

DETERMINACIÓN DE ALTURAS NORMALES EN EL SISTEMA DEL DÁTUM VERTICAL LOCAL EN LA ZONA NIQUELÍFERA DE MOA APLICANDO LA TECNOLOGÍA GPS

Sergio Ricardo Desdín¹, Carlos Galán Domínguez²

¹Empresa GEOCUBA-Geodesia, Grupo Empresarial GEOCUBA, MINFAR. La Habana. Cuba. sergior@geocuba.geodesia.cu

²Empresa RAUDAL, Recursos Hidráulicos. Holguín. Cuba.

RESUMEN:

La obtención de valores confiables de las alturas en el marco de proyectos de determinaciones GPS constituye una temática actual y de gran potencial de uso en la determinación de las alturas normales de estaciones en el sistema del Datum Vertical. Esta investigación se desarrolla en el territorio que comprende las industrias niquelíferas de Moa en la provincia Holguín y tiene como objetivos determinar las alturas normales en el sistema del datum vertical en la zona niquelífera de Moa aplicando la tecnología GPS. Para ello se crearon y activaron Polígonos Geodinámicos regionales y locales que fueron medidos por GEOCUBA a solicitud del Departamento de Seguridad Industrial de la unión del níquel. Se emplearon cuatro receptores GPS de una sola frecuencia del tipo SR-20 con antenas AT 500 de Leica Geosystems. Las mediciones se realizaron mediante el posicionamiento estático relativo (PRE) en los puntos remotos y estaciones de referencia con una duración de dos (2) horas en dos secciones de trabajo (mañana y tarde), colectándose datos cada 1 segundo. Los datos se procesaron con el software Leica Geosystems 7.0 y se ajustaron en el software Ajustniv, obteniéndose un resultado de III Orden de precisión de ± 0.020 mm y un error medio cuadrático de ± 0.008 mm. Las diferencias entre las alturas obtenidas como resultado de las mediciones con GPS y ajustadas en el software ajustniv y las alturas determinadas por nivelación geométrica de II Orden, oscilan entre 1 y 3 cm en distancias desde 1.4 km hasta 6.3 km desde el punto inicial, hasta el punto final de la red, obteniéndose precisiones por encima de las esperadas. En este trabajo quedó demostrado que la aplicación de las tecnologías de avanzada para la determinación de alturas normales en las redes GPS, sustituyendo el conocimiento de las ondulaciones del geoide, las características del potencial y la separación lineal entre las superficies del elipsoide y el datum vertical local, permite obtener resultados similares a los de las nivelaciones geométricas. Además, se estableció una red geodésica en la zona niquelífera de Moa con el empleo de la tecnología GPS de una sola frecuencia que permite la determinación de las alturas normales en la zona objeto de estudio con factibilidad económica y destacada eficiencia y rapidez.

Palabras clave: alturas normales, tecnología GPS, Zona niquelífera de Moa

INTRODUCCIÓN:

La aplicación de tecnologías geodésicas de avanzada, entre las que se destaca el uso de los GPS, permite obtener coordenadas tridimensionales, por naturaleza geocéntricas, en un sistema de referencia global. Estas coordenadas geográficas y cartesianas tienen una alta calidad en cuanto a exactitud y se pueden obtener en corto

tiempo, aún cuando necesiten de una fuerte etapa de procesamiento para obtener resultados altamente refinados (Rodríguez-Roche *et al.*, 2007; Ricardo-Desdín *et al.*, 2010).

Esta investigación se desarrolla en el territorio que comprende las industrias niquelíferas de Moa en la provincia Holguín. El área objeto de estudio se encuentra ubicada en la parte norte oriental de Cuba y abarca un área de aproximadamente 8.20 km². Desde el punto de vista económico constituye una región de marcado interés por la presencia de uno de los mayores yacimientos de níquel del mundo. Se encuentran presentes además, minerales como las zeolitas, cromitas refractarias y otras materias primas no metálicas que hacen a la región altamente interesante y justifican su desarrollo minero metalúrgico (Acosta-Gutiérrez y García-Masó, 2007).

