

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

- 2508** *Orden ICT/149/2020, de 7 de febrero, por la que se modifica el anexo del Real Decreto 648/1994, de 15 de abril, por el que se declaran los patrones nacionales de medida de las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades; y la Orden ITC/2581/2006, de 28 de julio, por la que se definen los patrones nacionales de las unidades derivadas, del sistema internacional de unidades, de capacidad eléctrica, concentración de ozono en aire, flujo luminoso, impedancia en alta frecuencia, par de torsión, potencia en alta frecuencia, resistencia eléctrica, ruido electromagnético en alta frecuencia, tensión eléctrica, actividad (de un radionucleido), kerma (rayos X y γ), dosis absorbida, ángulo plano, densidad de sólidos, fuerza, presión, volumen, atenuación en alta frecuencia, humedad e intervalo de medida de alta tensión eléctrica (superior a 1000 V).*

El artículo cuarto de la Ley 32/2014, de 22 de diciembre, de Metrología, establece que la obtención, conservación, desarrollo y diseminación de las unidades de medida y de las escalas de tiempo y temperatura es competencia de la Administración General del Estado y por ello, los patrones de las unidades básicas declarados como tales, custodiados, conservados y mantenidos por el Estado, son los patrones nacionales de los que se derivarán todos los demás.

Por el Real Decreto 648/1994, de 15 de abril, se declararon los patrones nacionales de medida de las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades, se determinaron los patrones nacionales de longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica e intensidad luminosa, con sus correspondientes características técnicas. El anexo del referido RD fue modificado por la Orden ITC 2432/2006, de 20 de julio.

Por la Orden ITC/2581/2006, de 28 de julio, se definieron los patrones nacionales de las unidades derivadas, del sistema internacional de unidades, de capacidad eléctrica, concentración de ozono en el aire, flujo luminoso, impedancia en alta frecuencia, par de torsión, potencia en alta frecuencia, resistencia eléctrica en baja frecuencia, ruido electromagnético en alta frecuencia, tensión eléctrica, actividad (de un radionucleido), kerma (rayos X y γ), dosis absorbida, ángulo plano, densidad de sólidos, fuerza, presión, volumen, atenuación en alta frecuencia, humedad y tensión eléctrica correspondiente al intervalo de medida de la alta tensión eléctrica (superior a 1000 V).

El tiempo transcurrido desde la aprobación de las ordenes ITC citadas anteriormente, el progreso tecnológico producido desde entonces, y fundamentalmente la revisión del sistema internacional de unidades adoptada en la 26.^a Conferencia General de Pesas y Medidas, han hecho que sea necesario actualizar las definiciones de los patrones nacionales. En particular, las nuevas definiciones de las unidades básicas, basadas en constantes universales y desligadas de su materialización, permitirán una evolución solamente dependiente del estado de la ciencia y la tecnología en cada momento. Asimismo, la evolución de las necesidades de la industria demanda definir como nuevos patrones nacionales de unidades derivadas los correspondientes a potencia eléctrica en baja frecuencia, e inductancia eléctrica, así como desdoblar el existente patrón de alta tensión eléctrica (superior a 1000 V) en dos patrones, en función de la frecuencia eléctrica, uno para la magnitud tensión eléctrica de baja frecuencia y otro para la magnitud tensión eléctrica transitoria de alta frecuencia.

Asimismo, con objeto de simplificar y clarificar normativamente, se unifica en un solo texto la declaración de los patrones nacionales de medida de las unidades básicas y derivadas del sistema internacional de unidades (SI).

La presente orden 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 esta orden se ha realizado el preceptivo trámite de audiencia a los interesados. Asimismo, ha informado favorablemente el Consejo Superior de Metrología.

La disposición final primera del Real Decreto 648/1994, de 15 de abril, autoriza, en la actualidad, a la Ministra de Industria, Comercio y Turismo para modificar las definiciones técnicas incluidas en el anexo de dicha norma reglamentaria en la medida en que el progreso técnico lo demande.

En su virtud, dispongo:

Artículo 1. *Modificación del anexo del Real Decreto 648/1994, de 15 de abril, por el que se declaran los patrones nacionales de medida de las unidades básicas del sistema internacional de unidades.*

El anexo del Real Decreto 648/1994, de 15 de abril, modificado por la Orden ITC/2432/2006, de 20 de julio, se sustituye por el anexo I de esta orden.

