

DETERMINACION DE NUEVAS ESTACIONES ABSOLUTAS DE GRAVEDAD EN COLOMBIA

WILLIAM ALBERTO MARTINEZ DIAZ
 JUAN ALBERTO FLOREZ MUÑOZ
 LAURA MARLENE SANCHEZ RODRIGUEZ

Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"

Martinez, W.A., J.Florez & L.Sánchez: Determinación de Nuevas Estaciones Absolutas de Gravedad. Geofís. Colomb. 3:81-87, 1995. ISSN 0121-2974

RESUMEN

Durante el mes de mayo de 1995 se establecieron en Colombia tres nuevas estaciones con valor absoluto de la gravedad utilizando el gravímetro AXIS FG-5. Estas mediciones fueron realizadas por Defense Mapping Agency (D.M.A.) de los Estados Unidos y el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), como aporte a la actualización de la Red Gravimétrica Nacional y a la definición del modelo geoidal local.

ABSTRACT

Three new Absolute Gravity Stations were established in Colombia in may 1995. A gravity meter AXIS FG-5 was used. These measurements were conducted by the Defense Mapping Agency (D.M.A) with the collaboration of the IGAC. They will allow to actualize the National Gravity Net and to help in defining the local geoidal model.

1. INTRODUCCION

En el presente año, el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" ha trabajado en el desarrollo del Plan de Actualización de la Red Gravimétrica Nacional (IGAC, 1995). Para este propósito la Oficina D.M.A. en Colombia desplazó al País un grupo de operadores, el gravímetro absoluto, un equipo de posicionamiento satelitario y tres gravímetros relativos LaCoste & Romberg (G-115, G-125 y G-4).

Este proceso obedece, principalmente, a la necesidad de incrementar la precisión del dátum gravimétrico en Colombia, así como proveer al usuario de información actualizada y confiable como referencia a los levantamientos e investigaciones en Geociencias que se ejecutan en el País.

La obtención de datos gravimétricos absolutos permite al IGAC determinar con mayor precisión el modelo de geoide local necesario, de una parte, para la obtención de alturas ortométricas a partir de posicionamiento satelitario y, de otra, para mejorar el conocimiento de la evolución de la dinámica terrestre en el territorio colombiano.

2. GRAVÍMETRIA ABSOLUTA

2.1 Esquema General del equipo

En general, la gravimetría absoluta tiene por finalidad la determinación del valor de la aceleración de la gravedad por medio de la medición de las cantidades distancia y tiempo (Torge, 1989).

Actualmente, el método empleado en este tipo de gravimetría es la interferometría óptica, principio de operación de los gravímetros absolutos desde la década de los 60.

El gravímetro empleado para las últimas mediciones en Colombia es el Gravímetro Absoluto FG-5. El nombre de este instrumento se deriva de la expresión "Faller Gravimeter 5th Generation".

En éste, se mantiene el principio básico de medición simultánea de tiempos y distancias por medios interferométricos. No obstante, el aparato presenta un cambio tecnológico notable en la configuración de sus componentes, así como en la geometría del conjunto, dado que éste dispone el mecanismo compensador -superspring- alineado verticalmente con la cámara de vacío en donde la masa de prueba es liberada en caída libre. Esta disposición hace que los efectos de inclinación se disminuyan en relación con los modelos predecesores tipo JILA.

Las características mas notables del equipo son (AXIS Instruments Company, 1993):

Desempeño:

Exactitud: $\pm 2 \times 10^{-8}$ m/s²

Precisión: $\pm 1 \times 10^{-8}$ m/s²

Tiempo de medición: Menor de dos horas

Rango dinámico: Mundial

Rango de temperatura: 15-25°C

Rasgos del Instrumento:

Controlador de la toma automática de datos (PC 486)
 Procesamiento y almacenamiento de datos en tiempo real
 Rata de medición de diez segundos
 Super resorte de 60 s. de período.
 Medición interferométrica en línea vertical
 Óptica de colimación para alineación vertical
 Masa de prueba rodeada por una recámara de arrastre
 Cart servocontrolado para elevación y caída de la masa de prueba
 Láser de Helio-Neón de frecuencia estabilizada
 Referencia de tiempo de Rubidio
 Bomba de vacío turbomolecular
 Bomba de vacío iónico.