Teniendo en cuenta las características de la región objeto de estudio, se crearon y activaron Polígonos Geodinámicos regionales y locales que fueron medidos por GEOCUBA a solicitud del Departamento de Seguridad Industrial de la unión del níquel, aunque ya existía un micropolígono en las Camariocas para la evaluación espacio temporal de los desplazamientos verticales y horizontales en el emplazamiento y su influencia en los distintos objetos de obra como son los secaderos, calcinadores y planta eléctrica.

La obtención de valores confiables de las alturas en el marco de proyectos de determinaciones GPS constituye una temática actual y de gran interés a nivel global. Estos posibilitan sustituir el desconocimiento de las ondulaciones precisas del geoide y anomalías de gravedad, necesarias en la nivelación GPS, para determinar las alturas normales de las estaciones observadas en el sistema del Datum Vertical del área de estudio, para diversas aplicaciones.

No obstante a los trabajos realizados, es aún insuficiente la cantidad de estaciones geodésicas que cuentan con alturas geométricas, por lo que todo trabajo que se realice con esta finalidad reviste de vital importancia para desarrollar nuevas aplicaciones y productos con alto valor agregado de interés para la industria niquelífera. En este contexto, este trabajo tiene como objetivos determinar de las alturas normales en el sistema del datum vertical en la zona niquelífera de Moa aplicando la tecnología GPS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Verificación y comparación de los receptores GPS: Para este trabajo se requiere utilizar receptores GPS con sus correspondientes antenas y accesorios. Antes del comienzo de las mediciones se debe realizar el examen exterior y la comprobación del funcionamiento de los Receptores GPS. Siguiendo el método de observación estático-relativo, se realiza un ciclo de comparación en el polígono mediante dos (2) sesiones (mañana y tarde) de dos (2) horas de medición ininterrumpida, coincidiendo con los períodos de mediciones en la red altimétrica proyectada, cumpliendo las exigencias establecidas en el procedimiento para la calibración de receptores GPS (Acosta-Gutiérrez, 2002). La evaluación de las incertidumbres entre los resultados de la determinación de las longitudes de las distancias y sus valores patrones se realizará considerando las mediciones de igual exactitud, a partir de las desviaciones resultantes y de los correspondientes errores medios cuadráticos. Los resultados de las

comparaciones realizadas en un ciclo de medición, no deben sobrepasar el siguiente permisible:

$$\sigma_s = 10 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$$

Reconocimiento: El reconocimiento tiene como propósito seleccionar la ubicación de los puntos a determinar, así como las estaciones de la RGN (Red Geodésica Nacional) que servirán como referencia para el posicionamiento estático-relativo. Para la elección de los puntos debe tenerse en cuenta las características propias del posicionamiento GPS. En las cercanías no deben encontrarse obstáculos naturales o artificiales que dificulten la recepción de la señal, ni superficies reflectantes de consideración. Tampoco deberán existir fuentes significativas de emisión radioeléctrica o torres de alta tensión. Se priorizarán los puntos de la RGN de orden superior, así como estaciones planimétricas con alturas determinadas por nivelación geométrica. Los resultados principales del esquema de la línea de nivelación GPS se representará en el mapa topográfico 1: 25 000 correspondiente a la zona de estudio, además de la utilización de imágenes satelitales.

Monumentación: El tipo de monumento obedecerá a los objetivos del trabajo, las condiciones físicas y topográficas del terreno y se construirán de acuerdo a lo indicado en la norma cubana NC 13-15/87 Monumentos geodésicos: diseños y dimensiones. Como resultado de la monumentación se confeccionará la descripción geodésica del punto o estación), que deberá entregarse en el archivo técnico de la empresa, de acuerdo al orden del mismo.

Realización de las mediciones GPS y procesamiento de los resultados:

Planificación de las observaciones: Se obtendrán efemérides de trabajo con vistas a planificar las mediciones en ventanas de tiempo correctas, para lograr el nivel previsto de precisión. Como datos de entrada para el cálculo de las efemérides de trabajo, se utilizará un almanaque de observaciones, desarrolladas en la zona de trabajo con un envejecimiento inferior a los 7 días. Para el cálculo se utilizará la opción de planificación contenida en el Menú del programa Leica Geo office, con que cuentan las empresas de GEOCUBA o similares software que contengan esta opción, para la planificación de las observaciones GPS.

