

APÉNDICE A

SISTEMAS DE UNIDADES

En el prólogo de esta obra mencionamos que, no obstante que el tema Sistema de Unidades actualmente no forma parte del programa de la asignatura Estática (cuya cobertura es lo que fundamentalmente enfocamos aquí), presentamos este apéndice con la finalidad de que el lector pueda consultar acerca de diversas partes relacionadas con dicho tema, si lo requiere, pues éste está íntimamente ligado a los elementos de estática que aquí desarrollamos.

A.1 UNIDADES DE MEDICIÓN

Importancia de la medición en la Física.

Cuando viajamos en automóvil, bien conduciéndolo o como pasajeros, solemos escuchar expresiones como éstas:

- faltan como 50 km. para llegar,
- no corras tanto, que rebasas el límite de velocidad y nos pueden multar,
- ese automóvil que nos rebasó va muy acelerado, etc.

También, por ejemplo, cuando vamos a comprar un vidrio, ¿qué puede suceder?

- quedó chico,
- quedó grande, y en ocasiones no se especifica siquiera de qué lado.

Pudiéramos presentar un sin número de cosas y frases consecuentes, que nos permiten expresar conceptos del mundo físico, que sin meditar en ellas manejamos continuamente.

Por tal motivo, es de gran importancia el saber qué es medir y cómo hacerlo en la Física.

Comencemos por definir algunos conceptos:

- Medir: determinar una cantidad comparándola con la unidad.
- Medición: acción y efecto de medir.
- Medida: estimación comparativa de una cantidad.
- Dimensión: todo aquello susceptible de ser medido físicamente en forma cuantitativa.
- Magnitud: tamaño de una dimensión.
- Cantidad: parte o porción de la magnitud.
- Unidad: toda magnitud de la misma especie que otra, a la que sirve como medida cuando se compara con ella.

A.2 MEDICIÓN. EXACTITUD Y PRECISIÓN.

Cuando se realiza un experimento, generalmente, los resultados que se obtienen son entidades cuantificables, es decir que el resultado obtenido es una propiedad natural, a la que puede asignársele un valor numérico.

De esta forma, las observaciones realizadas a través del desarrollo experimental culminan con mediciones, representando éstas a propiedades de los sistemas físicos.

Cuando se realiza una medición, esencialmente se está ejecutando una acción comparativa, la cual permite hacer distinciones ordenadas en las propiedades de los sistemas bajo observaciones. Es de notar que, el resultado de un experimento es, en general, consecuencia del número finito de mediciones que el procedimiento experimental requiera.

Dado que al efectuar la medición se realiza una acción comparativa, es necesario la creación de patrones unidad, elegidos arbitrariamente, pero que deben cumplir ciertos requisitos como son: facilidad de reproducción que no cambien con el tiempo y que sean fáciles de utilizar.

Con las unidades establecidas, es posible generar entonces una escala ordenada que es representable, matemáticamente, como una línea infinita, sobre la cual las unidades y sus divisiones se suceden indefinidamente.

El paso anterior es importante, ya que permite relacionar matemáticamente las diferentes propiedades de los sistemas físicos. Así, una vez establecida la unidad y la escala, se puede determinar una magnitud representativa de la propiedad que se mide. Por lo tanto, cuando se realiza una medición se establece una función que relaciona un conjunto ordenado de números, con un conjunto de propiedades y conceptos.

Las mediciones realizadas serán más confiables en tanto más cumplan con dos características, **EXACTITUD Y PRECISIÓN.**

La exactitud es casi una imposibilidad física que el hombre tiene en la realización de una medición. La exactitud se logra únicamente cuando se realiza un conteo; es decir, una asignación numérica que se relaciona únicamente con algún conjunto de eventos o cosas; así el decir, en un salón de clases hay 40 alumnos, es exacto.

En el caso de realizar una medición, también se asocia un valor numérico a una propiedad, pero éste no puede determinarse unívocamente; los factores que intervienen en una medición son muy variables, comenzando por el aparato de medida, los eventos estocásticos, etc., factores que imposibilitan físicamente el obtener una medición exacta.

Lo que puede obtenerse de una medida, es el grado de confiabilidad que pueda tenerse en ella; esto es, la PRECISIÓN de la medición. El tomar en cuenta los factores perturbadores así como la utilización de un aparato de medición con una mejor resolución (un aparato que permita dar más cifras significativas, por ejemplo un calibrador vernier, en lugar de una regla en mm), es lo que determina el grado de precisión.

A.3 INCERTIDUMBRE. DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.

A partir de lo anterior se desprende que, dado que no se puede garantizar la exactitud, el valor obtenido bajo la acción de medición debe encontrarse dentro de un intervalo, donde el tamaño de tal intervalo sí puede especificarse, ya que depende de los aparatos de medición que hayan sido utilizados, o bien del muestreo estadístico sobre el número de veces que la medición haya sido repetida, cuando la técnica de medición así lo requiera. Este intervalo depende de la incertidumbre absoluta de la medición.

Debido a lo anterior la INCERTIDUMBRE puede considerarse como el intervalo de valores dentro del cual se puede asegurar que se encuentre el valor real.

Al efectuar una medición existen gran cantidad de factores que perturban el sistema, causando que no se está totalmente seguro del valor medido, por lo cuál se tendrá una incertidumbre.

Regresemos al ejemplo de la ventana; no se piense que se trata de una situación exagerada, de hecho es común que al hacer una medición o un experimento, se encuentren valores diferentes cada vez que se

Después de hacer una serie de mediciones, en ocasiones se formulan dos preguntas: ¿cuál es el valor representativo de un conjunto de valores, obtenidos en las mismas condiciones? y, asociada a ésta tenemos, ¿cuál es la incertidumbre en esos casos?

Para contestar la primera pregunta, es necesario considerar los fines para los que se requiere el valor representativo, y cuáles pueden ser las causas por las que difieren las medidas; si se quiere encontrar el tamaño mínimo del diámetro de la broca que se necesita para colocar cierta cantidad de remaches, basta medir el diámetro de éstos y escoger el diámetro mayor de ellos, como la medida que buscamos. Si lo que se desea es caracterizar el grupo de remaches para su venta, entonces el valor representativo será el valor del diámetro medio o promedio; se supone en forma implícita que las causas de error originan desviaciones pequeñas al rededor del promedio, y que tales desviaciones pueden ser positivas o negativas con igual probabilidad; en otras palabras, el número de remaches con diámetros mayores que el valor medio, es igual al número de remaches con diámetro menor que el valor medio.

