

Tema 1: Introducción a la Física. Metrología*



Física I

Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica (GIERM)

Primer Curso



*Prof.Dr. Joaquín Bernal Méndez y Prof.Dr. Antonio González Fernández

Física I. Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica 2016/17
Prof.Dr. Emilio Gómez González
Dpto. Física Aplicada III, ETS Ingeniería

Tema 1 1



Índice

- Introducción
- Sistemas de unidades
 - El Sistema Internacional de Unidades
 - Otros sistemas de unidades
- Conversión de unidades
- Cifras significativas
- Ecuaciones de dimensión
- Órdenes de magnitud

Física I. Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica 2016/17
Prof.Dr. Emilio Gómez González
Dpto. Física Aplicada III, ETS Ingeniería

Tema 1 2



Introducción

- **Física:** ciencia de la medida
- **Magnitud física:** todo aquello susceptible de ser medido (conceptos resultantes de hacer abstracción de determinadas cantidades observables y medibles que intervienen en los fenómenos).

Ejemplos:

Cantidad medible	Magnitud	Símbolo
Distancia entre dos ciudades	longitud	l
Lo que tarda en caer un cuerpo	tiempo	t
Esfuerzo para levantar una piedra	Fuerza	F

Introducción

- **Medir:** comparar dos magnitudes de la misma especie.
- **Unidad:** cantidad fija de una magnitud tomada arbitrariamente que sirve de referencia o comparación para medir.
- Cualquier cantidad ha de estar expresada mediante un **valor numérico** y la **unidad utilizada**

$$t = 18 \text{ s}$$

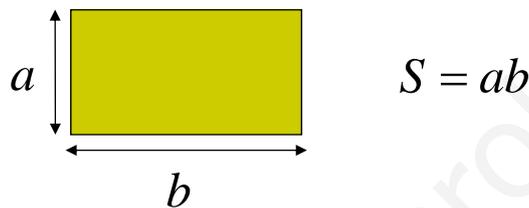
$$l = 123 \text{ cm}$$

Medidas

- Tipos de medidas:

- Medida directa
- Medida indirecta: usa una ecuación que liga a diferentes magnitudes

Ejemplo: determinación de la superficie de un rectángulo a partir de la medida de sus lados



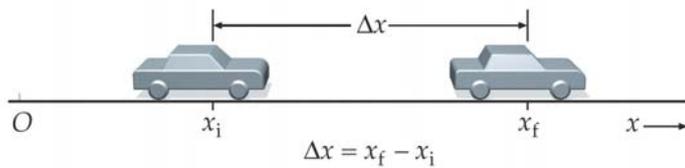
Índice

- Introducción
- Sistemas de unidades
 - El Sistema Internacional de Unidades
 - Otros sistemas de unidades
- Conversión de unidades
- Cifras significativas
- Ecuaciones de dimensión
- Órdenes de magnitud

Sistemas de unidades

■ Coherencia:

- Una vez escogidas las unidades para un determinado número de magnitudes, las unidades de las demás magnitudes deben deducirse de ellas.
- Evita la aparición de **coeficientes parásitos**
- **Ejemplo:** velocidad media de un automóvil



$$v = \frac{\Delta x}{t}$$

- Si medimos x en metros, t en segundos y v en km/h: $v = 3,6 \frac{\Delta x}{t}$

Para evitar el coeficiente parásito 3,6 la unidad de v ha de ser m/s

Sistemas de unidades

- Conjunto coordinado de dos tipos de unidades:
 - **Unidades fundamentales:** unidades elegidas arbitrariamente para algunas magnitudes básicas
 - **Unidades derivadas:** Se obtienen de las fundamentales a través de fórmulas

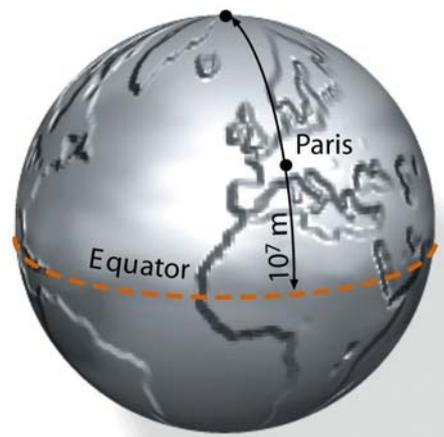
Sistema Internacional de Unidades

- Único sistema recomendado (internacional)
- Uso oficial en España: Real decreto 2032/2009 (BOE del [21/01/2010](#), revisado el [18/02/2010](#))
- Salvo para algunas unidades, definidas posteriormente, coincide con el primitivo sistema de Giorgi
- Abreviatura: S.I.
- Tiene siete unidades fundamentales

