica, volumen, la cantidad de sustancia, resistencia eléctrica, etc. y de entre las unidades escalares intensivas, se encuentran la temperatura, densidad, volumen específico, carga específica, etc.

Las magnitudes vectoriales necesitan además el conocimiento de una dirección y un sentido, entre las cuales, se encuentran, la velocidad, aceleración, fuerza, cantidad de movimiento, campo eléctrico, etc.

Las magnitudes tensoriales son las que el valor observado de dicha magnitud depende de la dirección en que es observada. Entre dichas magnitudes se encuentran el tensor de inercia, el tensor de esfuerzos, el tensor de deformaciones, el tensor conductividad térmica, el índice de refracción, el tensor dieléctrico en medios anisótropos,...

1.3. UNIDADES Y MEDIDAS

Se denomina **cantidad** de una magnitud al estado de esa magnitud en un objeto determinado. Por ejemplo la carga eléctrica es una magnitud; la carga del electrón es una cantidad de la magnitud carga eléctrica.

Un conjunto de observables $(A_0), (A_1), (A_2), \dots$, comparables entre sí dos a dos, son cantidades de una misma magnitud física.

Dos cantidades (A) y (B) de una misma magnitud se dice que son comparables cuando existe una definición operacional y universal de la razón:

$$\frac{(A)}{(B)} = n \quad 1.1$$

siendo n un número que expresa que la cantidad (A) es n veces mayor que la cantidad (B), es decir, (A)=n.(B).

En la definición de comparación, el adjetivo **operacional** señala que se han de especificar los instrumentos usados en la comparación, así como las operaciones a efectuar. El requisito de **universalidad** requiere que la razón obtenida no dependa de la naturaleza de los cuerpos utilizados en la construcción del instrumental.

Definida la razón entre cantidades, quedan definidas la igualdad y la suma, pues de:

$$\frac{(A_1)}{(A_0)} = n_1; \quad \frac{(A_2)}{(A_0)} = n_2; \quad \frac{(A_3)}{(A_0)} = n_3 \quad 1.2$$

Se deduce

$$(A_1) = (A_0) \text{ si } n_1 = 1 \quad 1.3$$

$$(A_1) + (A_2) = (A_3) \text{ si } n_1 + n_2 = n_3 \quad 1.4$$

Recíprocamente, la definición de la razón entre cantidades, puede sustituirse por la definición de la igualdad y de la suma, si se cumple el postulado de divisibilidad indefinida.

El criterio de **igualdad** está implicado en la definición cualitativa de cada magnitud, pues es obvio admitir que dos cantidades son iguales cuando sus efectos son idénticos.

Para la suma de cantidades vale en Física el criterio de equivalencia, según el cual, la suma ha de producir por sí sola el mismo efecto que los sumandos reunidos. Se postula que el resultado es independiente de la manera como se reúnen.

Las magnitudes extensivas, se suman por acumulación, o sea yuxtaponiendo los objetos que les sirven de soporte, mientras que a las magnitudes intensivas no les es aplicable la suma por acumulación, así por ejemplo, para la densidad, al reunir dos líquidos con densidades conocidas, la densidad que resulta no es la suma de las densidades de ambos líquidos por separado. Pero la densidad sigue siendo una

magnitud física, pues basta que una sustancia de masa constante se le varíe su volumen para que su densidad aumente a medida que disminuye su volumen, y por tanto se puede sin ninguna ambigüedad definir la razón entre dos densidades cualesquiera, así para un volumen dado de una sustancia la densidad se incrementará a medida que aumente la masa que ocupa la totalidad del volumen (entendiéndose una distribución de masa homogénea en el volumen considerado, en caso de no cumplirse, se tendría que estudiar en elementos diferenciales).

Para las magnitudes vectoriales, su suma se realiza mediante la regla del polígono.

La discriminación entre magnitudes y cantidades es indispensable cuando hay que concretar las ideas. Pero es habitual en Física coger lo general por lo particular, y por eso se suele hablar de magnitudes y pocas veces de cantidades, aún en el caso en que el vocablo oportuno sea este último.