Trabajos preparatorios para las mediciones: Los trabajos preparatorios se ejecutan en correspondencia con lo descrito en los documentos técnicos normalizativos elaborados por especialistas de GEOCUBA; siguiendo además las recomendaciones dadas en el apartado aspectos técnicos del proyecto para aquellas cuestiones técnicas específicas no recogidas en las normas, procedimientos, manuales de usuarios y metodologías e instrucciones técnicas de aplicación.

Medición GPS y procesamiento de los resultados: La ejecución de las mediciones con los receptores GPS se realiza mediante el posicionamiento estático relativo (PRE) en los puntos remotos y estaciones de referencia con una duración de dos (2) en dos secciones de trabajo (mañana y tarde), colectándose datos cada 1 segundo.

Al concluir cada día de trabajo en campo es necesario realizar un procesamiento preliminar a fin de validar los resultados de las mediciones. Como procesamiento preliminar, se considera el procesamiento de las mediciones en condiciones de campo

al concluir cada línea de nivelación; asegurándose el cumplimiento de lo establecido, en cuanto a la exactitud de los resultados finales y de los resultados de los controles, antes de pasar a otra etapa del proyecto. Esta etapa consiste en la realización del procesamiento y ajuste de los resultados de las mediciones con el software comercial del sistema de posicionamiento GPS utilizado durante las mediciones con efemérides radiodifundidas en las condiciones de campo. El propósito fundamental es el de detectar los errores que pudieran ser eliminados mediante mediciones complementarias antes de concluir las mediciones de campo. El éxito de esta etapa sólo depende del dominio y la pericia que se tenga en el manejo del software de procesamiento y ajuste de las mediciones GPS.

En la actualidad, el procesamiento de los resultados de las mediciones GPS es posible realizarlo utilizando diferentes Software comerciales y profesionales. Independientemente del software que se utilice para el procesamiento y ajuste de las mediciones GPS, es necesario considerar la influencia, atenuación y/o exclusión de las principales fuentes de errores que siempre están presentes durante las mediciones y que se detallan en la Metodología para la determinación de alturas normales con sistemas de posicionamiento global (GPS) (Ricardo-Desdín, 2008).

Determinación de las alturas normales en el sistema del dátum Vertical local: El método de determinación de las alturas más económico atendiendo a la productividad del trabajo ha sido el de nivelación trigonométrica o geodésica. El más preciso es el de nivelación geométrica.

La nivelación GPS, en su concepción teórica y práctica considera el conocimiento de los valores precisos de las diferencias de las ondulaciones y anomalías del geoide y de las diferencias de alturas elipsoidales entre las estaciones. El desnivel medido dH_{ik} se determina conociendo el desnivel dh_{ik} elipsoidal medido y el desnivel dN_{ik} del geoide, mediante la siguiente expresión:

$$dH_{ik} = dh_{ik} - dN_{ik} \quad (1)$$

La nivelación GPS es, por su esencia, una nivelación geodésica espacial en la que para determinar el desnivel medido dH_{ik} , el desnivel elipsoidal dh_{ik} se mide a lo largo de la cuerda que une las estaciones de referencia y remota. La diferencia de las ondulaciones y anomalías del geoide entre dichas estaciones se calcula mediante un modelo local, regional o global del geoide (Acosta-Gutiérrez, 2002). En la República de Cuba la exactitud de las ondulaciones y anomalías del geoide son inferiores a los veinte (20) centímetros.

La determinación de las alturas normales con exactitudes entre 2-5 centímetros, con el empleo de la tecnología (GPS), es posible si se sustituye la influencia de las ondulaciones y anomalías del geoide por la influencia de otras características. En este trabajo no se realizan las correcciones a los desniveles elipsoidales, considerando las anomalías de gravedad y aplicando la fórmula de Bouguer, debido que la distancia entre las estaciones no sobrepasan los 2 Km de longitud y los valores de estas correcciones no sobrepasan las décimas de milímetros.

$$\gamma_0 = 978049 \left(1 + 0.0052884 \operatorname{sen}^2 B \right) \quad (2)$$

La nivelación espacial GPS con “brazos” no mayores de 300 m garantiza una nivelación de I Orden, manteniendo la exactitud en cuerdas mayores de 1 Km como sucede en la nivelación geométrica tradicional. Para la determinación de alturas normales en el sistema del dátum vertical local en la zona níquelífera de Moa con el empleo de GPS de una sola frecuencia se siguió el siguiente procedimiento:

- 1) Verificar que los desniveles elipsoidales se hallan ajustado correctamente a partir de la evaluación del error de cierre de la línea de nivelación GPS.

