

# MEDICIONES DE ALTA EXACTITUD DEL VALOR ABSOLUTO DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD ( $g$ ), EN EL CENAM

Alfredo Esparza Ramírez, Jorge C. Torres Guzmán,  
Centro Nacional de Metrología  
aesparza@cenam.mx; jtorres@cenam.mx;  
Jorge A. Arzate Flores  
Centro de Geociencias-UNAM Campus Juriquilla  
arzatej@geociencias.unam.mx

**Resumen:** Los beneficios de las mediciones de gravedad absoluta están siendo aprovechados en diferentes ramas de la ciencia y la tecnología. El CENAM a través del Área de Fuerza y Presión, de la Dirección de Metrología Mecánica (del CENAM) construyó la infraestructura requerida para el establecimiento de un Laboratorio de Gravimetría y adquirió un gravímetro para la medición absoluta de la aceleración de la gravedad mediante el método de caída libre. En este trabajo se presenta un panorama general de las características del Laboratorio de  $\mu$ -gravimetría, de las capacidades de medición de la aceleración de la gravedad con la más alta exactitud y de la posibilidad de realizar estas mediciones fuera del laboratorio con incertidumbres de  $5 \times 10^{-8}$  m/s<sup>2</sup>.

## 1. INTRODUCCIÓN

La aceleración de la gravedad es una magnitud que varía de un lugar a otro e igualmente puede variar con el tiempo. Su valor es de interés en campos de las ciencias físicas, en metrología, en aplicaciones cartográficas y en estudios geodinámicos entre otros. Las mediciones de  $g$  absoluta son particularmente sensibles a cambios de altura por lo que proporciona una metodología para definir y controlar el *datum* de alturas verticales (Timmen, 2010). La precisión de una red de estaciones gravimétricas es independiente de la extensión geográfica, lo que permite aplicaciones a escalas local, regional y global sin demérito en la calidad.

Una red de estaciones gravimétricas constituye una forma independiente de verificación de desplazamientos verticales medidos geoméricamente con GPS (*Global Positioning System*), VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) o SLR (*Satellite Laser Ranging*) (Timmen, 2010). La combinación de mediciones gravimétricas y geodésicas puede ayudar a discriminar entre movimientos de masa en el subsuelo y movimientos asociados con o sin deformación superficial (*ibid.*)

En metrología, la aceleración de la gravedad tiene influencia en las mediciones de fuerza y en la medición de presión, tanto en masas suspendidas como en la medición mediante columna de líquido. Por esta razón, la medición precisa de  $g$  absoluta incide en la determinación de las normas derivadas del kilogramo y juega un papel en el establecimiento de la nueva definición del kilogramo.

## 2. DEFINICIÓN DE GRAVEDAD Y EL MÉTODO DE MEDICIÓN ABSOLUTO

Las unidades del SI que describen el campo gravitacional para la aceleración, en caída libre, son m/s<sup>2</sup> y para el gradiente vertical 1/s<sup>2</sup>. Por conveniencia, la unidad de medición de la aceleración de la gravedad medida por instrumentos de precisión, como el instrumento de gravedad absoluta, es el Gal en donde 1 Gal = 1 cm/s<sup>2</sup>.

### 2.1. Gravímetro de caída libre

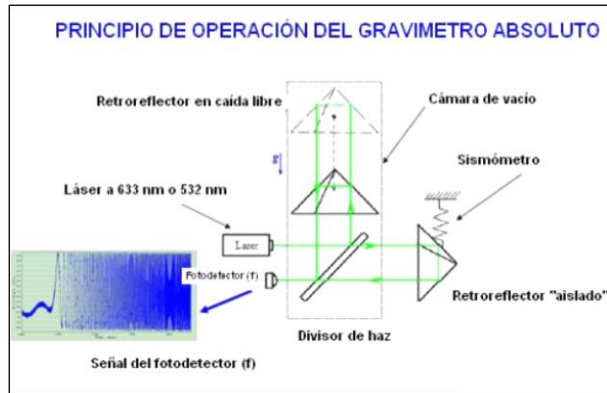
Existen dos tipos diferentes de medidores absolutos de la aceleración de la gravedad: a) los de caída libre o tiro parabólico y b) los atómicos.

