

TRABAJO DE DIPLOMA

En Opción al Título de Ingeniero de Minas

**LOS FACTORES METEOROLÓGICOS Y SU INFLUENCIA
EN LAS MEDICIONES TOPOGRÁFICAS CON ESTACIONES
TOTALES Y GPS**

Autor: Helio Mbige Miguel Dos Santos

**Tutores: Dr. C. Orlando Belete Fuentes
M. Sc. Walkis Herrera Blanco
M. Sc. Yordanys Batista Legrá**

**Moa, Curso 2014-2015
“Año 57 de la Revolución”**



FACULTAD GEOLOGIA-MINERÍA

Departamento de Minería

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de Ingeniero de Minas

**Título: LOS FACTORES METEOROLÓGICOS Y SU INFLUENCIA
EN LAS MEDICIONES TOPOGRÁFICAS CON ESTACIONES
TOTALES Y GPS**

Autor: Helio Mbige Miguel Dos Santos

Tutores: Dr. C. Orlando Belete Fuentes

M. Sc. Walkis Herrera Blanco

M. Sc. Yordanys Esteban Batista Legrá

Moa, Curso 2014-2015

Año 57 de la Revolución



PENSAMIENTOS

Divorciar al hombre de la tierra, es un atentado monstruoso.

Que la enseñanza científica vaya, como la savia en los árboles, de la raíz al tope de la educación pública.

José Martí



DEDICATORIAS

A mis familiares y en especial a mi madre.



AGRADECIMIENTOS

A Dios padre, el todo poderoso.

A todos los que de una forma u otra me ayudaron en la realización de este trabajo.

A mi país, Angola, y a la Revolución Socialista Cubana.

A todo el claustro de profesores.

Al Dr. C Orlando Belete Fuentes.

A los estudiantes de 5to año de la carrera de Ingeniería en Minas.

A todos GRACIAS



RESUMEN

La siguiente investigación se realizó en el yacimiento Cantarrana de la Concesión minera de la empresa MoaNickel SA Comandante Pedro Sotto Alba de Moa, provincia Holguín, con el objetivo de determinar la influencia de los factores meteorológicos en las mediciones topográficas determinadas con estaciones totales y GPS.

El trabajo realizado permitió determinar la influencia de los factores meteorológicos en cualquiera de las condiciones climáticas que pudieran presentarse en los yacimientos lateríticos cubanos. Su valor disminuye cuando se consideran los parámetros meteorológicos de 0,177 a 0.152 m para distancia de 2000-3000 m, y de 0.463 a 0.383 m para distancia de 4700m.

La investigación realizada sobre la determinación de los factores meteorológicos en el yacimiento Cantarrana, permitió definir que la influencia de dichos factores puede ser considerada para la confección de planos topográficos a grandes escalas. Las determinaciones de las coordenadas de la base geodésica de apoyo del yacimiento, está bien densificada con buena precisión, considerando los factores meteorológicos (temperatura, presión atmosférica y humedad).

Palabras claves: Redes geodésicas, GPS, Estación Total, Yacimiento laterítico, Topografía minera.



SUMMARY

The following investigation was carried out in Catarrana deposit of the mine Comandante Pedro Sotillo Alba in Moa, Holguin province with an objective of determining the influence of the meteorological factors, which affect the topographic measurement determined by GPS in Santa Teresita deposit.

The work realized allowed to determine the influence of meteorological factors in any climatic conditions that can present in Cuban laterite deposit, for the topographic work related with calculating the volume of mineral extracted using GPS cannot be neglected. Its value decreases when considering meteorological parameters from 0.177 to 0.152 m of distance, from 200 to 300 m and from 0.463 to 0.383 m for the distance of 4700 m

The investigation about determining the influence of meteorological factors in Catarrana deposit allowed to define that the influence of the said factors can be considered for making topographic plane for bigger scales. The determination of geodesic base coordinates of the deposit is well concentrated with high precision, considering meteorological factors (temperature, atmospheric pressure y humidity)

Key words

Geodesic networks, Global Positioning System, Total station, laterite deposit.
Mining survey



INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
1.1 Generalidades	4
1.2 Descripción del Sistema GPS (<i>Global Positioning System</i>)	5
1.3 Mediciones de GPS con Código (Pseudo-Rangos o Pseudo-Distancias).	8
1.4 Mediciones de GPS con Fase Portadora.....	8
1.5 Descripción del Sistema GPS	10
1.6 Geodesia.....	16
1.7 Topografía	17
1.8 Sistemas de Información Geográfica.....	18
1.9 Sincronización	20
1.10. Estaciones totales y GPS.....	22
1.11. Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en el mundo.	23
1.12 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba.....	25
CAPÍTULO II	28
2.1 Trabajos topográficos realizados.	28
2.2 Determinación de coordenadas por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).	30
2.3 Modelo Digital del Terreno (MDT).	31
CAPÍTULO III	33
3.1 Influencia de los factores meteorológicos durante las mediciones topográficas con GPS.....	33
3.1.1 Trabajo experimental.....	33
3.1.2 Resultado del experimento No. 1. Base de Comparación de Distanciómetros	35
3.1.3 Resultado del experimento No. 2. Estación Libre	39
3.1.4 Resultado del experimento No. 3. Poligonal	43
3.1.5 Resultado del experimento No. 4. Medir y registrar (método polar).....	44
3.1.6 Resultado del experimento No. 5. Nivelación	48
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFIA.....	55



INTRODUCCIÓN

El progreso científico-técnico que actualmente se produce en las ramas de la Geología y la Minería, hace cada vez más necesario el desarrollo de la cantidad y complejidad de la determinación de planos topográficos a grandes escalas, desarrollo de los trabajos mineros, planificación minera, la exploración geológica y otros. Aparejado a esto, trae consigo nuevas y mayores exigencias de gran rigor con respecto a su seguridad, larga duración en servicio y una alta eficiencia; por tal motivo no se concibe su ejecución sin la aplicación de tecnologías apropiadas, que incluye la determinación de la influencia de los factores meteorológicos que inciden en las mediciones topográficas determinadas con estaciones totales y GPS.

Tanto los GPS como las Estaciones Totales, determinan automáticamente los agentes atmosféricos tales como la presión, temperatura y humedad, factores que influyen grandemente en la exactitud de determinación de las coordenadas de los puntos, y por tanto, en el cálculo de volumen de mineral extraído. No se sabe con seguridad cuál es la influencia de estos factores, por lo que no se ha realizado, en la región minera, un estudio que permita valorar la influencia de los factores meteorológicos que inciden en las mediciones topográficas con GPS en estos yacimientos lateríticos.

Problema:

- La necesidad de determinar los factores meteorológicos que influyen en las mediciones topográficas con estaciones totales y GPS para elaborar los planos topográficos mineros a grandes escalas en los yacimientos lateríticos del norte de la provincia de Holguín.

Objeto:

- Los yacimientos lateríticos de Moa



Campo de acción:

- Los trabajos topográficos realizados con estaciones totales y con GPS.

Objetivo general:

- Determinar los factores meteorológicos que influyen en las mediciones topográficas con estaciones totales y GPS en los yacimientos lateríticos

Hipótesis:

- Si se analizan las tendencias actuales de las mediciones topográficas con estaciones totales y GPS y se realizan las mediciones de los trabajos topográficos en los yacimientos lateríticos, entonces se podrán determinar los factores meteorológicos que influyen en las mediciones topográficas en la concesión minera Santa Teresita de la compañía Moa-Nickel S.A.

Objetivos específicos:

- Analizar las tendencias actuales de las mediciones topográficas con GPS.
- Realizar mediciones con estaciones totales y GPS de los trabajos topográficos en los yacimientos lateríticos
- Determinar la precisión de los factores meteorológicos en las mediciones topográficas con estaciones totales y GPS.

Métodos empleados en dar solución al problema científico de la investigación:

- Métodos empíricos: es imprescindible el empleo de la medición. Como técnicas; la observación científica, para el conocimiento de las características fundamentales del objeto.
- Métodos teóricos: se usan para la interpretación conceptual de los datos empíricos; haciendo uso del análisis y la síntesis en el estudio de las partes del objeto y para comprender su comportamiento como un todo. Dentro de los métodos teóricos también son necesarias la inducción y deducción como



procedimiento para pasar de lo conocido a lo desconocido y de lo general a lo particular.

- El método dialéctico para conocer las relaciones entre los componentes del objeto.

Actualidad e importancia del tema:

El empleo de los GPS en la determinación de las coordenadas de redes geodésica de apoyo y de levantamiento, es ampliamente tratado a escala mundial. En Cuba, al introducirse esta tecnología, diferentes empresas han modernizado sus instrumentos topográficos; es decir, se realiza una revolución en el desarrollo científico técnico. Su empleo en las industrias trae consigo avances tecnológicos fundamentalmente en tres aspectos:

1. Aumento de la precisión y fiabilidad de equipos e instrumentos topogeodésicos.
2. Automatización de los procesos de toma de datos y elaboración de resultados.
3. Uso de medios informáticos que aumentan la capacidad productiva y disminuyen el tiempo de ejecución de las obras.

Bases teóricas:

1. Literatura científico -técnica consultada, sobre los temas a tratar.
2. Estudio y análisis de los manuales referencia de GPS.
2. Estudio y análisis de los manuales referencia de GPS.
3. Estudio y profundización de los trabajos geodésicos en las minas.

Bases prácticas:

Base geodésica del yacimiento Santa Teresita.

Manuales los GPS de la Leica Office.



CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y TENDENCIAS ACTUALES DE LAS MEDICIONES TOPOGRÁFICAS CON ESTACIONES TOTALES Y GPS

1.1 Generalidades

Anteriormente, en la realización de las mediciones topográficas para el replanteo de trabajos topográficos mineros se utilizaban los métodos directos, empleando alternativamente dos tipos de instrumentos: la alidada sobre plancheta y el taquímetro. Según Pérez (2004), para el primero se va ejecutando el trabajo de dibujo sobre la misma, y luego se lleva un proceso de entintado en gabinete; para el segundo caso, los datos se registran en libretas de papel o electrónicas, que requieren de un posterior proceso de gabinete, donde se tiene que mantener una rigurosa atención al pasar los datos al dibujo para evitar errores.

Con la evolución de los medios técnicos y la implantación y desarrollo de los Sistema de Posicionamiento Global (GPS), esta ciencia toma otras dimensiones y muy en especial en la necesidad de un mayor conocimiento de los operarios y especialistas en las tecnologías digitales, sin dejar de tener en cuenta los conocimientos elementales del arte tradicional de medir y de los métodos de mediciones (Belete, 1998). Todos estos conocimientos unidos, hacen de esta tecnología una poderosa herramienta que reduce considerablemente los gastos y plazos de ejecución, además de incrementar la productividad, la calidad y precisión de los trabajos.



1.2 Descripción del Sistema GPS (*Global Positioning System*)

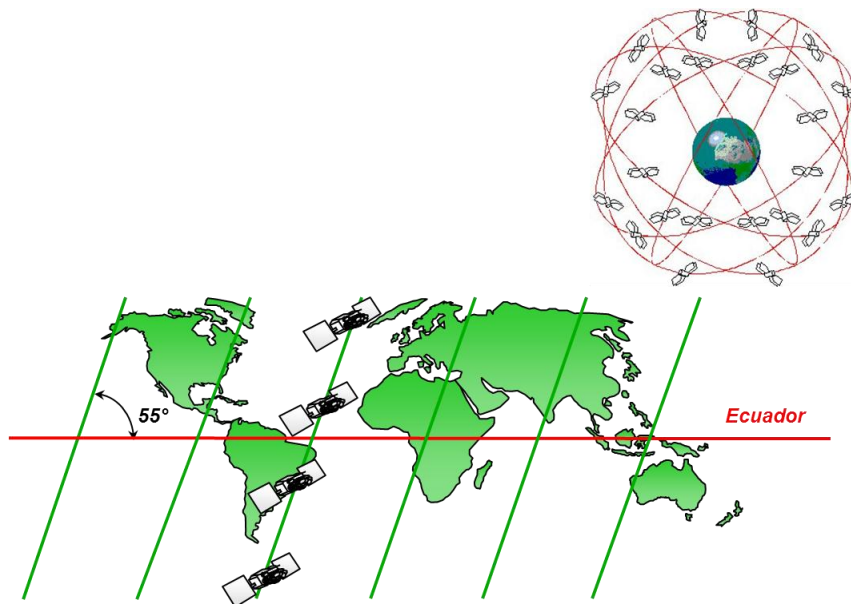
Sistema puesto en servicio (1978) y administrado por el Departamento de Defensa de los E. U. A. Usa la constelación NAVSTAR (NAVigation System Time And Range). Sistema de Navegación que proporciona tiempo y distancia y sirve para proveer al usuario de información de alta precisión de:

Navegación

Ubicación exacta en 3D

Segmento Espacial:

Componentes del Sistema GPS



Constelación de 64 Satélites.

