

Resultados Preliminares de la Comparación Internacional de Gravímetros Absolutos ICAG2001 con el FG5#211.

Preliminary Results of the International Comparison of Absolute Gravimeters ICAG2001 with the FG5#211.

Enrique Rodríguez Pujol⁽¹⁾, María del Carmen Fernández Villalta⁽¹⁾, Eduardo Núñez Maderal⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Geográfico Nacional. General Ibáñez Ibero 3, 28003 MADRID.

SUMMARY

Since 1981 Institutions from several countries gathered to measure absolute gravity every four years in Sèvres at the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Different absolute gravimeters try to obtain a reference pattern in the measurement of g . In July 2001 took place the sixth International Comparison of Absolute Gravimeters ICAG2001. In this article we show the preliminary results with the absolute gravimeter FG5#211 with which the National Geographic Institute of Spain participated for the first time.

INTRODUCCIÓN

Desde el año 1960 en que Faller desarrolló su primer prototipo, se vienen fabricando nuevas generaciones de equipos de medición absoluta de aceleración de la gravedad. Son equipos que miden la aceleración de la gravedad tomando pares de tiempo y distancia de un cuerpo en caída libre, llegando a precisiones de $1 \mu\text{Gal}$ ($1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$).

Tras la adquisición del equipo de gravedad absoluta FG5#211 (fabricado por la empresa estadounidense *Micro-g Solutions, Inc.*) a finales del año 2000, el primer objetivo marcado por el Instituto Geográfico Nacional es el de validar en el ámbito internacional la calidad de los resultados obtenidos con él. Asistir a la Sexta Intercomparación Internacional de Gravímetros Absolutos (ICAG2001) celebrada en Sèvres, París, en Julio de 2001. Esta intercomparación se viene celebrando habitualmente cada cuatro años en el Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) desde 1981.

El objetivo de ICAG2001 será, como en ocasiones anteriores, encontrar el valor más probable de g para un mismo punto utilizando diferentes gravímetros. Se busca la exactitud en la medida de la gravedad utilizando los equipos más precisos que existen hasta el momento. Este equipo de absolutas incorpora componentes de medida de tiempo y de distancia de muy alta precisión que serán calibrados con patrones más estables en el BIPM.

ANTECEDENTES

Con el FG5#211 se pretende observar la nueva Red Gravimétrica Española de Absolutas de Orden Cero (REGA) que estará constituida por al menos 20 estaciones peninsulares y 11 insulares (una en cada isla principal). La primera observación se ha realizado en un pilar contiguo al utilizado por Barraquer en su determinación absoluta mediante dos gravímetros Repsold. Asimismo se han observado ya las estaciones de IGN (Laboratorio de Gravimetría), San Pablo de los Montes, Sonseca y dos estaciones en el Centro Español de Metrología. Las aplicaciones principales de las medidas absolutas de la gravedad se pueden enclavar en los campos de la Geodesia, Geofísica, Geodinámica terrestre y Metrología.

Es un gravímetro de absolutas que utiliza la técnica de medida de caída libre. Una esquina de prisma cúbico cae en una cámara en donde se ha hecho el vacío. Utiliza un interferómetro in-line, que lo diferencia de los antiguos diseños, proporcionando una mayor estabilidad en las medidas. El FG5 emplea un sistema de referencia inercial denominado SuperSpring que aísla las medidas de las vibraciones de alta frecuencia del suelo. La utilización de un estándar en longitud como es el láser de HeNe estabilizado en frecuencia (precisión en frecuencia absoluta de 1 parte en 10^{10}) y en tiempo, un reloj atómico (incertidumbre de 5 partes en 10^{11}), hace que los resultados obtenidos con él alcancen las mejores precisiones

obtenidas hasta el momento, con una incertidumbre instrumental individual de una medida de $1.1 \mu\text{Gal}$ (T.M. Niebauer, et al., 1995). Es un equipo construido para ser portable con un peso aproximado de 240 kg repartidos en ocho cajas.

Las comparaciones de gravímetros absolutos datan del año 1976 en Sèvres, habiéndose celebrado cinco desde entonces. Desde 1981 la IAG reconoce la necesidad de comparaciones periódicas de gravímetros absolutos para detectar posibles errores sistemáticos y definir el nivel de exactitud de la metodología. Los resultados finales están reducidos al punto A0 a la altura de 90 cm.

SEXTA INTERCOMPARACIÓN ICAG2001

Para asistir a la ICAG2001 con el FG5#211, uno de los puntos fundamentales es el mantenimiento adecuado del nivel de vacío en el interior de la cámara de caída libre. El equipo mantiene la presión de vacío utilizando una bomba iónica por debajo de 1×10^{-4} Pa (Niebauer T.M. et al (1995) por lo que debe estar conectada a un suministro eléctrico las 24 horas del día.

