

# ESCRIBIMOS CORRECTAMENTE MAGNITUDES E UNIDADES?

RAMÓN CID MANZANO,  
JUAN RAMÓN GALLÁSTEGUI OTERO

## Abstract

*At the beginning of this year 2010, a new Royal Decree has been published (2032/2009, dated 30 december 2009) on legal units of measurement. This decree incorporates the changes that have taken place since 1989 due to new resolutions of the CGPM, new European Directives and changes in the Spanish legislation.*

*We consider it of great importance to know about it, as it is the legal framework that governs the use of units, quantities, multiples, submultiples, etc., which appear daily in our teaching practice. We present here its more remarkable features.*

## RESUMO

A principios deste ano 2010, publicouse un novo Real Decreto (2032/2009, de 30 de decembro) que incorpora, sistematiza e ordena as diversas modificacións que se teñen producido desde 1989, debido a novos acordos tomados na Conferencia Xeral de Pesas e Medidas, novas directivas da Unión Europea e na propia lexislación española.

Consideramos que é de grande interese coñecelo, porque se trata do marco legal que rexe á hora de falar de unidades, magnitudes, múltiplos, submúltiplos, etc., que aparecen de cotío na nosa práctica docente. Presentámolo aquí sinalando as súas novidades máis importantes.

## INTRODUCCIÓN

Recentemente saíu publicado no BOE o Real Decreto 2032/2009 polo que se establecen as unidades legais de medida en España [1].

O citado real decreto traspón unha directiva europea relativa á aproximación das lexislacións dos estados membros sobre unidades de medida e recolle as últimas novidades, do ano 2007, nos acordos da Conferencia Xeral de Pesas e Medidas [2].

O real decreto contén, ademáis dunha introdución, un artigo único e un anexo. No artigo único reproducése o disposto na lei 3/1985 sobre a utilización obrigatoria do Sistema Internacional de Unidades (SI) :

“O Sistema Legal de Unidades de Medida obrigatorio en España é o Sistema Internacional de Unidades (SI) adoptado pola Conferencia Xeral de Pesos e Medidas e vixente na Unión Europea”.

O anexo consta de catro capítulos: no primeiro defínense e relaciónanse as unidades básicas do SI. Ditas unidades están recollidas na táboa 1. No capítulo II trátase das unidades derivadas, é dicir, daquelas unidades que se definen a partir das unidades básicas, como produto dunha ou varias destas unidades elevadas a algún expoñente. No capítulo III expóñense as regras de escritura dos símbolos e nomes das unidades, de expresión dos valores das magnitudes e para a formación dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI.

O último capítulo, o IV, trata sobre o uso doutras unidades que non son do SI. Algunhas como o litro, a hora ou a hectárea teñen unha definición exacta en unidades SI. Outras, como o electronvolt, a unidade de masa atómica unificada ou a unidade astronómica teñen valores en unidades SI obtidos experimentalmente. Finalmente figuran outras unidades que se utilizan en sectores específicos, como por exemplo o bar, a milla náutica ou a dioptría.

Pode resultar curioso para o profesorado de ciencias, matemáticas ou tecnoloxía poder usar un decreto do Ministerio de Industria Comercio e Turismo, publicado no BOE, como recurso para a aprendizaxe na aula, como se fose un libro de texto.

Non se pretende explicar polo miúdo o devandito decreto, senón referir algunhas das cuestións que nos parecen máis relevantes, remitindo ao lector ou lectora ao texto oficial. (Ver Anexo).

## DIFERENCIAS ENTRE OS NOMES EN GALEGO E EN CASTELÁN

O devandito real decreto aparece publicado no BOE na súa versión orixinal en castelán e nas versións en galego [3] e en catalán. Este artigo céntrase na versión en galego, pero non queremos deixar de comentar algunhas diferencias con respecto do castelán.

**Táboa 1. Unidades SI básicas**

| Magnitude                 | Nome da unidade |           | Símbolo da unidade |
|---------------------------|-----------------|-----------|--------------------|
|                           | galego          | castelán  |                    |
| lonxitude                 | metro           | metro     | m                  |
| masa                      | quilogramo      | kilogramo | kg                 |
| tempo, duración           | segundo         | segundo   | s                  |
| corrente eléctrica        | ampere          | amperio   | A                  |
| temperatura termodinámica | kelvin          | kelvin    | K                  |
| cantidade de substancia   | mol             | mol       | mol                |
| intensidade luminosa      | candela         | candela   | cd                 |

En castelán os nomes de moitas unidades que proveñen dun nome propio, toman unha forma adaptada. Son os casos, citados como exemplos, de amperio (André-Marie Ampère), hercio (Heinrich Hertz), julio (James Joule), ohmio (George Simon Ohm), vatio (James Watt) ou voltio (Alessandro Volta). En cambio en galego, os nomes destas unidades manteñen a súa forma orixinal: ampere, hertz, joule, ohm, watt ou volt. En catalán ocorre o mesmo que en galego.

Tendo en conta, en primeiro lugar, que o nome das unidades supón unha homenaxe aos científicos

implicados e, en segundo lugar, a idea de universalidade e homexeneidade que inspiran as decisións, tanto da CXPM como das directivas europeas sobre a cuestión e do propio real decreto antes aludido, parécenos pouco acertada a opción de seguir mantendo as versións “castelanizadas” das unidades mencionadas anteriormente. Unha terceira razón pola que a modificación dos nomes das unidades nos parece inadecuada e que outros países de fala española, como é o caso de Chile ou da Arxentina usan os nomes sen modificar (Ley 19 511. BO 11-05-1972)

Outras diferenzas que podemos atopar entre os nomes e símbolos en galego e castelán son de menor importancia: quilogramo en galego e kilogramo en castelán ou xiga en galego e giga en castelán para denotar o prefixo que representa  $10^9$ .