Las componentes del equipo se pueden sintetizar en cuatro grupos principales (Fig.1):

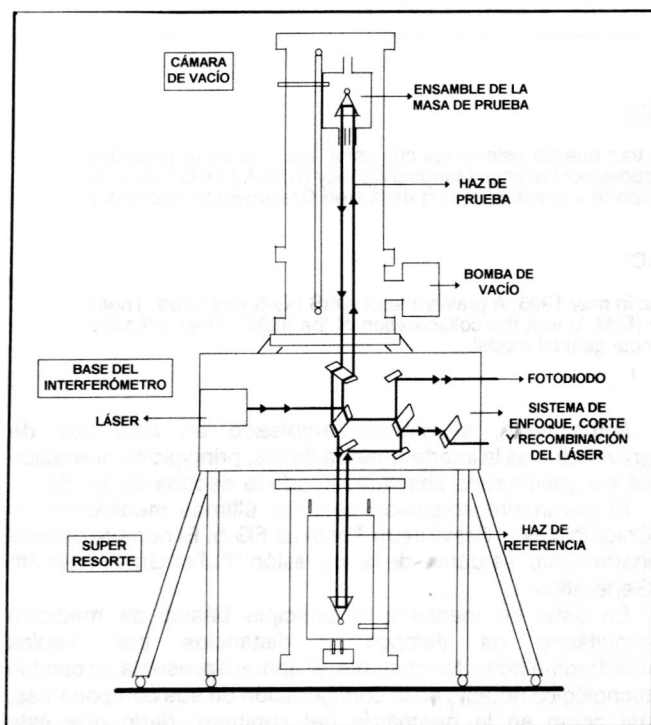


Figura 1. Componentes principales del Gravímetro Absoluto
 FIG. 5

- Cámara de vacío. Es un contenedor cilíndrico de aluminio, en el cual se hace vacío medio, que aloja el ensamble de la masa de prueba, su prisma reflector y el mecanismo de desplazamiento de dicha masa. En su base existe una ventana a través de la cual incide el láser proveniente de la base del interferómetro y sale, una vez es reflejada por el prisma.

- Super-resorte. Este mecanismo contiene un segundo prisma reflector, alineado verticalmente con el primero y suspendido de un resorte cuyo período (controlado electrónicamente) es $T=60$ s. La finalidad del super-resorte

es contrarrestar los movimientos verticales de la corteza, reduciendo la dispersión generada en las caídas por cambios en la geometría del sistema.

- Base del interferómetro. Conjunto ubicado entre la cámara de vacío y el super-resorte, en ella se genera una luz láser estabilizada de Helio-Neón. La base contiene el láser y la óptica necesaria para enfocar, dirigir y separar la luz en dos rayos, uno hacia la cámara y otro hacia el super-resorte. Esos rayos, una vez reflejados por los respectivos prismas, son recombinados para ser enviados como haces de interferencia a un fotodiodo ubicado en la caja de electrónica.

- Caja de electrónica. En este sistema ocurre la medición. La señal proveniente de la base del interferómetro es convertida, al pasar por un fotodiodo, en pulsos TTL que son reducidos en un factor de 4000 y son analizados junto con los pulsos provenientes de un oscilador de Rubidio (reducidos en un factor de 2000) mediante un sistema contador. Así son enviados al computador en donde el software calcula el valor de la aceleración (g) relacionando las magnitudes tiempo (t) y distancia (λ).

2.2 Obtención de Registros

Con base en la información presentada por Axis Instruments (actualmente Micro-G Solutions Inc.) la obtención de registros ocurre como se indica a continuación.

El Instrumento puede operar en el modo de caída libre o en el modo de lanzamiento de la masa de prueba.

