

## **Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida**

El sistema legal de unidades de medida vigente en España es, tal y como establece el artículo segundo de la Ley 32/2014, de 22 de diciembre, de metrología, el Sistema Internacional de Unidades adoptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y vigente en la Unión Europea.

El Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre establece las definiciones de las unidades, sus nombres y símbolos, así como las reglas para la formación de sus múltiplos y submúltiplos de conformidad con los acuerdos de la CGPM y la normativa de la Unión Europea.

En el ámbito de la Unión Europea la regulación se basa en la Directiva del Consejo 80/181/CEE de 20 de diciembre de 1979, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las unidades de medida, que derogaba la Directiva 71/354/CEE y que ha sido sucesivamente modificada por la Directiva 85/1/CEE del Consejo de 18 de diciembre de 1984, la Directiva 89/617/CEE del Consejo de 27 de noviembre de 1989, la Directiva 1999/103/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de enero de 2000 y la Directiva 2009/3/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de marzo de 2009, y más recientemente por la Directiva 2019/1258 de la Comisión por la que se modifica, para adaptarlo al progreso técnico, el anexo de la Directiva 80/181/CEE del Consejo en lo relativo a las definiciones de las unidades básicas del Sistema Internacional, que modifica y adapta las nuevas definiciones de las unidades básicas adoptadas en la 26ª CGPM.

En el plano de los acuerdos de la Conferencia General de Pesas y Medidas, el Sistema Internacional de Unidades, SI, ha sido sucesivamente modificado para adaptarlo a las nuevas necesidades y a las mejoras técnicas. La última revisión ha sido adoptada por la 26ª CGPM en noviembre de 2018, tras años de trabajo. Se trata de la revisión más importante del Sistema Internacional de Unidades, desde su establecimiento con tal nombre en 1960. Las redefiniciones de las unidades del SI se anclan a constantes universales, cuidadosamente elegidas, por definición invariables, haciéndolas válidas en forma atemporal y dejando abierta sus realizaciones prácticas a mejoras futuras según evolucione la ciencia. Es un cambio sustancial, conceptual y paradigmático del Sistema Internacional de Unidades. Las realizaciones prácticas de las unidades resultan separadas conceptualmente de sus definiciones, de modo que las unidades pueden, por principio, realizarse independientemente en cualquier lugar y tiempo, y con ello se pueden añadir nuevas realizaciones mejoradas a medida que se desarrollen las tecnologías, sin necesidad de redefinir la unidad. En el SI revisado, el kilogramo, el amperio, el kelvin y el mol se redefinen en función de valores numéricos fijos de las constantes físicas definitorias elegidas: constante de Planck ( $h$ ), carga elemental ( $e$ ), constante de Boltzmann ( $k$ ) y constante de Avogadro ( $N_A$ ), respectivamente. Asimismo se procede a adaptar las definiciones del metro, el segundo y la candela, ya basadas en la actualidad

respectivamente en la constante de la velocidad de la luz en el vacío ( $c$ ), la frecuencia de la transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133 ( $\Delta\nu_{Cs}$ ), y la eficacia luminosa de una radiación monocromática de  $540 \times 10^{12}$  Hz ( $K_{cd}$ ).

Esta significativa revisión del SI, así como la transposición de la Directiva 2019/1258 de la Comisión hace necesario modificar el Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida.

El presente real decreto se ajusta a los principios de buena regulación contenidos en la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas, principios de necesidad, eficacia, proporcionalidad, seguridad jurídica, transparencia y eficiencia, en tanto que la misma persigue un interés general al contribuir al desarrollo científico y técnico, y al control metrológico del Estado, cumple estrictamente el mandato establecido en el artículo 129 de la citada Ley, resulta coherente con el ordenamiento jurídico y permite una gestión más eficiente de los recursos públicos. Del mismo modo, durante el procedimiento de elaboración de la norma se ha permitido la participación activa de los potenciales destinatarios a través del trámite de audiencia e información pública.

Para la elaboración de este real decreto han sido consultadas las comunidades autónomas. Asimismo, ha informado favorablemente el Consejo Superior de Metrología.

En su virtud, dispongo:

### **Artículo único. Modificación de Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida**

El Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida queda modificado como sigue:

**Uno.** El apartado 2, del capítulo I del anexo del Real Decreto de 30 de diciembre, queda redactado en los siguientes términos:

<<2. Definiciones de las unidades básicas del SI

Las definiciones de las unidades básicas del SI son las siguientes:

2.1. El segundo, símbolo s, es la unidad SI de tiempo. Se define al fijar el valor numérico de la frecuencia de la transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133,  $\Delta\nu_{Cs}$ , en 9 192 631 770, cuando se expresa en la unidad Hz, igual a  $s^{-1}$ .