### CONFERENCIA XERAL DE PESOS E MEDIDAS (CXPM).

O establecemento de magnitudes e unidades de medida é unha cuestión de moita importancia nas ciencias, e dende antiguo ven a preocupación de definir coa máxima precisión magnitudes e unidades, procurando a maior uniformidade posible.

A Conferencia Xeral de Pesos e Medidas (CGPM, *Conférence Générale des Poids et Mesures*) ten ao seu cargo a toma de decisións en materia de metroloxía e, en particular, no que atinxe ao Sistema Internacional de Unidades. Do mesmo xeito que a Convención do Metro, foi creada en 1875.

As súas reunións lévanse a cabo cada catro anos na Oficina Internacional de Pesas e Medidas. Nesas reunións realízanse estudos e propostas que toman como base os informes do Comité Internacional de Pesos e Medidas (CIPM).

A Oficina Internacional de Pesas e Medidas (BIPM, *Bureau International des Poids et Mesures*) [5] é a coordinadora mundial da metroloxía e atópase no Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) en París. É a depositaria do quilogramo patrón internacional, única unidade materializada do Sistema Internacional de Unidades (SI) que persiste. O seu cometido é “*asegurar en todo o Mundo a uniformidade das medicións e a súa trazabilidade ao Sistema Internacional de Unidades*”. Nese contexto enténdese a “trazabilidade” como a propiedade do valor dun estándar onde este poda estar relacionado con referencias especificadas a través dunha cadea continua de comparacións todas con incertezas especificadas.

O mantemento está sufragado polos Estados membros e funciona baixo a supervisión do Comité Internacional de Pesos e Medidas (CIPM). Traballan nel unhas 70 personas de distintas nacionalidades e ten un estatuto comparable ao doutras organizacións intergubernamentais que teñen a súa sede en París. O seu orzamento para 2010 é de máis de dez millóns de euros.

A última reunión da Conferencia tivo lugar no 2007 e a próxima será no 2011.

**Táboa 2. Algunhas datas e decisións importantes da CIPM.**

|                 |                                                                                                                                                                                          |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1ª 1889         | Sanciónanse os prototipos internacionais do kg e do m. O quilogramo e o metro defínense como a masa e a lonxitude deses prototipos.                                                      |
| 3ª 1901         | Defínese o litro. Clarifícase o uso ambiguo de masa e peso.                                                                                                                              |
| 5ª 1913         | Propónse a escala internacional de temperatura.                                                                                                                                          |
| 9ª 1949         | Úsase o punto triple da auga como referencia para a temperatura. Establécese o joule como unidade para a calor.<br>Danse normas de escritura dos números e unidades.                     |
| 10ª 1954        | Establécese un “sistema práctico de unidades”, precursor do SI.<br>Defínense a escala termodinámica de temperaturas e a atmosfera estándar.                                              |
| 11ª 1960        | Cámbiase a definición do metro para unha baseada no Kr 86.<br>Establecese o Sistema Internacional de Unidades.<br>Recoñécese unha diferenza de 28 ppm entre o litro e o decímetro cúbico |
| 13ª 1967 / 1968 | Cámbiase a definición do segundo para unha baseada na radiación do Cs.<br>Suprímese a denominación °K para o kelvin                                                                      |
| 14ª 1971        | Defínese o mol como unidade básica da cantidade de sustancia                                                                                                                             |
| 17ª 1983        | Defínese o metro como unha lonxitude percorrida pola luz no baleiro.                                                                                                                     |

## FALTAS DE ORTOGRAFÍA CIENTÍFICA

Algúns aspectos desta “ortografía de ciencias” causan con frecuencia erros entre o alumnado e entre moitos dos nosos compañeiros doutras áreas, e podemos dicir que son case descoñecidos para os medios de comunicación:

O “separador decimal” é a coma, na propia liña de escritura (Cap. III 2.8). Por tanto, escríbese 7,5 pero non 7’5 nin 7.5 (isto último sería correcto se escribimos, por exemplo, en inglés)

Para ler mellor un número con moitas cifras, pódense agrupar éstas en grupos de tres, pero sen poñer puntos nen comas: 299 792 458 está ben escrito e 299,792.458 está mal escrito (entre outras cousas un lector anglosaxón podería entender o punto “dos miles” como unha coma decimal).

A multiplicación de símbolos de unidades pode indicarse cun punto a media altura (·) ou un espazo, evitando outros símbolos como o “x”. Na división evítase o uso de máis dunha barra oblíqua: así para indicar por exemplo litros por metro cadrado e día, evitaremos poñer L/m²/d e usaremos expresións como L/(m² d).

O prefixo “quilo” represéntase co k minúsculo. Escríbese por tanto km, kg, kW...Esto trae erros curiosos, porque ademais de verse con bastante frecuencia Kg ou Km (mal escritos), permítenos detectar que moito alumnado non distingue na escritura a man o k maiúsculo do minúsculo. O profesorado de ciencias pode aproveitar para repasar elementos de caligrafía. Esta disculpa non vale xa cando se escribe nun ordenador.

O record dos erros probablemente o leve o kilowatt·hora, que adopta cáseque todas as variantes de maiúscula, minúscula, división e multiplicación, incluíndo ás veces a forma correcta kWh.