32 Satélites disponibles,
32 Satélites de Reserva,
Ubicados en 6 planos orbitales,
55° de inclinación,
Ángulo de separación 60°,
20 200km de altura orbital,

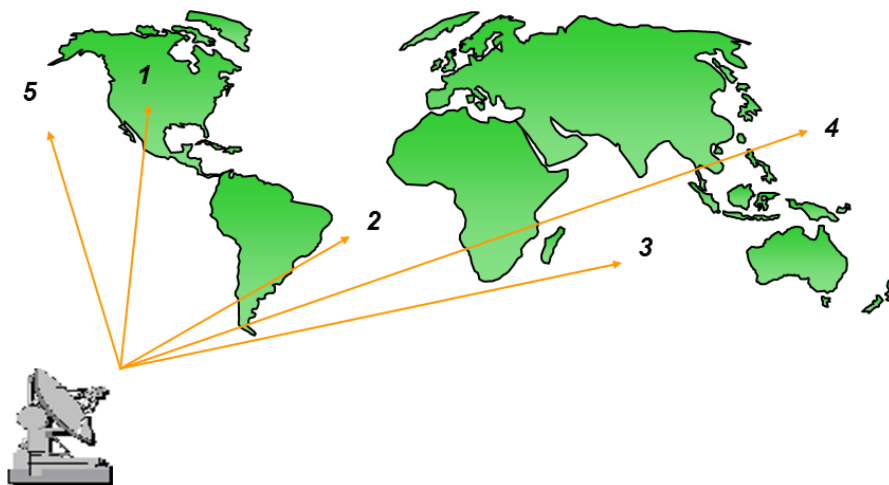


12 horas de período orbital,
Visibles entre 4 y 5 horas,
Vida Útil de 7.5 años,
Relojes atómicos de Cesio-Rubidio,
Precisión nano segundos 0.000 000 001 seg.

Segmento Control:

5 Estaciones de Rastreo y monitoreo para realizar la corrección de los relojes de los satélites y de las efemérides:

1. Colorado Springs
2. Ascensión
3. Diego García
4. Kwajailen
5. Hawaii



Segmento Usuario:

Recibe las señales de los satélites y las utiliza para calcular la posición de un punto o móvil.



Antena:

Recibe la señal de los satélites.



Receptor:

Registra los datos transmitidos y calcula la distancia receptor-satélite.



Procesador:

Convierte los datos en una posición tridimensional y almacena la información obtenida.





1.3 Mediciones de GPS con Código (Pseudo-Rangos o Pseudo-Distancias).

La Distancia es calculada por la diferencia de tiempo entre la velocidad de transmisión de la señal de GPS.

Distancia = Velocidad X Tiempo

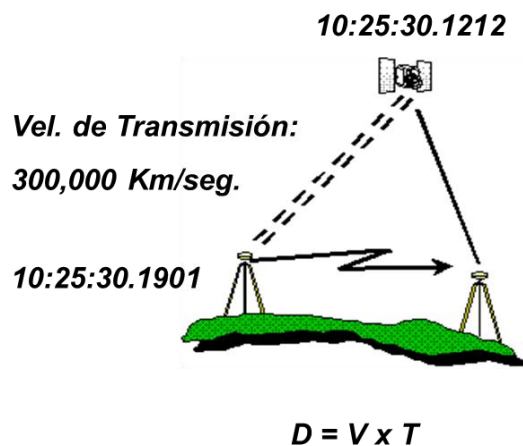
$$D = V \times T$$

$$T = 10:25:30.1212 - 10:25:30.1901$$

$$T = 0.0689 \text{ seg.}$$

$$D = 300,000 \text{ Km/seg.} \times (0.0689 \text{ seg})$$

$$D = 20,670 \text{ Km.}$$



1.4 Mediciones de GPS con Fase Portadora.

La Distancia es calculada por medio del número de ciclos recibidos y estos son multiplicados por la longitud de onda.

Long. de Onda en L1 = 19 cm.

Long. de Onda en L2 = 24 cm.

Distancia = No. de ciclos X Long. De Onda

$$D = \text{No. Ciclo} \times L O$$

Ejemplo:

No. De ciclos recibidos = 108,235,169

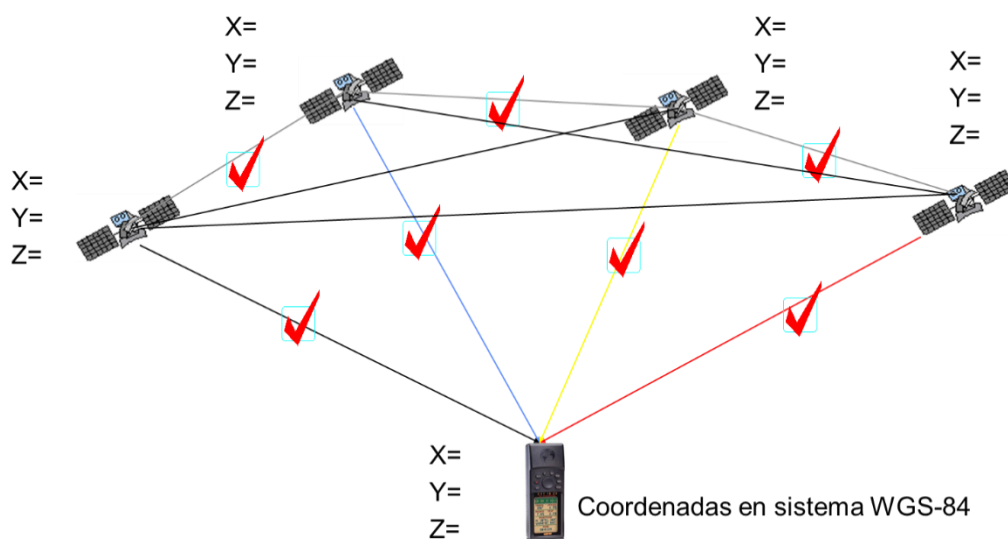
$$D = 108,235,169 \times 0.19$$



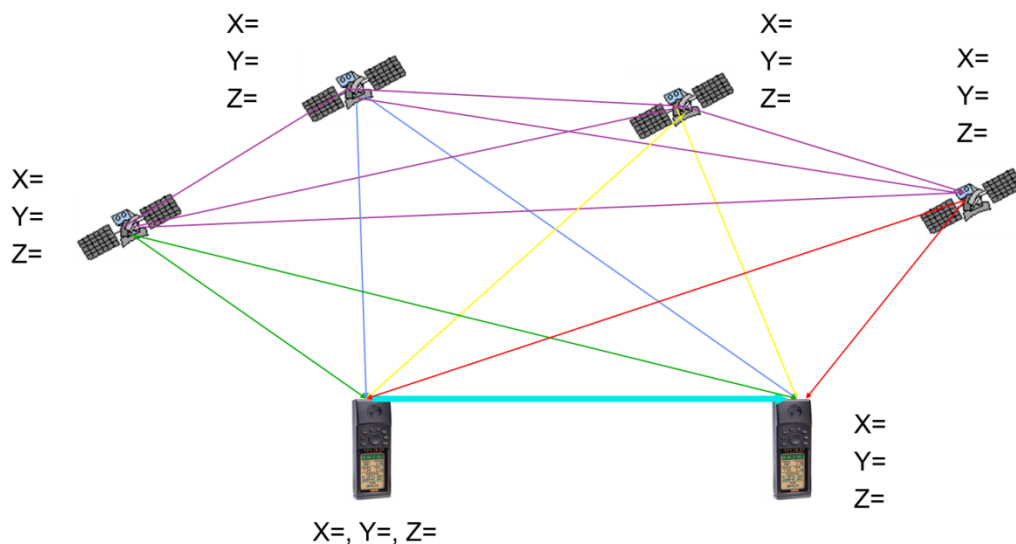
D = 20,564.682 Km.



Posicionamiento Puntual (Navegador)



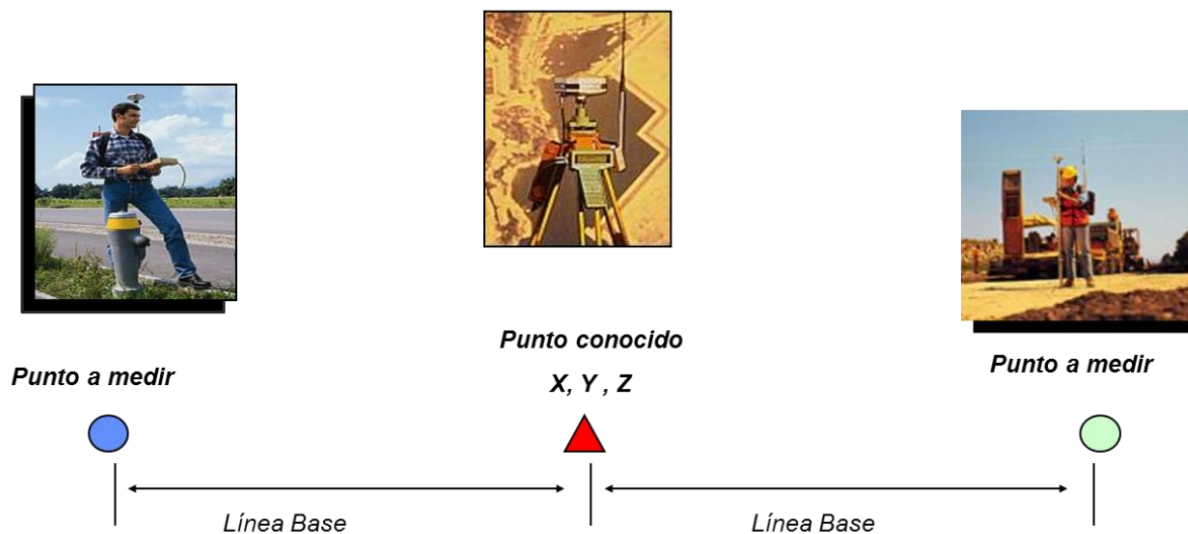
Posicionamiento Diferencial



1.5 Descripción del Sistema GPS

Se determina una posición a partir de otra conocida.

GPS Diferencial.

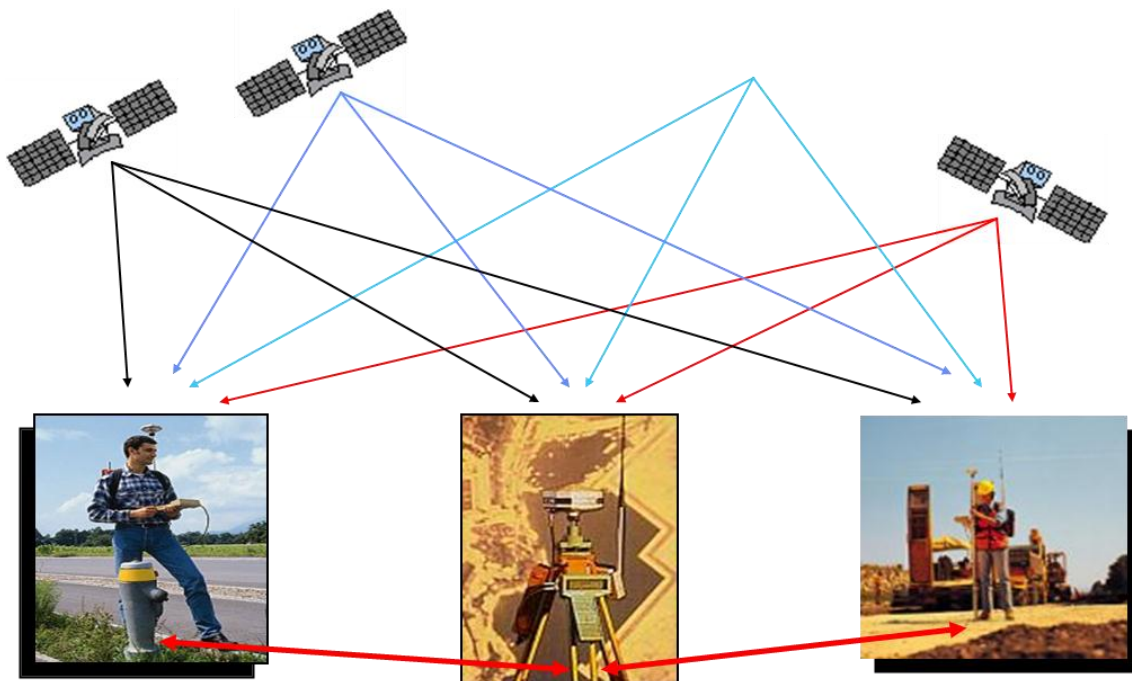


Posición relativa entre dos o más estaciones GPS.