De la relación exacta  $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ s}^{-1}$  se obtiene la expresión para la unidad segundo, en función del valor de  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ :

$$1\text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

A resultas de esta definición, el segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental no perturbado del átomo de  $^{133}\text{Cs}$ .

2.2. El metro, símbolo m, es la unidad SI de longitud. Se define al fijar el valor numérico de la velocidad de la luz en el vacío,  $c$ , en 299 792 458, cuando se expresa en la unidad  $\text{m s}^{-1}$ , donde el segundo se define en función de la frecuencia del Cesio  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

De la relación exacta  $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se obtiene la expresión para el metro, en función de las constantes  $c$  y  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ :

$$1\text{ m} = \left( \frac{c}{299\,792\,458} \right) \text{s} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \approx 30,663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

Resultado de esta definición es que el metro es la longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo.

2.3. El kilogramo, símbolo kg, es la unidad SI de masa. Se define al fijar el valor numérico de la constante de Planck,  $h$ , en  $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ , cuando se expresa en la unidad J·s, igual a  $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ , donde el metro y el segundo se definen en función de  $c$  y  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

De la relación exacta  $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}\text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  se obtiene la unidad  $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ , y de esta la expresión para el kilogramo en función del valor de la constante de Planck  $h$

$$1\text{ kg} = \left( \frac{h}{6,626\,070\,15 \times 10^{-34}} \right) \text{m}^{-2}\text{ s}$$

De aquí, junto con las definiciones del segundo y el metro, se obtiene la definición de la unidad de masa en función de las tres constantes  $h$ ,  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  y  $c$ :

$$1\text{ kg} = \frac{(299\,792\,458)^2}{(6,626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \approx 1,475\,5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}$$

2.4. El amperio, símbolo A, es la unidad SI de corriente eléctrica. Se define al fijar el valor numérico de la carga elemental,  $e$ , en  $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ , cuando se expresa en la unidad C, igual a A·s, donde el segundo se define en función de  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

De la relación exacta  $e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$  A·s se obtiene la expresión para la unidad amperio en función de las constantes  $e$  y  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ :

$$1\text{A} = \left( \frac{e}{1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}} \right) \text{s}^{-1}$$

El efecto de esta definición es que el amperio es la corriente eléctrica correspondiente al flujo de  $1/(1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}) = 6,241\ 509\ 074 \times 10^{18}$  cargas elementales por segundo.

2.5. El kelvin, símbolo K, es la unidad SI de temperatura termodinámica. Se define al fijar el valor numérico de la constante de Boltzmann,  $k$ , en  $1,380\ 649 \times 10^{-23}$ , cuando se expresa en la unidad  $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ , igual a  $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , donde el kilogramo, el metro y el segundo se definen en función de  $h$ ,  $c$  y  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

De la relación exacta  $k = 1,380\ 649 \times 10^{-23} \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  se obtiene la expresión para el kelvin en función de las constantes  $k$ ,  $h$  y  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ :

$$1\text{K} = \frac{1,380\ 649 \times 10^{-23}}{(6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34})(9\ 192\ 631\ 770)} \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k} \approx 2,266\ 6653 \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k}$$

El efecto de esta definición es que el kelvin es igual a la variación de temperatura termodinámica que da lugar a una variación de energía térmica  $kT$  de  $1,380\ 649 \times 10^{-23}$  J.

2.6. El mol, símbolo mol, es la unidad SI de cantidad de sustancia. Un mol contiene exactamente  $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  entidades elementales. Esta cifra es el valor numérico fijo de la constante de Avogadro,  $N_A$ , cuando se expresa en la unidad  $\text{mol}^{-1}$ , y se denomina número de Avogadro.

La cantidad de sustancia, símbolo  $n$ , de un sistema, es una medida del número de entidades elementales especificadas. Una entidad elemental puede ser un átomo, una molécula, un ion, un electrón, o cualquier otra partícula o grupo especificado de partículas.

De la relación exacta  $N_A = 6,022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  se obtiene el mol en función de la constante  $N_A$ :

$$1 \text{ mol} = \left( \frac{6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}}{N_A} \right)$$

El efecto de esta definición es que el mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene  $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  entidades elementales especificadas.

