

DESARROLLO DE UN MODELO GEOIDAL CGV08 COMO INSUMO PARA LA DETERMINACIÓN NACIONAL DEL GEOIDE

Ing. Gabriela Cordero Gamboa

gcorder@una.ac.cr

Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia
Universidad Nacional, Costa Rica

RESUMEN

Costa Rica carece de un modelo geoidal propio. Ese aspecto nos lleva a utilizar el modelo geoidal regional Carib97 y el modelo global EGM96, lo que genera problemas de pendientes del terreno muy marcadas que dan variaciones en la determinación de la ondulación geoidal. La actividad de investigación desarrollada se usa como plan piloto para demostrar la necesidad de contar con un modelo geoidal, que permita definir información con mejor calidad en los campos geofísicos de interés para todos los profesionales afines a la ciencia. En este artículo se brindan los resultados tras la medición, procesamiento y análisis estadísticos realizados.

Palabras Clave: Modelo geoidal, alturas ortométricas, gravimetría.

ABSTRACT

There is a lack of geoidal model for Costa Rica, which forces us to use either the regional Carib97 model, or the EGM96 global model, both maintaining slope problems where the topography is highly steep, this situation produces variations in the determination of the geoidal undulation.

The research activity developed is used as a pilot plan in order to demonstrate the necessity to have a geoidal model that allows the definition of information with a higher level of quality, in the geophysical fields of interest for all the professionals related to this science.

Keywords: Model geoidal, Orthometric heights, Gravimetry.

INTRODUCCIÓN

La actividad de investigación “Control y Densificación Altimétrica de una Red Geodésica en San Mateo-Orotina incluyendo Tres Puntos del Instituto Geográfico Nacional, como Insumo para una Determinación Nacional del Geoid”, se desarrolló con el fin de examinar información oficial del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en puntos encontrados en buen estado físico (monumento) de la zona de estudio, que se utilizaron como base para la densificación de una red geodésica en la zona de estudio, que nos permitió determinar la ondulación geoidal en el sitio indicado.

Los datos existentes fueron medidos en 1963 por el Instituto Geográfico Nacional a partir de mediciones en varias líneas de nivelación; en su momento, se determinaron coordenadas altimétricas para puntos que se establecieron como bancos de nivel. Después de esa fecha, hasta hoy, no se ha realizado algún mantenimiento o control a la información.

La aplicación de la geodesia, a nivel nacional en el estudio del geoid, es incipiente, sin embargo, existe evidencia en la tesis “Estudio comparativo de la ondulación del geoid determinada por nivelación GPS y la obtenida aplicando el modelo Osu-91A, sobre una red altimétrica entre el Océano Pacífico y el mar Caribe de Costa Rica” (Díaz, 1998), en la investigación realizada por Moya y Dörries (2004) en el proyecto “Estudio comparativo

de la ondulación del geoido en los alrededores del vértice ETCG”, conocido como “Geoido”, y en la investigación “Datum geodésico de Ocotepique y el datum satelitario del sistema WGS84” (Dörries y Roldán, 1998), académicos de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia.

Mediante esta actividad de investigación se realizó la nivelación de la red geodésica San Mateo-Orotina, cuyos resultados se analizaron estadísticamente con los registros oficiales del Instituto Geográfico Nacional. Este aspecto permitió verificar las discrepancias significativas de las alturas referidas al nivel medio del mar existentes en la base de datos del IGN contra las mediciones realizadas. Al evidenciarse diferencia, se usó el punto 473, que cumplió con las mejores condiciones en cuanto al estado físico, como punto de partida para el traslado de las cotas a cada uno de los puntos establecidos en la red. Ese proceso posibilitó actualizar y determinar un registro de datos del geoido propios de la zona.

El proyecto incluyó la aplicación de diferentes técnicas de medición, entre ellas GPS, nivelación convencional y gravimetría que permitieron con su elaboración adquirir resultados adecuados para definir en la zona seleccionada coordenadas en el sistema oficial (CR05), alturas geométricas y físicas para los puntos que forman la red geodésica.