Respecto a la segunda pregunta, acerca de cuál es la incertidumbre en este tipo de medidas, puede interpretarse de dos maneras: una de ellas se basa en la teoría de probabilidades, que nos dirá qué tanto se alejan los diámetros medidos, del valor medio, la cual se estudiará en la asignatura **PROBABILIDAD**.

La otra interpretación, que analizamos ahora, utiliza una definición consistente con la que se hizo al escoger la mitad de la mínima división de escala, que garantiza que el valor "real" del objeto medido está dentro del intervalo reportado. Para ello, se repite una medida varias veces para tener un número suficiente de lecturas; así el intervalo de incertidumbre o de error estará delimitado para las lecturas máxima y mínima.

Ahora bien, además de lo señalado, existen otras causas, que son relacionadas con el observador y su procedimiento experimental; ello quiere decir que es posible que la persona tenga tendencia a leer valores altos o bajos en forma sistemática o ser más o menos cuidadosa. Las lecturas también pueden afectarse por factores externos como humedad, temperatura, presencia de luz, etc., que no se esperaba que influyeran en las medidas.

Lo anterior nos conduce a establecer que la incertidumbre de una medición depende de:

1. El objeto o fenómeno a medir. Sus características determinan la respetabilidad en las medidas o en un conjunto de valores; es decir, si al repetir varias veces una medición, se obtienen resultados iguales o diferentes.
2. El instrumento de medida. Su buen o mal funcionamiento así como su precisión y sensibilidad contribuirán en menor o mayor grado en la determinación de la incertidumbre.
3. El observador. Quien manipula los instrumentos y decide el procedimiento experimental.

Estos tres factores se pueden resumir en:

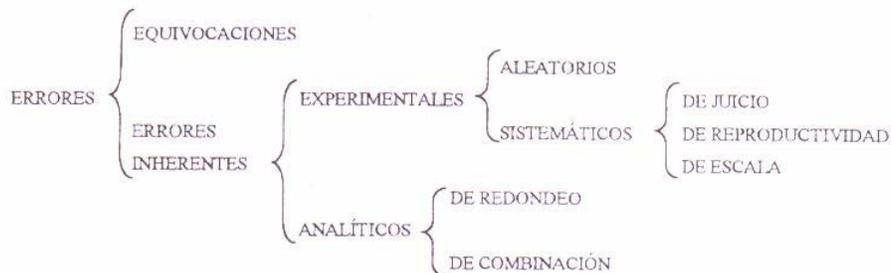
- La incertidumbre en una medida depende de lo que se mide, con qué se mide y quién lo mide.

DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE .

Veamos ahora como se determina la incertidumbre o error en una medida.

Para poder obtener en forma cuantitativa la incertidumbre o error es necesario tener en cuenta lo siguiente.

- Error en una variable: representa la discrepancia que existe entre el resultado de la medida y el valor verdadero de dicha variable.



En general, se considera que existen dos tipos principales de errores, las equivocaciones y los errores inherentes. Los primeros son imputables a descuido o negligencia del experimentador y los segundos son los que no dependen directamente de él.

Los errores inherentes pueden clasificarse a su vez en errores experimentales y errores analíticos. Los errores experimentales se cometen al utilizar aparatos o instrumentos para medir y pueden clasificarse en aleatorios y sistemáticos.

Los errores aleatorios se deben a las fluctuaciones de las variables del sistema en el que se hace la medición, cambios en sus alrededores o pequeñas variaciones en los instrumentos de medida, y se manifiestan en discrepancias entre mediciones de la misma variable en condiciones supuestamente iguales. Este tipo de errores se analiza estadísticamente.

Los errores sistemáticos son desviaciones constantes de los valores verdaderos y se dividen en tres tipos: de juicio, de reproductividad y de escala.

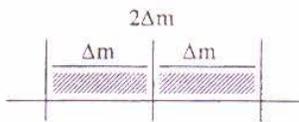
Los errores de juicio son causados por las técnicas personales de cada observador. Los errores de reproductividad son propios de los instrumentos de medición, al operarse en variedad de condiciones sin hacer los ajustes pertinentes. Los errores de escala son producidos por haber escogido una escala inadecuada.

Los errores analíticos, pueden deberse a dos causas fundamentales: al redondeo o truncamiento de cifras, y al cálculo de cantidades físicas que no se pueden medir directamente, a través de operaciones entre cantidades que sí se miden directamente y que llevan error (combinación de errores).

La estimación del error de redondeo es la mitad de la unidad que se sigue a la última cifra considerada.

A.4 VALOR EXPERIMENTAL .

Dado que todo valor experimental es incierto, una medición debe incluir un valor representativo y un intervalo de incertidumbre que contenga el valor "real", es decir una magnitud experimental M se expresa como:



$$M = m \pm \Delta m$$

donde:

m es el valor representativo

Δm es la incertidumbre

En la mayoría de los casos se escoge como valor representativo al promedio aritmético y Δm se determina según la respetabilidad de la medida, en la forma siguiente.

a) Si la medida se repite, el intervalo de incertidumbre o error será.

$$\Delta m = \frac{\text{mínima división de escala}}{2}$$

2

b) Si la medida no se repite, el ancho total del intervalo de incertidumbre o error $2\Delta m$ será:

$$2\Delta m = \text{lectura máxima} - \text{lectura mínima}$$

Esta determinación supone que el valor representativo o promedio quedó centrado en el intervalo; de no ser así se darán límites según se use el signo (+) o el signo (-).

Dada la simplicidad de estas determinaciones, se usa una sola cifra significativa para expresar la incertidumbre, que para el ejemplo del vidrio de la ventana podría ser:

largo 97.3 - 0.05 cm

ancho 33.2 - 0.05 cm

Se debe puntualizar que, este error (que no es una equivocación) es la incertidumbre en la magnitud de la medida, introducida en el proceso de comparación. Como toda medida tiene un error, cualquier otra cantidad derivada de ella, también lo tendrá.

Este error se puede expresar en FORMA ABSOLUTA en las mismas unidades, o en FORMA RELATIVA como porcentaje de la magnitud medida.

Por ejemplo. El largo del vidrio se puede dar como:

$$l = l \pm \Delta l \quad ; \quad l = 97.3 \pm 0.05 \text{ cm} \quad (\text{Forma absoluta})$$

$$l = l \pm \frac{\Delta l}{l} (100\%) \quad ; \quad l = 97.3 \text{ cm} \pm .05\% \quad (\text{Forma relativa})$$

Cuando se conoce una aproximación de m , valor de la variable (obtenida experimentalmente por ejemplo), y el valor teórico exacto M , se puede calcular el porcentaje de error mediante la expresión:

$$\%e = \left[\frac{|m - M|}{M} \right] (100)$$

A.5 USO DE LA INCERTIDUMBRE .