En el modo de caída, una señal proveniente del computador hace que el controlador del sistema inicie el proceso. El carro que soporta a la masa de prueba y el ensamble del prisma reflector se acelera a más de 1g, de modo que la masa es liberada y comienza a caer. Un sistema controlador evita que el carro toque la masa durante la caída, a la vez que le permite recuperarla en la base de la cámara de vacío y elevarla nuevamente.

La luz reflejada por el prisma ensamblado a la masa de prueba genera un haz de interferencia por cada $\frac{1}{2}$ de λ ($\lambda=633$ nm.) durante el movimiento del prisma. Dado que la masa se acelera, los haces ocurren cada vez más cercanos en el tiempo.

La señal que sale del fotodiodo (Avalanche Photo Diode APD) es una onda senoidal cuya frecuencia es proporcional a la velocidad del objeto en caída.

Durante el curso de la medición se genera cerca de un millón de haces de interferencia. Un elemento discriminador transforma las señales del APD en pulsos de tipo TTL (Fig.2). Estos son escalados, es decir, divididos por un factor definido por el usuario (generalmente 4000) mediante un contador de escala.

Un contador universal de intervalos de tiempo (UTIC) mide el intervalo de tiempo ocurrido entre cada pulso escalado. El programa fit se encarga de ajustar cada par de tiempo y distancia a una trayectoria parabólica para determinar el valor de g.

Cuando el carro y la masa de prueba han descendido pasando el punto de recuperación de la masa, el controlador ordena al "cart" reducir su aceleración y comenzar a detenerse. La masa es así recibida y desplazada lentamente hacia arriba a su posición de reposo, quedando lista para un nuevo experimento, el proceso se reinicia. La secuencia toma cerca de cinco segundos y se puede repetir seis veces por minuto.