Elimina los errores en los relojes y en las efemérides.



Elimina los efectos atmosféricos.

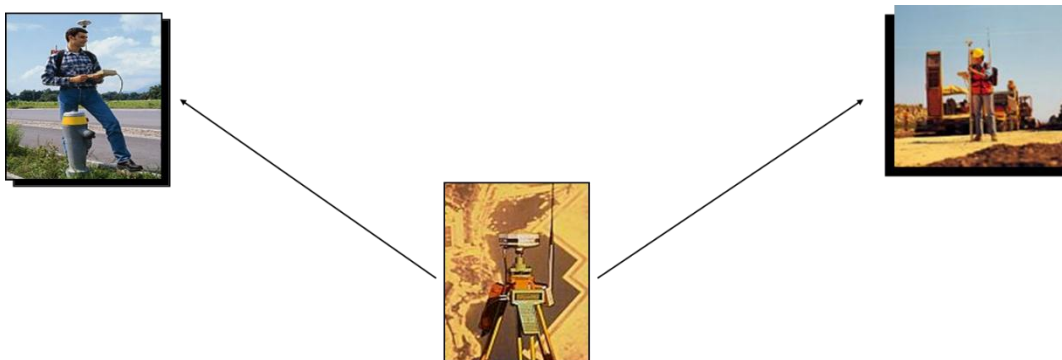


Diferencial en Post - Proceso

Solución u obtención de las coordenadas en proceso posterior.

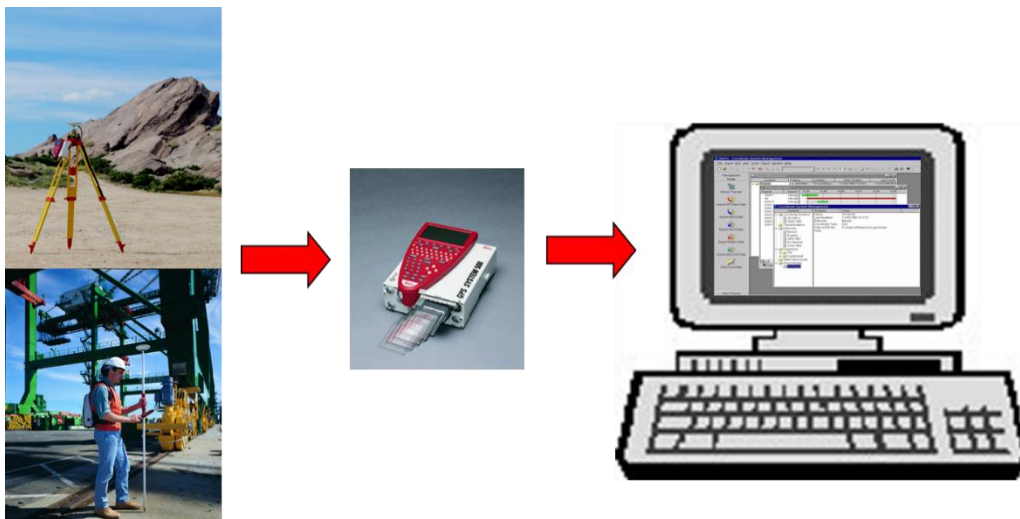
Diferencial en Tiempo Real

Obtención de las coordenadas al instante.





POSPROCESO



Programa de Pos - proceso:

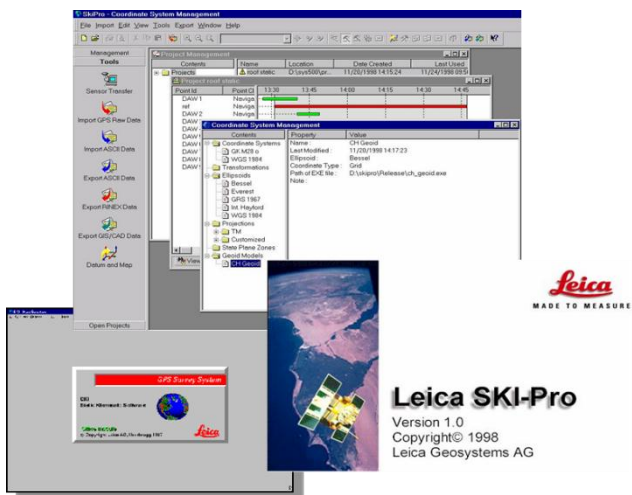
Cálculo de la posición.

Métodos diferenciales.

Transformación de Coordenadas.

Exportación / Importación de datos.

Ajuste de Redes.



GPS Diferencial de Tiempo Real

Radio módem:

Establece el radio enlace entre las estaciones.



Antena:

Recibe la señal de los satélites.





Receptor:

Registra los datos transmitidos y calcula la distancia receptor-satélite.



Procesador:

Convierte los datos en una posición tridimensional y almacena la información obtenida.



GPS Diferencial de Tiempo Real de Código

La Estación de Referencia:

Ubicada en un punto conocido

Rastreo de todos los satélites disponibles.

Calcula las correcciones de las coordenadas.

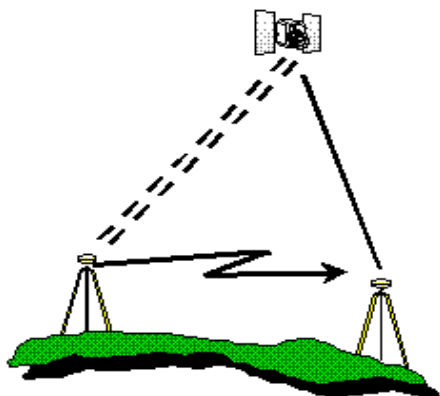
Mediante el radio enlace transmite los valores de las correcciones de las coordenadas.

La Estación móvil:

Recibe los valores de las correcciones mediante el radio enlace.

Aplica los valores de corrección para dar su posición correcta.

Precisión (línea base): 0.50m a 1m. (superior a 100km)



GPS Diferencial de Tiempo Real de Fase

La Estación de Referencia:

Ubicada en un punto conocido

Rastreo de todos los satélites disponibles.

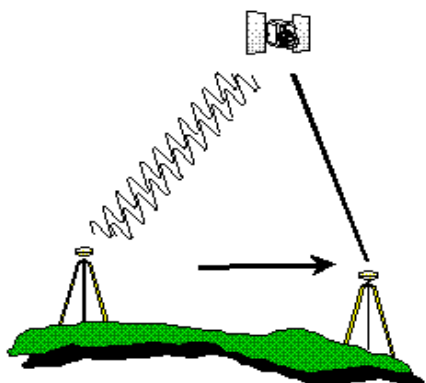
Mediante el radio enlace transmite las mediciones GPS y las coordenadas de la estación de referencia.

La estación móvil:

Recibe las mediciones GPS y las coordenadas de la estación base mediante el radio enlace.

La estación móvil se hace cargo del cálculo para la solución de ambigüedades.

Precisión (línea base): 1cm a 2 cm + 2ppm. (hasta 10km)





Clasificación según la Aplicación

Aplicaciones del Sistema GPS

Geodesia

Topografía

SIG/GIS

Navegación Profesional

Navegación Personal

Sincronización



Receptores Geodésicos.

Receptores de doble frecuencia.

9 o 12 Canales

Robustos.

Más Precisos.

Miden Código y Fase Portadora.

Medición de distancias largas (500 Km.. por ejemplo).

Costo \$ 48,000 Dls US

1.6 Geodesia

Precisión de la línea base:

3mm + 0.5 ppm Método Estático



5mm + 0.5 ppm Método Estático Rápido

10 a 20 mm + 1 ppm Método Cinemático

5mm + 0.5 ppm en Tiempo Real.



1.7 Topografía

Receptores Topográficos

Receptores de una frecuencia.

9 o 12 Canales.

Más ligeros que los geodésicos.

Menor precisión.

Miden Código y Fase Portadora.

Medición poco frecuente de distancias largas (hasta 100km).

Costo \$ 26,000 Dls US

Precisión de la línea base:

10 mm + 2 ppm, Método estático

15 a 30 mm + 2 ppm. Método dinámico



1.8 Sistemas de Información Geográfica

Receptores GPS/SIG

Receptores de una frecuencia.

De mano.

Menor precisión.

Miden Código y solo algunos modelos miden Fase Portadora.

Medición poco frecuente de distancias largas (hasta 20km).

Costo \$ 13,000 Dls US

Precisión de la línea base con mediciones de pseudo rango (código):

0.30 a 0.50 metros, Método Estático.

0.50 a 1.0 metros, Método Cinemático.





Fig. Receptores

Navegación Profesional

Receptores para la Navegación Aérea o Marítima

Receptores de una frecuencia.

De mano.

Baja precisión.

Miden Código Únicamente.

Equipos para proveer ubicación a vehículos terrestres, aéreos y marítimos.

Costo \$ 500 a 2,000 Dls US

Precisión de la ubicación:

10 a 20 metros.



Navegación Personal

Receptores para la Navegadores Personales.

Receptores de una frecuencia.

De mano.

Baja precisión.

Miden Código Únicamente.

Equipos para proveer ubicación a Personas.

Costo \$ 199 a 545 Dls US

Precisión de la ubicación: 10 a 20 metros.



1.9 Sincronización

Receptores para la sincronización.

Receptores de una frecuencia.

Receptores robustos y/o para montaje en gabinetes de control.

Base de tiempo de mayor exactitud.

Precisión Autónoma (Promedia Posición de 24 a 72 Hrs.)

Miden Código y Fase Portadora.

Múltiples salidas para sincronía y control de otros dispositivos.

Opción de trabajar con bases de tiempo: Atómica, Rubidio, Cesio y Cuarzo.

Costo \$ 5,000 Dls US

Precisión del Tiempo:

10 milisegundos o nona segundos con relojes de Rubidio.



Ventajas vs Equipo convencional



No es necesaria la visibilidad entre estaciones.

Selección de sitio independiente de la red.

Reducción del número de sitios.

Beneficios ambientales.

Independiente del clima.

Operación diurna y nocturna.

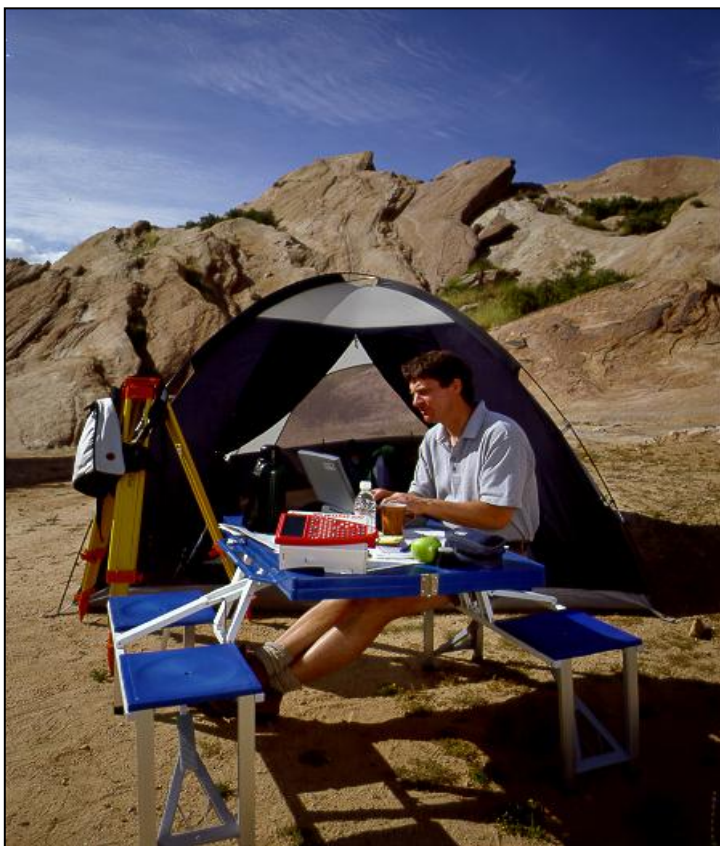
Operación sencilla.