Una vez que se conoce cómo calcular la incertidumbre, el siguiente paso es saber cómo usarla; para ello, a continuación se dan algunos ejemplos:

1. Si se requiere calcular la cantidad de pintura necesaria para pintar una habitación, bastará medir las dimensiones de las paredes con una precisión de decenas de centímetros, ya que en las latas de pintura se estima (el rendimiento) en metros cuadrados la superficie que puede cubrir.
2. Si se trata de instalar muebles de baño, será necesario medir con una precisión de milímetros para asegurar que las tuberías encajen en los orificios adecuados y no correr el riesgo de hacer hoyos más grandes o forzar la tubería.
3. Cuando hay que decidir si los cilindros de un coche requieren ser rectificadas, deberán medirse con una precisión de milésimas de pulgada, ya que desgastes de ese orden de magnitud reducen la potencia del motor.
4. Si se trata de comprar dos modelos que estiman el periodo de un oscilador armónico, y la diferencia de la estimación es de 0.003 s, se requiere que la medida tenga una incertidumbre inferior a 0.001 s

De los ejemplos anteriores, se concluye que la incertidumbre de una medición deberá estar acorde con el uso que se le vaya a dar, por lo que: antes de medir, se deberá saber para qué se mide. En otras palabras, el simple hecho de medir requiere consideraciones previas, determinadas fundamentalmente por el propósito de la medición; por ello, sólo después de saber cómo y para qué se usarán los valores numéricos obtenidos, se podrán escoger los instrumentos y el proceso de la medición.

A.6 CONCEPTOS DE DIMENSIÓN Y UNIDAD . SISTEMAS DE UNIDADES . UNIDADES FUNDAMENTALES Y DERIVADAS .

Para iniciar el estudio de los sistemas de unidades, comenzaremos por definir el concepto de dimensión, siendo esta la característica de los cuerpos que los distingue entre sí.

Dimensión se define como todo aquello susceptible de ser medido físicamente en forma cuantitativa.

Para distinguir cantidades de la misma especie, es necesario medirlas; para efectuar tal medición necesitamos definir previamente el patrón que servirá de base, el cual se denomina unidad.

Unidad se define como toda magnitud de la misma especie, que otra, a la que sirve como base cuando se le compara con ella.

En diversos países y/o zonas geográficas, teniendo en cuenta que una sola unidad no puede efectuar la medición de todas las dimensiones, fue necesario adoptar un conjunto de éstas, conocido como SISTEMA DE UNIDADES, con el cual se pueden medir varias clases de magnitudes físicas de los mismos tipos que las unidades del sistema; es decir, cada unidad del sistema sirve para medir una magnitud física de su misma clase. Así, por ejemplo, la unidad de masa sólo sirve para medir magnitudes de masa.

En todos los sistemas de unidades, se distinguen dos clases de unidades que lo forman:

- Unidades fundamentales. Son aquéllas que se eligen en forma arbitraria. Como veremos más adelante sólo bastaron tres para establecer los sistemas absolutos y gravitatorios; en cambio para establecer el Sistema Internacional se necesitaron siete
- Unidades derivadas. Son aquéllas que ya no tienen que elegirse arbitrariamente como las anteriores, sino que se deducen de las fundamentales, según ciertas leyes conocidas.

A.7 SISTEMAS MKS, CGS Y FPS, TANTO ABSOLUTOS COMO GRAVITATORIOS . DESCRIPCIÓN DE SUS UNIDADES FUNDAMENTALES

Según las dimensiones que los constituyen, los sistemas de unidades pueden ser:

- Sistemas absolutos, en los que las dimensiones fundamentales son:
LONGITUD, MASA y TIEMPO.
- Sistemas gravitatorios, en los que las dimensiones fundamentales son:
LONGITUD, FUERZA y TIEMPO.

Es obvio que los sistemas absolutos también tienen unidades de fuerza y que los sistemas gravitatorios también tienen unidades de masa, sólo que en tales casos dichas unidades no son elegidas arbitrariamente, sino que se derivan de las fundamentales del sistema correspondiente.

SISTEMAS ABSOLUTOS

SISTEMA	DIMENSIONES FUNDAMENTALES	UNIDAD DE MEDIDA	SÍMBOLO
M K S	Longitud	metro	m
	Masa	kilogramo masa	kg
	Tiempo	segundo	s
C G S	Longitud	centímetro	cm
	Masa	gramo masa	gr
	Tiempo	segundo	s
F P S	Longitud	pie	ft
	Masa	libra masa	lb
	Tiempo	segundo	s

SISTEMAS GRAVITATORIOS

SISTEMA	DIMENSIONES FUNDAMENTALES	UNIDAD DE MEDIDA	SÍMBOLO
M K S	Longitud	metro	m
	Fuerza	kilogramo fuerza	kg _f
	Tiempo	segundo	s
C G S	Longitud	centímetro	cm
	Fuerza	gramo fuerza	gr _f
	Tiempo	segundo	s
F P S	Longitud	pie	ft
	Fuerza	libra fuerza	lb _f
	Tiempo	segundo	s

DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES FUNDAMENTALES DE LOS SISTEMAS MKS, CGS Y FPS, TANTO DE LOS ABSOLUTOS COMO DE LOS GRAVITATORIOS .

- **metro:** longitud entre las marcas extremas de una barra de platino iridiado que se guarda en la Oficina Internacional de Pesas Medidas en Sevres, Francia, y cuyo nombre es metro patrón.
- **centímetro:** centésima parte de la longitud correspondiente al metro patrón.
- **pie:** longitud correspondiente a las marcas extremas del pie patrón, barra también de platino iridiado que se guarda en la Torre de Londres, Inglaterra.
- **kilogramo masa:** masa correspondiente a un cilindro de platino iridiado que se guarda en Sevres, y cuyo nombre es kilogramo masa patrón. Mediante balanzas especiales de gran precisión es posible comparar el kilogramo patrón, con sus copias, con una incertidumbre del orden de 0.01 mg.
- **gramo masa:** milésima parte de la masa del kilogramo masa patrón.

- **libra masa:** masa correspondiente a un cilindro de platino iridiado que se guarda en la Torre de Londres, Inglaterra.
- **segundo:** tiempo correspondiente a $1/86400$ del día solar medio, o sea del promedio de la duración de los días solares verdaderos.
- **kilogramo fuerza:** peso absoluto del kilogramo masa, o sea la fuerza con que la Tierra atrae al kilogramo masa.
- **gramo fuerza:** milésima parte del kilogramo fuerza.
- **libra fuerza:** peso absoluto de la libra masa, o sea la fuerza con que la Tierra atrae a la libra masa.