**Táboa 3. Exemplos de erros frecuentes na escritura**

| incorrecto           | correcto            |                                                                                                                  |
|----------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 120 Km/h             | 120 km/h            | O k de quilo é minúsculo, o maiúsculo significa kelvin                                                           |
| 101.300 Pa           | 101 300 Pa          | O punto non se debe usar para indicar miles. Pódese deixar un espacio para facilitar a lectura de números largos |
| xulio                | joule               | O nome en galego da unidade de enerxía é joule.                                                                  |
| Kw/h                 | kWh                 | O quilowatt hora adoita a acumular moitos erros ortográficos                                                     |
| 22'4 L               | 22,4 L              | O separador decimal é a coma na línea de escritura                                                               |
| 36 graos centígrados | 36 graos Celsius    | O nome correcto da unidade representada por °C é graos Celsius                                                   |
| 60 seg.              | 60 s                | O símbolo de segundo é s. Os símbolos non son abreviaturas.                                                      |
| 250 cc               | 250 cm <sup>3</sup> | Usar cc por centímetro cúbico é outra abreviatura. As abreviaturas débense evitar.                               |
| J/kg/K               | J/(kg K)            | Non se debe usar máis dunha barra oblicua.                                                                       |

## OLLO COS PREFIXOS EN INFORMÁTICA

Os prefixos SI representan estritamente potencias de 10. Non se deben empregar para expresar potencias de 2 (por exemplo, un quilobit representa 1000 bits e non 1024 bits). Sen embargo é frecuente, no ámbito da informática, considerar 1 kbit como  $2^{10}$  bits = 1024 bits, ou 1 Mbyte como 1 048 576 byte =  $2^{20}$  bytes. No real decreto (cap III 3.1) establécese claramente que os prefixos adoptados para as potencias binarias non pertencen ao SI.

Os nomes e símbolos utilizados para os prefixos son:

**Táboa 4. Unidades para potencias binarias.**

| Potencia | Nome | Símbolo da unidade |
|----------|------|--------------------|
| $2^{10}$ | kibi | Ki                 |
| $2^{20}$ | mebi | Mi                 |
| $2^{30}$ | gibi | Gi                 |
| $2^{40}$ | tebi | Ti                 |
| $2^{50}$ | pebi | Pi                 |
| $2^{60}$ | exbi | Ei                 |

Estes prefixos deben ser introducidos e empregados no campo da tecnoloxía da información e da comunicación co fin de evitar un uso incorrecto

## EVOLUCIÓN CIENTÍFICO-TECNOLÓXICA: OS VAIVÉNS DO LITRO

A historia do litro é un exemplo da evolución das unidades de medida xunto á evolución da ciencia e da tecnoloxía.

O litro ten a súa orixe como parte do sistema métrico decimal nas reformas xurdidas coa Revolución Francesa. Aí aparece o metro como unha dezmillonésima parte do cuadrante do

meridiano terrestre que pasa por París, o litro como o volume dun cubo de 1 dm de lado e o quilogramo como a masa de 1 litro de auga. A partir destas definicións construíronse patróns de aliaxes de platino para o quilogramo e o metro.

Esta concordancia inicial entre as tres unidades: m (dm), kg e L, vaise desfazendo a medida en que se gaña precisión nas medidas (ver táboa 5). Así, na 3ª reunión da conferencia xeral de pesas e medidas en 1901, o litro deslígase do  $\text{dm}^3$  pero queda vinculado ao kg: defínese o litro como o volume de 1 kg de auga á súa máxima densidade.

En 1960 recoñécese unha diferenza entre o litro e o decímetro cúbico de 28 partes por millón, sendo  $1 \text{ L} = 1,000\,028 \text{ dm}^3$  (11ª reunión do CXPM, resolución 13).

Nesa mesma reunión de 1960, establécese o Sistema Internacional de Unidades, SI. O volume é unha magnitude derivada no SI, e a unidade é o  $\text{m}^3$ . Aínda que o litro é unha unidade mais adaptada á escala humana, a coherencia do sistema de unidades fai que perda “influencia” fronte ao  $\text{m}^3$ .

Finalmente en 1964 anúlase a definición de 1901 e declárase ao litro como un nome especial do decímetro cúbico. Esta identificación entre o litro e o decímetro cúbico, supón a desvinculación definitiva do litro do quilogramo.

O litro, que non é unha unidade do SI, tamén tivo cambios no referente á escritura do seu símbolo. O Comité Internacional de Pesos e Medidas doulle por símbolo o l minúsculo en 1879, e este símbolo foi confirmado polo mesmo comité en 1948. O l minúsculo ten o problema de que pode ser confundido co número 1. Por esa razón a partir de 1979 admítase tamén como válido o L maiúsculo. Desta maneira o litro convértese na única unidade en ter dous símbolos correctos, L e l. A intención da CXPM é quedarse unicamente co L, pero polo momento son válidos os dous.

Outra mostra clara de cómo os progresos tecnolóxicos teñen afectado as unidades e magnitudes ven representada na seguinte táboa.

**Táboa 5. Evolución da incerteza do metro (adaptada de Robinson 2007 [4])**

| data | definición metro              | incerteza (en mm) |
|------|-------------------------------|-------------------|
| 1791 | cuarto de meridiano terrestre | 0,06              |
| 1889 | barra prototipo               | 0,002             |
| 1960 | lonxitude de onda do kriptón  | 0,000 007         |
| 1983 | velocidade da luz             | 0,000 000 7       |
| hoxe | velocidade da luz cun láser   | 0,000 000 02      |

## NOVA DEFINICIÓN DO KILOGRAMO

O quilogramo é a única unidade base do Sistema Internacional de unidades (SI) que non está definida en función de constantes atómicas senón mediante un patrón universal de Pt-Ir conservado en París (que perde masa cada vez que se limpa!).

Está en proxecto a búsqueda dunha definición que non dependa de patróns materiais senón de constantes fundamentais. Así, o quilogramo virá no futuro definido en base ao seguinte produto:

$$1 \text{ kg} = N_A \cdot u \cdot 10^3 \quad (1)$$

onde  $N_A$  é o número de Avogadro e  $u$  é a unidade atómica de masa  $u = 1/12 \text{ m}(^{12}\text{C})$  en gramos (é dicir a doceava parte da masa do isótopo C-12).

O problema é que o número de Avogadro non se coñece con moita precisión,

$$N_A = 6,022\,141\,5(10)\,10^{23}\,\text{mol}^{-1}.$$

A precisión relativa é pois do orde :  $\delta N_A \sim 0,1\,\text{ppm}$ .