Amplia gama de aplicaciones.

Precisión Geodésica.

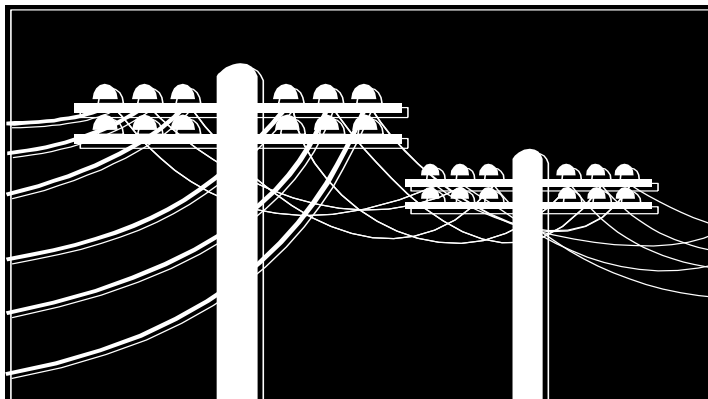
Significativamente más rápido.

Ventajas económicas.



Limitaciones del Sistema GPS

Interferencia Electromagnética.



1.10. Estaciones totales y GPS

Genéricamente, las Estaciones Totales tienen la capacidad de medir ángulos, distancias y niveles, lo cual requería anteriormente de diversos instrumentos. Es muy recomendable su utilización desde el punto de vista económico por su precisión, facilidad en el manejo y la posibilidad de almacenar la información en grandes volúmenes para posteriormente descargarla y procesarla con diferentes programas y software de diferentes aplicaciones. Se ha logrado que estas desplacen a los teodolitos tradicionales, que actualmente están en desuso.

Por otra parte, desde hace ya varios años las Estaciones Totales están en una competencia con los sistemas GPS (Sistemas de Posicionamiento Global) en trabajos topográficos de altas precisiones. Las ventajas del GPS topográfico con respecto a la Estación Total es que una vez fijada la base en tierra no es necesaria más que una sola persona para tomar los datos, mientras que la estación requeriría de al menos dos: el técnico que opera la estación y el operario que sitúa el prisma. Por otra parte, la Estación Total exige que exista una línea visual entre el aparato y el prisma, lo que es innecesario con el GPS. Además, estos sistemas son más económicos en relación a sus precios.

Sin embargo, para muchos investigadores, existe la incertidumbre entre la precisión del GPS con la Estación Total. En la actualidad se han desarrollado métodos de mediciones en los cuales ambas tecnologías se equiparan. La tendencia es que los sistemas GPS, en un futuro no muy lejano, sustituirán la



Estación Total en la mayoría de los trabajos. No obstante, todavía es necesaria para la realización de determinados trabajos, como la colocación de apoyos de neopreno bajo las vigas de los puentes, la colocación de vainas para hormigón potenzado, el replanteo de vías férreas a través de túneles y otros trabajos en los cuales las señales GPS no son posibles de captar por encontrarse en lugares de difícil acceso.

1.11. Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en el mundo.

Control de calidad, 2010. Trata sobre las normativas aplicadas en el movimiento de tierra, las unidades de obra sometidas al control y tiene como objeto establecer el procedimiento de control sobre las obras proyectadas, con el fin de asegurar la calidad de éstas. A tal objeto, en este documento se detallarán los siguientes apartados: unidades de obra sometidas a control, con la realización de ensayos a realizar, expresando la norma utilizada para la ejecución de los mismos, criterios de aceptación o rechazo de las unidades ensayadas frecuencia de realización de ensayos, de acuerdo con la normativa vigente y la valoración de ensayos, obteniéndose como resultado final la relación valorada de ensayos a realizar para las obras proyectadas.

Juan Antón Angulo. En su Proyecto de Control de calidad del movimiento de tierra, 2009. Analiza el control de replanteo general de las obras, el control del movimiento de tierra y el control del material para enmiendas.

Guía para la supervisión de obras civiles. Tomado de internet, 2014. Elabora una Guía para supervisar el desarrollo de Obras Civiles, orientar la investigación a Obras Civiles de las siguientes clases: Edificaciones, Urbanizaciones y Carreteras. Investigar la función del supervisor ya sea Ingeniero o Arquitecto en una Obra Civil y elaborar un documento que contenga los procedimientos para el control de la ejecución de obras en Edificaciones, Urbanizaciones y Carreteras.



Guía metodológica para la elaboración de proyectos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y medioambiente. Caminos naturales. Tomado de internet, 2014. Contiene programa de ejecución de obras, movimiento de tierras, préstamo, yacimientos, canteras y vertederos.

Hector López Albarado. Manual de inspección técnica de obras, 2007. Es un manual que trata sobre inspecciones técnicas de obras, planificación y procedimientos generales de administración de contratos y elabora una metodología para el control técnico de obras.

Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, Lima, Perú, 2008. Se explica en dos volúmenes, el volumen I: Trabajos Preliminares, Movimiento de Tierras y Capas de Afirmado y el volumen II: Obras de Arte y Drenaje, Transporte, Señalización y Seguridad Vial y Protección Ambiental.

Proyecto de construcción. Control de calidad, 2014. Especificar el sistema organizativo y el procedimiento que se utilizará por parte de la constructora, para garantizar el estricto cumplimiento de los aspectos técnicos y nivel de calidad requerido en el proyecto de construcción y conseguir que se cumplan todos los controles establecidos y que se efectúe un seguimiento de la obra civil y los equipos durante su fabricación, montaje, puesta a punto y prueba general de funcionamiento.

Manual de ingeniería de la Armada de los EEUU, (Engineering and Design Topographic Surveying), Agosto de 1994. Establece un conjunto de criterios sobre el control de la calidad de los trabajos topográficos en la etapa de creación de puntos de apoyo, levantamiento directo en campo, diseño, control de deformaciones horizontales y verticales, se definen los principales conceptos de



los sistemas GPS, así como el algoritmo de cálculo para poligonales abiertas, cerradas, orientadas en dos puntos extremos y de rodeo con esta tecnología. Además valora los posibles errores que pueden cometerse durante los trabajos de campo y la obtención de las desviaciones después de realizado el cálculo. Se puntualiza sobre la tecnología moderna de Estaciones Totales integradas con sistemas de posicionamiento global GPS y su uso en la densificación de redes de apoyo, fundamentalmente en el método de trilateración, utilizado en grandes extensiones, tarea de la cual se ocupa la geodesia, adoleciendo de información sobre itinerario de poligonales. Generalmente se hace alusión a parámetros que se deben tener en cuenta durante el cálculo, normados en este manual; pero es poca la información sobre aspectos técnicos en las mediciones en el terreno y no se refiere a las coordenadas altimétricas.

Lemoine (1998). Plantea que el campo de gravedad de la tierra, desde hace más de 38 años se da mediante los modelos geopotenciales (MG); a partir de coeficientes armónicos es posible calcular, entre otras características, las ondulaciones y anomalías del Geoide, pero solo se centra en modelos globales y no aborda la posibilidad de un geoide local o regional.

1.12 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba.

Acosta Gonzáles, 2009. En su tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas, para la determinación de índices de vulnerabilidad geotecnia por métodos geodésicos, utiliza líneas de nivelación de alta precisión para obtener los valores de deformaciones de objetos de obra en el plano vertical. Utiliza instrumentos ópticos mecánicos y logra realizar un ajuste riguroso de las observaciones de los puntos de apoyo donde lo define como ramillete. Recomienda para próximas investigaciones la utilización de Estaciones Totales y



sistemas de posicionamiento global (GPS), donde resalta la necesidad de un geoide que permita obtener valores con exactitud.

Belete, 2013. Creó una norma topográfica para calcular volumen en la construcción de presa de cola en el municipio Moa, el cual incluye las canteras de préstamo, contratada por el empresa GEOCUBA ORIENTE SUR.

Belete (2008). En su libro Topografía, hace un estudio sobre los factores que influyen en el cálculo de volumen de mineral extraído y valora los errores topográficos que se cometen en la construcción del Modelo Digital del Terreno y propone la equidistancia y la distancia óptima entre piquetes para contornear los frentes de excavadoras y representarlo en el plano a escala 1:1000 con mayor exactitud.

García (2001). En su Trabajo de Diploma: Trabajos topográficos en la recultivación de los terrenos degradados por la minería laterítica, realiza una evaluación de los métodos vigentes en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara con el fin de proponer los trabajos de rehabilitación. Considera la tecnología topográfica antigua; no considera las estaciones totales y los GPS.

Guerra (2012). En su Trabajo de Diploma: Determinación de la influencia de los factores meteorológicos durante las mediciones con Estaciones Totales para el cálculo de volumen de mineral extraído, plantea cuando que se realiza el levantamiento del terreno con Estaciones Totales, es necesario considerar estos factores, pues pueden perjudicar la exactitud de construcción del plano topográfico en la zona minera.

Téllez, (2012). En su Tesis de Maestría: Construcción de caminos mineros con el software AutoCAD Civil 3D, propone un procedimiento para construir caminos mineros utilizando el software mencionado, pero no propone la secuencia



topográfica necesaria para realizar el replanteo de los caminos que conducen hacia la escombrera.

Instrucciones técnicas para levantamientos topográficos a escalas: 1:2000, 1:1000, 1:500, año 1987. Es el documento técnico rector que rige la política de la topografía en Cuba, donde se definen los parámetros técnicos poligonométricos vigentes, que fueron determinados en función de los instrumentos topogeodésicos ópticos mecánicos, hace referencia a poligonales con precisiones de IV Orden, 1ra y 2da categoría. Además define los parámetros técnicos para el método de densificación nivelación geométrica y establece las normas para el levantamiento directo en campo, pero no está actualizada con la incorporación de nuevas tecnologías, como estaciones totales y los sistemas de posicionamiento global (GPS).





CAPÍTULO II

MEDICIONES CON ESTACIONES TOTALES Y GPS DE LOS TRABAJOS TOPOGRÁFICOS DEL YACIMIENTO CANTARRANA

2.1 Trabajos topográficos realizados.

Los trabajos topográficos de exploración geológica fueron realizados por la empresa Geocuba Oriente Sur, a través del proyecto “Marcación y amarre de pozos mineros en los yacimientos Cantarrana”, con el objetivo de evaluar la base geodésica de 1ra y 2da categoría y la red de apoyo, para el replanteo y amarre de pozos de la red de perforación 35 x 35 m, con la utilización del GPS (fig. 2.1).

Las actividades desarrolladas para el cumplimiento de los objetivos propuestos fueron:

Reconocimiento de los puntos de la red geodésica nacional cercanos a la zona de trabajo. Después de realizar el análisis de la red geodésica nacional existente en las áreas cercanas, se utilizaron las coordenadas de los puntos de triangulación de 4to orden y la poligonal de 1ra categoría; ejecutada en el año 2007 por Geocuba Oriente Sur, los que fueron certificados y utilizados anteriormente para el replanteo de la red 100x100 m de lados ejecutada por la empresa Geominera Oriente en el mismo año.

Creación de la base geodésica de 1ra y 2da categoría: debido a la baja densificación de la base geodésica en las proximidades de los límites del área, ésta se ejecutó a partir de la combinación del método de determinación de coordenadas por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y por el método de poligonometría.