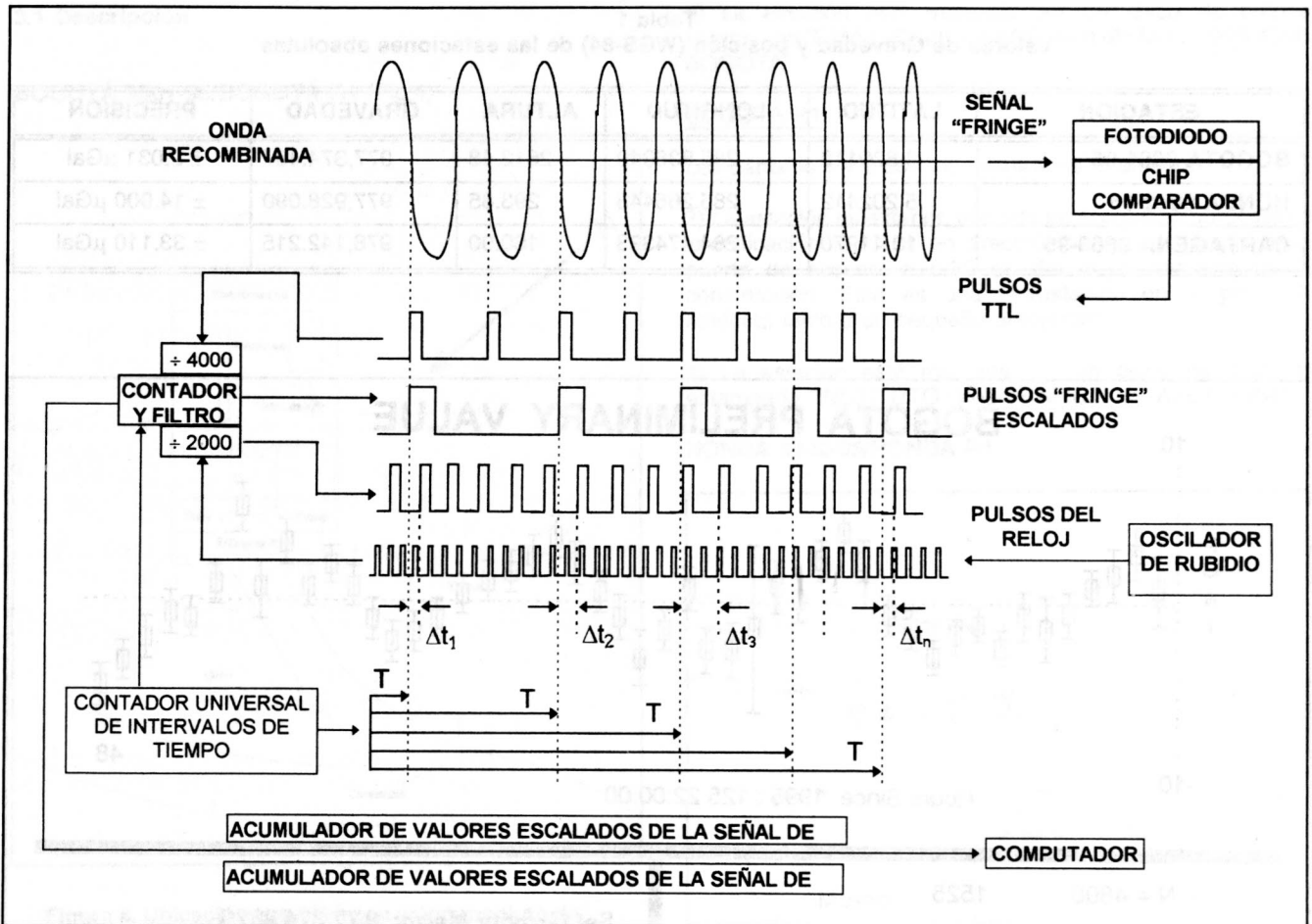


Figura 2. Obtención de Registros en el Gravímetro Absoluto FIG.5

3. ESTACIONES GRAVIMÉTRICAS

Las mediciones se realizaron en el lapso de una semana por cada estación, en las ciudades de Bogotá, Honda y Cartagena. De esta forma, se estableció un circuito de calibración instrumental (Bogotá-Honda) y se definió una estación para cubrimiento de la zona norte de Colombia (Cartagena).

Estas mediciones se realizaron veinticuatro años después de las llevadas a cabo por el Doctor James E. Faller y su equipo en 1971 en la Universidad Nacional-Bogotá (Faller, 1971, y Hammond & Faller, 1971).

Los valores de gravedad obtenidos durante el proyecto están referidos al nivel del piso, dado que la magnitud del gradiente vertical de la gravedad para cada sitio se incorporó como dato al software del FG-5. En el área inmediatamente cercana a cada estación absoluta se ha establecido una estación excéntrica.

El número de mediciones realizadas en cada estación es de 4800 (48 sets, cada uno de 100 caídas por hora).

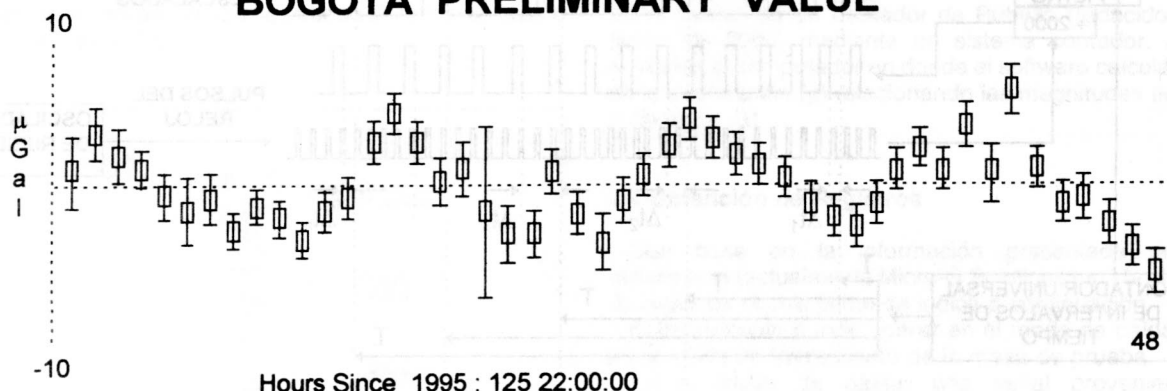
La Figura 3, muestra la salida final de datos obtenida para la estación Bogotá. En la parte superior cada rectángulo representa un set y cada barra indica el error en microGales de cada uno, este es el diagrama de barras de error. En la parte inferior izquierda aparece el histograma que resume la distribución de los 4800 datos, cada división de la escala horizontal corresponde a $10\mu\text{Gales}$; en la parte inferior derecha se observa el valor medio de la gravedad para las 4800 medidas y la desviación estándar de los 48 sets y la de las 4800 observaciones. Adicionalmente aparecen correcciones obtenidas con base en los sensores del equipo y su procesamiento en el software.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Valores de Gravedad y posición (WGS-84) de las estaciones absolutas

ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	GRAVEDAD	PRECISION
BOGOTA 9801-95	4.620112	285.936949	2612.48	977,374.487	$\pm 2.031 \mu\text{Gal}$
HONDA 9802-95	5.202412	285.265443	293.85	977,928.090	$\pm 14.900 \mu\text{Gal}$
CARTAGENA 9803-95	10.41970	284.474323	160.00	978,142.215	$\pm 33.110 \mu\text{Gal}$

BOGOTA PRELIMINARY VALUE



N = 4800

1525

5
LOW2
HIGH10 $\mu\text{Gal}/\text{div}$

Set Gravity Mean: 9.77 374 487 1
 Set Std Dev (μGal): 2.031
 Mean Std Dev (μGal): 12.13
 Drift: $-0.219 \pm .512 \mu\text{Gal}/\text{day}$
 Number of sets: 48

100 Drops/Set | Set 48 of 48
 Speed of Light: -10.7
 Effective Height: -19.5
 Datum Z transfer: 300.6 @ .00 cm
 Laser Correction: .000
 Barometric Pressure: 2.82
 Polar Motion: -1.43
 Ocean Loading: .000

STATUS: SEQUENCE COMPLETE

05/07/95 1995:127 21:52:16

Figura 3. Salida final de datos en el Gravímetro Absoluto FIG.5

3.1 Descripción

BOGOTÁ 9801-95/BOGOTÁ R1 (Fig.4)

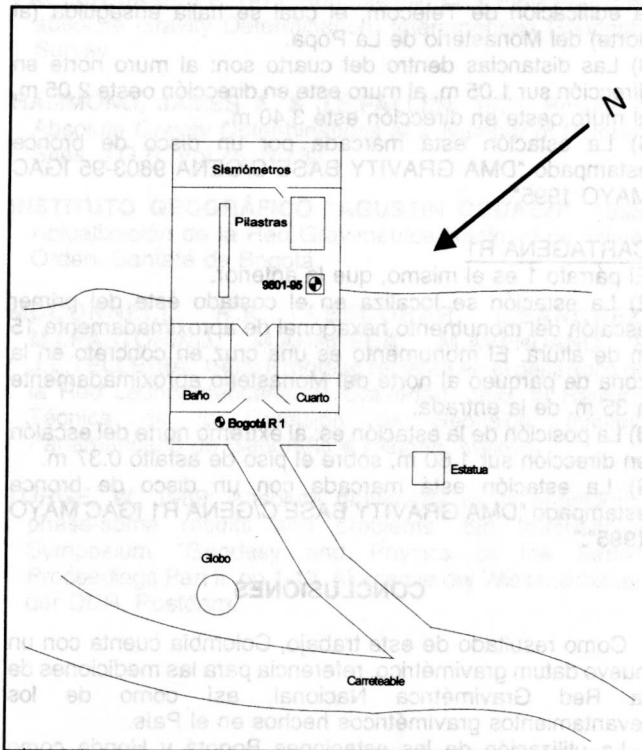


Figura 4. Ubicación estación con valor absoluto de Gravedad - Bogotá

BOGOTÁ 9801-95

1) El punto está ubicado en la Estación Sismológica "José Rafael Goberna S.J." del Instituto Geofísico de Los Andes-Universidad Javeriana.