Artículo 2. *Modificación del anexo de la Orden ITC/2581/2006, de 28 de julio, por la que se definen los patrones nacionales de las unidades derivadas, del sistema internacional de unidades, de capacidad eléctrica, concentración de ozono en aire, flujo luminoso, impedancia en alta frecuencia, par de torsión, potencia en alta frecuencia, resistencia eléctrica, ruido electromagnético en alta frecuencia, tensión eléctrica, actividad (de un radionucleido), kerma (rayos X y γ), dosis absorbida, ángulo plano, densidad de sólidos, fuerza, presión, volumen, atenuación en alta frecuencia, humedad y alta tensión eléctrica (superior a 1000 V).*

El anexo de la Orden ITC/2581/ 2006, de 28 de julio, se sustituye por el anexo II de esta orden.

Disposición final primera. *Título competencial.*

Esta orden se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.12.^a de la Constitución, que atribuye al Estado la competencia exclusiva para dictar la legislación sobre pesas y medidas.

Disposición final segunda. *Entrada en vigor.*

Esta orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Madrid, 7 de febrero de 2020.–La Ministra de Industria, Comercio y Turismo, Reyes Maroto Illera.

ANEXO I

Patrones nacionales de las unidades de medida básicas del sistema internacional de unidades*1. Patrón nacional correspondiente a la magnitud longitud*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud longitud, cuya unidad SI es el metro (m), es realizado, mantenido y diseminado por el Centro Español de Metrología mediante radiaciones monocromáticas de luz coherente, cuyos valores de frecuencia han sido establecidos por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), tras fijar para la velocidad de la luz en el vacío el valor numérico 299 792 458 m/s, según Resolución de la XVII Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

La conservación del patrón se realiza de dos formas posibles:

a) Mediante un sintetizador óptico (peine de frecuencia) basado en láser de pulsos de femtosegundos, con frecuencia de repetición de 250 MHz y frecuencia *offset* de 20 MHz, referenciado a la unidad de tiempo, el segundo, a través de un patrón atómico de cesio, que genera un *continuum* de longitudes de onda entre 530 nm y 2100 nm.

b) Mediante láseres de helio-neón estabilizados sobre la componente $f(a_{16})$ de la estructura hiperfina de la transición 11-5 R(127) de la molécula del yodo 127, de valor nominal aprox. 633 nm, y sintonizables en otros picos de absorción de dicha molécula.

Estos láseres se comparan periódicamente entre sí, en los distintos picos de absorción saturada, y con el sintetizador óptico. Asimismo, participan junto a láseres patrón de otros países en la comparación clave internacional continua CCL-K11, basada en el uso de sintetizadores ópticos y auspiciada por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), dentro del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM-MRA, a fin de garantizar su equivalencia internacional.

La diseminación del patrón de longitud hacia el siguiente nivel metrológico se realiza mediante batido de frecuencias, a fin de determinar la longitud de onda emitida por otras fuentes de radiación y conferirle trazabilidad al SI y, posteriormente, mediante el uso de interferómetros, comparadores interferométricos y sistemas interferométricos láser, con objeto de dotar de trazabilidad al SI a los patrones materializados del siguiente nivel metrológico.

2. Patrón nacional correspondiente a la magnitud masa

El patrón nacional correspondiente a la magnitud masa, cuya unidad es el kilogramo (kg), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado por el Centro Español de Metrología; es la copia número 24 del Prototipo Internacional del Kilogramo depositado en el BIPM.

Fue construido en 1889 en aleación de platino-iridio, con un 10% de iridio. Lleva grabado sobre su superficie, a los dos tercios de altura, el número 24. La determinación de su valor de masa, su conservación y mantenimiento se realiza de acuerdo a las premisas establecidas por el Comité Consultivo de Masa y Magnitudes Derivadas, de acuerdo a la definición del kilogramo basada en el valor numérico de la constante de Planck.

3. Patrón nacional correspondiente a la magnitud tiempo

El patrón nacional correspondiente a la magnitud tiempo, cuya unidad es el segundo (s), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Laboratorio de la Sección de Hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (ROA). Es realizado por medio de un conjunto de osciladores referidos permanentemente a la frecuencia de la transición cuántica del átomo de cesio, establecida en la XIII CGPM como definición del segundo.