Sistema Internacional de Unidades

Unidades fundamentales: definiciones

- **Unidad SI de longitud: metro (m)**
Distancia recorrida por la luz en $1/299792458$ segundos
- 1120: Enrique I de Inglaterra define la **yarda** como la distancia entre la punta de su nariz y el extremo final de su brazo estirado.
- En Francia: longitud del **pie** del Luis XIV.
- 1799: diezmillonésima parte de la **distancia del polo Norte al ecuador**.
- 1889: **barra metro patrón**
- 1960: se define en función de la longitud de onda de la luz emitida por una **lámpara de criptón-86**
- 1983: definición actual

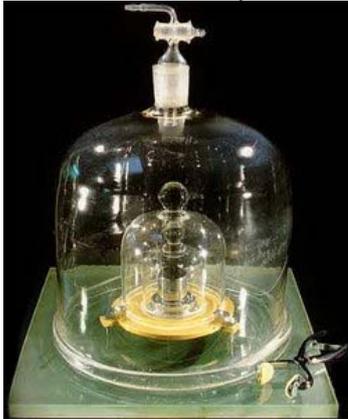


Sistema Internacional de Unidades

Unidades fundamentales: definiciones

- **Unidad SI de masa: kilogramo (kg)**

Masa del prototipo internacional de kilogramo que se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sévres (París)



Prototipo internacional (platino-iridio)

- Es la **única de las unidades SI que aún se define en función de un patrón**, en lugar de en relación con magnitudes físicas fundamentales.
- La definición original era la masa de un litro de agua pura a 4°C y presión atmosférica estándar.
- Existen copias oficiales del prototipo que se comparan con el prototipo oficial ("Le Grand Kilo") más o menos cada 10 años.

Sistema Internacional de Unidades

Unidades fundamentales: definiciones

- **Unidad SI de tiempo: segundo (s)**

Es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental de átomo de cesio 133

- Inicialmente se definió en función del tiempo de rotación de la tierra.
- El desarrollo de los relojes atómicos llevó a una definición más precisa.
- La definición del segundo fue refinada en **1997** para incluir la frase: *"Esta definición se refiere a un átomo de cesio en equilibrio a la temperatura de 0 K"*.

Sistema Internacional de Unidades

Unidades fundamentales: definiciones

- **Unidad SI de temperatura: kelvin (K)**
Es la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua
- **Unidad SI de intensidad de corriente: amperio (A)**
Intensidad de una corriente constante que, mantenida en dos conductores paralelos rectilíneos de longitud infinita y sección circular despreciable, colocados a una distancia de 1 m el uno del otro, en el vacío, produce entre estos dos conductores una fuerza de 2×10^{-7} newton por metro de longitud

Sistema Internacional de Unidades

Unidades fundamentales: definiciones

- **Unidad SI de cantidad de sustancia: mol (mol)**
Es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg de carbono 12. Las entidades elementales deben ser especificadas: átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas o agrupamientos especificados de tales partículas
- **Unidad SI de intensidad luminosa: candela (cd)**
Es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite energía radiante monocromática de 540×10^{12} Hz de frecuencia, y que tiene una intensidad radiante en dicha dirección de $1/683$ vatios por estereoradián.

Sistema Internacional de Unidades

Unidades fundamentales:

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

Símbolos:

- Caracteres romanos
- Minúsculas, salvo nombres propios
- No van seguidos de punto
- No llevan "s" para el plural

Nombres:

- Minúscula inicial **siempre**

Sistema Internacional de Unidades

Unidades fundamentales:

• Ejemplos:

- ~~$t=35 \text{ sg}$~~ \longrightarrow $t=35 \text{ s}$ Símbolo mal
- ~~$l_1=17 \text{ mts.}$~~ \longrightarrow $l_1=17 \text{ m}$ Símbolo y punto mal
- ~~$M=1,2 \text{ Kg}$~~ \longrightarrow $M=1,2 \text{ kg}$ Cursivas y mayúscula mal
- ~~$T=285 \text{ }^\circ\text{K}$~~ \longrightarrow $T=285 \text{ K}$ Kelvin, no "grados kelvin"
- ~~$I=2 \text{ a}$~~ \longrightarrow $I=2 \text{ A}$ Nombre propio: mayúsculas