Así pues, para que un sistema se considere absoluto, entre sus dimensiones fundamentales deberá estar la de masa, mientras que para considerarlo gravitatorio deberá estar presente la de fuerza.

A.8 DATOS HISTÓRICOS DE ALGUNOS SISTEMAS DE UNIDADES .

Sistema CGS absoluto.

El sistema tiene como unidades fundamentales el centímetro, el gramo masa y el segundo de tiempo medio. Fue propuesto en 1795 y adoptado por Francia el 10 de diciembre de 1799. Su unidad de longitud está referida al metro patrón, siendo igual a la centésima parte del mismo. La unidad de masa está también referida a la masa prototipo del kilogramo, y es igual a la milésima parte de dicha masa. La unidad de tiempo es en este sistema, y en todos los demás, el segundo de tiempo solar medio. Tal sistema fue adoptado y recomendado por la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia en 1863. Tuvo gran aceptación internacionalmente; desde entonces se le utilizó mucho en todas las ramas de la ciencia. Las objeciones que se hacían eran que los patrones correspondían a múltiplos de las unidades y no a las unidades mismas; que las unidades derivadas para la fuerza y la energía eran demasiado pequeñas para los fines prácticos y que no se podían hacer corresponder con las unidades eléctricas prácticas, para formar un sistema de unidades completo.

Sistema MKS absoluto.

El sistema tiene como unidades fundamentales el metro, el kilogramo masa y el segundo. El sistema construido sobre estas unidades fue propuesto por Gauss, pero debido a que no se llegó a un acuerdo sobre el criterio que debía tener la denominación de absoluto, fue perdiendo gradualmente su univocación. Más tarde en 1902, Giovanni Giorgi lo volvió a proponer incluyendo una ampliación del sistema de unidades, de tal manera que éste abarcara todas las mediciones tanto en mecánica como electricidad y magnetismo. La Comisión Electrotécnica Internacional en París lo adoptó en 1935. La ventaja que presentó sobre el sistema CGS fue que estaba basado en los patrones o estándares reales, el metro y el kilogramo masa que existen en París. Tenía las desventajas de dar cantidades muy grandes para las densidades y los gradientes.

Sistema MKS técnico.

Es un sistema gravitatorio, por estar basado en la fuerza de atracción de la Tierra, donde sus unidades fundamentales son el metro, el kilogramo fuerza y el segundo. Como el patrón o estándar de fuerza se definió como el peso del kilogramo masa patrón, la unidad fundamental de fuerza.

Por acuerdo internacional, se determinó un valor estándar para la magnitud de la aceleración gravitatoria (g magnitud e intensidad del campo gravitatorio terrestre), la cual para todas las medidas prácticas es un poco diferente del valor local en el lugar de medición. Este sistema alcanzó mucha popularidad entre los ingenieros y la industria por las ventajas que ofrece para el trabajo práctico de diseño y para los cálculos numéricos.

A.9 EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI) . DESCRIPCIÓN DE SUS UNIDADES DE BASE , SUPLEMENTARIAS Y DERIVADAS MÁS COMUNES .

El Sistema Internacional de Unidades (SI), versión moderna del Sistema Métrico Decimal, fue adoptado en 1960 por la Conferencia General de Pesas y Medidas de la cual nuestro país es miembro. Esta es una organización Internacional establecida por la Convención del Metro en 1875.

El SI es el primer sistema científico de unidades compatible, esencialmente completo y armonizado internacionalmente; se fundamenta en siete unidades básicas, lo cual permite a todas las naciones industriales modernas asegurar la compatibilidad de sus sistemas metroológicos a los más altos niveles de precisión a través de las unidades del SI, de sus patrones y métodos de intercomparación.

En comparación con otros sistemas de unidades, tiene diversas ventajas entre las cuales se tienen las siguientes:

- los patrones básicos pueden ser reproducidos en forma objetiva,
- es fácil de aprender, recordar y entender,
- conduce a simplificar los cálculos técnicos,
- permite optimizar los diseños, eliminando tamaños y tipos innecesarios,
- facilita las operaciones comerciales a niveles nacionales e internacionales.

Con fundamento en diferentes artículos de la Ley General de Normas y de Pesas y de Medidas, publicada en el Diario Oficial de la Federación con fecha de 7 de abril de 1961, la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial estableció con carácter de obligatoria, de orden público y jurisdicción federal, por regir el Sistema General de Medidas, la Norma Oficial Mexicana: Sistema General de Unidades de Medida. Sistema Internacional de Unidades (SI) .

El Sistema Internacional está integrado por tres clases de unidades: unidades de base, unidades suplementarias y unidades derivadas; las cuales, en su conjunto, forman un sistema coherente. También utiliza los prefijos para la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de estas unidades.

A.9 EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI) . DESCRIPCIÓN DE SUS UNIDADES DE BASE , SUPLEMENTARIAS Y DERIVADAS MÁS COMUNES .

El Sistema Internacional de Unidades (SI), versión moderna del Sistema Métrico Decimal, fue adoptado en 1960 por la Conferencia General de Pesas y Medidas de la cual nuestro país es miembro. Esta es una organización Internacional establecida por la Convención del Metro en 1875.

El SI es el primer sistema científico de unidades compatible, esencialmente completo y armonizado internacionalmente; se fundamenta en siete unidades básicas, lo cual permite a todas las naciones industriales modernas asegurar la compatibilidad de sus sistemas metroológicos a los más altos niveles de precisión a través de las unidades del SI, de sus patrones y métodos de intercomparación.

En comparación con otros sistemas de unidades, tiene diversas ventajas entre las cuales se tienen las siguientes:

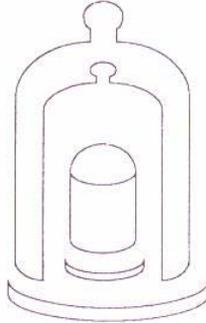
- los patrones básicos pueden ser reproducidos en forma objetiva,
- es fácil de aprender, recordar y entender,
- conduce a simplificar los cálculos técnicos,
- permite optimizar los diseños, eliminando tamaños y tipos innecesarios,
- facilita las operaciones comerciales a niveles nacionales e internacionales.

Con fundamento en diferentes artículos de la Ley General de Normas y de Pesas y de Medidas, publicada en el Diario Oficial de la Federación con fecha de 7 de abril de 1961, la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial estableció con carácter de obligatoria, de orden público y jurisdicción federal, por regir el Sistema General de Medidas, la Norma Oficial Mexicana: Sistema General de Unidades de Medida. Sistema Internacional de Unidades (SI) .