El área de estudio seleccionada para la realización de la investigación se encuentra en la región central de San Mateo y Orotina, Alajuela (Fig. 1). Está limitada al sur por la línea férrea del Pacífico y al norte por la vía entre PANACA y Esparza; ocupa una extensión aproximada de 16 km² comprendida 9°54'40" N – 9°56'35" N y 84°30'13" O – 84°32'28" O.

MATERIALES Y MÉTODOS

La red está formada por 14 puntos; de los cuales 3 son bancos de nivel existentes oficiales del Instituto Geográfico Nacional en la zona (473 - 1304 - 27B) y 11 son puntos amojonados utilizando tornillos galvanizados de carrocería. Establecido el diseño, se amojonaron los puntos nuevos, se midió y procesó la información de la red geodésica.

En el levantamiento GPS se aplicó metodología de medición estática relativa en vectores de acuerdo con el diseño y posterior vínculo a puntos de la red de 1° y 2° orden del sistema CR05 (COLES, TURU3, SANRA1, PUN2). En este proceso, se usaron de 4 equipos GPS de doble frecuencia modelo Hiper Lite Plus de la casa comercial Topcon®. El procesamiento de este tipo de datos se realizó en el *software* respectivo a la casa comercial indicada.

En la medición convencional, se empleó técnica de nivelación geométrica de precisión en las líneas entre los puntos existentes del IGN al usar NI2 con placa plano paralela de 10mm, nivelación geométrica en los tramos cortos entre los puntos nuevos por medio de Ni21 y nivelación trigonométrica en las líneas restantes con estaciones totales Sokkia 510® con exactitudes nominales de $\pm 5''$ en la parte angular y $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ en la parte lineal. El cálculo respectivo se desarrolló en planillas de Microsoft Excel®.

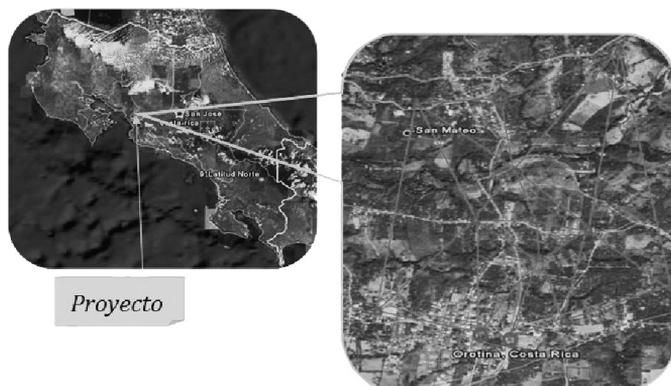


Figura 1 Localización de la zona de investigación

En la determinación de la gravedad, se efectuaron mediciones gravimétricas relativas con puntos de referencia. Para ello se usaron Catedral y Cañón ambos localizados en la ciudad de Puntarenas. A estos puntos se les asignó como puntos fijos. A partir de ellos se estableció una nueva base en los puntos 1304 y 473 (parte de la red); luego se operó en circuitos, lo cual significa que se partió de un punto y se volvió a él después de un tiempo. Para el establecimiento de la base en la zona de trabajo, se realizaron tres circuitos entre los puntos fijos y se efectuó el traslado a los puntos 473 y 1304, en los que también se realizaron tres circuitos y se regresó nuevamente a los puntos fijos.

Las correcciones, las reducciones y las anomalías correspondientes a la determinación de la gravedad se realizaron en una plantilla del software de Microsoft Excel®. Determinada la gravedad para cada punto, se realizó la determinación de la altura ortométrica.

Recordemos que las mediciones de GPS brindaron coordenadas vinculadas al sistema CR05 a los puntos de la red, además de su respectiva altura elipsoidal; insumo para la definición de la **ondulación geoidal** ($h - H = N$).