Se determinaron cuatro (4) puntos con GPS, quince (15) de 1ra categoría y 11 de 2da categoría, además cuarenta y seis (46) puntos de red de apoyo de 1ra y 2da Clase. Todas las poligonales trazadas fueron de enlace.

El esquema de la base geodésica con la ubicación de los puntos y el listado de coordenadas de la Base Geodésica 1ra categoría, 2da categoría y IV Orden aparecen en los anexos textuales 2.1 y 2.2.

En el procesamiento digital de los datos se utilizaron los *softwares*: *LeicaSurvey Office* y *GifCon2.5*.

La señalización de los pozos en los procesos de replanteo y amarre se realizó de la forma siguiente:

Se empotró una estaca que sobresale 5 cm de la superficie del terreno, para ubicar la posición exacta de los pozos.

Se empotró otra estaca, que sobresale entre 50 y 120 cm del nivel del suelo, que lleva grabada en sus lados los valores de las coordenadas y los números del bloque y el pozo.

Los valores de las coordenadas marcadas en las estacas durante el proceso de replanteo fueron sustituidos por las obtenidas en las mediciones del proceso de amarre.

Las mediciones se ejecutaron el GPS Leica 1200, el cual está apto para su uso, según la verificación realizada en enero/2013 y con sello de apta para su uso vigente hasta enero/2014 emitida por el Órgano Metrológico No. 57.

El tiempo dado para las mediciones con el GPS fue el siguiente:

Para la base geodésica de apoyo de primera categoría: 60min.

Para la base geodésica de apoyo de segunda categoría: 30min.

Para la base geodésica de apoyo de primera clase: 15min.

Para la base geodésica de apoyo de segunda clase: 10min.

Para el replanteo y amarre de pozos ordinarios: 5min.



Procesamiento digital: el procesamiento automatizado de los trabajos se realizó en dos etapas:

Descarga de los ficheros desde la estación total a la computadora. Los ficheros resultantes de las mediciones se obtuvieron con extensión GSI o IDX.

Procesamiento de los ficheros, utilizando los softwares especializados *LeicaSurvey Office*, para el manejo de los datos colectados en campo por la estación total, carga y descarga de datos, software de sistema y aplicaciones, editor de coordenadas, manejo de listas de códigos y llamadas a otras herramientas externas; así como el *GifCon2.5*.

2.2 Determinación de coordenadas por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Después de realizar el análisis de los puntos de 4to orden pertenecientes a la red geodésica nacional y los de 1ra categoría, ubicado dentro de los límites del yacimiento, con posibilidades para ser utilizados como referencia para las mediciones con GPS, se definió el programa de mediciones. La alta precisión en las mediciones se garantizó con la utilización del método estático de determinaciones GPS, en que la medición tiene lugar simultáneamente entre dos o más receptores:

Estación de referencia, ocupada con un receptor GPS cuyas coordenadas geodésicas son conocidas.

Estación móvil, ocupada con un receptor GPS cuyas coordenadas geodésicas se pretenden determinar.

Para desarrollar el amarre de los puntos utilizando el receptor GPS se tuvieron en cuenta los parámetros de precisión que se indican en la tabla 2.1.



Tabla 2.1. Parámetros utilizados durante el posicionamiento GPS

Orden del punto GPS	Distancia entre los puntos (m)	Error relativo (ppm)	Tipo de receptor	Método de medición	Cantidad de sesiones	Velocidad de muestreo (s)	Duración de la sesión (horas)
1 ^{ra} y 2 ^{da} categoría	5 000	10 mm $\pm$ 2ppm	SR – 20	Estático	1	1	2

Para todos los puntos, el ángulo máscara de observación fue de 15°.

En cada determinación se observó un mínimo de 7 satélites con un GDOP inferior a 3.

2.3 Modelo Digital del Terreno (MDT).

El modelo digital del terreno (MDT) utilizado en la presente investigación corresponde al establecido por Urra J. et al., 2009, para la estimación de recursos y reservas, el cual fue creado a partir de los valores de elevación del MDT obtenido por Geocuba (2007) y ajustado con las mediciones topográficas, poligonales, puntos de cambio y coordenadas de los pozos, obtenidos en esa campaña.

El procedimiento utilizado para la corrección del MDT utilizado consistió en la compilación de los datos con medición de la elevación de la altura de las etapas de exploración entre 1960-92 y 2008; el cálculo de los residuales de los valores de elevación con respecto al modelo digital del terreno de Geocuba, 2007.

La verificación de los datos del MDT en el área se realizó utilizando GPS diferencial de alta precisión, con error menor a 1 m para cada coordenada. Las comprobaciones permitieron confirmar la correspondencia en la ubicación de los pozos en el campo en relación con las bases de datos.



El MDT obtenido tiene entre sus propiedades el incluir toda el área del yacimiento y mantener las características cualitativas del MDT creado por Geocuba en el 2007.

No obstante, la información aportada por el MDT utilizado no tiene el grado de precisión requerido para el control de la explotación, por lo que se requiere realizar el levantamiento topográfico a escala más detallada, escala 1:2 000 o mayor, que permita contornear las superficies.



Fig. 2.1. GPS LEICA SR 20



CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES METEOROLÓGICOS EN LAS MEDICIONES TOPOGRÁFICAS CON ESTACIONES TOTALES Y GPS

3.1 Influencia de los factores meteorológicos durante las mediciones topográficas con GPS.

Los efectos de las variaciones de la temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y la altura sobre el nivel medio del mar, inciden sobre los resultados de las mediciones de las distancias y desniveles. Es preciso demostrar, para estos yacimientos, la posible incidencia de estos factores meteorológicos en las mediciones topográficas. Un estudio como este nunca se había realizado.

La adquisición de GPS por parte del grupo empresarial (CUBANIQUEL), permitió su aplicación en todo tipo de trabajo de la topografía minera. Se incluye el cálculo de volumen de mineral extraído y se analizan los resultados de las mediciones en el campo, influenciados por varias fuentes de errores que en muchas ocasiones, las condiciones atmosféricas no se tienen en cuenta (Guerra, 2012).

3.1.1 Trabajo experimental

La incertidumbre de las mediciones se modeló por el método de simulación de Monte Carlo. La clave de la simulación Monte Carlo consiste en crear un modelo matemático del sistema- proceso o actividad que se quiere analizar, identificando aquellas variables (inputs del modelo) cuyo comportamiento aleatorio determina el



comportamiento global del sistema. Una vez identificados dichos inputs o variables aleatorias, se llevó a cabo un experimento consistente en generar con ayuda del ordenador, muestras aleatorias (valores concretos) para dichos inputs; analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados.

Tras repetir varias veces este experimento, como la curva de información tiende a ser asintótica, lo que significa que a partir de un límite no tiene sentido incrementar el número de determinaciones, ya que no aporta nueva información, y sí encarece el experimento, será necesario realizar un diseño experimental. Se dispone de una serie de observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual será de utilidad para entender el funcionamiento del mismo. Se estableció el modelo matemático, la identificación de las fuentes y componentes de la incertidumbre y se determinaron las variables aleatorias y sus distribuciones acumuladas (F). Se generó un número aleatorio entre (0 y 1); se determinó el valor de la variable aleatoria para el número aleatorio generado de acuerdo con las clases, se calcularon los estadígrafos, medias y desviaciones estándar y los resultados para distintos tamaños de muestra. Para la investigación se diseñaron los experimentos utilizando el método plan factorial, fundamentado en la ecuación siguiente:

$$2^n$$

Donde:

n : cantidad de variables que intervienen en el experimento.

En nuestro caso intervienen 3 variables no controladas, es decir, no reguladas en condiciones de laboratorio:

- Temperatura.
- Humedad.
- Presión atmosférica.

Sustituyendo (n) por la cantidad de variables (3) entonces se obtienen:

$$2^3 = 8$$



Como resultado se realizaron 8 mediciones simultáneas o recíprocas para cada conjunto de puntos.

Las observaciones se realizaron, con la medición de las distancias en la base de comparación de Distanciómetro, con temperatura 26°C y 29.5°C y 30°C y 34.5°C; presión atmosférica entre 1007mb y 1011mb, considerando los parámetros meteorológicos y sin considerarlos. Las observaciones: Estación libre, Poligonal y Medir y registrar (método polar), se hicieron con temperatura 26°C y 29.5°C y 30°C y 34.5°C y las mismas condiciones que el primer caso.

Se cuidó por el estricto cumplimiento de las Normas de Metrología Decreto Ley 62, 1982; Decreto Ley 182, 1998 y Decreto Ley 183, 1998; implantados por el Sistema Internacional de unidades, Oficina Nacional de Normalización, Consejo de Estado, La Habana.

El control de la calidad se llevó a cabo bajo el cumplimiento de las Normas Cubanas NC 330:2004, NC 331:2004 de la Oficina Nacional de Normalización, Consejo de Estado, La Habana. La Norma Cubana (anteproyecto), 2004, Taquímetro electrónico, y la Norma Ramal NR FA 01-01:2001 de Hidrografía y Geodesia, La Habana.

3.1.2 Resultado del experimento No. 1. Base de Comparación de Distanciómetros

Se midieron 19 distancias en cada serie entre siete puntos y en un solo sentido sobre bases patrones de comparación, con longitudes conocidas de sus tramos en un rango entre 20 m y 270 m. Se utilizó el intercambio obligado de centrado para eliminar los errores por este concepto. El cálculo y evaluación de la constante aditiva se obtiene determinando el promedio a partir de las constantes obtenidas en cada tramo medido mediante la fórmula siguiente:

$$C_i = C_{bi} - C_{mi} \quad (3.1)$$

Donde:

C_{bi} - longitud convencionalmente verdadera de cada tramo de la base.

C_{mi} - longitud de cada tramo de la base medida con la Estación Total.



El valor definitivo de la constante aditiva (C_p), se obtuvo determinando el promedio de las constantes obtenidas en todos los tramos medidos por la fórmula:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (3.2)$$

Donde: n . es la cantidad de tramos medidos

Los errores residuales (V_i), se calculan por la fórmula. $V_i = C_i - C_p$

Los resultados de las mediciones realizadas aparecen en las tablas 3.1 y 3.2.

Tabla 3.1 Resultados obtenidos en la medición de las distancias en la base de comparación. Con temperatura 26°C y 29.5°C, presión atmosférica entre 1007mb y 1011 mb, considerando los parámetros meteorológicos.

No de orden	C_{bi}	C_{mi}	C_i	V_i	V_i^2
1	19.978	19.984	-0.006	-0.008	0.000064
2	25.104	25.099	0.005	0.003	0.000009
3	35.007	35.006	0.001	-0.001	0.000001
4	40.053	40.046	0.007	0.005	0.000025
5	45.082	45.088	0.006	-0.008	0.000064
6	60.111	60.110	0.001	-0.001	0.000001
7	75.060	75.056	0.004	0.002	0.000004
8	80.088	80.090	-0.002	-0.004	0.000016
9	90.393	90.396	-0.003	-0.005	0.000025
10	100.164	100.160	0.005	0.003	0.000009
11	120.141	120.141	0.000	-0.002	0.000004
12	135.098	135.095	0.003	0.001	0.000001
13	150.432	150.431	0.001	-0.001	0.000001
14	160.203	160.199	0.004	0.002	0.000004
15	180.180	180.181	0.000	-0.002	0.000004
16	190.485	190.480	0.005	0.003	0.000009



17	225.492	225.486	0.006	0.004	0.000016
18	250.596	250.590	0.006	0.004	0.000016
19	9 270.573	270.573	0.000	-0.002	0.000004
Σ			0.030	0.000	0.000277
C_p			0.0016	m	0.0038
				M	0.00088

Tabla 3.2 Resultados obtenidos en la medición de las distancias en la base de comparación. Con temperatura 26°C y 29.5°C, presión atmosférica entre 1007mb y 1011 mb, sin configurar los parámetros meteorológicos.