El Sistema Internacional está integrado por tres clases de unidades: unidades de base, unidades suplementarias y unidades derivadas; las cuales, en su conjunto, forman un sistema coherente. También utiliza los prefijos para la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de estas unidades.

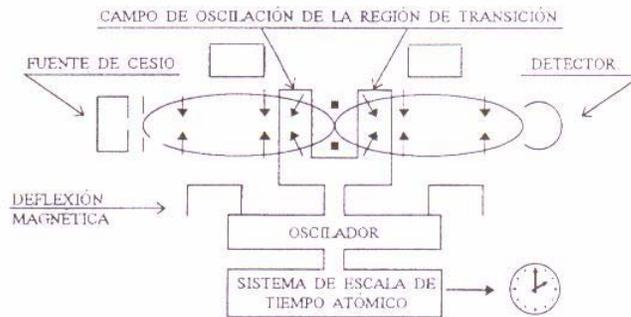
- **KILOGRAMO (kg)**. Es la masa correspondiente a la del prototipo internacional del kilogramo.

(1a. CGPM-1889 , 3a. CGPM-1901)

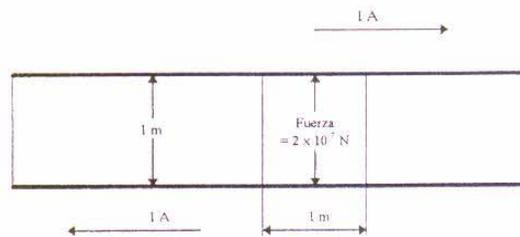


La masa del prototipo internacional es una aleación de platino e iridio (90% de platino y 10% de iridio), sancionado por la Conferencia General de Pesas y Medidas que se efectuó en París en 1889 y que se conserva en una bóveda en el pabellón de Breteuil, en Sevres, Francia, bajo la custodia de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas. Este prototipo es un cilindro de aproximadamente 38 milímetros de altura y 38 milímetros de diámetro, y existen duplicados del mismo en todos los laboratorios de normas importantes del mundo.

- **SEGUNDO (s)**. Es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles hiperfinos del átomo de Cesio-133. (13a. CGPM-1967)



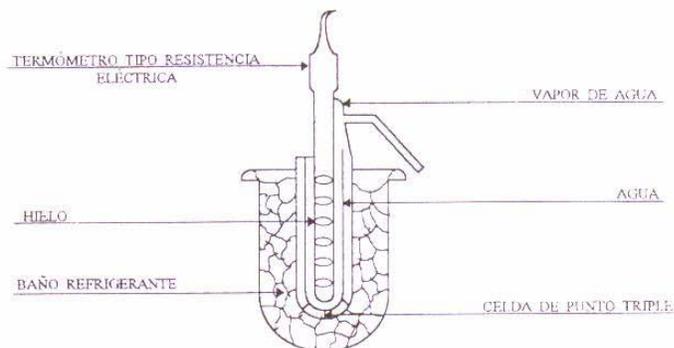
- **AMPERE (A)** . Es la intensidad de una corriente constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita y de sección circular despreciable, y colocados en el vacío a una distancia un metro uno del otro, producirá entre estos dos conductores una fuerza de magnitud igual a 2×10^{-7} newtons por metro de longitud. (9a. CGPM-1948). Ver más adelante la definición de la unidad Newton.



La fuerza producida se debe a los campos magnéticos de los conductores.

Esta unidad fue denominada así en honor del físico francés André Marie Ampere (1775-1836), quien midió y analizó en 1820 los efectos magnéticos más importantes producidos por el paso de corrientes eléctricas uniformes a través de conductores.

- **KELVIN (K)**. Es la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. (13a. CGPM-1967)



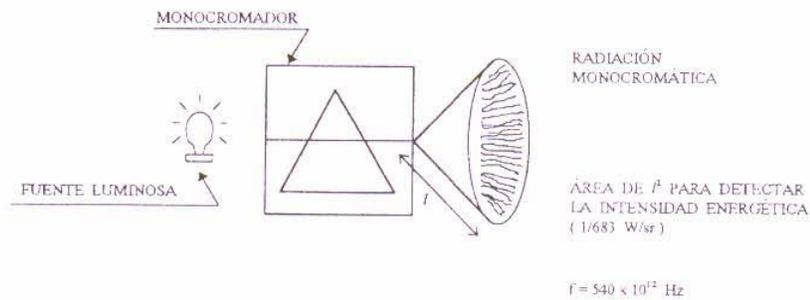
Se enfría el agua de la celda hasta que se comienza a formar hielo. A la temperatura resultante, en la que existen simultáneamente el hielo, el agua y el vapor de agua se le llama punto triple del agua y es igual a

273,16 grados kelvin, por definición. Este punto triple es igual a 0.01°C, por lo que la temperatura de 0°C es de 273.15 kelvin.

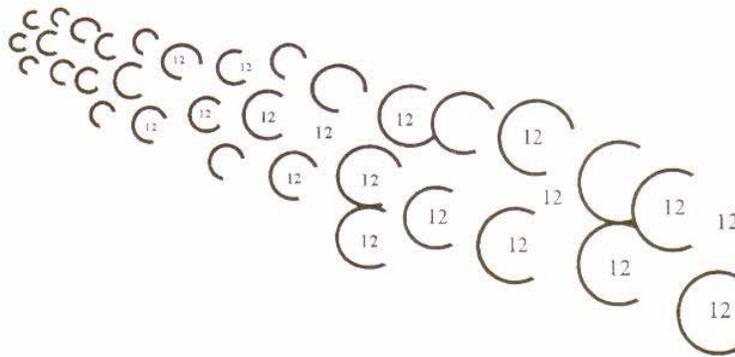
Se dio el nombre a esta unidad en honor del barón Willian Thomson Kelvin (1824-1907).

A la temperatura de 0°K se le denomina “punto absoluto”.

- **CANDELA (cd).** Es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertz y cuya intensidad energética en esa dirección es 1/683 watt por esterradián. (16a. CGPM-1979). Ver más adelante las definiciones de watt y esterradián.



- **MOL (mol).** Es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como existen átomos en 0.012 kilogramos de carbono 12. (14a. CGPM-1971)

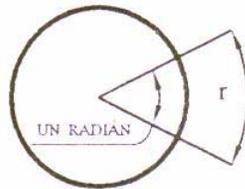


Al usar el mol se deben especificar las entidades elementales, que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de tales partículas.