El error de cierre para la línea deberá ser igual a cero:

$$\omega = \sum dh = 0 \quad (3)$$

Si esta condición se cumple, entonces no se tendrá en cuenta la separación lineal de las superficies de referencia (la separación lineal media entre las superficies del elipsoide de referencia y de nivel del dátum vertical en la estaciones GPS). De no ser así entonces se calcularía la separación lineal, para cada estación según Acosta-Gutiérrez (2005) y Acosta-Gutiérrez *et al.* (2008).

- 2) Se obtendrán las alturas elipsoidales a partir del procesamiento, para el cálculo de los desniveles entre las estaciones teniendo en cuenta el esquema de nivelación definido mediante la siguiente expresión:

$$\Delta h_{fi} = h_f - h_i \quad (4)$$

Donde:

Δh_{fi} - desnivel elipsoidal entre dos puntos de la red.

h_i - altura elipsoidal del punto inicial.

h_f - altura elipsoidal del punto final.

Se calcula el cierre de la línea con los desniveles obtenidos y se comparan, con los errores de cierre permisible de las nivelaciones geométricas establecidas por las Instrucciones Técnicas para la nivelación de I, II, III y IV órdenes (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, La Habana, Cuba, 1984). En este caso se tuvo en cuenta lo descrito en estas instrucciones para el IV Orden de nivelación.

- 3) El error de cierre obtenido se determina mediante:

$$w_{obt} = \sum \Delta h_{fi} - (H_f - H_i) \quad (5)$$

Donde:

w_{obt} - Error de cierre obtenido.

Δh_{fi} - desnivel elipsoidal entre los puntos de la red.

H_i - altura geométrica del punto inicial del sistema del dátum vertical local de la red altimétrica.

H_f - altura geométrica del punto final del sistema del dátum vertical local de la red altimétrica.

4) El ajuste de los desniveles normales se realiza mediante el empleo de los métodos más convenientes, en dependencia del tipo y orden de la red altimétrica que se desarrolla. Ajustando los desniveles elipsoidales en los programas de ajustes, partiendo del punto inicial y final del sistema del dátum vertical local. Como condición se establece que todas las mediciones se inician de manera simultánea siguiendo la hora reflejada en los receptores GPS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Verificación y comparación del GPS SR-20: La comparación se realizó en el polígono de Caletones ubicado en la provincia de Holguín específicamente en el municipio de Gibara. Este se encuentra conformado por 13 estaciones de centración forzada cumpliendo con las exigencias técnicas para este tipo de polígono. En este punto el polígono se encuentra en óptimas condiciones tanto para las comprobaciones de los GPS, como para otro tipo de equipamiento topogeodésico y los técnicos del laboratorio número 57 de GEOCUBA Oriente Norte son los encargados de su mantenimiento y cuidado. Los resultados como parte de las verificaciones realizadas a los SR-20 en mediciones de campo se presentan en la Tabla 1. Con los resultados de las comparaciones de las distancias patrón y las distancias obtenidas se determinó el EMC (error medio cuadrático) con un valor de $\pm 7\text{mm}$ para un 1 km.

Tabla 1. Comprobación del receptor GPS SR-20 en la Base de Caletones.

Nomenclatura del punto		Distancia patrón (m)	Distancia obtenida (GPS) (m)	Diferencia (mm)
Desde	Hasta			
KO	K8	308,381	308,389	-7
	K12	885,281	885,288	-7
	K13	1942,603	1942,611	-9
K8	K12	576,8995	576,898	1
	K13	1634,2213	1634,2256	-4
K12	K13	1057,3218	1057,3257	-4