Para una magnitud determinada se puede elegir una cantidad de esta magnitud como patrón, a esta cantidad se le denomina **unidad**, la comparación de cantidades de la misma magnitud con la unidad se denomina **medida**, sea la magnitud $\{A\}$, cuya unidad se representa por U_A , y sean (A_1) , (A_2) , cantidades de dicha magnitud, se forman las siguientes razones.

$$\frac{(A_1)}{U_A} = A_1; \quad \frac{(A_2)}{U_A} = A_2 \quad 1.5$$

donde A_1 y A_2 son las medidas de las cantidades (A_1) y (A_2) respectivamente con la

$$(A) = A \cdot U_A \quad 1.6$$

unidad U_A , así a cada cantidad (A) le corresponde una medida A , para la unidad U_A es decir, **cantidad = medida.unidad**

De forma que a cada cantidad (A) , se asocia un número A , que representa el número de veces que (C) es mayor que la unidad. Dicho número como se ha indicado es la medida de la cantidad (A) referida a la unidad.

Cabe destacar la diferencia conceptual entre cantidad y medida, puesto que la cantidad de una magnitud física no depende de la unidad utilizada para medirla, la medida en cambio, si depende de la unidad, de forma que para una misma cantidad, cuanto menor sea la unidad que se utiliza para medirla, mayor será el valor de la medida obtenida.

Sean dos Unidades U_A y U'_A de la magnitud $\{A\}$ al cambiar la unidad U_A por la U'_A se tendrá para la cantidad (A) :

$$(A) = A \cdot U_A = A \cdot \left(\frac{U_A}{U'_A} \right) \cdot U'_A = A' \cdot U'_A \Rightarrow A' = A \cdot \frac{U_A}{U'_A} \Rightarrow \frac{A'}{A} = \frac{U_A}{U'_A} \quad \mathbf{1.7}$$

De donde las medidas de una misma cantidad son inversamente proporcionales a las unidades con que se han obtenido.

Las medidas pueden ser: *Directas* al comparar cada cantidad con la unidad y aplicar el criterio de igualdad y suma. *Indirectas*, aquellas que se miden las cantidades de otras magnitudes y mediante una ley física se determina la medida de la cantidad correspondiente; Y las realizadas mediante instrumentos calibrados (balanzas, cronómetros, voltímetros, etc.)

1.4. LEYES FUNDAMENTALES. CONSTANTES UNIVERSALES

Como se ha indicado las leyes físicas relacionan las magnitudes que intervienen en un fenómeno considerado, estas tienen un carácter cuantitativo, pudiéndose elegir relaciones de proporcionalidad entre potencias determinadas de las cantidades que intervienen, así:

$$(A) \propto (B)^b \cdot (C)^c \cdot \dots \quad \mathbf{1.8}$$

que representa una relación de proporcionalidad entre cantidades, por tanto si el fenómeno en cuestión se hace x veces mayor la cantidad (B) y se mantiene constantes el resto de cantidades, la cantidad (A) queda multiplicada por x^b . Dichas relaciones de proporcionalidad entre cantidades tiene un carácter absoluto, puesto que no se introducen elementos convencionales como lo son las unidades.

Al pasar de la relación de proporcionalidad entre cantidades a la ecuación entre medidas, hay que introducir un factor proporcional, K, (este puede valer 1, en cuyo caso se dice que las magnitudes físicas que intervienen son coherentes), que dependerá en un principio de las unidades elegidas de cada magnitud, con lo que resulta

$$A = K \cdot B^b \cdot C^c \cdot \dots \quad \mathbf{1.9}$$

Para hallar K habrá que conocer la relación de proporcionalidad y según las unidades que se adopten, dicho valor se obtendrá al medir en diversos casos particulares las cantidades que figuran en la ecuación; pueden ocurrir dos casos:

- a) Al variar la naturaleza del cuerpo con que se opere, y para el mismo conjunto de unidades, el factor de proporcionalidad varía, por lo que se dice, que K es una constante característica del cuerpo.
- b) Pero puede ocurrir que dicho factor de proporcionalidad sea independiente de la naturaleza del cuerpo. Entonces se denomina **constante universal**, y a la relación entre cantidades **ley universal**.