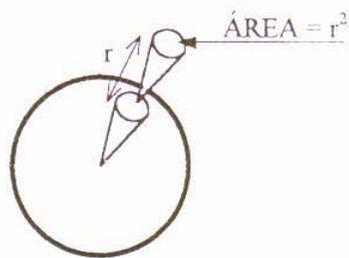
UNIDADES SUPLEMENTARIAS .

Son las unidades con las cuales no se ha tomado una decisión de si pertenecen a las unidades de base, o a las unidades derivadas; corresponden a las magnitudes de ángulo plano y de ángulo sólido, cuyos nombres son, respectivamente: radián y esterradián.

- **RADIÁN (rad)**. Es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo que intersecan, sobre la circunferencia de dicho círculo, un arco de longitud igual a la del radio.



- **ESTERRADIÁN (sr)**. Es el ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera, corta sobre dicha esfera una superficie de área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera.



UNIDADES DERIVADAS MAS COMUNES Y QUE TIENEN UN NOMBRE ESPECIAL .

Son las unidades que se forman combinando las unidades de base, o bien éstas y las suplementarias, según expresiones algebraicas que relacionan las magnitudes correspondientes. Muchas de estas expresiones algebraicas pueden ser reemplazadas por nombre y símbolo especiales, los cuales pueden ser utilizados para la formación de otras unidades derivadas.

Las unidades derivadas de las fundamentales consideradas en la norma técnica se clasifican en unidades: geométricas, de masa, de tiempo, mecánicas, eléctricas, magnéticas, caloríficas, ópticas, y de radiactividad.

A continuación enlistaremos algunas de ellas:

- METRO CUADRADO (m^2)

Unidad de área

Un metro cuadrado es el área de un cuadrado de un metro por lado. Esta unidad se deriva de la unidad fundamental metro.

- METRO CUBICO (m^3)

Unidad de volumen

Un metro cúbico es el volumen de un cubo de un metro por lado. Esta unidad se deriva de la unidad fundamental metro.

- METRO POR SEGUNDO (m/s)

Unidad de velocidad lineal

Un metro por segundo es la velocidad que tiene un cuerpo en movimiento que recorre un metro cada segundo. Esta unidad se deriva de las dos unidades fundamentales, metro y segundo.

- METRO POR SEGUNDO AL CUADRADO (m/s^2)

Unidad de aceleración lineal

Un metro por segundo al cuadrado es la aceleración que experimenta un cuerpo con movimiento acelerado, cuando cada segundo aumenta o disminuye la magnitud de su velocidad en un metro por segundo.

- RADIAN POR SEGUNDO (rad/s)

Unidad de velocidad angular

Un radián por segundo es la velocidad angular que tiene un cuerpo animado de un movimiento de rotación, de tal forma que efectúa en un segundo una rotación de un radián alrededor de un eje.

- RADIAN POR SEGUNDO AL CUADRADO (rad/s²)

Unidad de aceleración angular

Un radián por segundo al cuadrado es la aceleración angular que experimenta un cuerpo animado de movimiento de rotación acelerado cuya velocidad angular varía cada segundo en un radián por segundo.

- NEWTON (N)

Unidad de fuerza

Un newton es la magnitud de una fuerza que, al ser aplicada a un cuerpo de masa igual a un kilogramo, produce una aceleración lineal igual a un metro por segundo al cuadrado. [$N = kg \cdot m/s^2$].

Esta unidad se deriva de tres unidades fundamentales, el kilogramo, el metro, y el segundo. Recibió el nombre en honor del célebre físico inglés Sir Issac Newton (1643-1727) cuyas investigaciones le llevaron a efectuar importantes descubrimientos, así como realizar aportaciones muy valiosas, en diversas partes de la ciencia.

-PASCAL (Pa)

Unidad de presión y de esfuerzo

Un pascal es la presión uniforme que ejerce una fuerza de un newton, al actuar perpendicularmente en una superficie plana de área igual a un metro cuadrado. [$Pa = N/m^2$].

Esta unidad se deriva de una unidad fundamental (el metro) y de una unidad derivada (el newton). Su nombre proviene del físico y matemático francés Blas Pascal (1623-1662), a quien se considera fundador de la hidrodinámica.

- JOULE (J)

Unidad de energía, de trabajo y de cantidad de calor

Un joule es el trabajo que se realiza cuando se desplaza el punto de aplicación de una fuerza, cuya magnitud es igual a un newton, una distancia de un metro en la dirección de la fuerza. [$J = Nm$]

Esta unidad deriva su nombre del físico inglés James Prescott Joule (1818-1889), cuyas investigaciones lo condujeron a establecer la ley de la conservación de la energía.

-WATT (W)**Unidad de potencia y de flujo de calor**

Un watt es la potencia que da origen a la producción de energía a razón de un joule por segundo.

[$W = J/s$].

Esta unidad fue desarrollada por Wilhelm Siemens en 1882. Se deriva de la unidad fundamental segundo y la unidad derivada joule, y recibió su nombre en honor de James Watt (1736-1819), quien desarrolló la unidad conocida como caballo de fuerza.

-VOLT (V)**Unidad de potencial eléctrico y de fuerza electromotriz**

Un volt es la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos puntos de un conductor, por el que pasa una corriente de un ampere, cuando la potencia que se disipa entre esos dos puntos es igual a un watt. [$V = W/A$].

Esta unidad se deriva de la fundamental ampere y de la unidad derivada watt. Se le dio el nombre en honor del Conde Alessandro Giuseppe Volta (1745-1872), físico italiano que construyó la primera pila voltaica.

- OHM (Ω)**Unidad de resistencia eléctrica**

Un ohm es la resistencia eléctrica que hay entre dos puntos de un conductor cuando, al aplicar una diferencia de potencial constante de un volt entre los mismos puntos, se produce en el conductor una corriente de un ampere, no siendo el conductor fuente de fuerza electromotriz.

[$\Omega = V/A$].

Esta unidad se deriva de la unidad fundamental ampere y la unidad derivada volt. El nombre se le dio en honor al profesor Georg Simon Ohm (1787-1854), quien en sus clases en la Escuela Superior de Colonia, Alemania, efectuó las mediciones que establecieron la ley de Ohm.

- SIEMENS (S)**Unidad de conductancia eléctrica**

Un siemens es el recíproco de la resistencia de un ohm. [$S = 1/\Omega$].

Esta unidad se deriva de la unidad fundamental ampere y la unidad derivada volt, y es la inversa del ohm. Se le dio el nombre en honor de Karl Wilhem Siemens (1823-1883), ingeniero alemán que posteriormente adoptó la nacionalidad inglesa y que realizó varios inventos, entre ellos un proceso de depositación electrolítica, un gobernador cronométrico o diferencial para máquinas de vapor, y el dínamo o generador de corriente alterna.