O proxecto AVOGADRO tenta reducir a 0,01 ppm esa incerteza nun prazo duns cinco anos. Supón unha colaboración internacional entre laboratorios de Alemaña, Italia, Bélxica, Xapón, Australia e os EEUU. A súa finalidade é determinar  $N_A$  a partir de cristais perfectos de Silicio, de volume coñecido  $V$  e masa  $m$ , cunha cela elemental de volume  $V_0$  con  $n$  átomos.

Temos polo tanto:

$$N_A = M(\text{Si})/m_{\text{atomo}} \quad (2)$$

onde  $M(\text{Si})$  é a masa molar do Si.

Se  $\rho$  é a densidade do cristal, a masa da cela elemental será:

$$M_0 = \rho \cdot V_0$$

E como hai  $n$  átomos de Si nesa cela a masa de cada átomo será:

$$m_{\text{atomo}} = (\rho \cdot V_0)/n$$

De (2) temos:

$$N_A = M(\text{Si})/[(\rho \cdot V_0)/n]$$

e como  $\rho = m/V$  chegamos a:

$$N_A = [n \cdot M(\text{Si}) \cdot V] / [V_0 \cdot m]$$

Deste xeito  $N_A$  pode ser calculado a partir de valores medidos con moita precisión, e a partir da expresión (1) xa podemos definir o quilogramo.

Teñen sido fabricados cristais de Silicio de enorme pureza [6]. O seu tamaño determínase con alta precisión por métodos de interferometría e o coñecemento da constante de rede permite calcular o número de átomos de Si con elevada precisión. Téñense realizado medidas cunha precisión de  $10^{-9}$  da masa dos isótopos 28, 29 e 30 do Si. Fai falta aínda coñecer a composición isotópica do cristal con precisión comparable para poder completar a definición do quilogramo de forma que poda ser aceptada.

Outra posibilidade é utilizar silicio isotópicamente puro, que evita a necesidade de coñecer a composición isotópica con elevada precisión.

A medida precisa de masas pode axudar a determinar con máis precisión determinadas constantes fundamentais como a constante de estrutura fina, a constante de Planck ou a masa do electrón, e a partir delas outras moitas.

Máis cedo que tarde, xa que logo, teremos unha definición do quilogramo de xeito semellante á do segundo e o metro que reproducimos a continuación:

**Un segundo** é o tempo necesario para 9 192 631 770 ciclos dunha transición hiperfina no Cesio-133.

**Un metro** é a lonxitude do traxecto percorrido pola luz no vacío, durante un intervalo de tempo de 1/299 792 458 de segundo

## REMATANDO

A importancia de contar cun sistema de unidades e dunhas regras de escritura das cantidades normalizado e universal e evidente para o profesorado de ciencias.

Para transmitirle esta importancia ao alumnado é habitual referirse aos problemas que supón cando se teñen temperaturas en graos Fahrenheit ou presións en psi. Máis próximo ao contexto galego úsase moito o exemplo do *ferrado* para medir superficies, que dependendo do concello galego de que se trate, vai tomando distintos valores.

Un exemplo máis recente o proporciona a perda dunha sonda espacial debido a un erro na interpretación das unidades [7].

En 1999, o módulo orbital da NASA Mars Climate Orbiter descendeu equivocadamente ata 60 quilómetros da superficie marciana, en vez de acender os motores a 150 quilómetros dela. Sponse que, incapaz de alcanzar unha órbita estable, a nave estrelouse contra a superficie. A causa do erro foi o fallo na tradución das unidades inglesas a unidades do sistema métrico. Os enxeñeiros da Lockheed Martin traballaban con millas, galóns e libras, que foron interpretados polos técnicos do equipo de navegación en quilómetros, litros e quilogramos.

## REFERENCIAS

- 1 BOE nº 18, de 21 de xaneiro de 2010. Corrección de erros no BOE nº 43, de 18 de febreiro de 2010).
- 2 [http://www.bipm.org/en/convention/cgpm/23cgpm\\_cc\\_presentations/](http://www.bipm.org/en/convention/cgpm/23cgpm_cc_presentations/)
- 3 Suplemento en lingua galega ao BOE núm. 43, Xoves 18 de febreiro de 2010.
- 4 Robinson, A. *Metrum. La historia de las medidas*. Paidós. Barcelona 2007.
- 5 <http://www.bipm.org>
- 6 <http://www.acpo.csiro.au/avogadro.htm>
- 7 <http://mars.jpl.nasa.gov/msp98/news/mco990930.html>

**Juan Ramón Gallástegui Otero** é Catedrático de Física e Química de Ensino Secundario, desempeñando actualmente docencia e investigación como Profesor do Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais na Universidade de Santiago de Compostela.

**Ramón Cid Manzano** é Catedrático de Física e Química de Ensino Secundario no IES de SAR (Santiago), e Profesor Asociado no Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais na Universidade de Santiago de Compostela.

**ANEXO**

Do Suplemento en lingua galega ao BOE núm. 43, Xoves 18 de febreiro de 2010.

**ANEXO****Capítulo I****Unidades básicas do SI**

## 1. Enumeración das unidades básicas do SI

1. As magnitudes ás cales se refiren e o nome e símbolo das unidades básicas do SI son as seguintes:

**Táboa 1**  
**Unidades SI básicas**

| Magnitude                 | Nome da unidade | Símbolo da unidade |
|---------------------------|-----------------|--------------------|
| lonxitude                 | metro           | m                  |
| masa                      | quilogramo      | kg                 |
| tempo, duración           | segundo         | s                  |
| corrente eléctrica        | ampere          | A                  |
| temperatura termodinámica | kelvin          | K                  |
| cantidade de substancia   | mol             | mol                |
| intensidade luminosa      | candela         | cd                 |

## 2. Definicións das unidades básicas do SI

As definicións das unidades básicas do SI son as seguintes:

- 2.1. Unidade de lonxitude (metro, m): o metro é a lonxitude do traxecto percorrido no baleiro pola luz durante un tempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo.