Las constantes universales poseen un carácter desconcertante. Surgen en las leyes sin definirse a priori. Al no ser propiedades de los cuerpos o medios y no variar, no son magnitudes, puesto que sólo existe un único espécimen de cada una y por tanto no hay comparación, pero no son números fijos, porque su valor numérico depende de las unidades que se elijan para medir las cantidades que comparten con ellas las respectivas ecuaciones.

Las constantes universales trazan al ser descubiertas una nueva era científica, por tanto ejecutan en Física un función importante.

1.5. SISTEMAS DE ECUACIONES DE DEFINICIÓN. SISTEMA ACORDE DE UNIDADES

Las magnitudes se pueden relacionar con otras de forma cuantitativa, con diferentes fórmulas, así la aceleración se puede relacionar, entre otras con:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}; \quad \vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}; \quad \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}; \quad \dots \quad \mathbf{1.10}$$

y por tanto se pueden elegir diferentes fórmulas que en su conjunto constituyan un sistema de ecuaciones, una vez elegidas las fórmulas, y fijado el coeficiente de cada una, se tiene un **sistema particular de ecuaciones de definición**, y debe ocurrir que al sustituir los símbolos de las magnitudes por los números que las miden con las unidades, queden satisfechas las ecuaciones. Entonces se habrá constituido un **sistema de unidades acorde** con el sistema particular de ecuaciones de definición.

Esto es posible, puesto que de todas las magnitudes se eligen un conjunto de ellas como **magnitudes fundamentales** de forma que no estén relacionadas entre sí por una ley universal; y a continuación se eligen arbitrariamente las unidades de las magnitudes fundamentales, y definiendo las unidades de las demás magnitudes de tal modo que se cumplan todas las ecuaciones del sistema particular de ecuaciones de definición.

Si en un sistema acorde de unidades se toma como magnitudes fundamentales entre otras la longitud y el tiempo, la velocidad no puede ser magnitud fundamental, puesto que existe una ley física que se relaciona con las dos anteriores, sea dicha ley física la ecuación de definición de la velocidad, tomando el metro como unidad de longitud y el segundo como unidad de tiempo, la unidad de velocidad en dicho sistema acorde de unidades debe ser necesariamente el $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, puesto que la velocidad media que debe tener un móvil para recorrer la distancia unidad en el tiempo unidad será:

$$\bar{V} = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

1.11

$$(V)_u = \frac{(l)_u}{(t)_u} = \frac{m}{s}$$

y denominado por v_m , l_m , t_m a las medidas de las cantidades, las cantidades valdrán:

$$(v) = v_m \cdot (v)_u; (l) = l_m \cdot (l)_u; (t) = t_m \cdot (t)_u$$

$$v_m \cdot (v)_u = v_m \cdot \frac{(l)_u}{(t)_u} = (v) = \frac{(l)}{(t)} = \frac{l_m}{t_m} \cdot \frac{(l)_u}{(t)_u} \quad \mathbf{1.12}$$

$$v_m = \frac{l_m}{t_m}$$

Y así se obtendría un sistema coherente, ya que las ecuaciones quedarán satisfechas con los números.

Cada sistema coherente de unidades se corresponde con un sistema particular de ecuaciones de definición, y por lo tanto para caracterizarlo no basta con dar las unidades fundamentales, siendo necesario además, el sistema de ecuaciones de definición, con los valores de los coeficientes y con su expresión verbal.

Las magnitudes cuyas unidades se definen a partir de las fundamentales mediante el sistema de ecuaciones de definición, se denominan derivadas.

1.6. SISTEMAS FÍSICOS DE UNIDADES

Aunque parezca sorprendente, sólo son necesarias tres magnitudes fundamentales para el estudio de la mecánica, en los sistemas físicos se elige como magnitudes fundamentales mecánicas *longitud, masa y tiempo*. Al estudiar la termodinámica se necesitan dos magnitudes fundamentales más, estas son *cantidad de materia y temperatura*, para el estudio de la electricidad es necesario introducir otra magnitud fundamental, en la mayoría de los sistemas físicos se elige como magnitud fundamental a la *intensidad de corriente eléctrica*, aunque en otros sistemas físicos, los electrostáticos, toman como magnitud fundamental la *carga eléctrica*, con la fotometría resulta necesario introducir una séptima magnitud fundamental, se elige a la *intensidad luminosa*.