Está materializado mediante un máser de hidrógeno activo, convenientemente disciplinado a través de un sintetizador de frecuencia, a partir de la información proporcionada por un conjunto de relojes atómicos de haz de cesio y máseres activos de hidrógeno, y su incertidumbre relativa y trazabilidad vienen referidas a los datos publicados por la Circular T de la Sección de Tiempo del BIPM.

Partiendo del patrón nacional correspondiente a la magnitud tiempo, el ROA elabora y mantiene la Escala de Tiempo Nacional que tiene por denominación UTC(ROA). Esta escala se compara periódicamente con la referencia internacional Tiempo Universal Coordinado (UTC), mediante la participación en la comparación clave (KC) de tiempo (CCTF-K001.UTC), en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

El valor absoluto de la diferencia entre UTC(ROA) y UTC se mantiene dentro de un margen de cien nanosegundos, según lo establecido por la Recomendación del Comité Consultivo para la Definición del Segundo (Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde, CCDS), en la actualidad Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia, aprobada en su duodécima Asamblea en el año 1993.

4. Patrón nacional correspondiente a la magnitud intensidad de corriente eléctrica

El patrón nacional correspondiente a la magnitud intensidad de corriente eléctrica, cuya unidad es el amperio (A), es realizado, mantenido y diseminado por el Centro Español de Metrología.

Se realiza utilizando la relación $A=V/\Omega$ proporcionada por la ley de Ohm y la realización práctica de las unidades derivadas del SI, voltio V y ohmio Ω , basadas en los efectos Josephson y Hall cuántico respectivamente.

Este patrón se compara periódicamente con los de otros Institutos Nacionales de Metrología, mediante la participación en comparaciones clave (KC) y regionales, en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

5. Patrón nacional correspondiente a la magnitud temperatura termodinámica

El patrón nacional correspondiente a la magnitud temperatura termodinámica cuya unidad es el kelvin (K) es mantenido, conservado, custodiado y diseminado por el Centro Español de Metrología, mediante la realización de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) y termometría radiométrica primaria absoluta y relativa, de acuerdo con las recomendaciones del CIPM.

La EIT-90 se materializa y mantiene mediante puntos fijos de temperatura. Se utilizan termómetros de resistencia de platino hasta 1235 K y cuerpos negros y termómetros de radiación para temperaturas superiores a 1235 K. La EIT-90 se disemina desde 83 K a 2500 K utilizando termómetros de interpolación; además es periódicamente comparada con las Escalas de otros Institutos Nacionales de Metrología.

La realización, mantenimiento y diseminación del kelvin mediante termometría radiométrica primaria absoluta se lleva a cabo mediante la determinación de la potencia óptica emitida por una cavidad isoterma de emisividad, banda espectral y ángulo sólidos conocidos.

La realización, mantenimiento y diseminación del kelvin mediante termometría radiométrica relativa se lleva a cabo mediante la medida de la potencia óptica en una serie de puntos fijos de temperatura termodinámica conocida.

6. Patrón nacional correspondiente a la magnitud intensidad luminosa

El patrón nacional correspondiente a la magnitud intensidad luminosa cuya unidad es la candela (cd), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Instituto de Óptica «Daza de Valdés», dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Se realiza a partir de un radiómetro criogénico de sustitución eléctrica (ESCR) que permite medir el flujo radiante por comparación con una potencia eléctrica. La derivación

de la intensidad luminosa se hace siguiendo la guía «Mise en pratique for the definition of the candela and associated derived units» elaborada por el Comité Consultivo para Fotometría y Radiometría (CCPR) del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM); en particular, según el método B de la recomendación para la realización práctica, que consiste en derivar la intensidad luminosa a partir de la medida de iluminancia y la distancia desde la fuente a la que se obtiene esa iluminancia.

El patrón está materializado y conservado mediante un grupo de lámparas de incandescencia, que se comparan periódicamente con las de otros Institutos Nacionales de Metrología mediante participación en Comparaciones Claves (Key Comparisons, KC) organizadas por el CCPR del CIPM y por el Comité Técnico para la Fotometría y la Radiometría de la Asociación Europea de Institutos Nacionales de Metrología (EURAMET).

ANEXO II

Patrones nacionales de las unidades de medida derivadas del sistema internacional de unidades

1. Patrón nacional correspondiente a la magnitud tensión eléctrica

El patrón nacional correspondiente a la magnitud tensión eléctrica, cuya unidad es el voltio (V), es realizado, mantenido, y diseminado por el Centro Español de Metrología.