El periodo usado para la actividad de investigación inició en marzo 2008 y culminó en febrero 2009.

RESULTADOS

Con la información obtenida por las mediciones y procesada con las indicaciones dadas en la metodología, en la actividad de investigación se obtuvieron como productos los datos que se indican en los siguientes cuadros, altura geométrica (Cuadro 1 Alturas elipsoidicas), altura física (Cuadro 2 Alturas ortométricas) y (Cuadro 3 la ondulación geoidal) para todos los puntos de la red geodésica con sus respectivas desviaciones estándar a posteriori.

Punto	Altura elipsoidal (h) (m)	s_h (mm)
473	241 113	55
1304	265 537	31
PANA	253 810	33
CEM	257 936	31
TENO	205 491	32
P1	234 203	31
P2	206 097	36
4E	249 817	30
DES	257 921	31
MAG	213 800	32
LT1	249 468	30
LT29	266 442	32
27B	236 006	44
MAST	208 999	31

Cuadro 1. Alturas elipsoidicas

Punto	Altura ortométrica (H^0) (m)	s_H (mm)
473	228 9926	0.96
1304	253 6364	1.07
PANA	241 7478	1.02
CEM	246 0453	1.03
TENO	193 5476	0.81
P1	222 3079	0.93
P2	194 0939	0.82
4E	237 942	1.00
DES	246 0222	1.03
MAG	201 8782	0.85
LT1	237 5910	1.00
LT29	254 5152	1.07
27B	224 0293	0.94
MAST	197 0119	0.83

Cuadro 2. Alturas Ortométricas

Punto	Ondulación geoidal (N) (m)	s_N (mm)
473	12 1204	0.0
1304	11 9006	0.0
PANA	12 0622	1.7
CEM	11 8907	1.9
TENO	11 9434	2.0
P1	11 8951	0.6
P2	12 0031	0.5
4E	11 8759	0.6
DES	11 8988	1.4
MAG	11 9218	1.4
LT1	11 8770	1.2
LT29	11 9268	1.4
27B	11 9767	0.0
MAST	11 9871	1.4

Cuadro 3. Ondulación geoidal

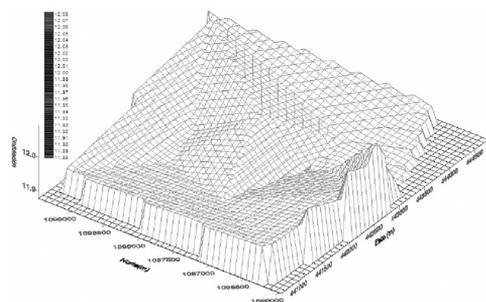


Figura 2 Proyección de la Ondulación Geoidal

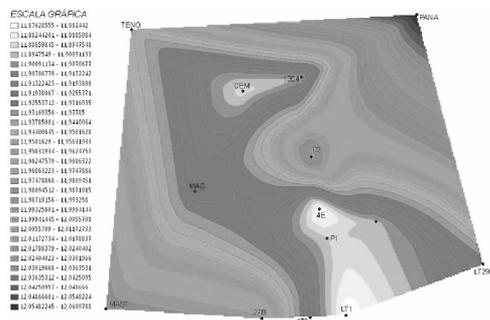


Figura 3 Representación de la ondulación geoidal

DISCUSIÓN

El desarrollo de la actividad de investigación “Modelo Geoidal CGV08” logró en su organización el aporte datos numéricos y gráficos, junto con los respectivos análisis, y con ello concluir:

- La inserción de datos gravimétricos en los resultados permitiendo definir alturas ortométricas y la pertinente ondulación geoidal en la zona de estudio, nunca definidas en alguna zona de Costa Rica, aspecto que es relevante, porque brinda insumos para futuras actividades e incentiva a desarrollar un modelo geoidal en todo el país.
- Se realizó la determinación de un modelo geoidal para la zona denominado **CGV08**. En este modelo se refleja la gravedad en la definición de las alturas ortométricas considerando la densidad del terreno en la zona de estudio, y el estrecho vínculo que genera con las alturas elipsoidicas para determinar la ondulación geoidal de cada punto de la red geodésica, formada por 14 puntos de los cuales tres de ellos forman parte de la red altimétrica del IGN.
- Se comprobó la necesidad de actualizar los datos de la base del IGN, porque los resultados evidenciaron la diferencia significativa en los puntos utilizados en la red que forman parte de la base de datos del IGN con una probabilidad al 95% entre los datos existentes en la base de datos del IGN y los resultados en la presente actividad de investigación; por tanto, difieren y requieren mantenimiento.
- Se dotó de coordenadas a los puntos de la red en el sistema actual oficial en el país CR05 por medio de la técnica de medición GPS, lo cual permite cercanía en la zona de trabajo de puntos para establecer vínculos a los diferentes trabajos requeridos en la zona. La exactitud lograda para estos puntos en forma planimétrica es idónea, debido a la configuración de

- la red en la metodología empleada y su respectivo procesamiento de datos.
- Se consideraron las recomendaciones para las metodologías empleadas, porque la localización de los puntos en cada una requiere características diferentes y por tratarse de una red geodésica con la combinación de técnicas se necesita cumplir con todas ellas.
 - Se utilizó una combinación de metodologías de nivelación convencional que cumplieron con la exactitud requerida; idealmente, se busca utilizar una sola técnica de nivelación; sin embargo por el factor tiempo indicado, fue necesario realizar la emulsión de ellas, que finalmente contribuyó en el resultado final sin ninguna alteración de datos permitiendo comparar estadísticamente resultados y dotar de alturas niveladas a cada vértice de la red geodésica.
 - Los resultados muestran una ondulación geoidal promedio de $11,9474 \text{ m} \pm 1,0 \text{ mm}$, brindando como resultado datos confiables y de buena calidad debido a la consideración de la gravedad y uso de densidad analizada para cada punto en la zona indicada. Estos resultados muestran lo imprescindible de considerar el efecto del terreno cuando queremos obtener un geoide teniendo en cuenta el método utilizado para calcularlo, porque puede variar en unidades, en este caso en el orden de centímetros a milímetros.
 - Se determinaron valores de gravedad desde el punto de vista geofísico para los puntos que forman la red, aspecto que permite observar la importancia de la relación de la gravedad en el desarrollo de datos de este tipo, y a la vez, detallar la diferencia existente entre la superficie y el geoide.
 - Se estableció como vínculo a los puntos de la red estudiada la referencia vertical de la cota de uno de los puntos del IGN, que en su debido momento partió de los mareógrafos existentes en Puntarenas y, a pesar de no estar actualizada a la fecha, permite enlazar la importancia del establecimiento del cero altimétrico al trabajo realizado.
 - Los productos obtenidos evidencian que geométrica y físicamente la superficie del geoide, según valores utilizados de densidad y gravedad en la determinación de alturas ortométricas.
 - Respecto al tiempo de cálculo, sin duda sería más favorable contar con programas de cálculos para este fin, porque esta etapa generó mayor trabajo que los correspondientes levantamientos de campo. Es necesario tomar en cuenta la falta de insumos para obtener resultados finales en el país, el estrecho vínculo entre profesionales que se debió realizar fundamentó el alcance de resultados, porque siempre se contó con la ayuda de profesionales en áreas diferentes, constancia de esto es en la parte de procesamiento de datos gravimétricos las contribuciones del Msc. Germán Leandro, funcionario del ICE y en la relación geodésica se requirió la ayuda de profesionales expertos, para lo que los aportes de los académicos de la Unidad Académica, Ing. Jorge Moya e Ing. Julio Roldán y además se obtuvo gran ayuda de la Dra. Laura Sánchez, vicepresidenta del SIRGAS y el Dr. Abelardo Bethancour, profesor universitario de la Universidad Politécnica de Madrid que, como expertos en el área, nos brindaron los lineamientos para concretar la respuesta a toda esta actividad de investigación.
 - Con todo lo indicado anteriormente, resulta necesario rescatar la importancia del trabajo multidisciplinar en equipo requerido para la elaboración de diferentes proyectos.
 - Es importante rescatar en la actividad geodésica la evolución para equiparse y dar soporte al avance tecnológico, alentador saber que en Costa Rica se tiene la intención firme de no quedar atrás y que nuestro avance no dependa