Reconocimiento de la zona objeto de estudio y monumentación: El reconocimiento del área de trabajo se realizó desde el 5 al 25 de septiembre de 2012. Los puntos de la red proyectada se establecieron en lugares donde no se afectarían las mediciones con GPS y evitando en lo posible los efectos multicamino que tanto daño hacen a los resultados finales. El proceso de proyección de la red se ejecutó sobre el mapa topográfico 1:25 000 correspondiente a la zona de estudio, además de la utilización de imágenes satelitales. Se monumentaron 6 puntos con nomenclatura FNC-1 hasta FNC-6 y se tomaron como puntos iniciales tanto planimétricos, como altimétricos el PM-3 y PM-4, a los cuales se les había determinado sus coordenadas en el Sistema WGS-84

desde la estación Granal, perteneciente al Polígono Geodinámico de Moa y que está enlazada al ITRF2005. La monumentación se garantizó cumpliendo con las normas establecidas por GEOCUBA para monumentos de centración forzada. Los puntos tienen 1.20 m de alto con respecto a la superficie de la tierra, su ancho es de 0.30 cm y por debajo de la superficie terrestre 1.00 m.

Proyección definitiva de las mediciones GPS: La representación gráfica y distribución espacial de las estaciones que componen la línea de nivel GPS y geométrica se muestra en la Figura 1.

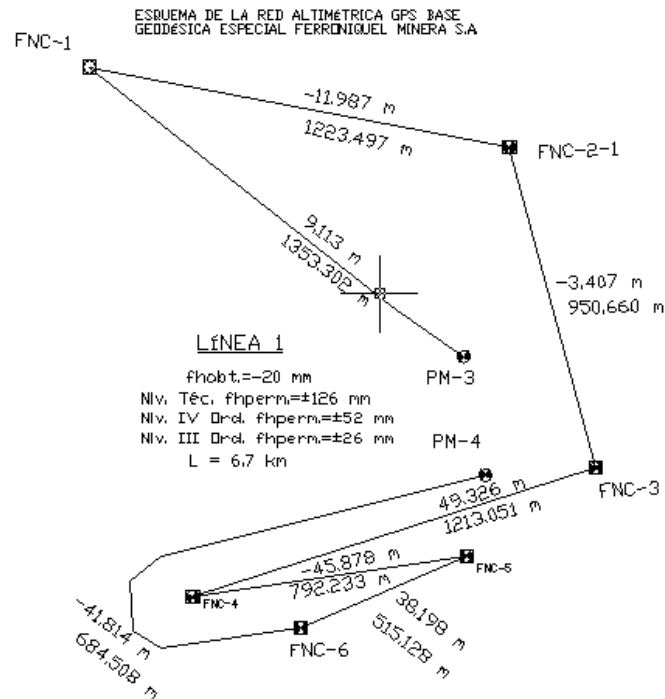


Figura 1. Esquema de la línea de nivel GPS y Geométrica.

Las estaciones geodésicas que componen la línea de nivel GPS, presentan las características que se señalan en la Tabla 2.

Tabla 2. Estaciones de la línea de nivel GPS y Geométrica.

No.	Punto	Tipo de punto	Características
1	PM-3	Sencillo	Monumento Sencillo
2	PM-4	Sencillo	Monumento Sencillo
3	FNC-1	Centración 2 ^{do} Orden	Centración forzada en Pilar
4	FNC-2	Centración 2 ^{do} Orden	Centración forzada en Pilar
5	FNC-3	Centración 2 ^{do} Orden	Centración forzada en Pilar
6	FNC-4	Centración 2 ^{do} Orden	Centración forzada en Pilar
7	FNC-5	Centración 2 ^{do} Orden	Centración forzada en Pilar
8	FNC-6	Centración 2 ^{do} Orden	Centración forzada en Pilar

Realización de las mediciones GPS y procesamiento de los resultados: En las estaciones geodésicas, tanto en la línea de nivel como en el polígono de comparación

de Receptores GPS “Caletones”, las mediciones se realizaron mediante el posicionamiento estático relativo (PER). Se siguió el método que establece la coincidencia de la superficie del elipsoide del sistema de referencia con el dátum vertical local en la estación inicial de observación en los puntos remotos con una duración de cuatro horas, en dos secciones de trabajo mañana y tarde, colectándose datos cada 1 segundo. Se emplearon cuatro receptores GPS de una sola frecuencia, dos pares del tipo SR-20 con antenas AT 500 de Leica Geosystems. Para este trabajo se siguió el procedimiento para el posicionamiento GPS (Acosta-Gutiérrez y Rueda-Pérez, 2002). La red altimétrica se midió con GPS siguiendo el procedimiento descrito Ricardo-Desdín (2008).