No de orden	C_{bi}	C_{mi}	C_i	V_i	V_i^2
1	19.978	19.979	-0.001	-0.005	0.000025
2	25.104	25.099	0.005	0.001	0.000001
3	35.007	35.005	0.002	-0.002	0.000004
4	40.053	40.045	0.008	0.004	0.000016
5	45.082	45.087	-0.005	-0.009	0.000081
6	60.111	60.109	0.002	-0.002	0.000004
7	75.060	75.054	0.006	0.002	0.000004
8	80.088	80.092	-0.004	-0.008	0.000064
9	90.393	90.388	0.005	0.001	0.000001
10	100.164	100.157	0.007	0.003	0.000009
11	120.141	120.137	0.004	0.000	0.000000
12	135.098	135.097	0.001	-0.003	0.000009
13	150.432	150.427	0.005	0.001	0.000001
14	160.203	160.196	0.007	0.003	0.000009
15	180.180	180.179	0.001	-0.003	0.000009
16	190.485	190.477	0.008	0.004	0.000016
17	225.492	225.486	0.006	0.002	0.000004



18	250.596	250.585	0.011	0.007	0.000049
19	270.573		0.009	0.005	0.000025
Σ			0.0077	0.000	0.000331
C_p			0.004	m	0.0042
				M	0.00096

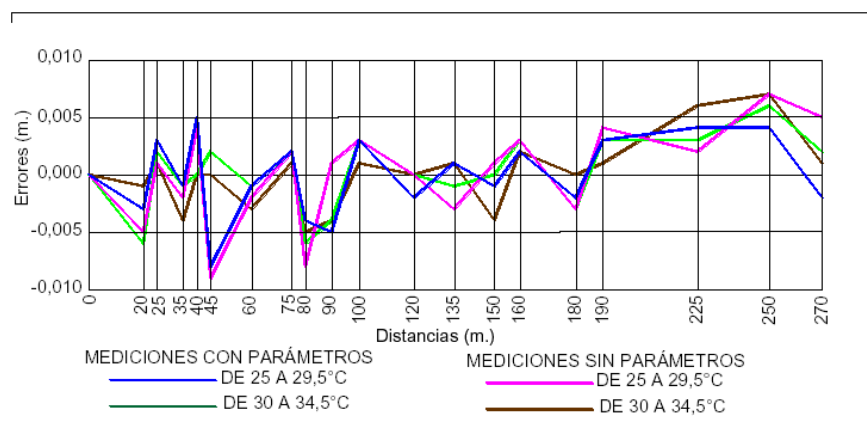


Fig. 3.1 Comportamiento del resultado obtenido en las constantes aditivas obtenidas en cada tramo entre puntos y por cada serie.

Al analizar la diferencia entre los errores de las constantes aditivas de las diferentes series que se exponen en la figura 3.1, se observa que entre la mayor y menor magnitud de error, existe una diferencia máxima de 0,0034 m, comprobando en este experimento que la incidencia de los factores meteorológicos en cualesquiera de las condiciones climáticas que pudieran presentarse en el territorio nacional, para los trabajos topográficos relacionados con el cálculo de volumen de mineral extraído, son despreciables. La representación gráfica del comportamiento de los valores promedios resultantes de la constante aditiva de cada serie se presenta en la fig. 3.2.

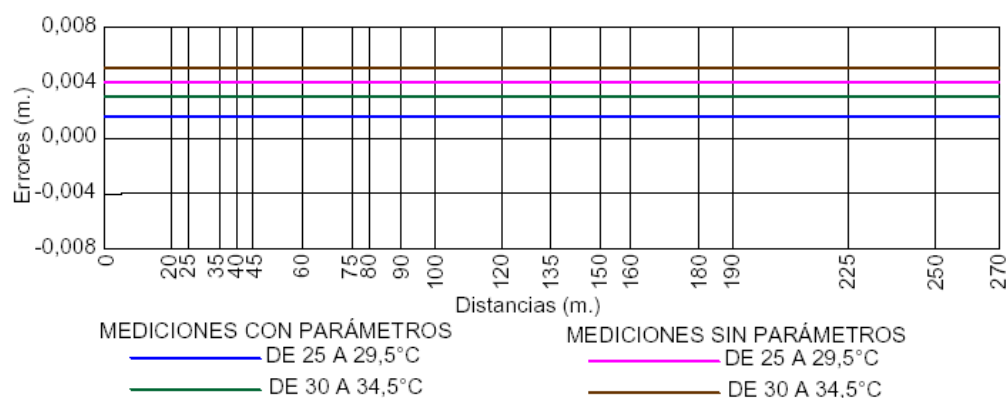


Figura 3.2. Representación gráfica del comportamiento de los valores promedios resultantes de la constante aditiva de cada serie.

3.1.3 Resultado del experimento No. 2. Estación Libre

Para las comprobaciones de la efectividad de la aplicación *Estación libre*, se valoraron los aspectos tratados en el acápite anterior sobre la base de las posibilidades reales de utilización de la misma, en la que no es muy frecuente la disposición de una densificación geodésica que permita utilizar más de tres puntos de referencia y en base a ello. Se propuso comprobar, si con solo dos o tres puntos de orientación y colocando prismas en cada uno de ellos para medir la distancia, se podían obtener los valores de coordenadas dentro de los parámetros inferiores a los permisibles, en los trabajos objeto de esta investigación.

Se realizaron 13 combinaciones, en dependencia de la distribución de los puntos de las bases patrones de referencia, cuyas distancias oscilaron entre 20m y 2400m. Los resultados se muestran en las tablas 31.3 y 3.4 y fig. 3.3.

De acuerdo con los resultados expuestos en ambas tablas, llegamos a la conclusión de que para distancias de hasta 2400m, seleccionando puntos de orientación por el método *Estación Libre*, se obtiene un error máximo promedio de 0.040 m.

En la fig. 3.3 se pueden apreciar los resultados de estas mediciones llevados a una gráfica en forma radial, donde se presentan los cambios de los errores



absolutos obtenidos por cada tipo de serie, con respecto a un punto central, que representa los valores del punto de apoyo tomado como referencia.

Al trazar circunferencias tangentes a los puntos más alejados del punto central, se comprueba que en la medida en que aumentan las condiciones adversas, aumenta el error y la dispersión. También se observa que los errores mayores se presentan cuando se utilizan combinaciones con lados muy largos. En la medida que se emplean lados más cortos, los valores están cercanos a cero y existe un menor grado de dispersión.

Al trazar las líneas sobre las magnitudes permisibles para las escalas 1:500 y 1:1000, se puede observar que aún en los puntos obtenidos con la mayor incidencia desfavorable, los errores son inferiores a los permisibles. Los resultados demuestran que, en este experimento, se puede utilizar la aplicación *Estación Libre* para determinar coordenadas de los puntos de la red de apoyo, para los trabajos topográficos con distancias de hasta 2000m y utilizar mediciones angulares y lineales a solo dos o tres puntos de orientación con coordenadas de orden superior.

Tabla 3.3 Resultados obtenidos en la determinación de coordenadas por el programa Estación libre, considerando los parámetros meteorológicos.

Puntos de orientación	Fx	Fy	Error absoluto	Distancia, m	Condiciones
7	0.002	0.002	0.003	20 -206	26-29.5°C. 1 011 mb
7	0.002	0.002	0.003	20 -206	30-34.5°C. 1 010 mb
3	0.002	0.002	0.003	20 -206	26-29.5°C. 1 011 mb
3	0.002	0.002	0.003	20 -206	30-34.5°C. 1 010 mb
2	0.002	0.002	0.003	20 -206	26-29.5°C. 1 011 mb
2	0.002	0.003	0.003	20 -206	30-34.5°C. 1 010 mb
3	0.000	0.000	0.000	400-500	26-29.5°C. 1 011 mb
3	0.000	0.000	0.000	400-500	30-34.5°C. 1 010 mb
2	0.001	0.000	0.001	400-500	26-29.5°C. 1 011 mb
2	0.000	0.003	0.003	400-500	30-34.5°C. 1 010 mb



2	-0.046	0.030	0.055	800-2100	26-29.5°C. 1 011 mb
2	-0.045	0.034	0.056	800-2100	30-34.5°C. 1 010 mb
2	-0.007	0.009	0.011	1000-1300	26-29.5°C. 1 011 mb
2	0.005	0.015	0.016	1000-1300	30-34.5°C. 1 010 mb
2	-0.011	0.026	0.028	900-1700	26-29.5°C. 1 011 mb
2	-0.020	0.033	0.039	900-1700	30-34.5°C. 1 010 mb
2	-0.045	0.024	0.054	1300-2300	26-29.5°C. 1 011 mb
2	-0.048	0.039	0.062	1300-2300	30-34.5°C. 1 010 mb
2	0.039	0.079	0.088	1700-2400	26-29.5°C. 1 011 mb
2	0.069	0.064	0.094	1700-2400	30-34.5°C. 1 010 mb
2	-0.053	0.041	0.067	2100-2300	26-29.5°C. 1 011 mb
2	-0.025	0.075	0.079	2100-2300	30-34.5°C. 1 010 mb
3	-0.053	0.029	0.060	800-2300	26-29.5°C. 1 011 mb
3	-0.053	0.036	0.064	800-2300	30-34.5°C. 1 010 mb
2	0.079	0.015	0.080	2300-2400	26-29.5°C. 1 011 mb
2	0.089	0.043	0.099	2300-2400	30-34.5°C. 1 010 mb
7	0.002	0.002	0.003	20 -206	26-29.5°C. 1 011 mb
7	0.002	0.002	0.003	20 -206	30-34.5°C. 1 010 mb
Σ	-0.112	0.59	0.974		
Promedio	-0.004	0.023	0.037		

Tabla 3.4 Resultados obtenidos en la determinación de coordenadas por el programa Estación libre, sin configurar los parámetros meteorológicos.

Puntos de orientación	Fx	Fy	Error absoluto	Distancia. m	Condiciones
7	0.002	0.002	0.003	20 -206	26-29.5°C. 1 011 mb
7	0.002	0.002	0.003	20 -206	30-34.5°C. 1 011 mb
3	0.002	0.002	0.003	20 -206	26-29.5°C. 1 011 mb
3	0.002	0.002	0.003	20 -206	30-34.5°C. 1 011 mb
2	0.002	0.002	0.004	20 -206	26-29.5°C. 1 011 mb
2	0.002	0.007	0.007	20 -206	30-34.5°C. 1 011 mb
3	0.001	0.000	0.001	400-500	26-29.5°C. 1 010 mb



3	0.003	0.001	0.003	400-500	30-34.5°C. 1 010 mb
2	0.004	0.002	0.004	400-500	26-29.5°C. 1 010 mb
2	0.005	0.003	0.006	2400-500	30-34.5°C. 1 010 mb
2	-0.046	0.030	0.055	800-2100	26-29.5°C. 1 010 mb
2	-0.045	0.034	0.056	800-2100	30-34.5°C. 1 010 mb
2	-0.009	-0.009	-0.013	1000-1300	26-29.5°C. 1 011 mb
2	0.005	-0.018	0.019	1000-1300	30-34.5°C. 1 011 mb
2	-0.013	0.029	0.032	900-1700	26-29.5°C. 1 011 mb
2	-0.025	0.031	0.040	900-1700	30-34.5°C. 1 011 mb
2	-0.043	0.029	0.052	1300-2300	26-29.5°C. 1 010 mb
2	-0.046	0.052	0.069	1300-2300	30-34.5°C. 1 010 mb
2	0.035	0.082	0.089	1700-2400	26-29.5°C. 1 010 mb
2	0.070	0.068	0.098	1700-2400	30-34.5°C. 1 010 mb
2	-0.056	0.043	0.071	2100-2300	26-29.5°C. 1 010 mb
2	-0.026	0.081	0.085	2100-2300	30-34.5°C. 1 010 mb
3	-0.055	0.039	0.067	800-2300	26-29.5°C. 1 011 mb
3	-0.059	0.036	0.069	800-2300	30-34.5°C. 1 011 mb
2	0.088	-0.021	0.090	2300-2400	26-29.5°C. 1 011 mb
2	0.093	0.046	0.104	2300-2400	30-34.5°C. 1 011 mb
Σ	-0.107	0.577	1.046		
Promedio	-0.004	0.022	0.040		

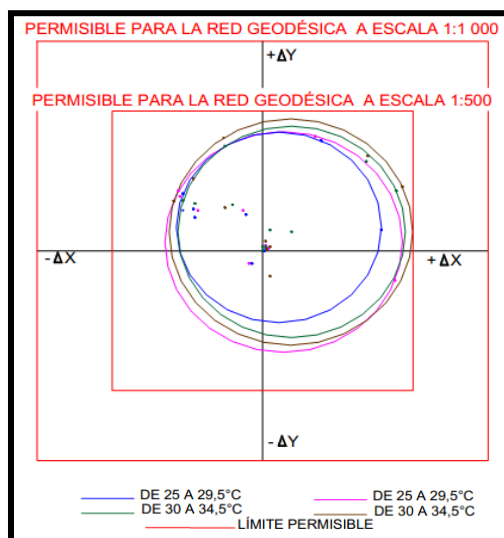


Fig. 3.3. Comportamiento de las constantes obtenidas en la aplicación Estación Libre por cada serie.