- COULOMB (C)

Unidad de carga eléctrica

Un coulomb es la cantidad de electricidad que transporta, en un segundo, una corriente de un ampere. [$C = A \text{ s}$].

Esta unidad se deriva de las dos unidades fundamentales ampere y segundo. Su nombre se le dio en honor del físico francés Charles Augustin Coulomb (1736-1806), uno de los primeros investigadores de la electricidad y el magnetismo.

- HENRY (H)

Unidad de inductancia eléctrica

Un henry es la inductancia de un circuito cerrado en el cual se produce una fuerza electromotriz de un volt, cuando la corriente eléctrica que pasa por el circuito varía uniformemente a razón de un ampere por segundo. [$H = V \text{ s/A}$].

Esta unidad se deriva de dos unidades fundamentales, el ampere y el segundo, así como de una unidad derivada, el volt. Recibió su nombre en honor de Joseph Henry (1797-1878), físico estadounidense que descubrió los principios de la inducción eléctrica.

- FARAD (F)

Unidad de capacitancia eléctrica

Un farad es la capacidad de un capacitor o condensador entre cuyas placas se origina una diferencia de potencial de un volt, cuando se le carga con una cantidad de electricidad igual a un coulomb. [$F = C/V$], [$F = A \text{ s/V}$].

Esta unidad se deriva de dos unidades fundamentales, el ampere y el segundo, así como de la unidad derivada volt. Su nombre proviene del físico inglés Michael Faraday (1791-1867) cuyas investigaciones hicieron posible la creación del transformador eléctrico.

- WEBER (Wb)

Unidad de flujo magnético

Un weber es el flujo magnético que, ligando un circuito de una vuelta, produce en éste una fuerza electromotriz de un volt al reducirse a cero, a régimen uniforme, en un segundo. [$Wb = V \text{ s}$].

Esta unidad se deriva de la unidad fundamental segundo y de la unidad derivada volt. Recibió su nombre en honor del físico alemán Wilhelm Weber (1804-1891), quien descubrió la relación entre la electricidad y el magnetismo.

- HERTZ (Hz)

Unidad de frecuencia

Un hertz es la frecuencia de un fenómeno periódico, cuyo periodo es un segundo. Un hertz representa un ciclo o evento completo de un fenómeno repetitivo por segundo. [Hz = 1/s].

Esta unidad se deriva de la unidad fundamental segundo, y su nombre proviene del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), notable investigador en el campo de las ondas electromagnéticas.

- LUMEN (lm)

Unidad de flujo luminoso

Un lumen es el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido, de un esterradián, por una fuente uniforme de punto de intensidad de una candela situada en el vértice del ángulo sólido.

[lm = cd sr].

Esta unidad se deriva de una unidad fundamental el segundo y de otra suplementaria el esterradián.

- LUX (lx)

Unidad de iluminación

Un lux es la iluminación uniforme que produce un flujo luminoso de un lumen, en una superficie que tiene un área igual a un metro cuadrado. [lux = lm/m²], [lux = cd sr/m²].

Esta unidad se deriva de una fundamental (la candela), de una derivada (el metro cuadrado) y de una suplementaria (el esterradián).

- GRADO CELSIUS (°C)

Unidad de temperatura de la escala Celsius

Un grado Celsius (al que tradicionalmente se ha denominado como grado centígrado) es un grado de la escala de Celsius de temperaturas, en la cual la temperatura de congelación del agua es 0° y la de ebullición es 100°C.

El cero absoluto en esta escala es -273.16°C. [t_C = t_K - 273.16]

Esta unidad se deriva de una unidad fundamental, el kelvin, y su nombre proviene del astrónomo sueco Anders Celsius (1701-1744), primero que describió el termómetro centígrado ante la Academia Sueca de Ciencia en 1742.

Cabe mencionar que la energía se mide de la misma manera en sistemas mecánicos, eléctricos y magnéticos; como consecuencia la potencia se mide de la misma forma. Esto es posible, con base en la introducción de dos constantes, que tomadas aisladamente no tienen significado físico alguno.

Estas constantes son la permitividad del vacío (ϵ_0) y la permeabilidad del vacío (μ_0) las cuales se relacionan mediante la expresión:

$$c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2}$$

De esta manera: $\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2}$ [F/m], y,

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$$
 [H/m].

Adicionalmente, cabe señalar que el campo electromagnético se describe mediante cuatro vectores: \mathbf{E} , \mathbf{D} , \mathbf{B} , \mathbf{H} . De tal manera que:

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$$

Tuxpan No. 2, 8º piso, México 7, D.F. y Puente de Tecamachalco No. 6, Naucalpan, Estado de México. --- Prohibida su reproducción sin autorización de la DGN.

	DIRECCION GENERAL DE NORMAS RECOPIACION DE UNIDADES Y SIMBOLOS DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)	DGN Junio de 1981
---	--	---------------------------------

UNIDADES DE BASE							
MAGNITUD	Longitud	Tiempo	Masa	Temperatura	Corriente eléctrica	Intensidad luminosa	Cantidad de sustancia
UNIDAD	metro	segundo	kilogramo	kelvin	ampere	candela	mol
SIMBOLO	m	s	kg	K	A	cd	mol

UNIDADES SUPLEMENTARIAS		
MAGNITUD	Angulo plano	Angulo sólido
UNIDAD	radián	esterradian
SIMBOLO	rad	sr

UNIDADES DERIVADAS							
MAGNITUD	UNIDAD	DEFINICION	SIMBOLO	MAGNITUD	UNIDAD	DEFINICION	SIMBOLO
Superficie	metro cuadrado	m·m	m ²	Inductancia	henry	Wb/A	H
Volumen	metro cúbico	m·m·m	m ³	Inducción magnética	tesla	Wb/m ²	T
Velocidad	metro por segundo	m/s	m/s	Potencia	watt	J/s	W
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m/s ²	m/s ²	Diferencia de potencial	volt	W/A	V
Fuerza	newton	kg·m/s ²	N	Resistencia eléctrica	ohm	V/A	Ω
Presión	pascal	N/m ²	Pa	Conductancia eléctrica	siemens	A/V	S
Densidad	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³	kg/m ³	Capacitancia	farad	C/V	F
Momento de fuerza	newton metro	N·m	N·m	Actividad nuclear	becquerel	1/s	Bq
Momento de inercia	kilogramo metro cuadrado	kg·m·m	I	Frecuencia	hertz	1/s	Hz
Trabajo	joule	m·N	J	Carga eléctrica	coulomb	s·A	C
Dosis absorbida	gray	J/kg	Gy	Flujo luminoso	lumen	cd·sr	lm
Flujo magnético	weber	V·s	Wb	luminosidad	lux	lm/m ²	lx

