

# REDEFINICIÓN DEL KILOGRAMO

Tovar Zarate Luis Javier, Becerra Luis Omar, Hernández Ignacio  
Centro Nacional de Metrología  
ltovar@cenam.mx

**Resumen:** El siguiente trabajo presenta la posible nueva definición de la unidad de masa, el kilogramo, asociando su valor a constantes físicas como lo son la *Constante de Planck* ( $h$ ) o el *Número de Avogadro* ( $N_A$ ) a partir de mediciones físicas variables. Se describe la importancia de la medición y el cómo dicha modificación tiene efecto sobre la Metrología y el público en general.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Sistema Internacional de Unidades (SI) está formado por siete unidades base: el metro, el kilogramo, el segundo, el ampere, el kelvin, la mol y la candela, cada una de las cuales corresponden a las siete magnitudes de base: longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa.

Con la finalidad de ligar dichas unidades (o algunas de ellas) a valores de constantes fundamentales ya conocidos y estudiados, en octubre del 2005, se contempló la recomendación de preparar los pasos para la redefinición del ampere, el kelvin, la mol y el kilogramo; el cual podría ser redefinido en función de la constante de Planck  $h$ , o bien, del número de Avogadro  $N_A$ .

La definición actual de la unidad de masa fue establecida en la 3ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en 1901 (BIPM, 1998) como:

*"El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo".*

## 2. DESARROLLO

### 2.1. Antecedentes

Actualmente, el kilogramo, prototipo internacional  $\mathcal{K}$  está conservado en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) y consiste de un cilindro de 39 mm de diámetro por 39 mm de altura aproximadamente, fabricado de una aleación de 90 % de platino y 10 % de iridio. Las masas de los patrones secundarios de 1 kg de la misma aleación o de acero inoxidable son comparadas contra la masa del prototipo mediante el uso de una balanza con una incertidumbre relativa del orden de  $1 \times 10^{-9}$ .

En México, el Centro Nacional de Metrología (CENAM) es el responsable de generar la escala nacional de masa, la cual está ligada al prototipo internacional del kilogramo  $\mathcal{K}$  a través del prototipo de platino iridio identificado con el No. 21 (k21), cuyo valor ha sido determinado en las verificaciones periódicas organizadas por el BIPM y establecidas por la CGPM (Girad, 1994).

La diseminación de la exactitud de la unidad de masa hacia los usuarios en general, se da a través de patrones de masa de valor nominal de 1 mg a 1 000 kg, cuyos valores son referidos al k21. Mediante dichos patrones se calibran pesas e instrumentos para pesar que son los utilizados para las mediciones de masa en las actividades económicas, productivas, educativas, sociales, de investigación y de salud del país (metrología industrial, legal y científica). Es decir, La masa de referencia definida es utilizada para calibrar los patrones nacionales fabricados en la aleación de platino iridio. Para el caso de la calibración de patrones de masa fabricados en acero inoxidable, la incertidumbre es del orden de  $1 \times 10^{-8}$  debido a la Contribución de incertidumbre del empuje del aire.

### 2.2. Importancia de la redefinición

Debido a que la masa del prototipo internacional  $\mathcal{K}$  se incrementa por aproximadamente 1 parte en 109 por año debido a la acumulación de contaminantes en su superficie, el CIPM declara que su valor es aquel resultante después de haber sido aplicado un procedimiento específico de limpieza y de lavado.

Su deriva únicamente puede ser estimada en función de la comparación en masa de éste contra copias fabricadas en platino iridio, copias oficiales del BIPM o patrones nacionales de diferentes países. A la fecha, se ha observado que la deriva anual de los patrones de platino iridio es en promedio de entre

0.25  $\mu\text{g/año}$  a 0.9  $\mu\text{g/año}$  en función del uso y los cuidados de los que fue objeto. Se estima sin embargo; que ésta puede llegar a tener una variación de masa de hasta 50  $\mu\text{g}$  en un siglo en el prototipo internacional  $\mathcal{K}$

El hecho de definir las unidades del SI en función de constantes físicas disminuye la deriva del valor de referencia y la incertidumbre asociada a esta deriva.