Después de obtenidos los datos en los receptores GPS, se procesaron de forma preliminar con el software Leica Geosystems 7.0. El ajuste definitivo de los resultados del posicionamiento GPS se realizó empleando este mismo programa (Figura 3). Se obtuvieron las alturas elipsoidales del procesamiento del Leica 7.0 y se ajustaron en el software Ajustniv. Como resultado de estos ajustes se obtuvo un resultado de III Orden de precisión de ± 0.020 mm y un error medio cuadrático de ± 0.008 mm.

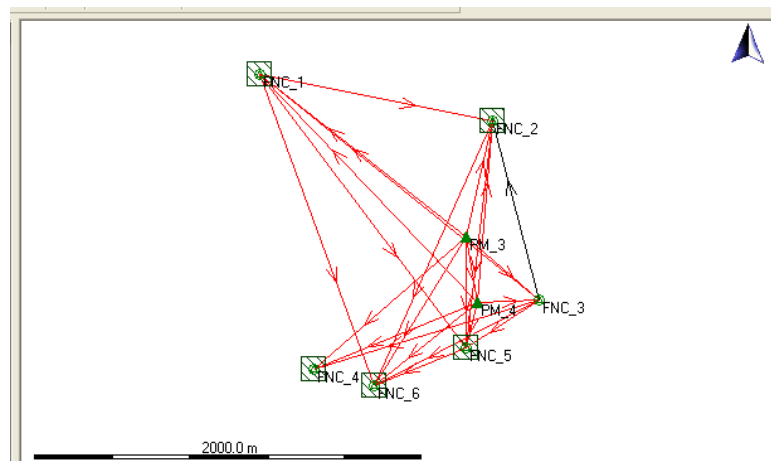


Figura 3. Esquema resultante del ajuste en el software Leica 7.0.

Análisis comparativo entre las alturas normales obtenidas a partir de las mediciones con GPS y las geométricas: Los valores de las alturas obtenidas, tanto como resultado de las mediciones con GPS y las realizadas mediante nivelación geométrica de II Orden, se muestran en la Tabla 3. La determinación de los desniveles elipsoidales y los desniveles geométricos se muestran en la Tabla 4. Como se puede apreciar en la Tabla 3, las diferencias de alturas entre las obtenidas como resultado de las mediciones con GPS y ajustadas en el software ajustniv y las correspondientes alturas determinadas por nivelación geométrica de II Orden, oscilan entre 1 y 3 cm en distancias desde 1.4 km hasta 6.3 km desde el punto inicial, hasta el punto final de la red.

Tabla 3. Alturas GPS ajustadas y geométricas.

No.	Nomenclatura del Punto	Altura Geométrica (m)	Altura (GPS) (m)	Diferencia de Alturas en (mm)
1	PM_3	236,909	236,909	0,000
2	FNC_1	246,010	246,018	-0,008
3	FNC_2	234,012	234,027	-0,015
4	FNC_3	230,595	230,617	-0,022
5	FNC_4	279,910	279,940	-0,030
6	FNC_5	234,041	234,060	-0,019
7	FNC_6	272,246	272,256	-0,010
8	PM_4	230,440	230,440	0,000

Tabla 4. Desniveles elipsoidales y geométricos.

No.	Nomenclatura del Punto	Desnivel Elipsoidal (m)	Desnivel Geométrico (m)	Diferencia de desnivel (mm)
1	PM_3			
2	FNC_1	9,113	9,101	-12
3	FNC_2	-11,987	-11,998	-11
4	FNC_3	-3,407	-3,417	-10
5	FNC_4	49,326	49,315	-11
6	FNC_5	-45,878	-45,869	8
7	FNC_6	38,198	38,205	7
8	PM_4	-41,814	-41,806	8

En la Tabla 5 se muestran las alturas elipsoidales, las alturas geométricas y los valores de la ondulación del geode para cada estación geodésica.

Tabla 5. Alturas elipsoidales y geométricas.