El gravímetro de gravedad absoluta adquirido por el CENAM es del tipo de caída libre por lo que aquí nos concentramos en éste tipo. Los gravímetros de caída libre son conocidos como balísticos porque involucran un proyectil que sigue una trayectoria lineal o parabólica. En 2004, la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) determinó al método balístico de “caída libre” como el método primario para medir la aceleración de la gravedad y definió las redes gravimétricas, como “materiales de referencia” y a su vez patrones de transferencia secundarios.

Las componentes de un gravímetro de caída libre, cuyo diagrama de operación se muestra en la Fig. 1, lo conforman los siguientes sistemas y partes:

- Sistema de lanzamiento del objeto
- Cámara al vacío para el lanzamiento del proyectil

- c) Interferómetro láser para la medición del trayecto recorrido por el objeto
- d) Reloj atómico para la medición del tiempo
- e) Sistema de aislamiento sísmico
- f) Sistema de control y adquisición de datos
- g) Modelo para la estimación del valor de  $g$  y sus correcciones e incertidumbre.



**Fig. 1.** Principio de operación del medidor absoluto de caída libre para medición del valor de  $g$ .

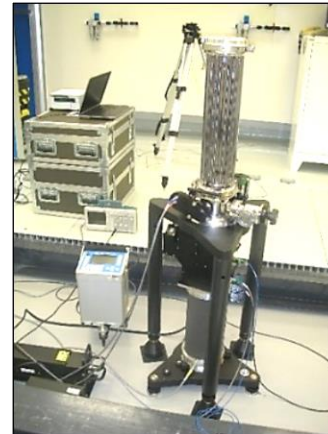
**2.2. Laboratorio de  $\mu$ -gravimetría: referencia para mediciones absolutas de la aceleración de la gravedad**

Para las mediciones absolutas de la aceleración de la gravedad fue necesario diseñar y construir un laboratorio especial, con una mesa de concreto para aislar las vibraciones del medio ambiente (ver Fig. 2) y sobre la cual se realizan las mediciones de  $g$ . Esta masa de concreto sin armadura de acero está construida en la parte inferior del laboratorio, pesa aproximadamente 70 toneladas y mide 5 m x 3 m x 2.1 m. Las condiciones de estabilidad mecánica combinadas con condiciones controladas de temperatura  $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  en el interior del mismo, permiten llevar a cabo mediciones de  $g$  de muy alta precisión.



**Fig. 2.** Masa de concreto para medición absoluta de la aceleración de la gravedad.

Parte del equipamiento del laboratorio de  $\mu$ -g se tiene un medidor de gravedad absoluta (FG5X-252, marca Micro-g) con incertidumbres de medición de  $2 \mu\text{Gal}$ , un medidor relativo de  $g$  (CG5 marca Scintrex) y un sistema de posicionamiento global (GPS) diferencial y dinámico (RTK) para geo-referenciación (Figura 3).



**Fig. 3.** Medidor absoluto y relativo de la aceleración de la gravedad.

**3. RESULTADOS**

Se ha diseñado, construido e implementado el Laboratorio de Gravedad Absoluta en el CENAM. Se llevaron a cabo experimentos del instrumento para verificar su funcionamiento variando parámetros como son: verticalidad de la masa de caída, temperatura y humedad del laboratorio, correcciones debidas a la posición geográfica del lugar (latitud, longitud y altura elipsoidal), modelo de corrección por mareas oceánicas y por el movimiento polar de la Tierra. Se determinaron los parámetros óptimos para la obtención de  $g$  con la finalidad de obtener una incertidumbre en la medición que oscila entre  $2 \mu\text{Gal}$  y  $5 \mu\text{Gal}$ .

De igual forma, se realizó una comparación del gravímetro con un instrumento del mismo tipo que ha sido utilizado como referencia internacional y que pertenece a la Universidad Leibniz de Hannover (FG5-X220).

A principios de este año, se llevó a cabo el re-establecimiento de una red de estaciones de  $g$  absoluta medida hace 20 años en el oeste de México, cuyo objetivo fue medir los cambios en el valor de  $g$  absoluta en 5 estaciones y con esto la posibilidad de evidenciar el levantamiento tectónico de la zona. (Ferrari, L. et al. 1994; Pardo, M. et al. 1995; Bandy, W. et al. 1995, Corbo F. et al. 2013)