Sistema Internacional de Unidades

Unidades fundamentales:

- Ejemplos: Televisor LCD

AIRIS M137. Televisor LCD 26''

Carrefouronline



Características técnicas

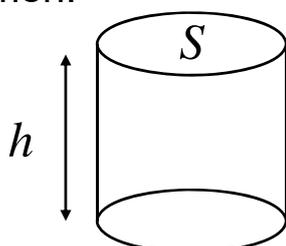
- TV LCD 26'' - 16:9
- Resolución: 1280 x 768
- Brillo ~~500 cd/m²~~ → cd/m²
- Contraste 600:1
- Sonido Estéreo Nicam
- Soporte de pared incorporado

Sistema Internacional de Unidades

Unidades derivadas:

- Existen tantas unidades derivadas como magnitudes físicas se emplean en la Ciencia: muchísimas.
- Dada una magnitud física, para establecer sus unidades SI basta con relacionarla mediante una fórmula con:
 - Las unidades fundamentales
 - Otras unidades derivadas previamente definidas
- Ejemplos:

Volumen:



$$V = Sh$$

Unidad: m³

Velocidad:

$$v = \frac{\Delta x}{t}$$

Unidad: m/s

Sistema Internacional de Unidades

Algunas unidades derivadas:

Magnitud	Fórmula	Nombre	Símbolo
Superficie	$S = ab$	metro cuadrado	m ²
Volumen	$V = abc$	metro cúbico	m ³
Velocidad	$\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt}$	metro por segundo	ms ⁻¹
Aceleración	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$	metro por segundo cuadrado	ms ⁻²

Sistema Internacional de Unidades

Algunas unidades derivadas:

Magnitud	Fórmula	Equivalente	Nombre	Símbolo
Fuerza	$\vec{F} = m\vec{a}$	mkgs ⁻²	newton	N
Presión	$dP = dF/dS$	m ⁻¹ kg ^s -2	pascal	Pa
Trabajo	$dW = \vec{F} \cdot d\vec{l}$	m ² kg ^s -2	julio (joule)	J
Potencia	$dP = dW/dt$	m ² kg ^s -3	vatio (watt)	W

Múltiplos

Factor	Prefijo	Símbolo
10^1	deca	da
10^2	hecto	h
10^3	kilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E
10^{21}	zetta	Z
10^{24}	yotta	Y

Ejemplos:

- Radio medio de la Tierra:
 - $6,4 \cdot 10^6 \text{ m} = 6400 \text{ km}$
- Longitud de un campo de fútbol:
 - $91 \text{ m} = 0,91 \text{ hm}$
- Tiempo desde la caída del imperio romano:
 - $5 \cdot 10^{12} \text{ s} = 5 \text{ Ts}$

Submúltiplos

Factor	Prefijo	Símbolo
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	u (μ)
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yocto	y

Ejemplos:

- Masa de un mosquito:
 - $1 \cdot 10^{-2} \text{ g} = 1 \text{ cg} = 10 \text{ mg}$
- Longitud de un virus:
 - $1 \cdot 10^{-8} \text{ m} = 10 \text{ nm}$
- Periodo de ondas de radio:
 - $1 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 1 \mu\text{s}$

Otros sistemas de unidades

- Existen otros sistemas de unidades
- Algunas de sus unidades pueden encontrarse aún en manuales antiguos

	Longitud	Masa	Tiempo
c.g.s.	centímetro	gramo	segundo

	Longitud	Fuerza	Tiempo
técnico	metro	kilopondio	segundo

$$1 \text{ Kp} = 9.8 \text{ N}$$

Otros sistemas de unidades

Comparación de algunas unidades importantes:

	SI	c.g.s.	técnico
Masa	kilogramo	gramo	U.T.M. $1 \text{ UTM} = 9.8 \text{ kg}$
Longitud	metro	centímetro	metro
Tiempo	segundo	segundo	segundo
velocidad	m/s	cm/s	m/s
fuerza	newton	dina $10^5 \text{ din} = 1 \text{ N}$	kilopondio $1 \text{ Kp} = 9.8 \text{ N}$
energía	julio	ergio $10^7 \text{ erg} = 1 \text{ J}$	kilogrametro $1 \text{ Kgm} = 9.8 \text{ J}$

Otros sistemas de unidades

Sistema técnico inglés / anglosajón

Longitud	Fuerza	Tiempo
pie	libra	segundo

- Solo se usa en mecánica y termodinámica
- **No decimal:** 1 yarda = 3 pies; 1 pie = 12 pulgadas

