

HISTORIA DE LA GRAVIMETRÍA EN VENEZUELA

Nuris ORIHUELA GUEVARA

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica
Departamento de Geofísica. nuris.oriuela@ing.ucv.ve
Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. norihuela@igvsb.gob.ve

ORIHUELA, N. (2014). Historia de la gravimetría en Venezuela. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 46(1):44-57.

Manuscrito recibido: abril 2014; corregido recibido: noviembre 2014; aceptado: noviembre 2014

RESUMEN

La gravimetría en Venezuela se inicia por la demanda de información de subsuelo con fines de exploración de petróleo y gas, la primera fecha identificada para el primer estudio gravimétrico prospectivo data de 1925, esta primera fase de medidas se desarrolló con balanzas de torsión. En la década del 30 del S.XX existen registros del establecimiento de estaciones de calibración instrumental, en la década del 40 se reportan los primeros gravímetros utilizados con fines prospectivos y las primeras estaciones de uso geodésico, mientras que medidas de gravedad absoluta se inician en mayo de 1949, cuando se levantan dos estaciones pendulares en Caracas y Barcelona.

A lo largo de toda la década del 50 y 60 se desarrolla una fase intensiva de levantamientos gravimétricos con fines geodésicos, la Dirección de Cartografía Nacional (DCN) asume el establecimiento del Datum La Canoa basado en medidas de gravedad, y se amarra gravitacionalmente a la Isla de Aves con Caracas. En este lapso tiene especial importancia las actividades promovidas por el Año Geofísico Internacional en 1958 y de las medidas promovidas en este marco, deriva la primera Red de Referencia de Venezuela, levantada entre los años 58 y 60.

La década del 70 se inicia con el levantamiento de una nueva red de referencia, promovida y desarrollada por DCN, esta red es amarrada al datum gravimétrico mundial existente para la fecha, el cual fue modificado un año después, lo que motiva que el año 1982 se promoviese el levantamiento de una nueva red de referencia. En 1988 se levantan seis nuevas estaciones absolutas y se normaliza la red de 1982. Actualmente se planifica una nueva fase de mediciones absolutas para ampliar de 6 a 10 la mediciones de 1988.

Palabras clave: Geodesia, geofísica, gravedad, gravímetro, péndulo.

ABSTRACT

The gravimetric studies in Venezuela is initiated by the demand for information purposes subsurface oil and gas exploration, for the first time identified the first prospective gravity survey from 1925; the first phase of measures was developed with torsion balances. In the 30s of the twentieth century there are records of the establishment of instrumental calibration stations in the 40s the first gravimeters used prospective purposes and geodetic stations first reported use while absolute gravity measurements are initiated in May 1949, when two pendulum stations measured in Caracas and Barcelona. Throughout the decade of the 50s and 60s intensive phase gravity surveys with geodetic purposes develops, the Direction of National Cartography (DCN) assumes the establishment of La Canoa Datum based on gravity measurements, and connect gravitationally Aves Island to Caracas. This is especially important within the activities promoted by the International Geophysical Year in 1958 and measures promoted in this context derive the first Reference Network Venezuela, measured between the years 58 and 60.

The '70s began with the measurement of a new referral network, promoted and developed by DCN, this network is tied to the existing world gravimetric datum for the dates, which was amended a year later with the result that the year 1982 would promote the measurement of a new network of reference. In 1988 six new stations absolute measured and the network 1982 is normalized. Currently a new absolute phase to expand the measurements of 6 to 10, 1988 measurements is planned.

Key words: Geodesy, geophysics, gravity, gravity meter, pendulum.

INTRODUCCIÓN

La gravimetría es una disciplina de las geociencias que tiene dos ámbitos de actuación bien definidos, claramente diferenciables, pero, necesariamente complementarios: la geodesia y la geofísica. La gravimetría es la primera técnica

geofísica de prospección que permitió identificar en subsuelo un yacimiento petrolero, esto ocurre en 1922 (NABIGHIAN *et al.* 2005) y le da gran relevancia en la primera mitad del Siglo XX a esta técnica prospectiva, esto cambia con los años por la entrada de la sísmica como

herramienta de caracterización del subsuelo en la búsqueda de hidrocarburos. La historia de la gravimetría geodésica (INTROCASO 2006, PETHÖ & VASS 2009) comienza con los primeros estudios de la gravedad planetaria: la descripción de la caída de cuerpos, y por ello pudiéramos decir que la gravimetría y su aplicación en la geodesia, comienza con los trabajos de Galileo Galilei (1564 - 1642). Galileo Galilei desarrolla un conjunto de experimentos en los cuales establece que la aceleración con la cual los cuerpos caen es constante, por lo tanto no hay dependencia de esta propiedad con la masa del material. Galileo muere el mismo año y el mismo día que nace Isaac Newton (1642 - 1727), el padre de la Ley de Gravitación Universal, actor fundamental de la historia de la gravimetría. Se conoce la ley de la Gravitación Universal gracias a deducciones que se fundamentan en las observaciones experimentales de Galileo. Representa esta ley una de las herramientas matemáticas fundamentales para la aplicación de la gravimetría como técnica de prospección geofísica y como técnica de la caracterización de la forma planetaria en estudios de geodesia (TORGE 1989)

El desarrollo instrumental en la gravimetría ha tenido varias etapas en su evolución, los primeros instrumentos diseñados para medir la gravedad fueron los péndulos, originalmente conceptualizados para establecer medidas de tiempo (relojes) y a partir de los cuales, en el año 1665 Christian Huygens (1629-1695) mide por primera vez la gravedad planetaria (NABIGHIAN *et al.* 2005). El desarrollo instrumental para la ejecución de medidas de campo, aplicables tanto a la geodesia como a la geofísica se inicia a finales del S.XIX.

Pudiéramos decir que, desde los péndulos hasta los gravímetros con elementos electrónicos de interacción con el operador, hay dos niveles intermedios en la evolución instrumental: las balanzas de torsión (hoy en desuso) y los instrumentos de caídas de peso (hoy perfeccionados y en dominio de las mediciones absolutas de la gravedad), esta evolución se puede ordenar temporalmente de la siguiente manera: péndulos (1800 - 1970), balanzas de torsión (1900 - 1940), gravímetros (1940 al presente), caída libre (1970 al presente) y por el tipo de medidas: Absolutas: péndulos y caída de peso; Relativas: balanzas de torsión y gravímetros.

Los péndulos son utilizados por más de un siglo en la medición de la gravedad. Las Balanzas de Torsión son utilizadas en las primeras cuatro décadas del Siglo XX. En ese mismo periodo de tiempo evoluciona el diseño y la fabricación de los gravímetros de muelle que son los sensores de gravedad que acaparan el nivel comercial de la medida gravimétrica y que definitivamente representan el instrumento que ha sido más utilizado a nivel mundial. Los gravímetros de muelle esencialmente se desarrollan a partir de la tercera década del siglo XX donde destacan en este desarrollo: Lucien Lacoste quien diseña en el año 1935 un gravímetro de muelle que es sistemáticamente mejorado hasta alcanzar condiciones óptimas de peso y rangos de medida a finales de la década del 60 (NABIGHIAN *et al.* 2005). Los Lacoste & Romber (L&R) son gravímetros ampliamente utilizados en Venezuela y el mundo, compiten

con otras firmas comerciales (Carter, Askania, Worden Gravity Meter Company) pero son los equipos Worden, diseñado por Sam P. Worden (NABIGHIAN *et al.* 2005), los que dominan la escena en los primeros años de gravimetría geodésica venezolana.