De entre los sistemas acordes de unidades cabe destacar el **Sistema Internacional** de Unidades, que se estudiará más adelante con mayor detalle, el sistema **egs**, que a su vez se divide en sistema **electrostático** y sistema **electromagnético**, el sistema **mts** y el sistema **fps**.

El sistema cegesimal o cgs (centímetro, gramo, segundo) toma como unidades mecánicas fundamentales el centímetro, $1 \text{ cm}=10^{-2} \text{ m}$; el gramo, $1 \text{ g}=10^{-3} \text{ kg}$; y el segundo. Las unidades derivadas que tienen un nombre especial son: la dina, $1 \text{ din}=10^{-5} \text{ N}$, que es la unidad de Fuerza; el ergio, $1 \text{ erg}=10^{-7} \text{ J}$, unidad de Energía; y la baria, $1 \text{ baria}=0.1 \text{ Pa}$, unidad de presión.

El sistema mts (metro, tonelada, segundo) fue el sistema legal en Francia durante algunas décadas aunque no tuvo nunca la aprobación de los físicos. Sus unidades mecánicas fundamentales son el metro; la tonelada métrica, $1 \text{ t}=10^3 \text{ kg}$; y el segundo. Las unidades derivadas que tienen un nombre especial son: el steno, $1 \text{ sn}=10^3 \text{ N}$, que es la unidad de Fuerza; el kilojulio, $1 \text{ kJ}=10^3 \text{ J}$, unidad de Energía; el kilovatio, $1 \text{ kW}=10^3 \text{ W}$ unidad de potencia; y la pieza, $1 \text{ pz}=10^3 \text{ Pa}$, unidad de presión.

El sistema fps (foot, pound, second) (pie, libra, segundo) sistema físico utilizado principalmente en el mundo anglosajón. Sus unidades mecánicas fundamentales son el pie, $1 \text{ ft}=0.3048 \text{ m}$; la libra, $1 \text{ Lb}=0.45359 \text{ kg}$; y el segundo. El poundal como unidad de fuerza es la unidad derivada con nombre especial $1 \text{ poundal} = 0.138254 \text{ N}$.

1.7. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES. UNIDADES FUNDAMENTALES

El sistema internacional (S.I.) está formado por las unidades del sistema mksA racionalizado (metro, kilogramo, segundo, amperio), y lleva definiciones adicionales para la unidad de temperatura, la unidad de intensidad luminosa y la unidad de cantidad de sustancia.

Este sistema de unidades fue adoptado oficialmente por España en 1967 (B.O.E. de 10-11-1967). La última modificación se ha publicado en el BOE del 21 de enero de 2010. Las unidades fundamentales mecánicas son el metro (m) para la longitud, el kilogramo (kg) para la masa y el segundo (s) para el tiempo.

La masa unidad, es decir, el **kilogramo** se definió en 1901 (3ª conferencia general de Pesas y Medidas), como *la masa de un bloque cilíndrico de platino iridiado, cuya altura y diámetro son iguales y que está depositado en el pabellón de Breteuil de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres.*

La unidad de longitud, el **metro** definido, por última vez, en 1983 (17ª conferencia) como *la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un intervalo de $\frac{1}{299792458}$ de segundo.*

El **segundo**, unidad de tiempo, definido en 1967 (13ª conferencia) se define como *la duración de 9 192 631 770 periodos de radiación correspondiente a la transición entre los niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo 133 de cesio.*

El **Amperio (A)**, quedó definido en 1948 (9ª conferencia) como *la intensidad de una corriente constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro el uno del otro en el vacío, produce entre estos conductores una fuerza igual a $2 \cdot 10^{-7}$ N por metro de longitud.*

La unidad de temperatura es el **Kelvin (K)** definido en 1967 (13ª conferencia) como *la unidad de temperatura termodinámica que corresponde a $\frac{1}{273,16}$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.*

La unidad de intensidad luminosa denominada **candela (cd)** (13ª conferencia) es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación

monocromática de frecuencia igual a 540×10^{12} hercios y cuya intensidad energética radiada en dicha dirección es 1/683 vatios por estereoradián

El **mol** es la unidad de cantidad de sustancia, que fue definida en 1971 (17ª c. g. P. y M.) como *la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0'012 kilogramos de carbono 12.*

Junto a la palabra mol, se ha de especificar las entidades elementales, que pueden ser, átomos, moléculas, iones, electrones, etc.