3.1.4 Resultado del experimento No. 3. Poligonal

Se escogieron tres tramos con puntos con coordenadas conocidas, cuyas magnitudes entre lados y longitud total se acercan a las establecidas para los tipos de trabajos, objeto de esta investigación. Estuvo conformado por cuatro series de tres poligonales con longitudes entre los 2100m y 4700m y lados entre 400m y 1000m. Como señales de orientación se utilizó el bastón portaprisma apoyado en las manos de los operarios, los que velaron por el correcto centrado y verticalidad. La elección de la aplicación para este caso fue *Medir y Registrar*. Los resultados alcanzados aparecen en las tablas 3.5 y 3.6.

Como resultado del trabajo reflejado en las tablas 3.5 y 3.6 mostradas se tiene que, en todos los casos, los errores lineales relativos están por debajo del error lineal permisible de 1/10000. Al realizar una valoración con los errores absolutos promedios entre 2000m y 3000m y a 4700m, se comprueba que los mismos son inferiores al error lineal permisible de 1/10000. Se acepta la efectividad de la medición de poligonales con la aplicación *Medir y Registrar* para poligonales de 1ra y 2da Categoría.



Tabla 3.5 Resultados obtenidos en las poligonales, considerando los parámetros meteorológicos.

Fx	Fy	Error absoluto	Distancia	Error lineal relativo	Condiciones
-0.116	-0.053	0.128	2103	1/15400	26-29.5°C. 1 011 mb
-0.111	-0.085	0.139	2103	1/15100	30-34.5°C. 1 011 mb
0.036	0.159	0.163	2671	1/16300	26-29.5°C. 1 011 mb
0.051	0.171	0.178	2671	1/15000	30-34.5°C. 1 011 mb
-0.158	-0.245	0.202	4769	1/16300	26-29.5°C. 1 011 mb
0.404	0.249	0.474	4769	1/10000	30-34.5°C. 1 011 mb
-0.035	0.048	0.152	Errores promedios entre 2000 y 3000m		
0.123	0.02	0.383	Errores promedios a 4700m		

Tabla 3.6 Resultados obtenidos en las poligonales, sin configurar los parámetros meteorológicos.

Fx	Fy	Error absoluto	Distancia m	Error lineal relativo	Condiciones
-0.125	-0.083	0.150	2103	1/14000	26-29.5°C. 1 011 mb
-0.133	-0.080	0.155	2103	1/13500	30-34.5°C. 1 011 mb
0.058	0.185	0.194	2671	1/13768	26-29.5°C. 1 011 mb
0.064	0.197	0.207	26711	1/12900	30-34.5°C. 1 011 mb
-0.279	-0.356	0.452	4769	1/10500	26-29.5°C. 1 011 mb
0.404	0.249	0.474	4769	1/10000	30-34.5°C. 1 011 mb
-0.034	0.055	0.177	Errores promedios entre 2000 y 3000m		
0.063	-0.054	0.463	Errores promedios a 4700m		

3.1.5 Resultado del experimento No. 4. Medir y registrar (método polar)

Se tomaron 12 puntos ubicados a distancias entre 100m y 2 400m, en los que se observaron cuatro series de mediciones. Para las mediciones a los puntos se utilizó como apoyo al prisma, el bastón portaprisma el cual se apoyó en las manos



del operario, que en todo momento mantuvo el correcto centrado y verticalidad. Además de ello, se eligieron puntos ubicados a distancias intermedias donde se colocaron las señales sobre trípodes, con centración forzada por medio de la plomada óptica, con el objetivo de tener una idea sobre la influencia del movimiento involuntario del bastón portaprisma en las manos del operario en el punto determinado con bastón. Los resultados alcanzados aparecen en las tablas 3.7 y 3.8.

Al analizar el resultado de las mediciones en la fig. 3.4, se llevaron a una gráfica en forma de línea apilada, que presenta la tendencia del aporte de cada error obtenido por cada distancia medida entre el punto de apoyo y el punto de piquete y entre series. Se puede comprobar que, en la medida en que aumentan las condiciones desfavorables y la distancia, aumenta el error y la dispersión entre ellos. También se observa que existe una incidencia significativa en el error y la dispersión en los puntos donde el prisma está colocado sobre el bastón, en comparación con los que se colocaron sobre trípodes.

Al observar el trazado de las líneas por el valor de los errores permisibles para las diferentes escalas, se observa que sobre los 1800m se realiza una intersección para las condiciones más adversas; y que a la distancia de 1732m se mantiene agrupada la dispersión de los errores, la cual aumenta considerablemente a la distancia de 2417m.

Estos análisis brindan los argumentos necesarios para la elección de la distancia máxima del instrumento al punto en su determinación planimétrica y se puede considerar según lo expuesto: hasta la distancia de 1 000m se pueden obtener valores que garantizan un error por debajo de los parámetros permisibles en los trabajos de cálculo de volumen de mineral extraído.



Tabla 3.7 Errores absolutos obtenidos en la determinación de coordenadas de un punto, por medio de la aplicación Medir y Registrar (método polar), considerando los parámetros meteorológicos.

Número de orden	Error absoluto	Distancia m	Error relativo	Condiciones
1	0.005	100	1/20000	26-29.5°C. 1 010 mb
2	0.005	100	1/20000	30-34.5°C. 1 011 mb
3	0.011	250	1/22700	26-29.5°C. 1 010 mb
4	0.012	250	1/20800	30-34.5°C. 1 011 mb
5	0.014	376	1/26800	26-29.5°C. 1 015 mb
6	0.016	376	1/23000	30-34.5°C. 1 007 mb
7	0.019	414	1/21700	26-29.5°C. 1 010 mb
8	0.026	414	1/15900	30-34.5°C. 1 011 mb
9	0.023	530	1/23000	26-29.5°C. 1 015 mb
10	0.025	530	1/21200	30-34.5°C. 1 007 mb
11	0.016	621	1/38800	26-29.5°C. 1 010 mb
12	0.018	621	1/34500	30-34.5°C. 1 011 mb
13	0.025	667	1/26600	26-29.5°C. 1 010 mb
14	0.026	667	1/25600	30-34.5°C. 1 011 mb
15	0.031	808	1/26000	26-29.5°C. 1 010 mb
16	0.034	808	1/23700	30-34.5°C. 1 007 mb
17	0.040	1 022	1/24300	26-29.5°C. 1 010 mb
18	0.042	1 022	1/26600	30-34.5°C. 1 011 mb
19	0.044	1 172	1/23900	26-29.5°C. 1 015 mb
20	0.049	1 172	1/24000	30-34.5°C. 1 007 mb
21	0.071	1 732	1/24300	26-29.5°C. 1 013 mb
22	0.066	1 732	1/26200	30-34.5°C. 1 015 mb
23	0.217	2 417	1/11100	26-29.5°C. 1 015 mb
24	0.262	2 417	1/9200	30-34.5°C. 1 007 mb
	0.022	Errores promedios hasta 1000 m		
	0.118	Errores promedios de 1000- 2417 m		



Tabla 3.8 Errores absolutos obtenidos en la determinación de coordenadas de un punto, por medio de la aplicación Medir y Registrar (método polar), sin configurar los parámetros meteorológicos.

Número de orden	Error absoluto	Distancia	Error relativo	Condiciones
1	0.005	100	1/20000	26-29.5°C. 1 010 mb
2	0.006	100	1/16700	30-34.5°C. 1 011 mb
3	0.013	3250	1/19200	26-29.5°C. 1 010 mb
4	0.014	250	1/17800	30-34.5°C. 1 011 mb
5	0.017	376	1/22100	26-29.5°C. 1 015 mb
6	0.018	376	1/20800	30-34.5°C. 1 007 mb
7	0.025	414	1/16500	26-29.5°C. 1 010 mb
8	0.026	414	1/15900	30-34.5°C. 1 011 mb
9	0.027	530	1/19600	26-29.5°C. 1 015 mb
10	0.028	530	1/18900	30-34.5°C. 1 007 mb
11	0.020	621	1/31000	26-29.5°C. 1 010 mb
12	0.021	621	1/29500	30-34.5°C. 1 011 mb
13	0.028	667	1/23800	26-29.5°C. 1 010 mb
14	0.031	667	1/21500	30-34.5°C. 1 011 mb
15	0.036	808	1/22400	26-29.5°C. 1 010 mb
16	0.039	808	1/20700	30-34.5°C. 1 007 mb
17	0.043	1 022	1/23700	26-29.5°C. 1 010 mb
18	0.044	1 022	1/23200	30-34.5°C. 1 011 mb
19	0.062	1 172	1/18900	26-29.5°C. 1 015 mb
20	0.070	1 172	1/16700	30-34.5°C. 1 007 mb
21	0.080	1 732	1/21600	26-29.5°C. 1 013 mb
22	0.083	1 732	1/20800	30-34.5°C. 1 015 mb
23	0.292	2 417	1/8300	26-29.5°C. 1 015 mb
24	0.297	2 417	1/8100	30-34.5°C. 1 007 mb
	0.025	Errores promedios hasta 1000 m		
	0.147	Errores promedios de 1000- 2417 m		



Fig. 3.4. Representación de los resultados obtenidos en la aplicación Medir y Registrar, para la determinación de coordenadas de un punto, desde puntos geodésicos con coordenadas conocidas.

3.1.6 Resultado del experimento No. 5. Nivelación

Se realizaron mediciones en cuatro series y en un solo sentido, sobre 10 puntos con cotas conocidas ubicados a distancias entre 1000m y 1172m. En el punto se colocó el prisma sobre bastón sostenido por el operario, que mantuvo la verticalidad y centración correcta. Además, se eligieron puntos ubicados a distancias intermedias, en los que se colocó el prisma sobre trípode. Se logró una mayor estabilidad en el momento de la medición. Los resultados obtenidos aparecen en las tablas 3.9 y 3.10 y fig. 3.5.

Al analizar el comportamiento de los errores reflejados en la figura 3.5, llevados a una gráfica en forma de línea apilada que presenta la tendencia del aporte de cada error obtenido por cada distancia medida entre el punto de apoyo y el punto de piquete y entre series, se comprueba que en la medida en que aumentan las condiciones desfavorables y la distancia, aumenta el error y la dispersión entre ellos. También se observa, que existe una incidencia significativa en el error y la



dispersión, en los puntos donde el prisma está colocado sobre el bastón, en comparación con los que se colocaron sobre trípodes.

Al observar el trazado de las líneas por el valor de los errores permisibles para las diferentes escalas, se aprecia que sobre los 625m se realiza una intersección con la línea que representa el error máximo permisible para la nivelación de IV Orden, en las condiciones más adversas. A la distancia cercana a los 880m se intercepta la línea que representa el error máximo permisible para la nivelación técnica. Con la línea del error en las condiciones más adversas y a los 1 090m, la misma línea se intercepta con la línea que representa el error para la equidistancia de 0.25m.

Estos análisis brindan los argumentos necesarios para la elección de la distancia máxima del instrumento al punto en su determinación altimétrica y se puede considerar, de acuerdo a lo comprobado en este experimento, que hasta la distancia de 1000m se pueden obtener valores que garantizan un error por debajo de los parámetros permisibles, en los trabajos para el cálculo de volumen de mineral extraído.

Tabla 3.9 Errores obtenidos en la determinación de las alturas de los puntos, por medio de la aplicación Medir y Registrar, considerando los parámetros meteorológicos.