Se materializa mediante el efecto Josephson y el valor de la constante de Josephson:

$$K_J = 483\,597,848\,416\,984 \text{ GHz/V}$$

obtenido de la relación $K_J = 2e/h$ para los valores exactos de la carga elemental (e) y de la constante de Planck (h), redondeando el cálculo a 15 dígitos significativos.

Este patrón se compara periódicamente con los de otros Institutos Nacionales de Metrología y con el de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

2. Patrón nacional correspondiente a la magnitud resistencia eléctrica

El patrón nacional correspondiente a la magnitud resistencia eléctrica, cuya unidad es el ohmio (Ω), es realizado, mantenido y diseminado por el Centro Español de Metrología.

Se materializa mediante el efecto Hall cuántico y el valor de la constante de von Klitzing:

$$R_K = 25\,812,807\,459\,304\,5 \, \Omega$$

obtenido de la relación $R_K = h/e^2$ utilizando los valores exactos de la carga elemental (e) y de la constante de Planck (h), redondeando el cálculo a 15 dígitos significativos.

Este patrón se compara periódicamente con los de otros Institutos Nacionales de Metrología y con el de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

3. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud capacidad eléctrica*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud capacidad eléctrica, cuya unidad es el faradio (F), es mantenido, y diseminado por el Centro Español de Metrología.

Se materializa comparando, mediante un puente de cuadratura, la impedancia de la capacidad con la impedancia de la resistencia, obtenida esta última mediante el efecto Hall cuántico y el valor de la constante de von Klitzing definida anteriormente.

Se conserva mediante un conjunto de condensadores y comparaciones periódicas efectuadas con otros Institutos Nacionales de Metrología y la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

4. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud potencia eléctrica en baja frecuencia*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud potencia eléctrica, cuya unidad es el vatio (W), es realizado, mantenido y diseminado por el Centro Español de Metrología.

Se materializa mediante técnicas de muestreo digital, sabiendo que la potencia eléctrica es igual al producto de la tensión por la corriente, que aplicando la ley de Ohm conduce a la relación $W = V^2/\Omega$, realizando el voltio y el ohmio mediante los efectos Josephson y Hall cuántico y los valores de las constantes de Josephson y de von Klitzing definidas anteriormente.

Este patrón se compara periódicamente con los de otros Institutos Nacionales de Metrología, mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

5. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud inductancia eléctrica*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud inductancia eléctrica, cuya unidad es el henrio (H), es realizado, mantenido, y diseminado por el Centro Español de Metrología.

Se realiza comparando, mediante un puente de Maxwell-Wien, la impedancia de una inductancia desconocida frente a una capacidad conocida y un conjunto de resistencias de valores también conocidos. La capacidad y los valores de resistencia se determinan mediante el efecto Hall cuántico y el valor de la constante de von Klitzing definida anteriormente.

Este patrón se compara periódicamente con los de otros Institutos Nacionales de Metrología, mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

6. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud impedancia en alta frecuencia*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud impedancia en alta frecuencia, cuya unidad es el ohmio (Ω), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas».

Está materializado por medio de líneas de aire de precisión, de impedancia característica nominal de 50 Ω , cuyo valor depende de las dimensiones mecánicas de sus conductores, y de kits de calibración con terminaciones, cortos y abiertos. Están definidos por su coeficiente de reflexión (magnitud derivada, unidimensional, obtenida a partir de la relación entre la impedancia medida y la impedancia de referencia de 50 Ω). Se dispone de cuatro líneas de aire y kits de calibración con diferentes tipos de conectores, que permiten cubrir un campo de medida de coeficiente de reflexión (referido a 50 Ω) entre 0 y 1 en los márgenes de frecuencias entre 45 MHz y 50 GHz.

Este patrón se compara periódicamente con los de otros Institutos Nacionales de Metrología y con el BIPM, mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

7. Patrón nacional correspondiente a la magnitud potencia eléctrica en alta frecuencia

El patrón nacional correspondiente a la magnitud potencia eléctrica en alta frecuencia, cuya unidad es el vatio (W), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, «Esteban Terradas».

Está materializado por medio de sensores bolométricos de resistencia térmica con conectores coaxiales, estabilizados en temperatura y asociados a un medidor de potencia dual y de sensores de potencia de tipo termopar. Están definidos por su Factor de Calibración (magnitud derivada, unidimensional, obtenida a partir de la relación entre potencia incidente y potencia medida). Se dispone de cinco sensores patrón con diferentes tipos de conectores, que permiten cubrir un campo de medida de potencia o factor de calibración en los márgenes de frecuencias de 100 kHz a 40 GHz.