El Sistema Internacional, al igual que el resto de sistemas admiten múltiplos y submúltiplos de las unidades, para ello se añaden al nombre de la unidad el prefijo adoptado, por acuerdo internacional, los cuales se encuentran en la tabla I.

Tabla I

Factor	Prefijo	Símbolo
10^{24}	Yolta	Y
10^{21}	Zetta	Z
10^{18}	Exa	E
10^{15}	Peta	P
10^{12}	Tera	T
10^6	Mega	M
10^9	Giga	G
10^3	Kilo	K
10^2	Hecto	H
10	Deca	Da
10^{-1}	Deci	D
10^{-2}	Centi	C
10^{-3}	Mili	M
10^{-6}	Micro	M
10^{-9}	Nano	N
10^{-12}	Pico	P
10^{-15}	Femto	F
10^{-18}	Atto	A
10^{-21}	Zepto	Z
10^{-24}	Yocto	Y

No se admiten los prefijos compuestos formados por la yuxtaposición de varios prefijos, así los múltiplos o submúltiplos de la unidad fundamental de masa del S.I. serán múltiplos del gramo, es decir, 1000 veces dicha unidad será el megagramo (Mg) y no el kilokilogramo (kkg), algunos múltiplos o submúltiplos de las unidades del Sistema Internacional tienen un nombre propio, de los cuales los más habituales son los que se encuentran reflejados en la tabla II.

Tabla II

<i>unidad</i>	<i>Nombre con prefijo</i>	<i>Equivalente S.I.</i>
Micra (μ)	Micrómetro (μm)	10^{-6} m
milimicra ($\text{m}\mu$)	Nanómetro (nm)	10^{-9} m
Ångström (Å)	-	10^{-10} m
Fermi	Femtometro (fm)	10^{-15} m
Tonelada	Megagramo (Mg)	10^3 kg
Bar	Megabarria (Mbarria)	10^5 Pa

1.8. UNIDADES DERIVADAS EN EL SISTEMA INTERNACIONAL

En el sistema Internacional existe una serie de unidades derivadas que tienen nombre propio estas son: *Radián (rad)* unidad de ángulo plano; *Esteroradián (sr)* unidad de ángulo sólido; *Hercio (Hz)*, $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ unidad de frecuencia; *Newton (N)*, $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ unidad de fuerza; *Pascal (Pa)*, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, unidad de presión; *Julio (J)*, $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$, unidad de energía, de trabajo y de cantidad de calor ; *vatio (W)*, $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$, unidad de potencia; *Culombio (C)*, $1 \text{ C} = 1 \text{ sA}$, unidad de carga eléctrica y de cantidad de electricidad; *Voltio (V)*, $1 \text{ V} = 1 \text{ W} \cdot \text{A}^{-1}$, unidad de diferencia de potencial y de fuerza electromotriz; *Faradio (F)*, $1 \text{ F} = 1 \text{ C} \cdot \text{V}^{-1}$, Unidad de capacidad eléctrica; *Ohmio (Ω)*, $1 \Omega = 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$, unidad de resistencia eléctrica; *Siemens (S)*, $1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1} = 1 \text{ A} \cdot \text{V}^{-1}$, unidad conductancia eléctrica; *Weber (Wb)*, $1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$, unidad de flujo magnético o flujo de inducción magnética; *Tesla (T)*, $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$, unidad de densidad de flujo magnético o inducción magnética; *Henrio (H)*, $1 \text{ H} = 1 \text{ Wb} \cdot \text{A}^{-1}$, unidad de inductancia; *Grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$)*, $1 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$, unidad de temperatura celsius; *Lumen (lm)*, $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd sr}$; *Lux (lx)*, $1 \text{ lx} = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$, unidad de iluminancia; *Becquerel (Bq)*, $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$, unidad de actividad de un radionucleido; *Gray (Gy)*, $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, unidad de dosis absorbida, de energía másica (comunicada) y de kerma; *Sievert (Sy)*, 1

Para seguir leyendo haga click aquí