En la Tabla 1 podemos ver los grupos de trabajo que asistieron a ICAG2001. El gravímetro del BIPM (FG5#108) estuvo midiendo 24 horas al día durante toda la campaña para tener un registro continuo con el fin de detectar posibles anomalías en el campo de la gravedad. El esquema de medidas consistirá en observar una red de 5 puntos (puntos B, B1 y B2 en Pavillon du Mail, A y A2 en el Observatorio) con los 14 gravímetros participantes.

Tabla 1. Participantes en ICAG2001

Julio 2001	Grupo	Gravímetro
del 2- 7 Grupo 1	J. Hinderer // Strasbourg, Francia D. Ruess // Viena, Austria	FG5#206 JILAg-6
del 9-14 Grupo 2	J Liard // Ottawa, Canada E.R. Pujol // Madrid, España I.Robinson // Teddington, UK D. Newel // USA	JILA-2 FG5#211 FG5#105 FG5#204
del 18- 22 Grupo 3	S.Williams // Bidston, UK J. Maakinen// Masala, Finlandia Ph.Richard M. V. Camp// Bélgica	FG5#103 JILAg-5 FG5#209 FG5#202
del 25- 28 Grupo 4	R. Falk // Frankfurt, Alemania S. Mizushima	FG5#101 y FG5#301 FG5#213
del 1-30	L. Vitushkin// BIPM	FG5#108

Basándonos en la agenda preparada y en los requisitos de cálculo para las observaciones, nuestro trabajo consistió en medir en tres puntos: A y A2 en el Observatorio y B en el Pavillon du Mail.

El objetivo de la ICAG2001 es conseguir una estimación experimental del nivel de exactitud de los gravímetros absolutos. Esta estimación se obtiene al dar una solución media con todas las medidas realizadas reducidas a un punto y a una altura determinada (las ideas básicas del cálculo las encontramos en Becker M. 1990).

Para el cálculo se ha adoptado el software "g", de *Micro-g Solutions, Inc.*. Con el fin de observar durante 24 horas (requisito mínimo de tiempo de medición en cada punto), el equipo es programado para realizar 24 series de 100 caídas cada una, para obtener un resultado estadísticamente consistente.

El valor de la aceleración de la gravedad a_j , observado en el tiempo T_j , es corregido para obtener la gravedad g_j en cada caída de la siguiente forma (de acuerdo con los estándares de procesos de datos para la "International Absolute Gravity Basestation Network" IAGBN, International Gravity Comisión, Boedecker 1988 y siguiendo la notación de Sasagawa et al. 1995):

$$g_j = a_j + \delta g_{MT} + \delta g_{CO} + \delta g_{MP} + \delta g_{ATM} + \delta g_{DATUM} \quad [1]$$

donde los dos primeros términos δg_{MT} y δg_{CO} , son las correcciones debidas a marea terrestre y carga oceánica cuyo efecto se corrige empleando el programa ETGTAB (L. Timmen y H.G. Wenzel, 1994) en el cual se aplica el modelo de potencial de Tamura de 1987 y unas predicciones de marea (modelo semiempírico) utilizando los parámetros observados en Sèvres proporcionados por el International Centre for Earth Tides (ICET), que presentamos en la Tabla 2.

El siguiente término δg_{MP} corrige del movimiento del polo utilizando para esto las coordenadas diarias x , y del polo publicadas por el IERS (International Earth Rotation Service). Para el término δg_{ATM} se aplica la corrección de $-0.3 \mu\text{Gal}/\text{mbar}$ para variaciones de presión sobre un modelo de presión estándar en función de la altura del lugar. El último término, δg_{DATUM} es la reducción a un datum común de altura.

Para aplicar estas reducciones a un datum común se utilizan los gravímetros relativos que también participan en ICAG2001, proporcionando gradientes verticales de la gravedad para cada punto

observado. Estos valores también son aplicados en el procesado de los gravímetros absolutos (Robertson L. et al. 2001).

Durante la semana de trabajo en el BIPM, se realizaron las calibraciones del láser y del reloj del FG5#211. El láser que utiliza es el WEO Model 100 serie 176 de He-Ne con una $\lambda \approx 633 \text{ nm}$. Se ha realizado la calibración con el láser BIPM4 estabilizado, alcanzando los requerimientos del sistema (Niebauer T.M. et al. 1995) con una incertidumbre en la media de las frecuencias comparadas de 3 partes en 10^{-11} .