La entrada en el mercado de los gravímetros de muelle permite reemplazar las balanzas de torsión, fundamentalmente en los estudios de prospección geofísica. Los gravímetros de caída libre, viene a reemplazar a los péndulos en las medidas absolutas, indispensables en los estudios geodésicos a nivel mundial. Ambos tipos de medidas son necesarias tanto en la geodesia como en la geofísica, por razones distintas y en fases diferenciables de cada tipo de estudio.

Destaca en la historia de la gravimetría Pierre Bouguer (1698 - 1758), su presencia queda marcada con su nombre en el tipo de anomalía gravimétrica más utilizada a nivel mundial: la Anomalía de Bouguer. No queda ninguna duda de la importancia que tiene Bouguer en la conceptualización e implementación de los elementos que permiten establecer la gravimetría para estudiar las rocas. Bouguer es el primero que determina que hay una relación entre gravedad y la latitud, la altura y la densidad de las rocas.

Hay muchos otros investigadores de las matemáticas y áreas afines que también inciden en la evolución de la gravimetría, destacan Joseph Lagrange (1736 a 1813), Pierre Simón Laplace (1749 a 1827), André Marie Legendre (1752 a 1833), Leonhard Euler (1707 a 1783), entre otros, que con diversos desarrollos matemáticos a lo largo de los siglos XVIII y XIX generan grandes aportes para los hoy usuarios de las medidas gravimétricas con fines geocientíficos (SEVILLA 2012).

El objetivo fundamental de este artículo es hacer un recuento de la historia de la gravimetría en Venezuela, este producto se basa en la documentación disponible en los archivos del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) y se acompaña de la recopilación bibliográfica correspondiente. Este trabajo presenta el resultado de una primera fase de búsqueda, que se podrá ampliar y profundizar en estudios sucesivos, esta condición aplica tanto a los archivos del Instituto Geográfico como a las universidades y otros centros de investigación a los cuales se acude como fuente de información.

GRAVIMETRÍA A NIVEL MUNDIAL

La actividad gravimétrica en el mundo es definitivamente impulsada por la demanda de los estudio del subsuelo con fines petroleros, esta surge a principios del siglo XX, es la palanca impulsora de la exploración petrolera la que termina motivando, engrasando los rieles de la prospección gravimétrica a nivel mundial. La gravimetría pendular que es la primera que se ejecuta en el mundo es una gravimetría cargada de imprecisiones, poco operativa para su aplicación masiva, lo que terminan conduciendo a la investigación intensiva y acelerada para sustituir los péndulos como sensores de mediciones modernas y precisas.

Ya a finales del siglo XIX cuando se empieza a entender la importancia que tienen las medidas gravimétricas en la geociencia, se entiende que se requiere disponer de sistemas gravimétricos homologados a nivel mundial. El primer sistema gravimétrico conocido es el Sistema Gravimétrico de Viena establecido en el año 1900, para esa época todas las medidas eran pendulares. Al Sistema Gravimétrico de Viena le reemplaza el sistema Gravimétrico de Potsdam. Este último entra en vigencia en 1909 y anula el Sistema de Viena. Al primer sistema se le había adjudicado un error en el orden de los 10 mGal y al segundo se le presenta en 1909 como un sistema más preciso con un error de tan solo 3 mGal. Ambos eran pendulares, la entrada en vigencia del Sistema Gravimétrico de Potsdam incorpora una corrección al valor propuesto para el Sistema de Viena del orden de 16 mGal. A la larga se demuestra que el sistema de Potsdam tiene un error en el orden de -14 mGal con lo cual el Sistema de Viena representó una gravedad absoluta más cercana al valor real de referencia a nivel mundial (MORELLI *et al.* 1972).

Una vez que se toma el Sistema de Potsdam en 1909 devienen cuatro décadas, en las cuales de manera fragmentada, sin articulación, sin coordinación cierta conocida, diversos países con múltiples equipos (balanzas de torsión, péndulos y los primeros gravímetros) ejecutan miles de medidas a nivel mundial sin ningún tipo de interconexión o interacción más allá del establecimiento de Potsdam como el sistema de referencia del nivel mundial, en muchos casos inalcanzable por la distancia al lugar efectivo de la medición. Esto trajo como consecuencia una gran cantidad de medidas con errores disímiles, en muchos casos levantamientos locales, eso ocurrió en Venezuela desde la década del 20, levantamientos que no eran amarrados a ningún sistema de referencia global (FOLINSBEE 1972). Esta situación de dispersión es observada y diversos autores empiezan a señalar en la década del 30 y del 40 que existía un error estimado en 14 mGal en el Sistema de referencia de Potsdam. Esto trae como consecuencia dos iniciativas fundamentales que se deben destacar, una iniciativa tomada por la universidad de Wisconsin, el investigador líder es George Wollard. Este investigador hace una propuesta de escala continental para la toma masiva de líneas de nivelación gravimétricas que permitan normalizar el sistema a nivel regional, esa es una primera iniciativa que se ejecuta, y que involucra a Venezuela (HOSKINSON 1954).

Adicionalmente a la iniciativa de la Universidad de Wisconsin hay una de carácter institucional que es tomada por la Asociación Geodésica Internacional y consiste en establecer de manera definitiva como estándar internacional, una red de referencia gravimétrica internacional identificada como IGNS71 (MORELLI *et al.* 1972)

La IGNS71 cambia el concepto de Sistema de Referencia Gravimétrico de la referencia puntual que

representaron Viena o Potsdam a la Red de Referencia. Una malla de mediciones que a nivel mundial se ejecuta, homologando los criterios de medición y amarre, a los efectos de garantizar que cualquier investigador o usuario que aborde estudios gravimétricos los desarrolle bajo criterios y contra estaciones de referencia comunes. La Asociación Internacional de Geodesia establece un conjunto de condiciones (MORELLI *et al.* 1972) para la implementación del nuevo sistema de referencia que queda conformado por 10 estaciones absolutas, medidas con instrumentos de caída libre, el único país latinoamericano seleccionado fue Colombia. Adicionalmente se incorporan medidas pendulares y con gravímetros de muelle para alcanzar 1.854 estaciones distribuidas a nivel mundial (MORELLI *et al.* 1972).

GRAVIMETRÍA EN VENEZUELA

De la documentación encontrada hasta la fecha, la gravimetría en Venezuela se inicia en el año 1925, promovida por la industria petrolera transnacional, lo que representa estudios prospectivos con fines de detección de yacimientos, estos estudios se pueden abordar a partir de mediciones relativas de la variación de gravedad sin requerir de estaciones absolutas de referencia (Base de datos bibliográfica: RIPPET-PDVSA), con lo cual se desarrollaron, sin la participación de la Dirección de Cartografía Nacional (DCN), organismo público creado en 1935 (FAJARDO 1992). Los institutos cartográficos/geográficos del mundo son la organización responsable de la instalación y mantenimiento de las redes de referencia, establecidas a partir de medidas de gravedad absoluta.