De aquí resulta que a velocidade da luz no baleiro é igual a  $299\,792\,458$  metros por segundo exactamente,  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s.

- 2.2. Unidade de masa (quilogramo, kg): o quilogramo é a unidade de masa; é igual á masa do prototipo internacional do quilogramo, adoptado pola terceira Conferencia Xeral de Pesos e Medidas en 1901.

- 2.3. Unidade de tempo (segundo, s): o segundo é a duración de  $9\,192\,631\,770$  períodos da radiación correspondente á transición entre os dous niveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de cesio 133.

De aquí resulta que a frecuencia da transición hiperfina do estado fundamental do átomo de cesio é igual a  $9\,192\,631\,770$  hertz,  $\nu(\text{hfs Cs}) = 9\,192\,631\,770$  Hz. Esta definición refírese a un átomo de cesio en repouso, a unha temperatura de 0 K.

- 2.4. Unidade de intensidade de corrente eléctrica (ampere, A): o ampere é a intensidade dunha corrente constante que, manténdose en dous condutores paralelos, rectilíneos, de lonxitude infinita, de sección circular desprezable e situados a unha distancia de 1 metro un do outro, no baleiro, produciría entre estes condutores unha forza igual a  $2 \times 10^{-7}$  newtons por metro de lonxitude.

De aquí resulta que a constante magnética,  $\mu_0$ , tamén coñecida como permeabilidade do baleiro, é exactamente igual a  $4\pi \times 10^{-7}$  henry por metro,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m.

- 2.5. Unidade de temperatura termodinámica (kelvin, K): o kelvin, unidade de temperatura termodinámica, é a fracción  $1/273,16$  da temperatura termodinámica do punto triplo da auga. Esta definición refírese a unha auga dunha composición isotópica definida polas seguintes relacións de cantidade de substancia: 0,000 155 76 moles de  $^2\text{H}$  por mol de  $^1\text{H}$ , 0,000 379 9 moles de  $^{17}\text{O}$  por mol de  $^{16}\text{O}$  e 0,002 005 2 moles de  $^{18}\text{O}$  por mol de  $^{16}\text{O}$ .

De aquí resulta que a temperatura termodinámica do punto triplo da auga é igual a 273,16 kelvins exactamente,  $T_{\text{tpw}} = 273,16$  K.

- 2.6. Unidade de cantidade de substancia (mol, mol): o mol é a cantidade de substancia dun sistema que contén tantas entidades elementais como átomos hai en 0,012 quilogramos de carbono 12. Esta definición refírese a átomos de carbono 12 non ligados, en repouso e no seu estado fundamental.

Cando se empregue o mol, débense especificar as entidades elementais, que poden ser átomos, moléculas, ións, electróns ou outras partículas ou grupos especificados de tales partículas.

De aquí resulta que a masa molar do carbono 12 é igual a 12 g por mol, exactamente,  $M(^{12}\text{C}) = 12$  g/mol.

- 2.7. Unidade de intensidade luminosa (candela, cd): a candela é a intensidade luminosa, nunha dirección dada, dunha fonte que emite unha radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hertz e cuxa intensidade enerxética na dita dirección é de  $1/683$  watts por estereorradián.

De aquí resulta que a eficacia luminosa espectral dunha radiación monocromática de frecuencia igual a  $540 \times 10^{12}$  hertz é igual a 683 lumens por watt, exactamente,  $K=683$  lm/W = 683 cd sr/W.

## Capítulo II

### Unidades SI derivadas

1. As unidades derivadas fórmanse a partir de produtos de potencias de unidades básicas. As unidades derivadas coherentes son produtos de potencias de unidades básicas nas cales non intervén ningún factor numérico máis que o 1. As unidades básicas e as unidades derivadas coherentes do SI forman un conxunto coherente, denominado conxunto de unidades SI coherentes.
2. O número de magnitudes utilizadas no campo científico non ten límite; por tanto, non é posible establecer unha lista completa de magnitudes e unidades derivadas. Porén, a táboa 2 presenta algúns exemplos de magnitudes derivadas e das unidades derivadas coherentes correspondentes, expresadas directamente en función das unidades básicas.

**Táboa 2****Exemplos de unidades SI derivadas coherentes expresadas a partir das unidades básicas**

| Magnitude derivada        |                     | Unidade SI derivada coherente |                 |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------|
| Nome                      | Símbolo             | Nome                          | Símbolo         |
| área, superficie          | $A$                 | metro cadrado                 | $\text{m}^2$    |
| volume                    | $V$                 | metro cúbico                  | $\text{m}^3$    |
| velocidade                | $v$                 | metro por segundo             | $\text{m/s}$    |
| aceleración               | $a$                 | metro por segundo cadrado     | $\text{m/s}^2$  |
| número de ondas           | $\sigma, \tilde{V}$ | metro á potencia menos un     | $\text{m}^{-1}$ |
| densidade, masa en volume | $\rho$              | quilogramo por metro cúbico   | $\text{kg/m}^3$ |

| Magnitude derivada                                              |                | Unidade SI derivada coherente |                        |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------|------------------------|
| Nome                                                            | Símbolo        | Nome                          | Símbolo                |
| densidade superficial                                           | $\rho A$       | quilogramo por metro cadrado  | $\text{kg/m}^2$        |
| volume específico                                               | $v$            | metro cúbico por quilogramo   | $\text{m}^3/\text{kg}$ |
| densidade de corrente                                           | $j$            | ampere por metro cadrado      | $\text{A/m}^2$         |
| campo magnético                                                 | $H$            | ampere por metro              | $\text{A/m}$           |
| concentración de cantidade de substancia ( $a$ ), concentración | $c$            | mol por metro cúbico          | $\text{mol/m}^3$       |
| concentración máscica                                           | $\rho, \gamma$ | quilogramo por metro cúbico   | $\text{kg/m}^3$        |
| luminancia                                                      | $L_v$          | candela por metro cadrado     | $\text{cd/m}^2$        |
| índice de refracción ( $b$ )                                    | $n$            | un                            | 1                      |
| permeabilidade relativa ( $b$ )                                 | $\mu_r$        | un                            | 1                      |