- Equivalencias:

1 yd = 0,9144 m

1 pie = 0,3048 m

1 pulgada (*inch*) = 2,54 cm

1 milla = 1,609 km

1 lb = 4,4482 N



Índice

- Introducción
- Sistemas de unidades
 - El Sistema Internacional de Unidades
 - Otros sistemas de unidades
- **Conversión de unidades**
- Cifras significativas
- Ecuaciones de dimensión
- Órdenes de magnitud



Conversión de unidades

- Todas las magnitudes físicas han de representarse mediante un número y una unidad
- Las unidades pueden tratarse como cualquier otra magnitud algebraica
- **Factor de conversión:** es una fracción cuyo numerador y denominador son medidas iguales con distintas unidades
- **Ejemplo:**

Equivalente en centímetros de 15 pulgadas (in):

$$15 \cancel{\text{ in}} \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \cancel{\text{ in}}} = 15 \times 2,54 \text{ cm} = 38,1 \text{ cm}$$

Factor de conversión

Conversión de unidades

- **Ejemplo:** Andy Green obtuvo el record de velocidad terrestre en 1997: $v = 763,035 \text{ mph}$ (Mach 1,020)



El vehículo: Thrust SSC



Black Rock Desert, Nevada, USA

$$v = 763,035 \frac{\cancel{\text{ mi}}}{\text{h}} \frac{1,609 \text{ km}}{1 \cancel{\text{ mi}}} = 1228 \frac{\text{ km}}{\text{ h}}$$

$$v = 1228 \frac{\cancel{\text{ km}}}{\cancel{\text{ h}}} \frac{1 \cancel{\text{ h}}}{3600 \text{ s}} \frac{1000 \text{ m}}{1 \cancel{\text{ km}}} = 341,1 \frac{\text{ m}}{\text{ s}}$$

Índice

- Introducción
- Sistemas de unidades
 - El Sistema Internacional de Unidades
 - Otros sistemas de unidades
- Conversión de unidades
- **Cifras significativas**
- Ecuaciones de dimensión
- Órdenes de magnitud

Cifras significativas

- Todas las medidas tienen una incertidumbre o error

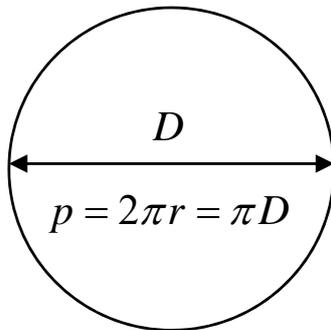
Ejemplo: Medimos altura de una mesa con una cinta métrica dividida en milímetros: ¿Qué expresión es correcta?

- $l=23$ cm \longrightarrow Omite información medible: milímetros
- $l=23,3$ cm \longrightarrow **Expresión correcta**
- $l=23,30$ cm \longrightarrow Indica las décimas de milímetros, que no puedo distinguir con precisión

- El número de dígitos utilizados informa sobre la incertidumbre de la medida.
- **Cifras significativas:** número de dígitos informativos del dato numérico.

Cifras significativas

- Si usamos números con incertidumbre el resultado también viene afectado de error
- **Ejemplo:** determinación de π a partir de medidas:



- Medimos el diámetro y el perímetro de un círculo con precisión de mm:

$$D = 135 \text{ mm} \quad p = 424 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \pi = \frac{p}{D} = 3,140740741$$

- Valor exacto: $\pi = 3,141592654$
- **No tiene sentido dar más cifras que las cifras significativas de los números empleados: 3**
- Resultado correcto de la medida: $\pi = 3,14$ (coincide con valor teórico)

Cifras significativas

- Reglas para calcular las cifras significativas:

Multiplicación y división:

El número de cifras significativas del resultado debe ser igual al del factor con menos cifras significativas que intervenga en la operación

Suma y resta:

El resultado no debe tener cifras significativas más allá de la última cifra decimal en que los sumandos tienen cifras significativas

Ejemplo: $140,26 + 62,2183 = 202,4783 = 202,48$

Tras eliminar las cifras no significativas es necesario redondear

Cifras significativas

■ Ejemplos:

$$2,26 \times 0,03 = 0,0678 \longrightarrow 0,07$$

$$1,123 \times 8 = 8,984 \longrightarrow 9$$

$$2,99 - 1,0 = 1,99 \longrightarrow 2,0$$

$$6,12 \times 10^2 + 1,56 = 613,56 \longrightarrow 6,14 \times 10^2$$

$$24/0,18 = 133,3333333 \longrightarrow 130 = 0,13 \times 10^3$$

Índice

- Introducción
- Sistemas de unidades
 - El Sistema Internacional de Unidades
 - Otros sistemas de unidades
- Conversión de unidades
- Cifras significativas
- Ecuaciones de dimensión
- Órdenes de magnitud

