

# 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**

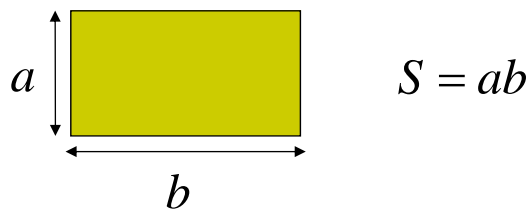
$$t = 18 \text{ s} \quad l = 123 \text{ cm}$$

# 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



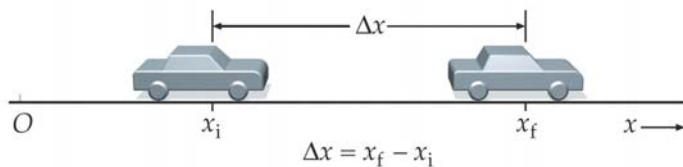
# Índice

- 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

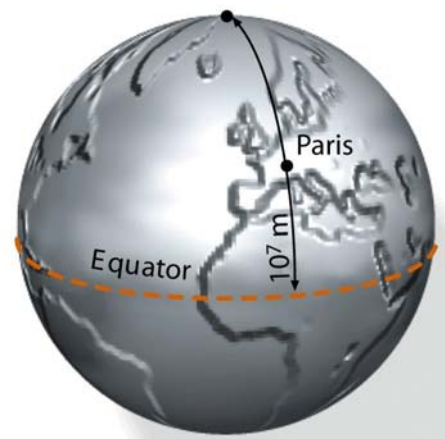
# Sistema Internacional de Unidades

- 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  $2 \times 10^{-7}$  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  $540 \times 10^{12}$  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

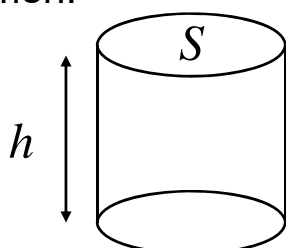
- TV LCD 26'' - 16:9
- Resolución: 1280 x 768
- Brillo ~~500 cd/m<sup>2</sup>~~ → cd/m<sup>2</sup>
- Contraste 600:1
- Sonido Estéreo Nicam
- Soporte de pared incorporado

# 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: m<sup>3</sup>

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 <sup>2</sup>
Volumen	$V = abc$	metro cúbico	m <sup>3</sup>
Velocidad	$\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt}$	metro por segundo	ms <sup>-1</sup>
Aceleración	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$	metro por segundo cuadrado	ms <sup>-2</sup>

# Sistema Internacional de Unidades

Algunas unidades derivadas:

Magnitud	Fórmula	Equivalentes	Nombre	Símbolo
Fuerza	$\vec{F} = m\vec{a}$	mkgs <sup>-2</sup>	newton	N
Presión	$dP = dF/dS$	m <sup>-1</sup> kg <sup>-2</sup>	pascal	Pa
Trabajo	$dW = \vec{F} \cdot d\vec{l}$	m <sup>2</sup> kg <sup>-2</sup>	julio (joule)	J
Potencia	$dP = dW/dt$	m <sup>2</sup> kg <sup>-3</sup>	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 ( $\mu$ )
$10^{-9}$	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

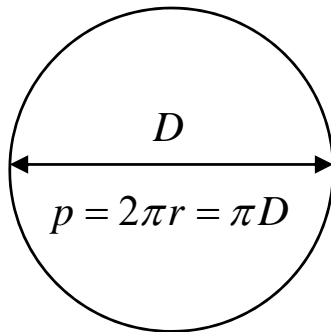
**Ejemplo:** Medimos altura de una mesa con una cinta métrica dividida en milímetros: ¿Qué expresión es correcta?

- $l=23$  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  $\pi$  a partir de medidas:



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

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

- 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	$\Theta$
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

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

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

# 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	$\approx 1,7 \text{ m}$	$10^0 \text{ m}$
Radio de la tierra	$\approx 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$	$10^7 \text{ m}$
Periodo de rotación terrestre	86400 s	$10^5 \text{ s}$
Vida media ser humano	$\approx 1900 \cdot 10^6 \text{ s}$	$10^9 \text{ s}$

- Datos y soluciones aproximados

# Órdenes de magnitud

- Resolución del ejemplo: ¿Cuántos litros de gasolina anuales gastan los coches de España?
  - Número de habitantes  $\approx 40$  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 €