4. Os valores de varias magnitudes diferentes pódense expresar mediante o mesmo nome e símbolo de unidade SI. Desta forma o joule por kelvin é o nome da unidade SI para a magnitude capacidade térmica así como para a magnitude entropía. Igualmente, o ampere é o nome da unidade SI tanto para a magnitude básica intensidade de corrente eléctrica como para a magnitude derivada forza magnetomotriz. Polo tanto, non abonda con utilizar o nome da unidade para especificar a magnitude. Esta regra é aplicable non só aos textos científicos e técnicos senón tamén, por exemplo, aos instrumentos de medida (é dicir, deben indicar tanto a unidade como a magnitude medida).
5. Unha unidade derivada pódese expresar de varias formas diferentes utilizando unidades básicas e unidades derivadas con nomes especiais: o joule, por exemplo, pódese escribir newton metro ou ben quilogramo metro cadrado por segundo cadrado. Esta liberdade alxébrica queda, en todo caso, limitada por consideracións físicas de sentido común e, segundo as circunstancias, certas formas poden resultar máis útiles ca outras. Na práctica, para facilitar a distinción entre magnitudes diferentes que teñen a mesma dimensión, prefírese o uso de certos nomes especiais de unidades ou combinacións de nomes. Usando esta liberdade, pódense elixir expresións que lembren como está definida a magnitude. Por exemplo, a magnitude momento dunha forza pódese considerar como o resultado do produto vectorial dunha forza por unha distancia, o que suxire empregar a unidade newton metro, a enerxía por unidade de ángulo aconsella empregar a unidade joule por radián etc. A unidade SI de frecuencia é o hertz, que implica ciclos por segundo, a unidade SI de velocidade angular é o radián por segundo e a unidade SI de actividade é o becquerel, que implica contas por segundo. Aínda que sería formalmente correcto escribir estas tres unidades como segundo á potencia menos un, o emprego de nomes diferentes serve para subliñar a diferente natureza das magnitudes consideradas. O feito de utilizar a unidade radián por segundo para expresar a velocidade angular e o hertz para a frecuencia, indica tamén que se debe multiplicar por  $2\pi$  o valor numérico da frecuencia en hertz para obter o valor numérico da velocidade angular correspondente en radiáns por segundo. No campo das radiacións ionizantes, a unidade SI de actividade é o becquerel en vez do segundo elevado á potencia menos un, e as unidades SI de dose absorbida e dose equivalente, respectivamente, son gray e siévert, en vez de joule por quilogramo. Os nomes especiais becquerel, gray e siévert introducíronse especificamente en atención aos perigos para a saúde humana que poderían resultar de erros no caso de que para identificar todas estas magnitudes se empregasen as unidades segundo á menos un e joule por quilogramo.
6. Certas magnitudes defínense por cociente de dúas magnitudes da mesma natureza; son por tanto adimensionais, ou ben a súa dimensión pódese expresar mediante o número un. A unidade SI coherente de todas as magnitudes adimensionais ou magnitudes de dimensión un é o número un, dado que esta unidade é o cociente de dúas unidades SI idénticas. O valor destas magnitudes exprésase por números e a unidade «un» non se menciona explicitamente. Como exemplo de tales magnitudes, pódense citar, o índice de refracción, a permeabilidade relativa ou o coeficiente de rozamento. Hai outras magnitudes definidas como un produto complexo e adimensional de magnitudes máis simples. Por exemplo, entre os «números característicos» cabe citar o número de Reynolds  $Re = \rho v l / \eta$ , onde  $\rho$  é a densidade,  $\eta$  a viscosidade dinámica,  $v$  a velocidade e  $l$  a lonxitude. En todos estes casos, a unidade pódese considerar como o número un, unidade derivada adimensional.

**Regras de escritura dos símbolos e nomes das unidades, de expresión dos valores das magnitudes e para a formación dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI****1. Regras de escritura dos símbolos e nomes das unidades**