Las medidas hechas por las empresas petroleras utilizaron equipos disponibles en el mercado para la época (balanzas de torsión), y en algunos casos contaban con centros de investigación que desarrollaron sensores gravimétricos propios (Carter, Wolf, Gulf) que fueron utilizados en nuestro territorio. Entre 1925 y 1929 se reportan 60 estudios gravimétricos localizados en diversas zonas del estado Zulia (RIPPET-PDVSA).

Según la base de datos de FOLINSBEE (1972) en su tesis doctoral recopila toda la información gravimétrica levantada en Venezuela hasta la fecha por las empresas petroleras, reporta estaciones distribuidas en tierra, y en mar (Figura 1) y destaca que el común denominador de estos levantamientos es que fueron estudios locales. La mayor actividad reportada en esta etapa temprana de la gravimetría venezolana se adjudica a las empresas del grupo Royal/Dutch-Shell, quienes levantaron cientos de estaciones gravimétricas en el estado Zulia, estas no fueron amarradas a las redes mundiales, fueron referidos a un punto de control local en Maracaibo y de la misma manera en otras regiones del país.

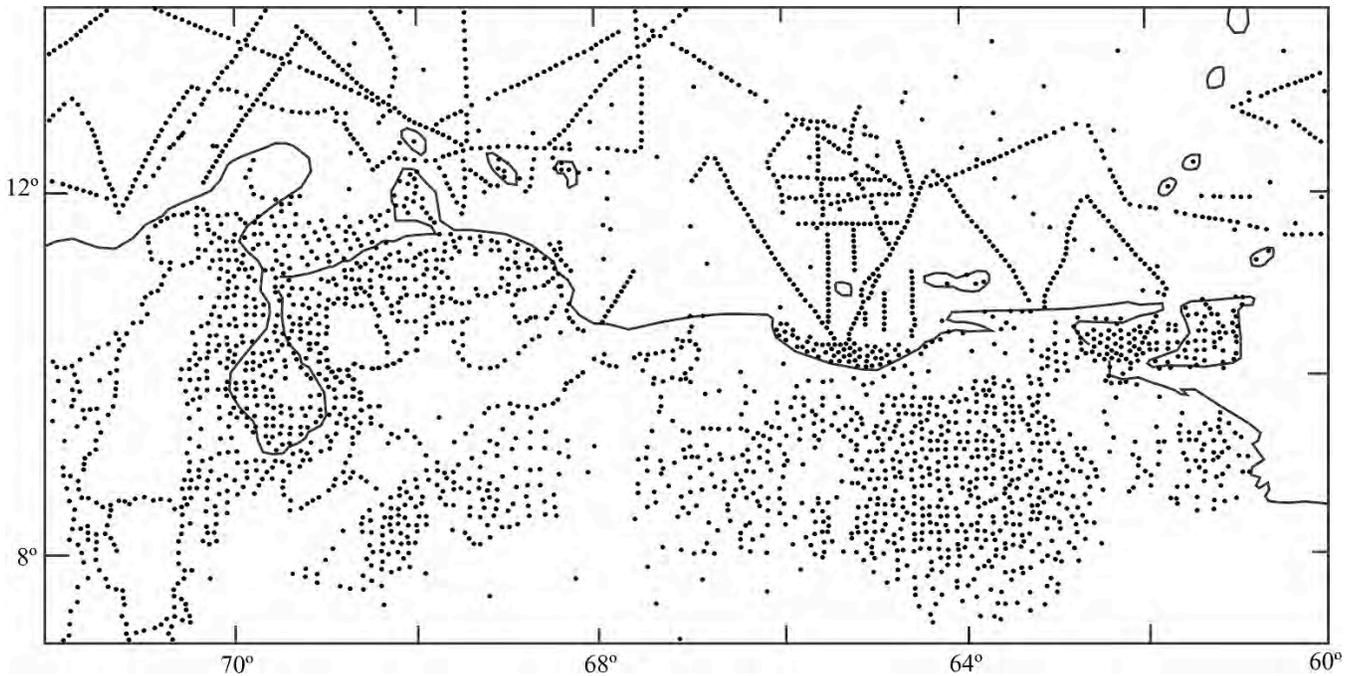


Fig.1. Estaciones gravimétricas en Venezuela levantadas entre 1925 y 1978 por la industria petrolera y la DCN (Tomado de FOLINSBEE 1972).

Del año 1939 se encuentran en los archivos del Instituto Geográfico de Venezuela (IGVSB) reportes del establecimiento de cinco estaciones gravimétricas destinadas a la calibración instrumental (Figura 2). Estas estaciones se encuentran localizadas en la Av. San Martín, la Plaza Pérez Bonalde y el molino de la Hacienda Ruperto Lugo (hoy estación Gato Negro) en la Ciudad de Caracas y dos estaciones en el hoy estado Vargas, una localizada en la Plaza Tamarindo y en el terminal del aeropuerto de Maiquetía. Esta selección de localidades se ajusta a las condiciones de las estaciones de calibración instrumental al agrupar una secuencia con una importante variación de altura entre las cinco estaciones. En los archivos del IGVSB reposan reportes de verificación de gravímetros de las empresas transnacionales que operaban en Venezuela en las décadas del 40 y 50 y los reportes de rangos de variación de gravedad esperada entre cada par de estaciones, con la identificación de los técnicos adscritos a la División de Geodesia de la Dirección de Cartografía Nacional (Figura 3).

Los primeros registros de mediciones, disponibles en los archivos de la coordinación de geodesia del IGVSB (organismo actual que deriva de la creación Dirección de Cartografía Nacional del Ministerio de Obras Públicas) datan de 1949, se refieren al levantamiento de dos estaciones absolutas localizadas en Caracas y Barcelona (Figura4, Anexo 1) realizadas con péndulos suministrados por el Servicio Geodésico y de Costas de Estados Unidos (U.S C&GS) gracias a una línea de cooperación establecida con la DCN, al menos desde 1947 (FAJARDO 1992).

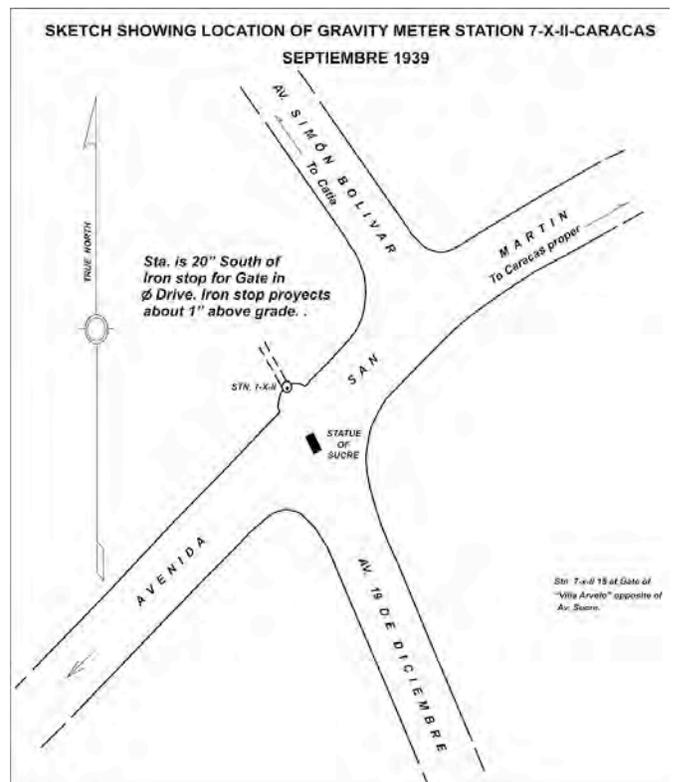


Fig. 2. Estación San Martín perteneciente al circuito de calibración instrumental implementado en 1939.