PREFIJOS PARA OBTENER MULTIPLOS Y SUBMULTIPLOS DEL SISTEMA INTERNACIONAL																
PREFIJO	exa	peta	tera	giga	mega	kilo	hecto	deca	deci	centi	mili	micro	nano	pico	femto	atto
EQUIVALENCIA	10 ¹⁸	10 ¹⁵	10 ¹²	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ²	10 ¹	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁸
SIMBOLO	E	P	T	G	M	k	h	da	d	c	m	µ	n	p	f	a

EQUIVALENCIAS ENTRE DIFERENTES UNIDADES Y SISTEMAS	
FUERZA	ESFUERZO
1 N = 0,101 971 6 kgf	1 Pa = 1 N/m ²
1 daN = 1,019 716 kgf	10 ² kPa = 1 bar = 1,019 716 kgf/cm ²
1 kgf = 9,806 65 N	10 MPa = 1 hbar = 1,019 716 kgf/mm ²
	10 MPa = 1 hbar = 1 daN/mm ²

Referencias: La Direccion General de Normas de la Secretaría de Patrimonio

UNIDADES FUERA DEL SI (Uso frecuente)

MAGNITUD	UNIDAD	VALOR	SIM-BOLO	MAGNITUD	UNIDAD	VALOR	SIM-BOLO
Longitud	angström	10^{-10} m	Å	Volumen	litro	10^{-3} m ³	l
Angulo Plano	grado	$(\pi/180)$ rad	°	Masa	tonelada	10^3 kg	t
	minuto	$(\pi/10\ 800)$ rad	'	Tiempo	día	86 400 s	d
	segundo	$(\pi/648\ 000)$ rad	''		hora	3 600 s	h
Esfuerzo	bar	10^5 Pa	bar		minuto	60 s	min
Temperatura	Celsius	$t - T - 273,15$ K	°C	Superficie	hectárea	10^4 m ²	ha
Energía	electrovolt	$1,6\ 021\ 892 \times 10^{-19}$ J	eV	Superficie	área	10^2 m ²	a
Fuerza	kilogramo fuerza	9,806 65 N	kgf	Velocidad angular	revolución por minuto	$(1/60)$ 1/s	RPM
Presión	atmósfera normal	101 325 Pa	atm	Energía	erg	10^{-7} J	erg
Energía	caloría	4,186 8 J	cal	Fuerza	dina	10^{-5} N	dyn

DEFINICIONES DE UNIDADES DE BASE Y UNIDADES SUPLEMENTARIAS

El **metro** es la longitud igual a 1 650 763,73 longitudes de onda en el vacío de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{1/2}$ y $5d_{5/2}$ del átomo de kriptón - 86 (11^o CGPM 1960)

El **kilogramo** es la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo (1^o y 3^o CGPM 1889 y 1901)

El **segundo** es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del átomo de cesio - 133 (13^o CGPM 1967)

El **ampere** es la intensidad de una corriente constante que mantenida en dos conductores paralelos rectilíneos de longitud infinita, de sección circular despreciable, colocados a un metro de distancia entre sí, en el vacío, producirá entre estos conductores, una fuerza igual a 2×10^{-7} newtons por metro de longitud (9^o CGPM 1948)

El **kelvin** es la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (13^o CGPM 1967)

La **candela** es la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertz y cuya intensidad energética en esa dirección es $1/683$ watt por esterradián (16^o CGPM 1979)

El **mol** es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como existen átomos en 0,012 kg de carbono - 12. (14^o CGPM 1971)

El **radián** es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo y que interceptan sobre la circunferencia de este círculo, un arco de longitud igual a la del radio (Recomendación ISO-R31/1)

El **esterradián** es el ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera, corta sobre la superficie de esta esfera una área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera (Recomendación ISO-R31/1).

APENDICE D

(Continúa Apéndice D)

REGLAS GENERALES PARA LA ESCRITURA DE LOS SIMBOLOS DE LAS UNIDADES DEL SI

- 1.—Los símbolos de las unidades deben ser expresadas en caracteres romanos, en general minúsculas, con excepción de los símbolos que se derivan de nombres propios, en los cuales deben utilizarse los caracteres romanos mayúsculas por ejemplo: m; cd; K; A
- 2.—No se deberá colocar punto luego de los símbolos de las unidades.
Por ejemplo: m; kg; s; K
- 3.—Los símbolos de las unidades no deben pluralizarse.
Por ejemplo: 1 kg; 50 kg; 1 m; 15 m
- 4.—El signo de multiplicación para indicar el producto de dos o mas unidades debe ser de preferencia un punto. Este punto puede suprimirse cuando la falta de separación de los símbolos de las unidades que intervengan en el producto, no se preste a confusión
Por ejemplo: N.m ó N m también m.N pero no :mN que se confunde con millnewton
- 5.—Cuando una unidad derivada se forma por el cociente de dos unidades, se puede utilizar una línea inclinada, una línea horizontal o bien potencias negativas.
Por ejemplo: m/s, $\frac{m}{s}$ ó $m s^{-1}$
- 6.—No deberá utilizarse mas de una línea inclinada a menos que se agreguen parentesis. En los casos complicados, deben utilizarse potencias negativas o peréntesis.
Por ejemplo: m/s^2 ó $m \cdot s^{-2}$ pero no $m/s/s$
 $m \cdot kg/(s^3 \cdot A)$ ó $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$ pero no: $m \cdot kg/s^3/A$
- 7.—Los múltiplos y submúltiplos de las unidades se forman anteponiendo al nombre de éstas, los prefijos correspondientes con excepción de los nombres de los múltiplos y submúltiplos de la unidad de masa en los cuales los prefijos se antepondrán a la palabra "gramo"
Por ejemplo: dag; Mg
- 8.—Los símbolos de los prefijos deben ser impresos en caracteres romanos (rectos), sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad.
Por ejemplo: mN y no m N
- 9.—Si un símbolo que contiene a un prefijo está afectado de un exponente, indica que el múltiplo o el submúltiplo de la unidad está elevado a la potencia expresada por el exponente.
Por ejemplo: $1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$
 $1 \text{ cm}^{-1} = (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1}$
- 10.—Los prefijos compuestos, deben evitarse.
Por ejemplo: 1 nm pero no; 1mm