- 1.1. Os símbolos das unidades imprímense en caracteres romanos (rectos), independentemente do tipo de letra empregada no texto adxacente. Escríbense en minúsculas excepto se derivan dun nome propio, caso en que a primeira letra é maiúscula. Como excepción permítese o uso da letra L en maiúscula ou l en minúscula como símbolos do litro, co fin de evitar a confusión entre a cifra 1 (un) e a letra l (ele).
- 1.2. Un prefixo de múltiplo ou submúltiplo, se se usa, forma parte da unidade e precede o símbolo da unidade, sen espazo entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade. Un prefixo nunca se usa só e nunca se usan prefixos compostos.
- 1.3. Os símbolos das unidades son entidades matemáticas e non abreviaturas. Por tanto, non van seguidos dun punto, salvo ao final dunha frase, nin se usa o plural, nin se poden mesturar símbolos de unidades con nomes de unidades nunha mesma expresión, pois os nomes non son entidades matemáticas.
- 1.4. Para formar os produtos e cocientes dos símbolos das unidades, aplícanse as regras habituais de multiplicación ou de división alxébricas. A multiplicación débese indicar mediante un espazo ou un punto centrado a media altura ( $\cdot$ ), para evitar que certos prefixos se interpreten erroneamente como un símbolo de unidade. A división indícase mediante unha liña horizontal, unha barra oblicua (/), ou mediante expoñentes negativos. Cando se combinan varios símbolos de unidades, hai que ter coidado para evitar toda ambigüidade, por exemplo utilizando corchetes ou parénteses, ou expoñentes negativos. Nunha expresión dada sen parénteses, non se debe empregar máis dunha barra oblicua, para evitar ambigüidades.
- 1.5. Non se permite empregar abreviaturas para os símbolos e nomes das unidades, como seg (por s ou segundo), mm cad. (por  $\text{mm}^2$  ou milímetro cadrado), cc (por  $\text{cm}^3$  ou centímetro cúbico) ou mps (por m/s ou metro por segundo). Desta forma evítanse ambigüidades e malentendidos respecto aos valores das magnitudes.
- 1.6. Os nomes das unidades imprímense en caracteres romanos (rectos) e considéranse como nomes (substantivos) comúns, empezan por minúscula (incluso cando o seu nome é o dun científico eminente e o símbolo da unidade comeza por maiúscula), salvo que se encontren situados ao comezo dunha frase ou nun texto en maiúsculas, como un título. Para cumprir esta regra, a escritura correcta do nome da unidade cuxo símbolo é  $^{\circ}\text{C}$  é «grao Celsius» (a unidade grao comeza pola letra g en minúscula e o atributo Celsius comeza pola letra C en maiúscula, porque é un nome propio). Os nomes das unidades pódense escribir en plural.
- 1.7. Aínda que os valores das magnitudes se expresan xeralmente mediante os nomes e símbolos das unidades, se por calquera razón resulta máis apropiado o nome da unidade que o seu símbolo débese escribir o nome da unidade completo.
- 1.8. Cando o nome da unidade está combinado co prefixo dun múltiplo ou submúltiplo, non se deixa espazo nin se coloca guión entre o nome do prefixo e o da unidade. O conxunto formado polo nome do prefixo e o da unidade constitúe unha soa palabra.
- 1.9. Cando o nome dunha unidade derivada se forma por multiplicación de nomes de unidades individuais, convén deixar un espazo, un punto centrado a media altura ( $\cdot$ ), ou un guión para separar o nome de cada unidade.

## 2. Regras de escritura para expresar os valores das magnitudes

- 2.1. O valor dunha magnitude exprésase como o produto dun número por unha unidade: o número que multiplica a unidade é o valor numérico da magnitude expresada nesa unidade. O valor numérico dunha magnitude depende da unidade elixida. Así, o valor dunha magnitude particular é independente da elección de unidade, pero o seu valor numérico é diferente para unidades diferentes.
- 2.2. Os símbolos das magnitudes están formados xeralmente por unha soa letra en cursiva, pero pódese especificar información adicional mediante subíndices, superíndices ou entre parénteses. Así  $C$  é o símbolo recomendado para a capacidade calorífica,  $C_m$  para a capacidade calorífica molar,  $C_{m,p}$  para a capacidade calorífica molar a presión constante e  $C_{m,v}$  para a capacidade calorífica molar a volume constante.
- 2.3. Os símbolos das magnitudes só son recomendacións, mentres que é obligatorio empregar os símbolos correctos das unidades. Cando, en circunstancias particulares, se prefira usar un símbolo non recomendado para unha magnitude dada, por exemplo para evitar unha confusión resultante do uso do mesmo símbolo para dúas magnitudes distintas hai que precisar claramente qué significa o símbolo.
- 2.4. Os símbolos das unidades trátanse como entidades matemáticas. Cando se expresa o valor dunha magnitude como produto dun valor numérico por unha unidade, o valor numérico e a unidade pódense tratar de acordo coas regras ordinarias da álgebra.  
Este procedemento constitúe o cálculo de magnitudes ou álgebra de magnitudes. Por exemplo, a ecuación  $T = 293 \text{ K}$  pódese escribir tamén como  $T/K = 293$ .
- 2.5. Ao igual que o símbolo dunha magnitude non implica a elección dunha unidade particular, o símbolo da unidade non se debe utilizar para proporcionar información específica sobre a magnitude e non debe nunca ser a única fonte de información respecto da magnitude. As unidades non deben ser modificadas con información adicional sobre a natureza da magnitude; este tipo de información debe acompañar o símbolo da magnitude e non o da unidade.
- 2.6. O valor numérico precede sempre a unidade e sempre se deixa un espazo entre o número e a unidade. Así, o valor dunha magnitude é o produto dun número por unha unidade, considerándose o espazo como signo de multiplicación (igual que o espazo entre unidades). As únicas excepcións a esta regra son os símbolos de unidade do grao, o espazo entre o valor numérico e o símbolo de unidade. Esta regra implica que o símbolo  $^{\circ}\text{C}$  para o grao Celsius debe ir precedido dun espazo para expresar o valor da temperatura Celsius  $t$ .
- 2.7. En calquera expresión, só se emprega unha unidade. Unha excepción a esta regra é a expresión dos valores de tempo e ángulo plano expresados mediante unidades fóra do SI. Porén, para ángulos planos, é preferible xeralmente dividir o grao de forma decimal. Así, escribirase  $22,20^{\circ}$  mellor que  $22^{\circ} 12'$ , salvo en campos como a cartografía, a astronomía, e para a medida de ángulos moi pequenos.
- 2.8. O símbolo utilizado para separar a parte enteira da súa parte decimal denomínase «separador decimal». O símbolo do separador decimal é a coma, na propia liña de escritura.

Se o número está comprendido entre +1 e -1, o separador decimal vai sempre precedido dun cero.