2) Para acceder a la estación, se parte de la entrada al Colegio San Bartolomé La Merced en la Carrera 5 No.34-00, intersección de la carrera 5 con calle 34. En la entrada al colegio, se avanza en dirección norte (a la izquierda) y se sigue la vía interna ascendente 600 m. Durante el trayecto se alcanzan los edificios del colegio, hasta llegar al campo deportivo y en el costado noreste del campus a la estación sismológica. Los últimos 50 m. de recorrido son sobre un carreteable en hierba. La construcción es la más grande localizada sobre este camino.

3) La estación está localizada dentro de la edificación (la cual está incrustada en la ladera) en el cuarto No.2, el cual es el salón central y el más amplio. Las distancias a los muros del salón son:

Al muro suroeste en dirección noreste 1.07 m, al muro noroeste en dirección sureste 1.34 m, al costado noroeste de la pilastra en dirección noroeste 1.20 m, en el centro de una incrustación de concreto de 0.8x0.8 m.

4) La estación está marcada por un disco de bronce estampado "DMA GRAVITY BASE 9801-95 MAY 1995 IGAC BOGOTÁ".

BOGOTÁ R1

Los párrafos 1 y 2 son los mismos de la anterior.

3) La estación es exterior, ubicada en el costado noroeste de la edificación. A 1,1 m. en dirección noreste del centro de la puerta de acceso, a 0,30 m. del muro noroeste de la construcción. Esta es una incrustación en el piso (de baldosa) junto a un pequeño antejardín.

4) La estación está marcada por un disco de aluminio estampado "INSTITUTO GEOGRÁFICO NP-A2E1, 1954".

HONDA 9802-95/HONDA R1

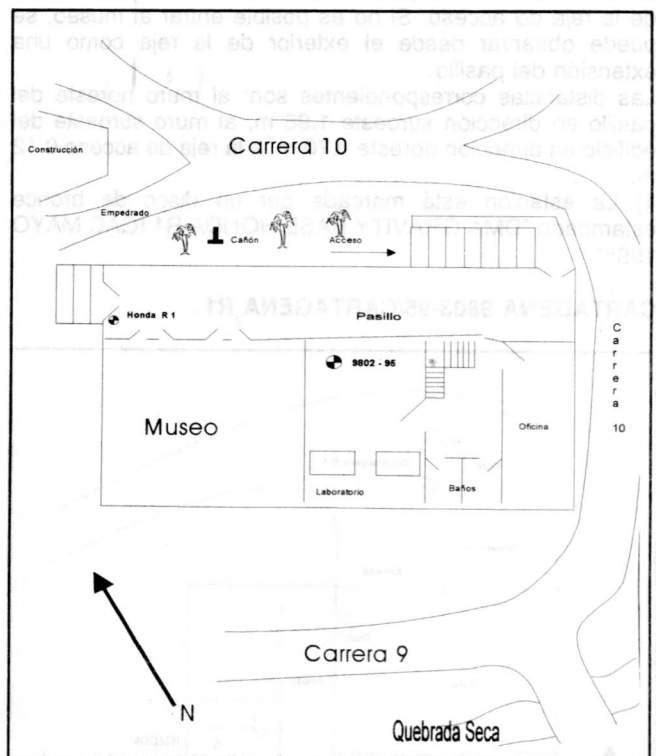


Figura 5. Ubicación estación con valor absoluto de Gravedad - Honda

HONDA 9802-95

1) La estación se ubica en la zona histórica de la ciudad de Honda, cerca a la confluencia del Río Magdalena y la Quebrada Seca.