From station	to station	gravity interval (mg)	
7X11	7X10A	-194.5	965.4 7X11
7X10A	7X9	+109.1	770.9 7X10A
7X9	7X2	+193.73	880.0 7X9
7X2	"New PAA"	-4.40	2 817.3 7X2
			2 773.3 PAA

Creole values as established in January 1945
with Carter meter 17Y1.

San Martín 978.09654
El Atlántico 978.07709
Caticá 978.08800
Mariguá Playa Tamarit 978.28173
" Aeropuerto 978.2773.3
Carl Nacional 978.0664

Fig.3. Gravedad de estaciones del circuito de calibración y las diferencias esperadas al calibrar los gravímetros, se observa nota manual de José Abdala, ingeniero de DCN de aplicación al gravímetro Carter en el año 1945.

El inicio de la gravimetría geodésica en Venezuela se puede fechar en 1949, con el levantamiento de las dos estaciones absolutas previamente indicadas. En este año se da una iniciativa del Servicio Geodésico Interamericano (SGI), destinada a homologar las redes gravimétricas en América, de donde deriva una campaña de mediciones de estaciones absolutas en Sur América, correspondiendo a nuestro país el mes de mayo dentro del cronograma pautado para estos levantamientos (Anexo 1). Se establece la estación pendular Caracas en los depósitos del SGI localizado en la Dirección de Cartografía Nacional, ubicado en la casona de Joaquín Crespo, hoy sede del Instituto de Patrimonio Cultural de Venezuela en Caño Amarillo. Adicionalmente fue medido el valor absoluto de la gravedad en el Liceo Cajigal de Barcelona, edo. Anzoátegui. Las medidas y fichas originales reposan en los archivos del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (Figura 4).

El establecimiento de estas dos estaciones de referencia nacional marcan el inicio de una intensiva actividad de levantamiento de estaciones gravimétricas relativas a partir del año 1950, la totalidad de estos registros están en los

archivos del IGVS. Para ello fueron adquiridos tres gravímetros Worden (21, 30 y 31- Figura 5) los cuales fueron utilizados fundamentalmente en las décadas del 50 y el 60.

Estos gravímetros fueron utilizados para hacer levantamientos en todo el territorio nacional; destaca, por la cantidad de estaciones y el lapso de tiempo dedicado, las campañas realizadas entre los años 1951 y 1955 con el objetivo de establecer el Datum Suramericano Canoa. Se distribuyó un conjunto amplio de estaciones gravimétricas en geometría circular (Figura 6) en toda la región sur central de la cuenca oriental, fundamentalmente en los estados Anzoátegui y Monagas (Figura 8). Este levantamiento conjugó personal y equipamiento, tanto de la DCN como de las empresas petroleras responsables de la prospección geofísica de la zona, ambos juegos de datos reposan en los archivos del IGVS. Los reportes de estaciones gravimétricas adquiridas por la empresa Creole Petroleum Corporation, fueron remitidas a la DCN a los efectos de concretar el establecimiento oficial del Datum Canoa (Anexo 2).

DEPARTMENT OF COMMERCE
U. S. COAST AND GEODETIC SURVEY
Form 724

SPANISH
DESCRIPTION OF GRAVITY STATION

ESTACION N^o NOMBRE ESTADO
Station No. Name CARACAS State Venezuela
JEFE DE COHISION FECHA CONDADO
Chief of party Date 21 de Mayo de 1949 County

CIUDAD MAS CERCANA
Distance and direction from nearest town en Caracas de Venezuela

DESCRIPCION DE LA ESTACION
Detailed description of location La estacion Gravimétrica en Caracas está situada en el
Edificio de la Cartografía Nacional en Cañon Amarillo, y dentro de los depositos del
Inter American Geodetic Survey (Servicio Inter Americano de Geodesia).

Entrando por la puerta Este a unos, 2 metros hacia el Norte del centro del
edificio.
Las bases de los péndulos fueron asegurados al piso de piedra con yeso
de Paris.
Altura del piso del edificio = 908.5 metros.

Recibido por
Receiver support
Described by Juan José Limongi

U. S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE 313079

Fig.4. Ficha original que describe posición de la estación pendular Caracas dentro de las instalaciones de la DCN.



Fig. 5. Operación de gravímetros Worden.

El año 1956 se registra una iniciativa trascendente para la geopolítica venezolana, se realiza un levantamiento gravimétrico que amarra la Isla de Aves (dos localidades) a la estación Santa Inés, excéntrica de la estación pendular

Caracas (Figura 9). Este trabajo represento un reto, no sólo por la complejidad en el acceso a la isla (con la activa participación del Ministerio de la Defensa) sino por las condiciones ambientales de la misma y su efecto en la ejecución de mediciones gravimétricas (Anexo 3, Figura 7).

El año 1958 es declarado el Año Geofísico Internacional por las Naciones Unidas y determina una fecha crucial para la gravimetría internacional, para esa década la gravimetría seguía siendo una de las técnicas más utilizadas en la prospección petrolera. A lo largo de la década del 50 la iniciativa liderada por el Dr. George Wollard de la Universidad de Wisconsin tiene tres campañas de trabajo en Suramérica (1949, 1952 y 1957) de estas, por lo menos dos incorporan Venezuela, de las mismas no se cuenta con registros en los archivos del IGVS (WOLLARD *et al.* 1966).

La declaratoria del Año Geofísico Internacional impulsa los trabajos iniciados por Wollard y en alianza con la empresa California Oil Company organizan una campaña Suramericana en la cual se levantan, con gravímetros Worden, las primeras 16 estaciones de una red de referencia gravimétrica en Venezuela. El Servicio Geodésico Interamericano en alianza con la Universidad de Wisconsin promueve una segunda campaña el año 1960 (Anexo 4) en la cual se levanta 11 estaciones adicionales para completar un total de 27 estaciones en la Primera Red de Referencia Gravimétrica de Venezuela, amarrada al Sistema Gravimétrico Potsdam (WOLLARD *et al.* 1966).



Fig. 6. Operadores de gravímetros en levantamiento de estaciones del Datum La Canoa.



Fig. 7. Estación gravimétrica Isla de Aves.