No.	Nomenclatura del Punto	Altura Elipsoidal	Altura Geométrica	Ondulación del geode
1	PM_3	209,211	236,909	27,698
2	FNC_1	218,324	246,010	27,686
3	FNC_2	206,337	234,012	27,675
4	FNC_3	202,930	230,595	27,665
5	FNC_4	252,256	279,910	27,654
6	FNC_5	206,378	234,041	27,662
7	FNC_6	244,577	272,246	27,669
8	PM_4	202,762	230,440	27,678

Para la determinación de alturas normales en el sistema del dátum vertical local se deben realizar comparaciones y análisis que permitan llegar a conocer el comportamiento de la tecnología y su factibilidad en trabajos posteriores, en correspondencia con las exigencias de precisiones de III Orden o inferiores. Desde el punto de vista técnico se obtuvieron precisiones por encima de las esperadas, lo que demuestra la factibilidad de la tecnología propuesta. Sin embargo, para lograr

exactitudes altimétricas por encima de 20, 10 y 5 mm/Km, se recomienda realizar las mediciones con receptores GPS en dos sesiones de tiempo mañana y tarde cada una con dos horas de medición y utilizando estaciones iniciales y de control de orden superior (I, II y III Orden). En el caso de regiones montañosas se hace necesario reducir los desniveles medidos a desniveles normales, aplicando corrección por anomalías de gravedad y conociendo la separación lineal de las superficies de referencias.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de las tecnologías de avanzada para la determinación de alturas normales en las redes GPS, sustituyendo el conocimiento de las ondulaciones del geoide, las características del potencial y la separación lineal entre las superficies del elipsoide y el dátum vertical local, permite obtener resultados similares a los de las nivelaciones geométricas.
2. Se estableció una red geodésica en la zona niquelífera de Moa con el empleo de la tecnología GPS de una sola frecuencia, donde se demostró que es posible la obtención de alturas normales con este tipo de tecnología.
3. El nuevo procedimiento propuesto, mediante el uso de la tecnología GPS de una sola frecuencia, permite la determinación de las alturas normales en la zona objeto de estudio con factibilidad económica y destacada eficiencia y rapidez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Gutiérrez y García Masó. (2007). Modelo de las anomalías de la gravedad para Cuba. Informática 2007, CITMATEL 2007, ISBN: 978-959-286-002-5, 12-16 de febrero de 2007, Ciudad de la Habana, Cuba, 2007. 10 p.
- Acosta Gutiérrez R. P y J. S. Rueda Pérez (2002). Procedimiento para la calibración de Receptores GPS, Holguín, Cuba, 2002. (Inédito).
- Acosta Gutiérrez R. P, E. Rodríguez Roche, J. Rueda Pérez y S. Ricardo Desdín (2008). Determinación de alturas normales con Sistemas de Posicionamiento Global. Informe Científico del Resultado, GEOCUBA Investigación y Consultoría, La Habana, Cuba, 33 p
- Acosta Gutiérrez R. P. (2002) Separación lineal entre las superficies de referencia seleccionadas, Informática 2002 (SimpLac 2002), ISBN: 959-237-079-6, 18-23 de febrero de 2002, Ciudad de la Habana, Cuba, 2002, 10 p.
- Acosta Gutiérrez. (2005). Metodología para la Nivelación con el empleo de tecnología GPS. 74p.
- Ricardo Desdín S.(2008). Procedimiento para la determinación de alturas normales con sistemas de posicionamiento global. Documento Técnico 30-12. Cuba. MET30-12:2008. 10p.
- Ricardo Desdín, S., Rodríguez-Roche, E., Núñez-Cambra, K., Pérez –Pérez, C., Rueda-Pérez, J. Acosta-Gutiérrez, R. (2010). Caracterización de los Movimientos Horizontales Recientes de la Corteza Terrestre en la Región Niquelífera de Holguín con el empleo de tecnologías GPS. II Convención de las Ingenierías de las Geociencias y Química SIGEQ 2010 (2 al 5 de marzo del 2010, Ciudad de La Habana. Cuba. ISBN 978 959 247 075 0 Editorial Obras: 10p.
- Rodríguez Roche, R. E.; García, D. P. y Olivera, R. R. (2007). La Red Geodésica Estatal Planimétrica de la República de Cuba: Orígenes, evolución y perspectivas para su ulterior perfeccionamiento. V Congreso Geomática 2007. La Habana.11p.