2) A partir de La Catedral Alto del Rosario se avanza hacia el este sobre la Calle 10 a la intersección con la Carrera 12 A, y de allí, aproximadamente a 150 m, a la carrera 11. Se dobla a la izquierda (norte) se avanza 10 m hasta alcanzar la Calle 10 (al costado derecho). Se dobla a la derecha (este) y se recorren aproximadamente 75 m en descenso hasta la carrera 10 A. Se gira a la derecha (sur) y se recorren aproximadamente 25 m hasta la bifurcación de la vía. Se

toma el brazo izquierdo (Calle 9) y se avanza en sentido sureste aproximadamente 75 m hasta la Carrera 10 (al costado izquierdo). Se gira a la izquierda (noreste) sobre la Carrera 10 al comienzo del puente sobre la Quebrada Seca. De allí, se recorren aproximadamente 40 m a la izquierda hasta el Museo del Río Magdalena.

3) La estación se halla en el laboratorio de fósiles cerca al centro de la construcción del museo. Las distancias dentro del cuarto son: al muro noroeste en dirección sureste 1.12 m, al costado noreste del mesón en concreto 2.05 m, al noreste del ventanal suroeste 1.03 m.

4) La estación está marcada por un disco de bronce grabado "DMA GRAVITY BASE HONDA 9802-95 IGAC MAYO 1995".

HONDA R1

Los párrafos 1 y 2 son los mismos de la anterior.

3) La estación excéntrica Honda R1 se encuentra en el extremo noroeste del pasillo frontal del Museo, justo dentro de la reja de acceso. Si no es posible entrar al museo, se puede observar desde el exterior de la reja como una extensión del pasillo.

Las distancias correspondientes son: al muro noreste del pasillo en dirección suroeste 1.96 m, al muro suroeste del edificio en dirección noreste 0.70 m, a la reja de acceso 0.12 m.

4) La estación está marcada por un disco de bronce estampado "DMA GRAVITY BASE HONDA R1 IGAC MAYO 1995".

CARTAGENA 9803-95/CARTAGENA R1

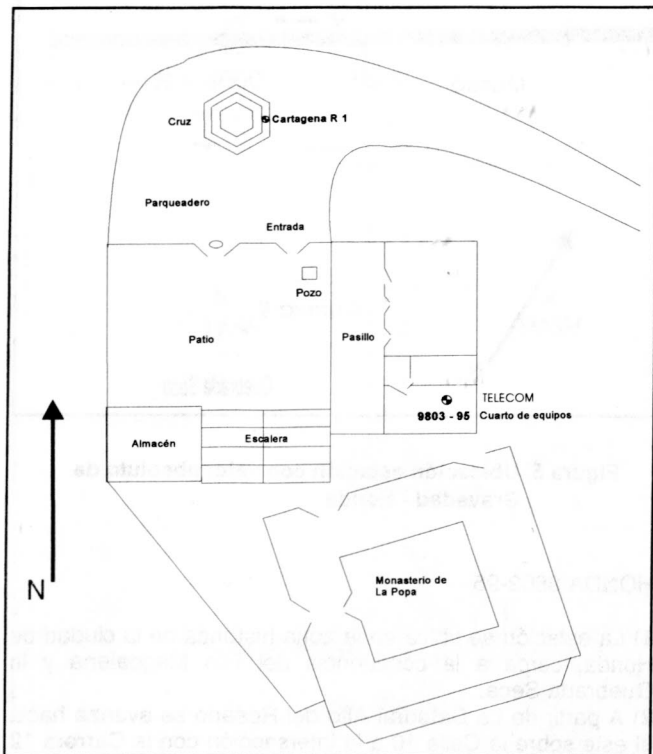


Figura 6. Ubicación estación con valor absoluto de Gravedad - Cartagena

CARTAGENA 9803 - 95

1) La estación se localiza aproximadamente a 2.5 Km al oeste del centro de Cartagena. Es la cima del Cerro La Popa.

2) El punto se halla en el cuarto de equipos al costado sur de la edificación de Telecom, el cual se halla enseguida (al norte) del Monasterio de La Popa.