Ecuaciones de dimensión

- Nos indican la relación de una unidad derivada con las unidades fundamentales
- Las unidades fundamentales se denotan mediante símbolos que indican su **dimensión**
- La ecuación de dimensión es independiente del sistema de unidades utilizado.
- **Ejemplos:** dimensiones de algunas magnitudes

$$\text{Superficie: } [S]=L^2$$

$$\text{velocidad: } [v]=LT^{-1}$$

$$\text{Fuerza: } [F]=MLT^{-2}$$

Ecuaciones de dimensión

Magnitud	Unidad	Símbolo	Dimensión
Longitud	Metro	m	L
Masa	kilogramo	kg	M
Tiempo	segundo	s	T
Intensidad de corriente	ampere	A	I
Temperatura	kelvin	K	Θ
Cantidad de sustancia	mol	mol	N
Intensidad luminosa	candela	cd	J

Homogeneidad de las fórmulas

- Una fórmula correcta debe ser **homogénea**
- **Fórmula homogénea**: las ecuaciones de dimensión de sus dos miembros son iguales
- Esto es útil para:
 - Detección de errores en fórmulas
 - Recordatorio de fórmulas
- **Ejemplo**: fórmula del periodo de un péndulo

$$T_p = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \longrightarrow [T_p] = \sqrt{\frac{L}{LT^{-2}}} = T \longrightarrow \text{correcto}$$

$$T_p = 2\pi\sqrt{\frac{g}{l}} \longrightarrow [T_p] = \sqrt{\frac{LT^{-2}}{L}} = T^{-1} \longrightarrow \text{incorrecto}$$

Homogeneidad de las fórmulas

- **Ejemplo**: fórmula de Bernoulli (hidrodinámica)

$$p + \rho gz + \frac{1}{2} \rho v^2 = C$$

Con:

$p \rightarrow$ presión

$\rho \rightarrow$ densidad

$g \rightarrow$ aceleración de la gravedad

$z \rightarrow$ altura

$v \rightarrow$ velocidad

$$[p] = ML^{-1}T^{-2}$$

$$[\rho gz] = ML^{-3} \cdot LT^{-2} \cdot L = ML^{-1}T^{-2}$$

$$\left[\frac{1}{2} \rho v^2\right] = ML^{-3} \cdot (LT^{-1})^2 = ML^{-1}T^{-2}$$

¡Los tres términos tienen las mismas dimensiones!

Homogeneidad de las fórmulas



Índice

- Introducción
- Sistemas de unidades
 - El Sistema Internacional de Unidades
 - Otros sistemas de unidades
- Conversión de unidades
- Cifras significativas
- Ecuaciones de dimensión
- Órdenes de magnitud

Órdenes de magnitud

- A veces un problema no puede resolverse con precisión por:
 - Falta de datos
 - Complejidad de los cálculos
- Ejemplo: ¿Cuántos litros de gasolina anuales consumen los coches que hay en España?
- Una respuesta aproximada puede ser suficiente
- En este contexto se usa el concepto de **orden de magnitud**

Órdenes de magnitud

- Consiste en aproximar una cifra a la potencia de 10 más próxima.
- Ejemplos:

Cantidad	Valor aprox.	Orden de magnitud
Altura de una persona	$\approx 1,7 \text{ m}$	10^0 m
Radio de la tierra	$\approx 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$	10^7 m
Periodo de rotación terrestre	86400 s	10^5 s
Vida media ser humano	$\approx 1900 \cdot 10^6 \text{ s}$	10^9 s

- Datos y soluciones aproximados

Órdenes de magnitud

- Resolución del ejemplo: ¿Cuántos litros de gasolina anuales gastan los coches de España?
 - Número de habitantes ≈ 40 millones
 - Un coche cada cuatro habitantes, $c \approx 10^7$ coches
 - Consumo de cada coche $k \approx 10 \text{ l}/100 \text{ km} = 0,1 \text{ l}/\text{km}$
 - Distancia anual recorrida por cada coche $d \approx 10^4 \text{ km}$

Solución: $ckd \approx 10^{10}$ litros de gasolina

Suponiendo $\approx 1 \text{ €/l}$, gasto de diez mil millones de €