

# APLICACIÓN DE UN DISEÑO ORTOGONAL PARA LA CALIBRACIÓN DE UN CONJUNTO DE PESAS DE 1 kg A 100 g

Alarcón, Hugo E., Becerra, Luis O.  
 Centro Nacional de Metrología  
 km 4.5 Carretera a Los Cués, Municipio El Marqués, Qro. C.P. 76246 México  
 (442)2110500 al 3527 correo: halarcon@cenam.mx

**Resumen:** El presente trabajo estudia los métodos de subdivisión para la diseminación de la unidad de masa el kilogramo. Se hace énfasis en el método ortogonal y se compara con el método Gauss Markov. Se realizaron calibraciones, así como el cálculo de incertidumbre para ambos métodos.

## 1. INTRODUCCIÓN

En metrología de masa, el uso de los modelos de subdivisión/multiplicación del kilogramo es una necesidad ya que la trazabilidad de los valores de masa hacia la definición del kilogramo, es a través de los prototipos de platino iridio de valor nominal 1 kg, para el caso de México: el k21. Por lo tanto, para generar la escala de masa, la calibración de pesas de los diferentes valores nominales desde 1 mg hasta 1 000 kg o mayores, se requiere comparar pesas de igual valor nominal o una pesa contra un grupo de pesas que en conjunto formen el mismo valor nominal.

Este tipo de modelos de subdivisión/multiplicación se realizan mediante una serie de comparaciones que a su vez generan un número igual de ecuaciones, donde las incógnitas son los valores de masa de las pesas (a excepción de la pesa patrón involucrada). Generalmente estos modelos se utilizan por décadas, las cuales se dividen de la siguiente manera: 1 kg a 100 g, 100 g a 10 g. etc.

El sistema de ecuaciones se resuelve para encontrar los valores de masa de cada una de las pesas que satisfacen la serie de comparaciones dentro de ciertos criterios de ajuste, ya que en la mayoría de los casos se utilizan sistemas de ecuaciones sobre determinados.

La solución de estos sistemas implica un mayor número de mediciones y uso de matemáticas más complejas que para la calibración de pesas por comparación una a una, sin embargo, debido a la necesidad de generar la escala de masa a partir de 1 kg y a la posibilidad de obtener resultados confiables al introducir patrones de verificación, estos métodos son recomendados para calibración de pesas clase OIML E<sub>1</sub> [1].

En el presente trabajo se analiza principalmente el método de subdivisión ortogonal, del cual, se comparan los resultados obtenidos con los resultados del método de Gauss Markov.

## 2. MÉTODO DE SUBDIVISIÓN

### 2.1 Método ortogonal

Este método utiliza las ecuaciones (1) y (2) para una matriz de diseño X especialmente elegida para obtener valores no correlacionados en la matriz varianza-covarianza.

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (1)$$

En donde los elementos del vector  $\hat{\beta}$ , son los valores de masa que se reportan como correcciones.

La matriz de varianza-covarianza se obtiene de la siguiente expresión:

$$\text{cov}(\hat{\beta}) = (X^T X)^{-1} \sigma^2 \quad (2)$$

La matriz de covarianza, ec. (2) contiene en la diagonal principal las varianzas de las pesas y en los demás elementos las covarianzas entre las pesas [2].

El método mencionado es tratado con mayor profundidad en [3].

## 3. RESULTADOS

En este trabajo se presentarán los resultados de la calibración que comprende la década de pesada de 1 kg a 100 g para pesas de clase de exactitud E<sub>1</sub>. Los cuales, se obtienen a través del método de

subdivisión Ortogonal; dichos resultados se comparan con los resultados obtenidos de los cálculos del método de subdivisión Gauss Markov.

#### 4. DISCUSIÓN

Con relación a los estimados de la masa de las pesas, las diferencias entre los estimados de las diferentes soluciones matriciales coinciden dentro del valor de incertidumbre combinada de la diferencia (error normalizado) a un nivel de confianza de aproximadamente el 95 %.

Se desarrolla un análisis de la eficiencia de los métodos de subdivisión donde se hace énfasis en el método Ortogonal, en el cual, se destacan sus cualidades, así como sus características con respecto a los diferentes modelos de subdivisión [4,5].

#### 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló el método Ortogonal para la comparación directa contra los resultados que se derivan del método de Gauss Markov, con el objetivo de obtener las diferencias entre los métodos de subdivisión más comunes (como lo es GM) contra uno de los métodos menos comunes (Ortogonal) para este caso en referencia a calibración de pesas con clase de exactitud  $E_1$ .

Con los resultados de este trabajo, se pueden apreciar las cualidades del método de subdivisión Ortogonal. Así como las ventajas y desventajas de la aplicación del mismo.

#### REFERENCIAS

- [1] OIML R-111-1 Weights of classes  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  $M_{2-3}$ , and  $M_3$  – Part 1: Metrological and technical requirements. Edition 2004.
- [2] G.D Chapman, NRC – CNRC Orthogonal Designs for Calibrating Kilogram Submultiples, 2004.
- [3] L. J. Ramírez, L. O. Becerra, L. M. Peña – Informe sobre el estudio de los diferentes métodos de calibración de los submúltiplos del kilogramo – Proyecto del programa SIDEPRO. Jun 2007- Jun 2008, Tesis para la Universidad de Costa Rica, Ingeniería Química.
- [4] W Bich, Variances, Covariances and Restraints in Mass Metrology, *Metrologia* 27, 1990, 111-116.
- [5] W Bich, The assessment of uncertainty in mass calibration at national laboratory level, EUROMET Project 231, 1994.