Este patrón se compara periódicamente con los de otros Institutos Nacionales de Metrología y con el del BIPM, mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

8. Patrón nacional correspondiente a la magnitud ruido electromagnético en alta frecuencia

El patrón nacional correspondiente a la magnitud ruido electromagnético en alta frecuencia, cuya unidad en medida de temperatura equivalente es el kelvin (K), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, «Esteban Terradas».

Está materializado por dos fuentes de ruido de estado sólido definidas por su temperatura de ruido equivalente (kelvin) o por la relación de exceso de ruido (ENR) (magnitud derivada, unidimensional, expresada normalmente en magnitud logarítmica o dB a partir de la temperatura equivalente de ruido).

Se dispone de dos fuentes de ruido con diferentes tipos de conectores que permiten cubrir un campo de medida de ENR entre 4 dB y 16 dB en el margen de frecuencias de 10 MHz a 26,5 GHz.

Este patrón se compara periódicamente con los de otros Institutos Nacionales de Metrología y con el del BIPM, mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

9. Patrón nacional correspondiente a la magnitud atenuación en alta frecuencia

El patrón nacional correspondiente a la magnitud atenuación en alta frecuencia, cuya unidad es el decibelio (dB), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas».

Está materializado mediante un atenuador de pistón de guía de onda circular, que trabaja por debajo de la frecuencia de corte, siendo la frecuencia de funcionamiento de 30 MHz, que es la frecuencia intermedia del sistema escalar de medida de atenuación. El valor de atenuación depende de la distancia física de dos bobinas y un sistema de medida de atenuación por sustitución en doble canal paralelo. Se

complementa con un atenuador por pasos, caracterizado a las frecuencias de 30 MHz y 60 MHz

El campo de medida cubierto es de 0 dB a 105 dB en un margen de frecuencias de 10 MHz a 18 GHz, y de 0 dB a 80 dB para frecuencias comprendidas entre 18 GHz y 40 GHz.

Este patrón se conserva mediante comparaciones periódicas efectuadas con patrones de atenuación en alta frecuencia de organismos metrológicos de otros Estados, mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

10. Patrón nacional en alta tensión correspondiente a la magnitud tensión eléctrica de baja frecuencia

El patrón nacional de la magnitud tensión eléctrica, cuya unidad es el voltio (V), correspondiente a la medida de alta tensión eléctrica (superior a 1000 V), en baja frecuencia, es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia de la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial.

Este patrón se encuentra materializado de la siguiente forma, según el intervalo de tensión y la frecuencia de medida:

a) En corriente continua hasta 240 kV está materializado mediante divisores resistivos con electrodos de reparto de campo y sistemas de medida basados en el umbral de conducción de diodos zener conectados en serie.

b) En frecuencia industrial (50 Hz a 60 Hz) hasta 500 kV, está materializado mediante transformadores de tensión eléctrica inductivos, divisores capacitivos, sistemas de medida de tensión eléctrica de baja tensión y puentes de medida de relación de transformación y ángulo.

Este patrón se conserva mediante comparaciones periódicas efectuadas con patrones de alta tensión eléctrica de otros Institutos Nacionales de Metrología, mediante participación en las comparaciones clave (KC), suplementarias o regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

11. Patrón nacional en alta tensión correspondiente a la magnitud tensión eléctrica transitoria de alta frecuencia

El patrón nacional de la magnitud de alta tensión eléctrica transitoria de alta frecuencia, cuya unidad es el voltio (V), correspondiente a la medida de alta tensión eléctrica (superior a 1000 V), hasta 700 kV para impulsos tipo rayo normalizados de 1,2 μ s a 50 μ s y tipo maniobra de 250 μ s a 2500 μ s, es mantenido, conservado, custodiado y diseminado bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia de la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial.

El patrón está materializado mediante divisores resistivos anti inductivos de alta tensión con pantallas de repartición de campo, atenuadores de bajo tiempo de respuesta, digitalizadores de alta velocidad de muestreo y ancho de banda y software de análisis de la forma de onda del impulso.