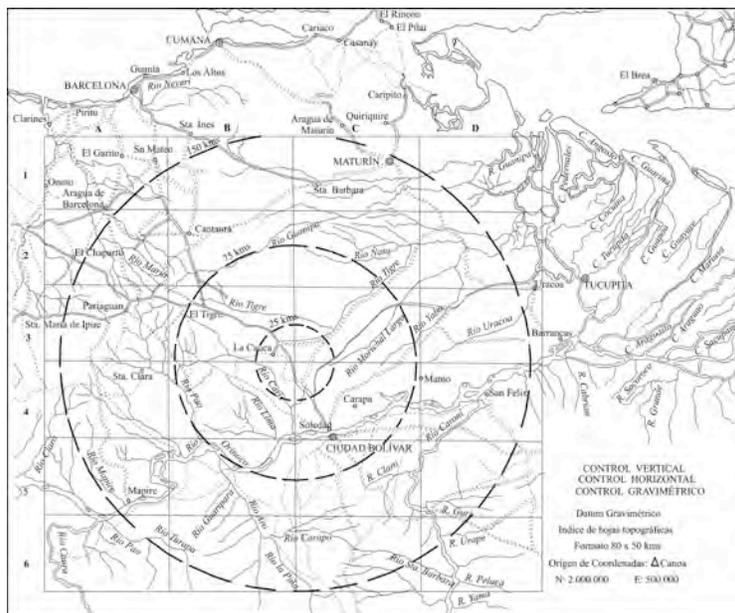


Fig. 8. Patrón de distribución de estaciones gravimétricas del Datum Canoa, observe en figura 1 la geometría de estaciones de región equivalente.

Adicionalmente el año 1958 es incorporada Venezuela en una campaña de medidas pendulares suramericana, utilizando un Péndulo Cambridge (JACKSON 1959) donde Caracas, el único punto venezolano medido en esta campaña, tuvo sólo una medición de dos programadas. Estas mediciones absolutas y las relativas promovidas por el Año Geofísico Internacional incorporan al Observatorio Cajigal como punto de referencia en Caracas. Esta decisión, posiblemente influenciada por los promotores de la iniciativa (geofísicos) no facilita el seguimiento temporal de las medidas absolutas al no visitar la estación pendular Santa Inés.

El observatorio Cajigal representa una localización geodésica importante por su cercanía a Loma Quintana (Datum geodésico de Venezuela entre 1909 y 1956), y por la importancia histórica de sus instalaciones. Fue incorporado en los circuitos de medición gravimétrica, desarrollados por la DCN, en la ciudad de Caracas, contó con varias remediciones entre 1950 y 1953, siempre amarradas con Santa Inés, sin embargo, los trabajos de reconstrucción de la edificación que alberga el observatorio impiden su incorporación al circuito de 1954 por la destrucción del monumento correspondiente. La decisión tomada en 1958 de instalar en el Observatorio Cajigal una estación de gravedad absoluta, que pasó a representar el valor de referencia en Caracas, no sólo rompe la continuidad respecto a las mediciones del 1949, influye en las mediciones posteriores, tanto que en la siguiente campaña de medición de estaciones absolutas (1988) la estación localizada en Caracas se coloca dentro de las instalaciones del Observatorio, pero en posición distinta a la del 1958.

Si avanzamos en la historia de las redes de referencia gravimétricas venezolanas conseguimos que la siguiente fecha trascendente es 1970. En 1970 la Dirección de Cartografía Nacional de Venezuela asume el levantamiento de una nueva red de referencia de alcance nacional. Esta segunda red de referencia se levanta utilizando tres gravímetros Lacoste & Romberg (50, 51 y 57), los observadores son venezolanos, la movilización es principalmente aérea, se utiliza como estación base central para la totalidad de las estaciones, la estación Maiquetía localizada en el terminal del aeropuerto y previamente amarrada a la estación Santa Inés.

La red de referencia de 1970 es identificada con la Red Gravimétrica Nacional de Venezuela (RGNV70), se levantan 58 estaciones de las cuales se retoman 16 localidades de la red de referencia levantada entre 1958 y 1960, 42 son nuevas. La base seleccionada en Maiquetía coincide con una estación de 1960. De estas 58 estaciones, 51 de ellas son levantadas por vía aérea y siete por vía terrestre, las localidades son : Acarigua, Anaco, Barcelona, Barinas, Barquisimeto, Ciudad Bolívar(2), Caicara, Calabozo, Caracas (Santa Inés), Carora, Carúpano, Chaguaramas, Coro, Cumaná, El Dorado, Elorza, Guanare, Guadualito, Guiria, Icabarú, Camarata, Canabayen, Las Piedras, Mérida (2), Maiquetía (2), Maracaibo (3), Maturín (2), Pedernales, Puerto Ayacucho (2), Palmarito, Pariaguan,

Puerto Cabello, Puerto Ordaz, Porlamar, San Antonio del Táchira (2), San Fernando (2), San Juan de los Morros, San Felipe, San Tomé (2), Santa Bárbara , Santa Elena, Santa María de Ipire, El Sombrero, Tucupita, Uoquen, Urimán, Valera y Valle de la Pascua (Figura 10).

La siguiente red de referencia medida en Venezuela se mide en el año 1982 y vale la pena hacer la siguiente aclaratoria: Cuando en el año 1970 Venezuela mide la primera red de referencia, conceptualizada y ejecutada 100% desde y con venezolanos, el Sistema de Referencia Gravimétrico Mundial vigente era el de Potsdam, el cual, como ya explicamos tenía un error del orden de 14 mGal.

Esto implica que la RGNV70 se encontraba afectada por el error detectado en el sistema mundial. El problema mundial es abordado por la Asociación Geodésica Internacional (AGI), quien deroga el Sistema Gravimétrico de Potsdam el año 1971 y le sustituye por la Red de Estandarización Gravimétrica Internacional (IGSN71) (Anexo 5) ello motiva que se aborde una nueva campaña de medición de estaciones de referencia de alcance nacional. Es de hacer notar que la remediación no es indispensable para la adecuación al nuevo sistema estandarizado, en estos casos es posible el recalcular si se dispone de las planillas originales de campo y se estandariza la estación base de referencia utilizada, en nuestro caso ambas condiciones se cumplían visto que las mediciones desarrolladas por la comisión especial del IGSN 71 midió la base central de la RGNV70 en el aeropuerto de Maiquetía. La decisión de remedir se fundamenta en la mejora de la distribución espacial de las estaciones y en la unificación del sistema de transporte utilizado (BRAVO *et al.* 1989).

En el año 1982 es el Ministerio de Energía y Minas (MEM) quien impulsa el levantamiento de una nueva red, y junto a la Dirección de Cartografía Nacional asumen la campaña de campo para levantar una tercera red de referencia, normalizada al IGSN71. Esta tercera red de referencia se levanta utilizando tres gravímetros Lacoste & Romberg (322, 401 y 441), los observadores son venezolanos, la movilización es exclusivamente aérea, se utiliza como estación base central para la totalidad de las estaciones la estación La Carlota, localizada en el hangar del MEM en la Base Aérea Francisco de Miranda en Caracas, estación previamente amarrada a la estación Santa Inés.