de manos extranjeras, aunque puede vislumbrarse la eminente necesidad de permanecer actualizados.

- La actividad de investigación permitió, finalmente, adquirir experiencia y conocimientos teóricos y prácticos en la aplicación de la Geodesia Física para los participantes de la actividad. Para la ETCG, es fundamental cubrir el espacio faltante en el área geofísico, lo cual esperamos poder transmitir con alguna herramienta a los compañeros de la Unidad Académica.

BIBLIOGRAFÍA

- Cid, P. R. y Ferrer Martínez S. (1997). *Geodesia Geométrica, Física y por Satélites*, Instituto Geográfico Nacional, España.
- Díaz, G.S. (1997). *Estudio comparativo de la ondulación del geoide determinada por nivelación GPS y la obtenida aplicando el modelo Osu-91A, sobre una red altimétrica*. ETCG. UNA.
- Götze, H.J, Lahmeyer, B y otros. (1988). *Aplicaciones de Gravimetría en Geología*, Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- Heiskanen, W. and Morris, H. (1967). *Physical Geodesy*, W. H. Freeman, San Francisco.
- Lev Allois, Jean J. (1970). *Gēodēsie Gēnērale*, Tomo 3, Editorial Paris, New York.
- Morelli, C. (1968). *Gravimetría*. Del Blanco Editore, Udine.
- Moritz, H. (1980). *Geodetic Reference System*, Bull. Géod.
- Moya, J. (2004). *Estudio de la ondulación del Geoide*, UNICIENCIA, Vol.21, art. 16.
- Palomo, M. y Ramírez, R. (2001). *Realización de Cartografía Gravimétrica de la Zona Norte de Toledo (Anomalías de Faye y Bouguer Simple) Cálculo de la corrección Topográfica en dos puntos del Terreno*, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Pacomio, P. M. M. (2000). *Proyecto para la implantación de una nueva red de Nivelación de Precisión en la Comunidad Autónoma de Extremadura (PFC)*. Jaén, E. Politécnica Superior; Universidad de Jaén, España.
- Roldán, J. (1988). *Ajuste 1*. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- (1988). *Ajuste 2*. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Sánchez, L. (2002). *Determinación de Alturas Físicas en Colombia*, Institut für Planetare Geodäsie Technische Universität Dresden, Alemania.
- Sánchez, L. y Martínez, W. (1997). *Guía Metodológica para la obtención de alturas sobre el nivel medio del mar utilizando sistemas GPS*, Instituto Geográfico Agustín Cadazzi.
- Sánchez, L. (2005). *Reporte 2005 Sistema de referencia geocéntrico para las Américas, Datum Vertical*, Caracas, Venezuela.
- Sosa, D.C. (2006). *Informe Actividad en área temática Geofísica-Gravimetría*. Proyecto para la protección ambiental y desarrollo sostenible del Sistema acuífero Guaraní, Buenos Aires, Argentina.
- Torge, W. (2001). *Geodesy*. Berlín Alemania.
- Zakatov, P. (1976). *Curso de Geodesia Superior*, URSS.
- Zaragoza, C. y Olalla de, Juan B. (2008). *Diseño, observación y cálculo de una red gravimétrica de alta precisión en la comunidad de Madrid con calibración previa del gravímetro*, Escuela de Ingeniería Técnica Topográfica, Madrid, España.