- 2.9. Os números con moitas cifras pódense repartir en grupos de tres cifras separadas por un espazo, co fin de facilitar a lectura. Estes grupos non se separan nunca por puntos nin por comas. Nos números dunha táboa, o formato non debe variar nunha mesma columna.
- 2.10. A unidade SI coherente das magnitudes sen dimensión ou magnitudes de dimensión un é o número un, símbolo 1. Os valores destas magnitudes exprésanse simplemente mediante números. O símbolo de unidade 1 ou o nome de unidade «un» non se menciona explicitamente e non existe símbolo particular nin nome especial para a unidade un, salvo algunhas excepcións que se indican nas táboas. Como os símbolos dos prefixos SI non se poden unir ao símbolo 1 nin ao nome de unidade «un», para expresar os valores de magnitudes adimensionais particularmente grandes ou particularmente pequenas empréganse as potencias de 10. Nas expresións matemáticas, o símbolo % (por cento), recoñecido internacionalmente, pódese utilizar co SI para representar o número 0,01. Polo tanto, pódese usar para expresar os valores de magnitudes sen dimensión. Cando se emprega, convén deixar un espazo entre o número e o símbolo %. Cando se expresan desta forma os valores de magnitudes adimensionais, é preferible utilizar o símbolo % mellor que a expresión «por cento». Cando se expresan valores de fraccións adimensionais (por exemplo fracción máscica, fracción en volume, incerteza relativa etc.), ás veces resulta útil empregar o cociente entre dúas unidades do mesmo tipo. O termo «ppm» que significa  $10^{-6}$  en valor relativo ou  $1 \times 10^{-6}$  ou «partes por millón» ou millonésimas, úsase tamén. Cando se emprega algún dos termos %, ppm etc., é importante declarar cal é a magnitude sen dimensión cuxo valor se está especificando.
3. Regras para a formación dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI
- 3.1. Os múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI fórmanse por medio de prefixos que designan os factores numéricos decimais polos cales se multiplica a unidade e que figuran na columna «factor» da táboa seguinte.

Táboa

| Prefixos SI (a) |       |         |            |       |         |
|-----------------|-------|---------|------------|-------|---------|
| Factor          | Nome  | Símbolo | Factor     | Nome  | Símbolo |
| $10^1$          | deca  | da      | $10^{-1}$  | deci  | d       |
| $10^2$          | hecto | h       | $10^{-2}$  | centi | c       |
| $10^3$          | quilo | k       | $10^{-3}$  | mili  | m       |
| $10^6$          | mega  | M       | $10^{-6}$  | micro | $\mu$   |
| $10^9$          | xiga  | G       | $10^{-9}$  | nano  | n       |
| $10^{12}$       | tera  | T       | $10^{-12}$ | pico  | p       |
| $10^{15}$       | peta  | P       | $10^{-15}$ | fento | f       |
| $10^{18}$       | exa   | E       | $10^{-18}$ | ato   | a       |
| $10^{21}$       | zeta  | Z       | $10^{-21}$ | zepto | z       |
| $10^{24}$       | iota  | Y       | $10^{-24}$ | iocto | y       |

(a) Os prefixos SI representan estritamente potencias de 10. Non se deben utilizar

para expresar potencias de 2 (por exemplo, un quilobit representa 1000 bits e non 1024 bits). Os prefixos adoptados para as potencias binarias non pertencen ao SI. Os nomes e símbolos utilizados para os prefixos correspondentes a  $2^{10}$ ,  $2^{20}$ ,  $2^{30}$ ,  $2^{40}$ ,  $2^{50}$  e  $2^{60}$  son, respectivamente, quibi, Ki; mebi, Mi; xibi, Gi; tebi, Ti; pebi, Pi e exbi, Ei. Así, por exemplo, un quibibyte escríbese:  $1 \text{ KiB} = 2^{10} \text{ B} = 1024 \text{ B}$ . Estes prefixos pódense empregar no campo da tecnoloxía da información co fin de evitar un uso incorrecto dos prefixos SI.

- 3.2. Os símbolos dos prefixos escríbense en caracteres romanos (rectos), como os símbolos das unidades, independentemente do tipo de letra do texto adxacente, e únense aos símbolos das unidades, sen deixar espazo entre o símbolo do prefixo e o da unidade. Con excepción de da (deca), h (hecto) e k (quilo), todos os símbolos de prefixos de múltiplos se escriben con maiúsculas e todos os símbolos de prefixos de submúltiplos se escriben con minúsculas. Todos os nomes dos prefixos se escriben con minúsculas, salvo ao comezo dunha frase.
- 3.3. O grupo formado por un símbolo de prefixo e un símbolo de unidade constitúe un novo símbolo de unidade inseparable (formando un múltiplo ou un submúltiplo da unidade en cuestión) que pode ser elevado a unha potencia positiva ou negativa e que se pode combinar con outros símbolos de unidades compostas.

Exemplos:

$$2,3 \text{ cm}^3 = 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}$$

$$1 \text{ V/cm} = (1 \text{ V})/(10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m} = 100 \text{ V/m}$$

$$5000 \mu\text{s}^{-1} = 5000 (\mu\text{s})^{-1} = 5000 (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 5 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$$

- 3.4. Os nomes dos prefixos son inseparables dos nomes das unidades ás cales se unen. Así, por exemplo, milímetro, micropascal e meganewton escríbense nunha soa palabra. Os símbolos de prefixos compostos; é dicir, os símbolos de prefixos formados por xustaposición de dous ou máis símbolos de prefixos, non están permitidos, por exemplo débese escribir nm (nanómetro) e non  $\text{m}\mu\text{m}$ . Esta regra aplícase tamén aos nomes dos prefixos compostos. Os símbolos dos prefixos non se poden utilizar sos ou unidos ao número 1, símbolo da unidade un. Igualmente, os nomes dos prefixos non se poden unir ao nome da unidade un, é dicir á palabra «un».
- 3.5. Os nomes e símbolos de prefixos empréganse con algunhas unidades fóra do SI, pero nunca se utilizan con unidades de tempo: minuto, min; hora, h; día, d. Os astrónomos usan o milisegundo de arco (ou de grao), símbolo «mas», e o microsegundo de arco, símbolo « $\mu\text{as}$ », como unidades de medida de ángulos moi pequenos.
- 3.6. Entre as unidades básicas do Sistema Internacional, a unidade de masa é a única cuxo nome, por razóns históricas, contén un prefixo. Os nomes e os símbolos dos múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de masa fórmanse engadindo os nomes dos prefixos á palabra «gramo» e os símbolos destes prefixos ao símbolo da unidade «g».