2.7. La candela, símbolo cd, es la unidad SI de intensidad luminosa en una dirección dada. Se define al fijar el valor numérico de la eficacia luminosa de la radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ ,  $K_{cd}$ , en 683, cuando se expresa en la unidad  $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ , igual a  $\text{cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{W}^{-1}$ , o a  $\text{cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^3$ , donde el kilogramo, el metro y el segundo se definen en función de  $h$ ,  $c$  y  $\Delta\nu_{Cs}$ .

De la relación exacta  $K_{cd} = 683 \text{ cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^3$  se obtiene la expresión para la candela:

$$1 \text{ cd} = \left( \frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1}$$

o bien, expresando kg, m y s en función de las constantes  $h$  y  $\Delta\nu_{Cs}$ :

$$1 \text{ cd} = \frac{1}{(6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}) (9\ 192\ 631\ 770)^2 683} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd} \approx 2,614\ 830 \times 10^{10} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd}$$

El efecto de esta definición es que la candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$  y tiene una intensidad radiante en esa dirección de  $(1/683) \text{ W/sr}$ .>>

**Dos.** La nota al pie (e) de la tabla 3 del capítulo II del anexo queda redactada de la forma siguiente:

<<(e) La temperatura Celsius  $t$  se define como la diferencia  $t = T - T_0$  entre dos temperaturas termodinámicas  $T$  y  $T_0$ , siendo  $T_0 = 273,15 \text{ K}$ . La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius, °C, que por definición es, en magnitud, igual al kelvin. Por tanto, un intervalo o diferencia de temperaturas puede expresarse tanto en kelvin como en grados Celsius. >>

**Tres.** Se da nueva redacción al apartado 1.6, del capítulo III del anexo

<<1.6. Los nombres de las unidades se imprimen en caracteres romanos (rectos) y se consideran como nombres (sustantivos) comunes, empiezan por minúscula (incluso cuando su nombre es el de un científico eminente y el símbolo de la unidad comienza por mayúscula), salvo que se encuentren situados al comienzo de una frase o en un texto en mayúsculas, como un título. Para cumplir esta regla, la escritura correcta del nombre de la unidad cuyo símbolo es °C es «grado Celsius» (la unidad grado comienza por la letra g en minúscula y el atributo Celsius comienza por la letra C en mayúscula, porque es un nombre propio). Los nombres de las unidades pueden escribirse en plural. Las denominaciones castellanizadas de uso habitual de las unidades son aceptadas, siempre que estén reconocidas por la Real Academia Española de la Lengua (ejemplos: amperio, culombio, faradio, hercio, julio, ohmio, voltio, vatio).>>

#### **Cuatro.**

El apartado 2.8 del capítulo III del anexo queda redactado del siguiente modo:

<<2.8. El símbolo utilizado para separar la parte entera de la parte decimal se denomina “separador decimal”. El símbolo del separador decimal puede ser la coma o el punto, en la propia línea de escritura. Preferiblemente se utilizará la coma, siempre que la tecnología y las aplicaciones donde se utilicen lo permitan. Si el número está comprendido entre +1 y -1, el separador decimal va siempre precedido de cero.>>

**Cinco.** El apartado 2.9 del anexo queda redactado en los términos siguientes:

<<2.9 Los números con muchas cifras pueden repartirse en grupos de tres cifras separadas por un espacio, a fin de facilitar la lectura. Estos grupos no se separan nunca por puntos ni por comas. Sin embargo, cuando no hay más que cuatro cifras delante o detrás del separador decimal, es usual no insertar un espacio y dejar una única cifra suelta. En los números de una tabla, el formato no debe variar en una misma columna.>>

### **Disposiciones finales**

#### **Disposición final primera.** Incorporación de derecho de la Unión Europea

Mediante este real decreto se incorpora al derecho español la Directiva 2019/1258 de la Comisión, de 23 de julio de 2019, por la que se modifica, para adaptarlo al progreso técnico, el anexo de la Directiva 80/181/CEE del Consejo en lo relativo a las definiciones de las unidades básicas del Sistema Internacional.

#### **Disposición final segunda.** Título competencial

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.12 de la Constitución, que atribuye al Estado la competencia exclusiva para dictar la legislación sobre pesas y medidas.

**Disposición final tercera.**

Se autoriza al Ministro de Industria, Comercio y Turismo para modificar las definiciones técnicas incluidas en el anexo en la medida en que el progreso técnico lo demande.

**Disposición final cuarta.** *Entrada en vigor*

Este real decreto entrará en vigor al día siguiente al de su publicación en el “Boletín Oficial del Estado”.

Madrid,            de                            de