En esta tercera red de referencia son levantadas 26 estaciones: Punto Fijo, Maracaibo, Carúpano, Barcelona, Barquisimeto, Santa Bárbara del Zulia, Tucupita, Mérida, Valle de La Pascua, Calabozo, San tomé, Ciudad Bolívar, San Antonio, San Fernando, Caicara, Elorza, Vergareña, El Dorado, Puerto Ayacucho, Urimán, Manapiare, San Fernando de Atabapo, San Carlos de Río Negro, Ocamo y Santa Elena de Uairen (Figura 11).

El año 1988 se desarrolla la segunda campaña de mediciones de gravedad absolutas en Venezuela (obviando la medida pendular del año 1958, (JACKSON 1959) para lo cual se utiliza un sensor de caída de peso, el Jilag-3.

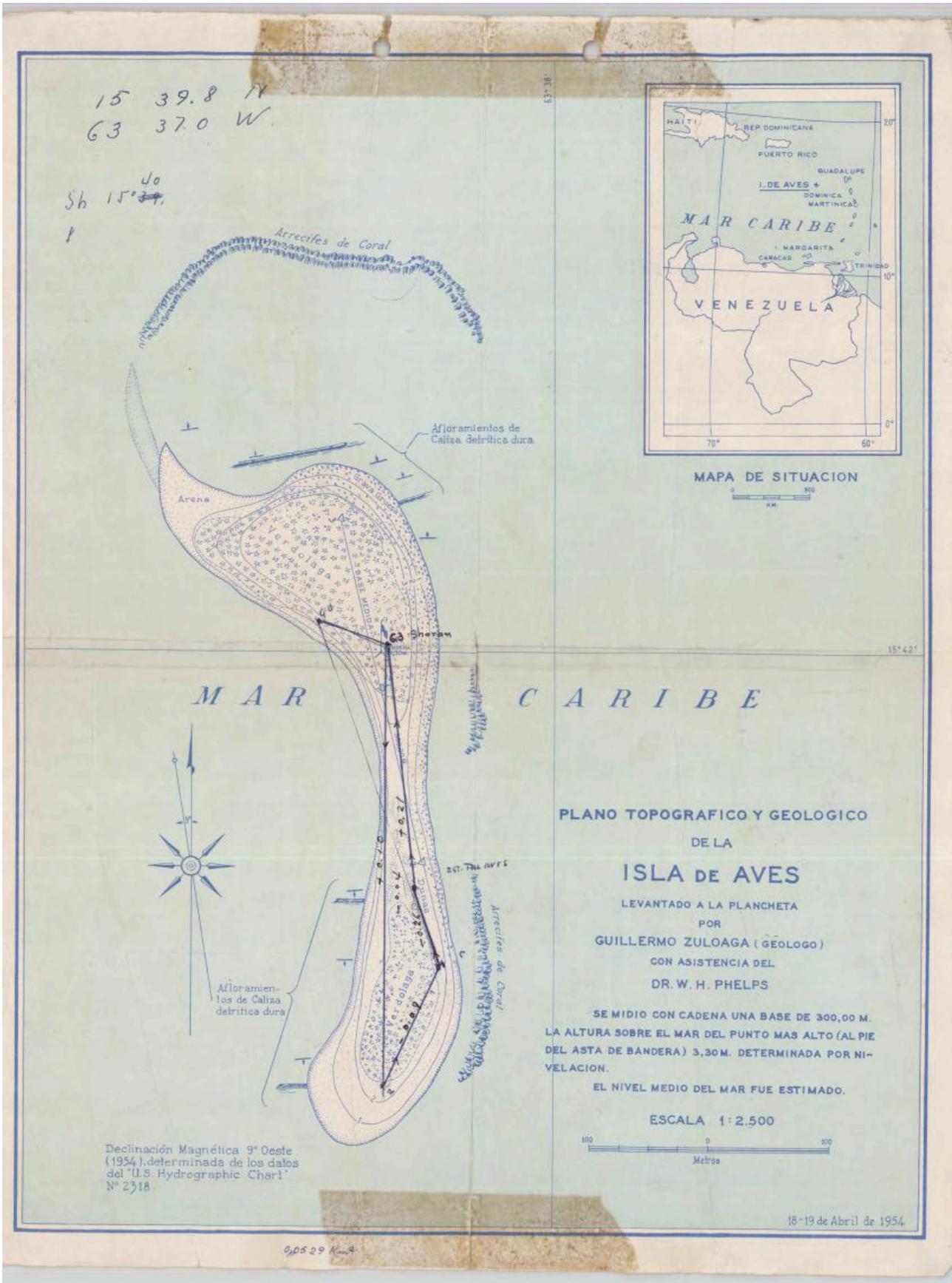


Fig. 9. Mapa del informe original reflejando la posición de las dos estaciones gravimétricas levantadas en Isla de Aves.



Fig. 10. Estaciones de la red de referencia gravimétrica levantada en 1982 (Modificado de Graterol, 1994).

Este trabajo es realizado por investigadores de la universidad de Hannover, con el respaldo de la AGI, se levantan 6 estaciones absolutas (TORGE *et al.* 1994): Observatorio Cajigal, (en posición distinta a la estación pendular de 1958), Ciudad Bolívar, en las oficinas del MEM; Santa Elena de Uairen en las oficinas del Ministerio del Ambiente; Puerto Ayacucho en las oficinas de la Guardia Nacional, Mérida en la cúpula del telescopio Smith del Centro de Investigación de Astronomía (CIDA) y Maracaibo en las instalaciones de la escuela de Geodesia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia (Anexo 6).

Producto de las mediciones de gravedad absoluta de 1988 se publica un trabajo (DREWES *et al.* 1991) que además de reportar las gravedades de las seis localidades indicadas incorpora la normalización de las 26 estaciones de la red del 1982 a los nuevos valores absolutos medidos. En la tabla 1 se presentan los valores de gravedad de la totalidad de las estaciones de referencia que se han instalado

en Venezuela, incluida la normalización de las RGNV70 y RGNV82 a las medidas absolutas de 1988, en el primer caso la normalización se realizó en el marco de este trabajo y en el segundo es tomada de DREWES *et al.* (1991).

Desde el año 1926 la gravimetría en ningún momento ha detenido el andar de los levantamientos en nuestro territorio, en este trabajo hacemos especial énfasis en las redes de referencia pero, pudiésemos, y disponemos de información en los archivos del Instituto Geográfico, para abordar el estudio de la evolución de las mediciones relativas con fines geodésicos y prospectivos. En levantamientos destinados a la prospección por la Universidad Central de Venezuela y la Universidad Simón Bolívar han jugado un importante papel, tanto a nivel de servicios como a través de los trabajos de grados, decenas de tesis de la carrera de ingeniería geofísica, quienes han realizado tesis que involucran el levantamiento de datos gravimétricos.