Este patrón se conserva mediante comparaciones periódicas efectuadas con patrones de alta tensión eléctrica de otros Institutos Nacionales de Metrología, mediante participación en las comparaciones clave (KC), suplementarias o regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

12. *Patrón nacional de la magnitud concentración de ozono en aire*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud concentración de ozono en aire, cuya unidad es el nanomol/mol (nmol/mol), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Área de Contaminación Atmosférica del Centro Nacional de Sanidad Ambiental del Instituto de Salud Carlos III.

Este patrón es un radiómetro (fotómetro) de referencia NIST (National Institute of Standards and Technology) que mide mediante radiometría UV (fotometría UV), concentraciones de ozono generadas dinámicamente y que está materializado mediante un módulo óptico, constituido por un instrumento fotométrico consistente en una lámpara de mercurio a baja presión, dos cámaras de vidrio, dos fotodiodos de vacío, dos convertidores de corriente, dos lentes de cuarzo y un divisor del rayo de luz, un transductor de presión y un transductor de temperatura; un módulo neumático, constituido por un orificio crítico para el aire cero, un contador másico de caudal para el generador de ozono, un generador de ozono y su fuente de alimentación, una bomba de muestreo; un módulo electrónico y un módulo de adquisición y tratamiento de datos.

Se conserva mediante comparaciones periódicas con patrones de concentración de ozono en aire de organismos metrológicos de otros Estados, mediante participación en las comparaciones clave (KC) dentro del CCQM y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

13. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud flujo luminoso*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud flujo luminoso, cuya unidad es el lumen (lm), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Instituto de Óptica «Daza de Valdés», dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

El patrón está materializado y conservado mediante un grupo de lámparas de incandescencia, cuyo flujo luminoso se determina a partir de la medida de iluminancia en la superficie de una hipotética esfera en cuyo centro se coloca la lámpara. Esas lámparas se comparan periódicamente con las de otros Institutos Nacionales de Metrología mediante participación en Comparaciones Claves (Key Comparisons), organizadas por el Comité Consultivo para la Fotometría y la Radiometría del Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM) y por el Comité Técnico para la Fotometría y la Radiometría de la Asociación Europea de Institutos Nacionales de Metrología (EURAMET)

14. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud actividad (de un radionucleido)*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud actividad (de un radionucleido) cuya unidad es el becquerel (Bq), es custodiado, mantenido, conservado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

Este patrón está materializado mediante un contador de coincidencia para radiación alfa-gamma y beta-gamma, dos cámaras de ionización de geometría 2π y una cámara de ángulo sólido bien definido para radiación alfa, y un contador de centelleo líquido de 3 fotomultiplicadores en coincidencia para radiación beta y beta-gamma.

Se conserva mediante la comparación periódica con los patrones nacionales de otros Institutos Nacionales de Metrología y con el del BIPM, mediante participación en las comparaciones clave (KC) y regionales contempladas en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

15. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud kerma (rayos X y γ)*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud kerma en aire, cuya unidad es el julio por kilogramo ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) con nombre especial «gray» (Gy) y sus magnitudes de protección radiológica derivadas: Equivalente de dosis ambiental y Equivalente de dosis personal (rayos X y γ) cuya unidad es el julio por kilogramo ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) con nombre especial «sievert» (Sv) es custodiado, mantenido, conservado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del CIEMAT.

Este patrón está materializado de la forma siguiente:

a) Para rayos X de energías bajas y medias, mediante un sistema patrón basado en cámaras de ionización en aire y haces normalizados de rayos X, con los espectros definidos según la serie de normas ISO 4037 en vigor.

b) Para la radiación gamma emitida por fuentes de ^{60}Co y ^{137}Cs en niveles de protección, mediante un sistema patrón basado en cámaras de ionización en aire y haces normalizados de radiación gamma, de acuerdo con las especificaciones de la serie de normas ISO 4037. Para un haz de fotones emitido por una fuente de ^{60}Co en niveles de terapia (establecido en las condiciones de referencia recomendadas en el informe técnico TRS-398 del Organismo Internacional de Energía Atómica –OIEA–) mediante un sistema patrón fundamentado en un conjunto de cámaras de ionización.

Los patrones se conservan y mantienen mediante:

- la realización de calibraciones periódicas con los patrones primarios del BIPM y de otros Institutos Nacionales de Metrología y con la verificación de la estabilidad de los conjuntos cámara de ionización-electrómetro en los intervalos entre calibraciones,
- a través de la participación en comparaciones internacionales dando cumplimiento a los requisitos del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM-MRA).

16. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud dosis absorbida*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud dosis absorbida, cuya unidad es el gray (Gy), es custodiado, mantenido, conservado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del CIEMAT. Este patrón está materializado de la forma siguiente:

a) para la magnitud dosis absorbida en agua en niveles de terapia (determinada en las condiciones de referencia recomendadas en el informe técnico TRS-398 del OIEA) en un haz de fotones emitido por una fuente de ^{60}Co , mediante un sistema patrón fundamentado en un conjunto de cámaras de ionización provistas de fundas impermeables y

b) para la magnitud dosis absorbida en tejido para la radiación beta en niveles de protección, mediante fuentes normalizadas emisoras de radiación beta de ^{147}Pm , ^{85}Kr y $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$.

Los patrones correspondientes a la magnitud dosis absorbida se conservan y mantienen mediante:

- la realización de calibraciones periódicas con los patrones primarios del BIPM y con la verificación de la estabilidad de los conjuntos cámara de ionización-electrómetro en los intervalos entre calibraciones para el patrón de dosis absorbida en agua para una fuente de ^{60}Co en niveles de terapia,
- la calibración de las fuentes frente a un patrón primario de otro Instituto Nacional de Metrología, para el patrón de dosis absorbida en tejido para la radiación beta, y

– a través de la participación en comparaciones internacionales dando cumplimiento a los requisitos del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM).

17. Patrón nacional correspondiente a la magnitud ángulo plano

El patrón nacional correspondiente a la magnitud ángulo plano, cuya unidad es el radián (rad), es realizado, mantenido, custodiado y diseminado por el Centro Español de Metrología, a partir de un sistema constituido por una mesa giratoria generadora de ángulos, dotada de una escala circular interna de alta exactitud, con lectura óptica e interpolación electrónica de señales, y campo de medida de 0 rad a 2π rad.

Para cualquier conjunto de divisiones del círculo que se establezca, la suma de los ángulos en el centro es siempre igual a 2π rad. Este principio se denomina de «cierre de círculo» y permite la conservación del patrón a lo largo del tiempo, en base a las sucesivas calibraciones realizadas con la mesa generadora de ángulos.

Su equivalencia internacional se garantiza mediante la participación, junto a otros Institutos Nacionales de Metrología, en comparaciones clave periódicas, tipo CCL y regionales, dentro del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM-MRA.

18. Patrón nacional correspondiente a la magnitud densidad de sólidos

El patrón nacional correspondiente a la magnitud densidad de sólidos, cuya unidad es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, por el Centro Español de Metrología, y queda establecido a través de las magnitudes fundamentales de masa y longitud. Está materializado en una esfera de silicio monocristal ultrapuro perfectamente pulida, con un valor de rugosidad R_a de 0,4 nm, y un defecto de redondez de 90 nm. El espesor de la capa de óxido se determinó utilizando un elipsómetro de luz blanca con analizador rotante, obteniéndose unos valores entre 4,07 nm y 4,45 nm.

El material utilizado para su realización fue un lingote de monocristal de silicio, con las siguientes características: orientación del cristal $\langle 1,0,0 \rangle$ con una desviación máxima de 2° , semiconductor «tipo N» dopado con fósforo, resistividad mínima de $1000 \Omega \cdot \text{cm}$, contenido máximo de carbono de $5 \times 10^{15} \text{ átomos} \cdot \text{cm}^{-3}$, contenido máximo de oxígeno de $2 \times 10^{15} \text{ átomos} \cdot \text{cm}^{-3}$, coeficiente de dilatación térmica de $2,55 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, coeficiente de compresibilidad $-3,1 \cdot 10^{-9} \text{ kPa}$.

Las medidas de los radios absolutos se realizaron por interferometría con láseres de Helio-Neón estabilizados sobre I_2 . El valor de masa tiene trazabilidad al patrón nacional correspondiente a la magnitud de masa, copia n.º 24 del Prototipo Internacional del Kilogramo.

Su equivalencia internacional se garantiza mediante la participación, junto a otros Institutos Nacionales de Metrología, en comparaciones clave periódicas, tipo CCM y regionales, dentro del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM-MRA.

19. Patrón nacional correspondiente a la magnitud par de torsión

El patrón nacional correspondiente a la magnitud par de torsión, cuya unidad se denomina newton metro (N·m), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado por el Centro Español de Metrología y se obtiene a través del patrón nacional de la magnitud masa, del patrón nacional de la magnitud longitud y de la medida de la aceleración de la gravedad local.