### 2.3. Redefinición del kilogramo

La intención de que la unidad de la magnitud de masa esté relacionada a alguna constante física ha generado proyectos mediante los cuales es posible monitorear la deriva del prototipo internacional del kilogramo  $\mathcal{K}$  y por lo tanto posibilitar el cambio de la actual definición del kilogramo. Entre los más importantes destacan:

- La balanza de Watt (Constante de Planck,  $h$ ).
- El Número de Avogadro,  $N_A$ .

Actualmente la incertidumbre declarada para la determinación de  $h$  en el experimento de la Balanza de Watt es de  $8.7 \times 10^{-8}$  y la incertidumbre reportada para la determinación de  $h$  para el Proyecto de Avogadro Internacional es de  $3.2 \times 10^{-7}$ , sin embargo existe una inconsistencia entre ellos al relacionar la constante de Planck  $h$  con el número de Avogadro  $N_A$  del orden de  $1 \times 10^{-6}$ , (Taylor & Mohr, 1999).

La tendencia del CCU (Comité Consultivo para las Unidades) es que la nueva definición del kilogramo este referida a **la constante de Planck**.

La posible nueva definición del kilogramo que actualmente se maneja en el borrador del documento del Sistema Internacional de Unidades con la participación del CCU, es la siguiente:

**El kilogramo se define al tomar como valor numérico fijo la constante de Planck  $h$  como 6.626 070 040  $\times 10^{-34}$  expresada en J s, la cual es igual a  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ , donde el metro y el segundo están definidos en términos de la velocidad de la luz  $c$ , y la frecuencia de transición hiperfina del estado fundamental del átomo de cesio 133  $\Delta\nu_{Cs}$ .**

Teniendo todas las constantes incertidumbres cero ( $h$ ,  $c$ ,  $\Delta\nu_{Cs}$ )

$$\text{kg} = \left( \frac{h}{6.626\,069\,57 \times 10^{-34}} \right) \text{m}^{-2}\text{s} = 1.475\,521 \dots \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{Cs}}{c^2}$$

Ec. 1 Redefinición del kilogramo.

### 2.4. Impacto de la redefinición

Con el cambio de la definición de la unidad de masa, kilogramo, ligada a la constante de Planck, se reduciría e incluso eliminaría la incertidumbre de la deriva asociada al valor de la definición la cual actualmente no es considerada (la deriva de la masa del kilogramo internacional).

Los usuarios de los valores de masa no se verán afectados por la nueva definición, ya que ésta será coherente con el valor actual del prototipo internacional del kilogramo  $\mathcal{K}$

## 3. CONCLUSIONES

Una vez definida la unidad de masa, kilogramo, los patrones de Pt-Ir de los diferentes países, incluido el k21, k90 y k96 de México, deberán ser enviados a alguno de los Institutos en donde se encuentre activo el proyecto seleccionado para reproducir al kilogramo para ser recalibrados y obtener trazabilidad en el valor de masa.

A partir de dicha referencia re-calibrada, CENAM realizará la transferencia de exactitud hacia los patrones de acero inoxidable y el resto de la escala nacional de masa y actividades que actualmente, por lo que el efecto del cambio de la definición del kilogramo no será percibido significativamente en los usuarios finales de la metrología de masa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Becerra Luis Omar, Hernández Ignacio. "Sobre La Redefinición del kilogramo" Ingeniería 19 (2): 123-134, ISSN: 1409-2441; 2009. San José, Costa Rica.
- Girard, G. (1994). International Report: The third periodic verification of the national prototypes of the kilogram (1988-1992). Metrologia, 31(4), 317-336.
- Taylor, B. N. & Mohr, P. J. (1999). On the redefinition of the kilogram. Metrologia, 36(1), 63-64. [www.bipm.fr/utills/common/pdf/CCEM24.pdf](http://www.bipm.fr/utills/common/pdf/CCEM24.pdf).