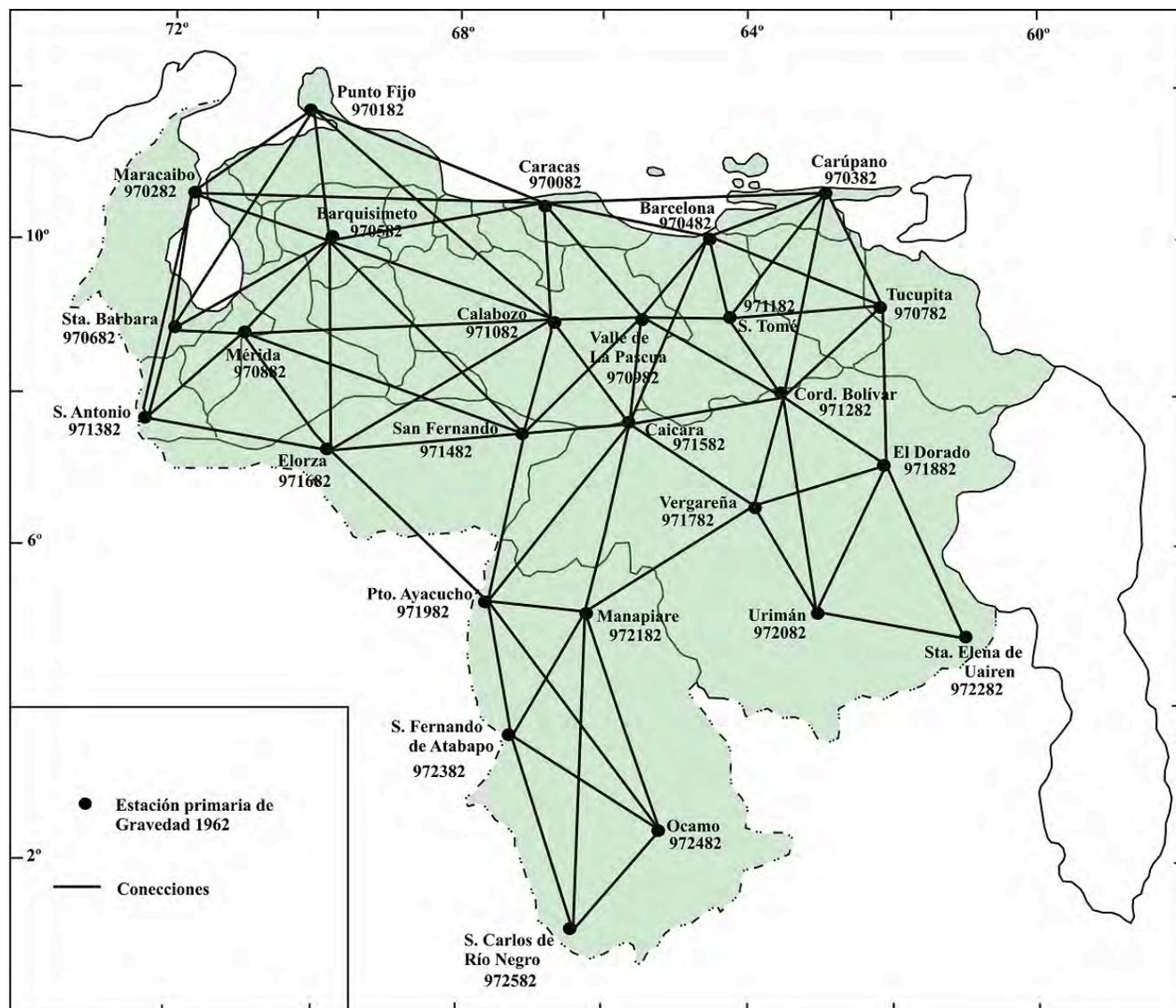


Fig.11. Estaciones de la red de referencia gravimétrica levantada en 1982 (Modificado de Bravo et al., 1989).

Lo mismo se puede decir de otras fuentes de mediciones con fines geodésicos, donde destacan los aportes de la Universidad del Zulia. Este tema ha sido abordado en nuestro país de forma más amplia, la información asociada se encuentra entre informes técnicos de servicios y trabajos de grado (Sánchez, 2012)

EL FUTURO INMEDIATO DE LA GRAVIMETRÍA EN VENEZUELA

En los actuales momentos el IGVSb se encuentra diseñando un plan de remediación de las seis estaciones absolutas medidas en 1988, se prevé ampliar a 10 las estaciones absolutas venezolanas incorporando cuatro estaciones: Santa Inés, Maturín, El Calvario y Elorza. Esta campaña a ser ejecutada el 2014 será realizada gracias a la cooperación del Instituto Geográfico de Brasil, será utilizado un gravímetro absoluto de caída de peso A10 de su propiedad.

La planificación de este levantamiento reposa sobre el personal de la Coordinación de Geodesia del IGVSb e involucra a personal técnico de FUNVISIS, INGEOMIN y PDVSA. A cada una de las estaciones indicadas se le asociará una estación excéntrica levantada con 3 gravímetros CG-5.

Del trabajo articulado que se promueve entre distintos actores públicos con competencia en la adquisición de datos gravimétricos se espera estabilizar la base de datos gravimétrica y la retoma por parte del IGVSb de la administración de la Red de Referencia Gravimétrica Venezolana. La posibilidad de administrar una moderna red de referencia, apoyándose en sistemas informáticos para la actualización y distribución de datos es una condición actual que facilita normalizar nuestra red y permitirá evitar que se repitan distorsiones como las que actualmente encontramos en las bases de datos existente.

Orihuela 2014. Historia de la gravimetría en Venezuela.

Tabla 1. Gravedad de las tres redes de referencia (RR) medidas en Venezuela, 58-60, 70 y 82. Adicionalmente se incorpora la normalización de la RR 70 y 82 a las medidas absolutas de 1988.

ESTACIÓN	RR 58-60	RR 70	RR 70/88	RR 82	RR 82/88
ACARIGUA		978,092,686	978,077,946		
ANACO		978,074,068	978,059,316		
BARCELONA	978,150,600	978,150,561	978,135,757	978,135,676	978,135,722
BARINAS		978,066,251	978,051,384		
BARQUISIMETO		978,039,488	978,024,710	978,024,722	978,024,708
CAICARA *	978,124,700	978,126,283	978,111,360	978,111,430	978,111,466
CALABOZO *	978,167,900	978,168,854		978,150,107	978,150,163
CARACAS-STA. INES	978,065,700	978,065,870	978051.043		978051.043
CARACAS A (OBSERV)	978,039,700				978024.695
CARACAS LA CARLOTA				978,061,291	978,061,293
CARORA		978,085,942	978,071,154		
CARUPANO		978,223,937	978,209,111	978,208,994	978,209,078
CASIGUA	978,117,000				
CD. BOLIVAR Int.	978,151,700	978,151,544	978,136,785		
CD BOLIVAR DCN		978,151,677	978,136,788	978,136,693	978,136,741
CHAGUARAMAS		978,144,182			
CORO *	978,237,400	978,235,568	978,220,733		
CUMANÁ		978,206,387	978,191,571		
DABAJURO	978,178,700				
EL DORADO		978,058,145	978,043,368	978,043,326	978,043,316
ELORZA		978,081,493	978,066,715	978,066,655	978,066,660
GUANARE		978,079,713	978,064,990		
GUASDUALITO		978,079,545	978,064,774		
GUASIPATI	978,054,500				
GUIRIA		978,173,229	978,158,478		
ICABARÚ		977,900,891	977,886,130		
KAMARATA		977,957,831	977,943,042		
KANAVAYEN		977,793,731	977,778,993		
LA FRIA	978,010,400				
LA GUAYRA "L"	978,252,200				
LAS PIEDRAS *	978,246,500	978,244,965		978,250,632	978,250,746
MAIQUETIA AP "j"	978,245,900	978,245,917	978,230,910		978,230,910
MAIQUETIA AP "K"	978,246,000				
MANAPIARE				978,020,939	978,020,915
MARACAIBO Int.	978,200,000	978,199,489			
MARACAIBO-1		978,174,940	978,160,148	978,160,123	978,160,195
MARACAIBO-2		978,174,985	978,160,186		
MATURIN Int.	978,011,200	978,011,166	977,996,486		
MATURÍN		978,011,189	977,996,486		
MÉRIDA		977,751,151	977,736,474		
MERIDA Int.	977,750,600	977,750,729	977,736,056	977,736,493	977,736,309
OCAMO				977,973,668	977,973,612

Orihuela 2014. Historia de la gravimetría en Venezuela.