Está materializado y conservado mediante una máquina de par de carga directa con brazo de 0,5 m, que reposa sobre un cojinete neumático, y cuyo alcance nominal es de 1 kN·m. La exactitud del mismo ha sido determinada matemática y experimentalmente.

Su equivalencia internacional se garantiza mediante la participación, junto a otros Institutos Nacionales de Metrología, en comparaciones clave periódicas, tipo CCM y regionales, dentro del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM-MRA.

20. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud fuerza*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud fuerza, cuya unidad es el newton (N), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado por el Centro Español de Metrología y se obtiene a través del patrón nacional de la unidad de masa y de la medida de la aceleración de la gravedad local.

Está materializado y conservado mediante tres máquinas de fuerza de carga directa cuyos alcances nominales son 500 kN, 20 kN y 1 kN. La exactitud del mismo ha sido determinada matemática y experimentalmente.

Su equivalencia internacional se garantiza mediante la participación, junto a otros Institutos Nacionales de Metrología, en comparaciones clave periódicas, tipo CCM y regionales, dentro del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM-MRA.

21. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud presión*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud presión, cuya unidad es el pascal (Pa), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado por el Centro Español de Metrología y se deriva de los patrones nacionales de masa y longitud, junto con la medida de la aceleración de la gravedad local.

Este patrón se encuentra materializado de la siguiente forma, según el intervalo de medida:

a) En el campo de 10^{-6} Pa hasta 10^{-2} Pa se realiza con un sistema de expansión dinámico que determina la presión de forma primaria a partir de la relación de presiones entre dos cámaras separadas por un orificio y un flujo de entrada de gas.

b) En el campo de 10^{-2} Pa hasta 10^2 Pa se realiza con un sistema de expansión estática en el que se determina la presión a partir de la expansión de un gas contenido en un volumen a una presión conocida, a otro volumen, conocido el ratio entre dichos volúmenes.

c) En el campo de 10^2 Pa hasta 500 MPa se realiza con una serie de conjuntos pistón-cilindro montados en sus correspondientes balanzas de presión.

d) En el campo de 500 MPa a 1 GPa, se realiza a través de un multiplicador de presión.

La trazabilidad primaria de la unidad se consigue mediante una columna de mercurio con medida interferométrica de altura con trazabilidad a las unidades de masa y longitud y a la aceleración de la gravedad.

Su equivalencia internacional se garantiza mediante la participación, junto a otros Institutos Nacionales de Metrología, en comparaciones clave periódicas, tipo CCM y regionales, dentro del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM-MRA.

22. *Patrón nacional correspondiente a la magnitud volumen*

El patrón nacional correspondiente a la magnitud volumen, cuya unidad es el litro (l o L), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado por el Centro Español de Metrología y queda establecido a partir del patrón nacional de la magnitud masa.

Está materializado por un conjunto de vasijas patrón de capacidades nominales 1 L, 2 L, 5 L, 10 L, 20 L, 50 L, 100 L, construidas en acero inoxidable, recubiertas internamente de Halar H+S, y de forma cilindro-bicónica.

Su equivalencia internacional se garantiza mediante la participación, junto a otros Institutos Nacionales de Metrología, en comparaciones clave periódicas, tipo CCM y regionales, dentro del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM-MRA.

23. Patrón nacional correspondiente a la magnitud humedad

El patrón nacional de la magnitud humedad, es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas».

Está materializado mediante generadores termodinámicos de saturación con trazabilidad metrológica a las unidades básicas del Sistema Internacional, kelvin, kilogramo y metro.

Estos generadores cubren el campo de temperatura de punto de rocío de $-90.^{\circ}\text{C}$ a $-10.^{\circ}\text{C}$ con saturación sobre una superficie de hielo, y de $-10.^{\circ}\text{C}$ a $+95.^{\circ}\text{C}$ para saturación con respecto a agua, así como el campo de humedad relativa equivalente en el campo de temperatura ambiente de $-40.^{\circ}\text{C}$ a $+90.^{\circ}\text{C}$.

Su equivalencia internacional se garantiza mediante la participación, junto a otros Institutos Nacionales de Metrología, en comparaciones clave periódicas, tipo CCT y regionales, dentro del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM-MRA.