Para el reloj atómico de rubidio se ha empleado el método Standford Research System 620/1 utilizando como fuente de referencia el reloj de rubidio del BIPM estabilizado con un oscilador de cesio. El resultado es la determinación de la frecuencia del reloj de $f = 9.999\,999\,995\,05 \text{ MHz}$ con una desviación estándar de 0.15 mHz.

RESULTADOS PRELIMINARES

En la Tabla 3 se pueden ver los resultados obtenidos con el FG5#211. El resultado en el punto B es de $980\,928\,012.40 \mu\text{Gal}$ con una incertidumbre de $1.26 \mu\text{Gal}$. Ha sido calculado a partir de 78 series de 100 caídas cada serie, la altura instrumental es de 1.294 m. El gradiente en este punto es de $-2.957 \mu\text{Gal}/\text{cm}$ que sirve para transferir la gravedad observada a la altura de referencia común de 0.9 m.

Como podemos ver, contamos con medidas redundantes en cada punto. En la columna (h / m) aparece la altura de medida efectiva (Niebauer T.M., 1989) del FG5#211 y a continuación el valor observado a esta altura con su correspondiente desviación estándar $u(\text{serie})$ de la media de la serie. Incluimos también los gradientes verticales de la gravedad observados con los gravímetros relativos Lacoste & Romberg que asistieron a ICAG2001. Las dos últimas columnas corresponden a la reducción al DATUM de 0.9 m con el resultado final de g .

Date (2001)	Instrument	Site	#sets /#drops	h / m	$g (h) / \mu\text{Gal}$	$u (\text{set})$ μGal	LS gradient		$g (0.9 \text{ m}) / \mu\text{Gal}$
							(1.2 m) $\mu\text{Gal}/\text{m}$	Transfer / μGal	
				offset	980 925 000.00				
11-12 Jul.	FG5-211	A	48/100	1.296	575.01	1.40	-298.4	118.32	693.33
12-13 Jul.	FG5-211	A	32/100	1.294	575.57	1.34	-298.4	117.66	693.23
11-13 Jul.	FG5-211	A	80/100	1.295	575.54	1.40	-298.4	117.99	693.53
				offset	980 925 000.00				
13-14 Jul.	FG5-211	A2	48/100	1.294	576.87	0.99	-293.3	115.79	692.66
14-15 Jul.	FG5-211	A2	41/100	1.294	576.49	0.69	-293.3	115.79	692.28
13-15 Jul.	FG5-211	A2	89/100	1.294	576.56	0.92	-293.3	115.79	692.35
				offset	980 920 000.00				
9-10 Jul.	FG5-211	B	30/100	1.294	7895.66	0.91	-295.7	116.59	8012.25
10-11 Jul.	FG5-211	B	48/100	1.294	7895.89	1.44	-295.7	116.59	8012.48
9-11 Jul.	FG5-211	B	78/100	1.294	7895.81	1.26	-295.7	116.59	8012.40

REFERENCIAS

Becker M. (1990): Adjustment of microgravimetric measurements for detecting local and regional displacements. *Proc. Symp. No. 103, Agosto 1989, Edimburgo (Editado por R. Rummel y R.G. Hipkin), 1990, 149-161*

International Gravity Commission – Working Group II « World Gravity Standards » ; (Chairman Gerd Boedecker), *Bull. Inf. Bur. Grav. Int., 1988, 63, 51-57.*

Niebauer T.M. et al (1995): A new generation of absolute gravimeters. *Metrologia, 1995, 32, 159-180.*

Niebauer T.M. (1989): The effective measurement height of Free-Fall absolute gravimeters. *Metrologia, 1989, 26, 115-118.*

Robertson, L. et al (2001): Results from the Fifth International Comparison of Absolute Gravimeters, ICAG97. *Metrologia, 2001, 38, 71-78.*

Sasagawa G.S. et al.: Analysis of data from the 1994 International Comparison of Absolute Gravimeters with a single computational protocol. *Metrologia, 1995, 32, 185-192.*

Timmen L., H.G. Wenzel: World wide synthetic parameters available on Internet. *Bur. Grav. Int., 75, Diciembre 1994.*

Tabla 2. Principales parámetros de marea observados en Sèvres.

<i>Onda</i>	<i>Amplitud</i>	<i>Desfasaje</i>
Largo período	1.0000	0.0000
Mf	1.1909	0.3600
Q1	1.1503	-0.290
O1	1.1494	0.014
M1	1.1446	1.945
K1	1.1359	0.835
J1	1.1885	1.408
OO1	1.1514	2.680
2N2	1.0885	6.610