PALMARITO		978,102,541	978,087,789		
PARIAGUAN		978,077,675			
PEDERNALES		978,017,731	978,003,021		
PORLAMAR	978,281,200	978,281,399	978,266,551		
PUERTO	978,064,400	978,060,667	978,045,302	978,045,916	978,045,899
AYACUCHO Int. *					
PUERTO AYACUCHO		978,060,796	978,046,040		
PUERTO CABELLO		978,229,384	978,214,559		
PUERTO ORDAZ		978,127,099	978,112,308		
PUERTO PAEZ	978,081,800				
SAN ANTONIO		977,942,759	977,928,076		
SAN ANTONIO Int.	977,943,000	977,942,606	977,927,925	977,927,867	977,927,806
STA. BARBARA	978,060,800	978,060,007	978,045,302	978,045,196	978,045,194
SAN CARLOS RIO NEGRO				978,007,675	978,007,646
SANTA ELENA		977,837,642	977,822,883	977,822,934	977,822,797
SAN FELIPE		978,133,224	978,118,424		
SAN FERNANDO int *	978,141,200	978,138,326	978,123,572	978,123,394	978,123,433
SAN FERNANDO		978,138,374	978,123,474		
SAN FERNANDO DE ATABAPO				978,018,508	978,018,482
SAN JUAN DE LOS MORROS		978,080,972			
SANTA MARÍA		978,135,401			
SAN TOME A (BASE)		978,066,054			
SAN TOMÉ (AST)		978,065,968	978,051,266	978,051,088	978,051,085
SOMBRERO		978,146,526			
TUCUPITA		978,128,120	978,113,380	978,113,262	978,113,294
UOKEM		977,863,494	977,848,801		
URIMÁN		977,949,869	977,935,078	977,934,945	977,934,840
VALERA		977,979,430	977,964,667		
VALLE DE LA PASCUA *		978,155,625		978,146,011	978,146,063
VERGERANA				978,004,574	978,004,537

* estaciones medidas en la misma localidad pero en distinto BM

CONCLUSIONES

La gravimetría venezolana cuenta con 89 años de trabajo ininterrumpido, en este lapso de tiempo se han levantado más de 140000 estaciones con fines prospectivos y 110 estaciones de referencia, distribuidas en tres redes, levantadas los años 58-60, 70 y 82. Las redes de referencia 70 y 82 tomaron como estación de partida la excéntrica de la estación pendular Caracas, localizada en la sede de la DCN en Caño Amarillo y la red del 58-60 incorporo como estación de referencia la estación medida en el Observatorio Cajigal en ocasión de la campaña de amarre de estaciones absolutas en Sur América, realizada en AGI. El año 1988 se realiza la única campaña de mediciones de gravedad por caída de peso en nuestro territorio, ocupándose seis localidades, se planifica para 2014 una segunda campaña con este tipo de gravímetro en la cual se re medirán las seis

localidades indicadas con la incorporación de tres estaciones adicionales.

BIBLIOGRAFÍA

- BRAVO, D., BENÍTEZ, R., FONSECA, A., & EMILIO HERRERO. 1989. Establecimiento de la nueva red gravimétrica de estaciones bases de Venezuela. *Boletín Cartografía y Geodesia* (Maracaibo) 2 (1), 1-98.
- DREWES, H., TORGE W., RÖDER R., BADELL C., BRAVO D., & OSWALDO CHOURIO. 1991. Absolute and relative gravimetric surveys of national and geodynamic networks in Venezuela, *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 4, No. 4, pp. 273-286.
- FAJARDO, Á. 1992. *Cinco Siglos de Cartografía en Venezuela*. Obra conmemorativa del quinto siglo del

- descubrimiento de América. Caracas, 230 p., DCN, ISBN 980-04-0864-9.
- FOLINSBEE, R. 1972. *The gravity field and plate boundaries in Venezuela*. Thesis P.H.D Massachusetts Institute of Technology, 159 p
- GRATEROL, V. 1994. Mapa de anomalía de Bouguer de Venezuela. Compilación 1993. *Memorias del VII Congreso Venezolano de Geofísico*, pp. 162 a169.
- INTROCASO, A. 2006. Geodesia física. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, Volumen especial N° 1, pp. 1 a 128, ISSN1666-115X.
- HOSKINSON, A. 1954. *Geodetic operations in the United States and other areas through international cooperation 01-1939 a 12-1953*. Special Report N° 320 United State Department of Commerce.
- MORELLI, C., GANTAR T., MCCONNELL R., SZABO B., & UOTILA. U. 1972. *The International Gravity Standardization Net 1971 (I.G.S.N. 71)* Report AF 61(052)565. Air Force Cambridge Research Laboratories, Office of Aerospace Research and Development.
- NABIGHIAN, M., ANDER, M., GRAUCH, V., HANSEN, R., LAFEHR, T., LI, T., PEARSON, W., PEIRCE, J., PHILLIPS, J & MICHAL RUDER. 2005. Historical development of the gravity method in exploration, *Geophysics*, vol. 70, N°. 6; p 63–89, 10.1190/1.2133785.
- PETHÖ, G. & V. PÉTER. 2009. *Gravity Methods*, Geophysics, N° 1, TAMÓP 4.1.2-08/1/2009-033
- SÁNCHEZ, J. 2012. Gravity Data Analysis and 3D Modeling of the Caribe-South America Boundary (76°– 64° W), Dissertation in fulfillment of the requirements for the degree “Dr. rer. nat.” of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences at Kiel University
- SEVILLA DE LERMA, M. 2012. Historias de Matemáticas - Introducción Histórica a la Geodesia. *Revista de Investigación G.I.E*, Pensamiento Matemático, N° 2, ISSN 2174-0410.
- TORGE, W. 1989. *Gravimetry*. Editorial Walter de Gruyter, Berlin-New York, 453 p.
- TORGE W., TIMMEN L., RÖDER R., & SCHNÜLL M.. 1994. The IFE Absolute Gravity Program “South America” 1988-1991, Deutsche Geodatische Kommission, N299.
- WOLLARD, G., MONGES J. & KOZLOSZY, J. 1966. Una red de bases modernas para el control de gravedad en las Américas Central y del Sur. *Geofísica Internacional*, V. 6, N° 2, pp. 39 a 69, Unión Geofísica Mexicana-IPGH.