3) Las distancias dentro del cuarto son: al muro norte en dirección sur 1.05 m, al muro este en dirección oeste 2.05 m, al muro oeste en dirección este 3.40 m.

4) La estación está marcada por un disco de bronce estampado "DMA GRAVITY BASE C/GENA 9803-95 IGAC MAYO 1995".

CARTAGENA R1

El párrafo 1 es el mismo, que la anterior.

2) La estación se localiza en el costado este del primer escalón del monumento hexagonal de aproximadamente 15 m de altura. El monumento es una cruz en concreto en la zona de parqueo al norte del Monasterio aproximadamente a 35 m. de la entrada.

3) La posición de la estación es: al extremo norte del escalón en dirección sur 1.60 m, sobre el piso de asfalto 0.37 m.

4) La estación está marcada con un disco de bronce estampado "DMA GRAVITY BASE C/GENA R1 IGAC MAYO 1995".

CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo, Colombia cuenta con un nuevo datum gravimétrico, referencia para las mediciones de la Red Gravimétrica Nacional, así como de los levantamientos gravimétricos hechos en el País.

La utilización de las estaciones Bogotá y Honda como circuito de calibración instrumental (con estaciones intermedias en Albán y Villeta) proporciona un standar gravimétrico de alta precisión, así como un rango amplio de gravedad en una distancia relativamente corta y a lo largo de una vía en buen estado de transitabilidad.

La existencia de estos nuevos valores en el territorio colombiano permite referir a ellos la información gravimétrica existente y de este modo incrementar la calidad de los resultados obtenidos en el modelamiento del geóide local.

Es posible vincular las estaciones colombianas con las existentes en la República de Venezuela y de esta forma contribuir a la resolución y ajuste del sistema Red Latinoamericana de Normalización de la Gravedad 1995-RELANG-95 (McConnell et al., 1995).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración prestada por Defense Mapping Agency, tanto a su oficina de enlace en Colombia en cabeza del Doctor Arturo Camacho, como a la oficina de Saint Louis Missouri; al Doctor Walter Spita, gravimetrista de DMA, por sus aportes en cuanto a la selección de los sitios y criterios para el procesamiento posterior de la información; al equipo de observadores, geodestas Keith Krauterbluth, David Stizza y Leonard Weingarth; al Instituto Geofísico de los Andes-Universidad Javeriana, por la ayuda brindada para efectuar las mediciones en la Estación Sismológica "José Rafael Goberna S.J."; al Museo del Río Magdalena por permitir la realización del trabajo en el laboratorio de fósiles del Museo y a la Empresa Nacional de Telecomunicaciones TELECOM-Bolívar, por facilitar la utilización de su estación de comunicaciones en el Cerro La Popa-Cartagena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AXIS INSTRUMENTS COMPANY. 1993: FG-5 Absolute Gravimeter. AXIS.

FALLER, JAMES E. 1971: Bogotá-Colombia: Final Report on absolute Gravity Determination. Interamerican Geodestic Survey.

HAMMOND, JAMES A. & J.E.FALLER. 1971: Results of Absolute Gravity Determinations at a Number of Different Sites. J.G.R. Vol.76, No.32.

INSTITUTO GEOGRÁFICO "AGUSTÍN CODAZZI". 1995: Actualización de la Red Gravimétrica Nacional de Primer Orden. Santafé de Bogotá.

MCCONNELL, R.K., I.ESCOBAR, L.SANCHEZ, M.I.PASTORINO, M.ARANEDA, M.AVENDAÑO & J.L.TELLERIA. 1995: Progreso reciente en el desarrollo de la Red Latinoamericana de Gravedad 1995. III Reunión Técnica de la Comisión de Geofísica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México.

TORGE, W. 1989: Absolute gravimetry in its operational phase-some results and problems. 6th International Symposium "Geodesy and Physics of the Earth", Proceedings Part II, pp.1-13. Akademie der Wissenschaften der DDR, Postdam.