Número de orden	Error	Distancia	Condiciones
1	0.001	100	26-29.5°C. 1 010 mb
2	0.001	100	30-34.5°C. 1 011 mb
3	0.002	250	26-29.5°C. 1 010 mb
4	-0.004	250	30-34.5°C. 1 011 mb
5	-0.005	414	26-29.5°C. 1 015 mb
6	0.005	414	30-34.5°C. 1 007 mb
7	0.010	530	26-29.5°C. 1 010 mb
8	-0.012	530	30-34.5°C. 1 011 mb
9	-0.009	621	26-29.5°C. 1 015 mb



10	0.010	621	30-34.5°C. 1 007 mb
11	0.016	667	26-29.5°C. 1 010 mb
12	-0.018	667	30-34.5°C. 1 011 mb
13	0.028	734	26-29.5°C. 1 010 mb
14	-0.034	734	30-34.5°C. 1 011 mb
15	-0.032	808	26-29.5°C. 1 010 mb
16	0.033	808	30-34.5°C. 1 007 mb
17	0.039	1022	26-29.5°C. 1 010 mb
18	0.043	1022	30-34.5°C. 1 011 mb
19	0.064	1172	26-29.5°C. 1 015 mb
20	0.070	1172	30-34.5°C. 1 007 mb
	0.002	Errores promedios hasta 1000m	
	0.067	Errores promedios de 1000- 1172m	

Tabla 3.10 Errores obtenidos en la determinación de las alturas de los puntos, por medio de la aplicación Medir y Registrar, sin configurar los parámetros meteorológicos.

Número de orden	Error	Distancia	Condiciones
1	0.003	100	26-29.5°C. 1 010 mb
2	0.003	100	30-34.5°C. 1 011 mb
3	-0.004	250	26-29.5°C. 1 010 mb
4	0.006	250	30-34.5°C. 1 011 mb
5	0.007	414	26-29.5°C. 1 015 mb
6	-0.009	414	30-34.5°C. 1 007 mb
7	0.012	530	26-29.5°C. 1 010 mb
8	-0.013	530	30-34.5°C. 1 011 mb
9	0.011	621	26-29.5°C. 1 015 mb



10	0.014	621	30-34.5°C. 1 007 mb
11	-0.025	667	26-29.5°C. 1 010 mb
12	-0.030	667	30-34.5°C. 1 011 mb
13	0.034	734	26-29.5°C. 1 010 mb
14	0.039	734	30-34.5°C. 1 011 mb
15	-0.036	808	26-29.5°C. 1 010 mb
16	0.041	808	30-34.5°C. 1 007 mb
17	0.047	1022	26-29.5°C. 1 010 mb
18	-0.057	1022	30-34.5°C. 1 011 mb
19	-0.081	1172	26-29.5°C. 1 015 mb
20	0.098	1172	30-34.5°C. 1 007 mb
	0.006	Errores promedios hasta 1000m	
	0.099	Errores promedios de 1000- 1172m	

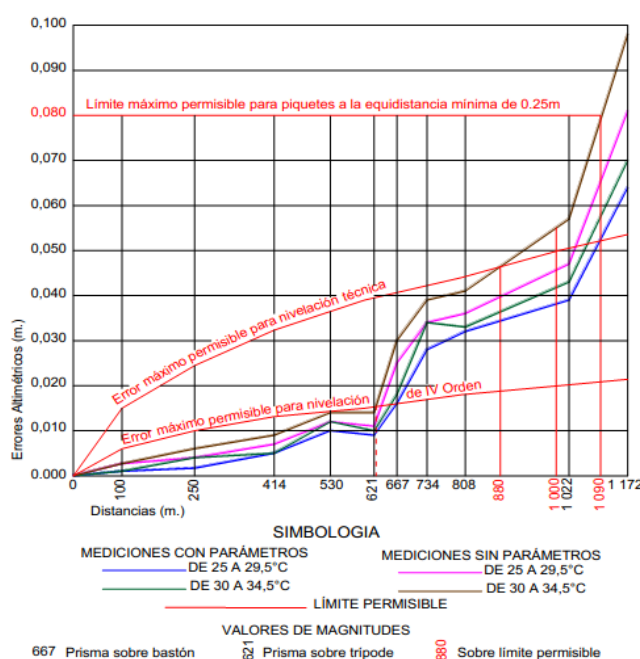


Figura 3.5. Representación de los resultados obtenidos en la aplicación Medir y Registrar, para la determinación de coordenadas de un punto, desde puntos geodésicos con coordenadas conocidas.



Evidentemente se observa que los errores obtenidos considerando los parámetros meteorológicos son menores si no se consideran.



CONCLUSIONES

- La determinación de las coordenadas de la red geodésica de apoyo del yacimiento con GPS, mostró buena precisión al considerar los factores meteorológicos (temperatura, presión atmosférica y humedad).
- La influencia de los factores meteorológicos en cualquiera de las condiciones climáticas que pudieran presentarse en los yacimientos lateríticos cubanos, para los trabajos topográficos relacionados con el cálculo de volumen de mineral extraído medidos con estaciones totales y GPS, no se pueden despreciar. Su valor disminuye cuando se consideran los parámetros meteorológicos de 0,177 a 0.152 m para distancia de 2000-3000 m, y de 0.463 a 0.383 m para distancia de 4700m.
- La investigación realizada sobre la determinación de los factores meteorológicos en la concesión minera Cantarrana de la compañía Moa-Nickel S.A, permitió realizar mediciones topográficas con estaciones totales y GPS para la confección de planos topográficos a grandes escalas.





RECOMENDACIONES

- Proponerle al grupo empresarial CUBANIQUEL, se apliquen los resultados obtenidos de esta investigación.
- Continuar con el análisis de este trabajo en otras empresas cubanas donde se utilice el GPS para construcción de redes geodésicas de apoyo y calcular volumen.
- Reflejar los resultados obtenidos en el cálculo de mineral extraído de estos yacimientos.





BIBLIOGRAFIA

- Baird, M. 1991. Experimentación, una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos. México. Prentice Hall Iberoamericana. 78p.
- Batista, Y. 2007. Mediciones geodésicas en las estructuras de peligro, vulnerabilidad y riesgo. Academia Naval Granma. Ciudad de la Habana.
- Batrakov, G. Redes geodésicas de densificación. Editorial Nedra, 1987. 255p.
- Belete Fuentes 2008. Topografía General. Libro inédito. 418p.
- Belete, O. Análisis de los errores topográficos cometidos en la determinación de los volúmenes de masa minera extraída con la utilización de los resultados del levantamiento taquimétrico. Revista Geología y Minería. Vol. XII, N °1, 1995, 49p.
- Belete, O. Influencia de la irregularidad de los perfiles de los taludes en la exactitud de determinación de los volúmenes de masa minera extraída en las canteras. Revista Tecnológica Serie Níquel. Vol. I N°1, 1997. 4- 8 p.
- Belete, O. Perfeccionamiento de la determinación del mineral extraído a través del cálculo de volumen y la masa volumétrica. Vol. XIV, N° 2, 1997, 35 p.
- Belete, O. 1998. Vías para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de mineral extraído en yacimientos lateríticos cubanos. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Instituto Superior Minero metalúrgico. Moa. 92p
- Belete, O. Análisis de los errores topográficos cometidos en la determinación de los volúmenes de masa minera extraída con la utilización de los resultados del levantamiento taquimétrico. Revista Minería y Geología. Vol. XII, N°1, 1995, 49 p.





- Belete, O. 1988. Influencia de los errores de medición de las áreas en la exactitud de determinación de volúmenes de masa minera extraída de las canteras. Trabajo de evento, ISMM, Moa. Inédito.
- Belete, O. 1985. Rosario, R. Comparación técnico económica de métodos computarizados utilizando el taquímetro automático RECOTA con el método tradicional de confección de planos topográficos. Trabajo de evento, ISMM, Moa. Inédito.
- Belete, O; Legrá, A; Lores, R. 1991. Automatización del cálculo de volúmenes de minerales útiles. Revista memoria del evento "MINIMETAL", La Habana.
- Benítez R. 1978. Topografía para ingenieros civiles (Tomo II). Editorial Pueblo y Educación. La Habana. P.320.
- Breve historia de los orígenes del método Monte Carlos. [en línea], consultada el 24/12/2012, disponible en:
<http://www.geocities.com/CollegePark/Quad/2435/index.html>.
- Dalda, A; et al. 2003. IV curso GPS para Geodesia y Cartografía. Cartagena de indias. Colombia. 203p.
- Desdin, R. 2009. Caracterización de los Movimientos Horizontales Recientes de la Corteza Terrestre en la Región de Mayarí, Nicaro y Moa, con el empleo de tecnología de avanzada (GPS). Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Instituto Técnico Militar "José Martí". La Habana. 154p.
- García, J. 1997. Estudio de uso del GPS en el TOM. Ponencia en XII Forum de Ciencia y Técnica. GEOCUBA ORIENTE NORTE. Holguín. Cuba.15p.
- Guerra, M. 2010. Influencia de los factores meteorológicos durante las mediciones topográficas con estaciones totales. TD
- Hoyer, Met al. 2002. Mediciones geodésicas GPS en el área del sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor. Laboratorio de Geodesia Física y Satelital, LUZ Chaparro. España 6 p. en línea], Consultado el 18 de mayo del 2011 y disponible en: <http://www.geocities.com/CollegePark/Quad/2435/index.html>.

<http://www.geocities.com/CollegePark/Quad/2435/index.html>.



- LEGRÁ-LOBAINA, A., et al. 2014. Contribución al método de interpolación lineal con triangulación de Delaunay. Minería y Geología, 30(2). 58-72.
- Libro electrónico sobre simulación Monte Carlos. [en línea], consultada el 21/12/2012, disponible en: <http://www.csep1.phy.ornl.gov/mc/mc.html>
- Modelo Digital de Elevaciones. [en línea], consultada el 22/12/2012, disponible en: [WWW, INEGI. : http://www.fi.uba.ar/materias/6201/MQmedierrcifrsg.pdf](http://www.fi.uba.ar/materias/6201/MQmedierrcifrsg.pdf)
- Moraimo, J. 2000. Materialización del sistema de referencia internacional en Argentina. Tesis en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias. La Plata. Argentina. 199 p.
- NI ISO 17123-3, 2001. Óptica e instrumentos ópticos- Instrumentos geodésicos. Procedimientos de campo para determinar la precisión en el terreno, segunda parte, Teodolitos. Ginebra. Suiza. 24.
- NI ISO 17123-4, 2001. Óptica e instrumentos Ópticos- Instrumentos Geodésicos, Procedimientos de campo para determinar la precisión en el terreno, cuarta parte, Distanciómetros electro-ópticos (DEO). Ginebra. Suiza.
- NI ISSO 9849, 1991. Óptica e instrumentos ópticos. Instrumentos geodésicos. Vocabulario. Ginebra. Suiza.
- Norma cubana N.C. 64-83. 1983. Sistema Internacional de Unidades.
- Norma Cubana NC 330:2004. Distanciómetro electro-óptico. Método de Verificación. Oficina Nacional de Normalización. Consejo de Estado. La Habana.
- Norma cubana NC 331:2004. Teodolito. Método de Verificación. Oficina Nacional de Normalización. Consejo de Estado. La Habana.
- Norma Ramal NR FA 01-01:2001. Hidrografía y Geodesia. Instrumentos de Medición. Almacenamiento y Manipulación. Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia. La Habana.



- Norma Cubana (anteproyecto).2004. Taquímetro electrónico. Método de Verificación. Oficina Nacional de Normalización. Consejo de Estado. La Habana.
- Norma Cubana: RC 3011 Relleno General 1987. 40. NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones equivalente a Guide to the Expression of Uncertainty Measurement, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML, México, 1995, págs.1-20.
- Ochoa, A. 1997. Ajuste de poligonales cerradas utilizando el método de los mínimos cuadrados. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Sonora. España. 56p.
- Olivera, R. (2011) “Keops” Topografía aplicada, Filial de Topografía Aplicada, Grupo Empresarial GEOCUBA IC, La Habana, Cuba.
- Ortiz-Marín, R; et al. 2008. Método para optimizar las mediciones topográficas con aparatos GPS. Evento Interciencia. Guatemala. 10 p.
- Peñafiel, J; Zayas, J. 2001. Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía. Delegación territorial de Madrid-Castilla-La Mancha. 135 p.
- Rodríguez, E. 2004. Perfeccionamiento de la Red Planimétrica Nacional mediante el empleo del Sistema Global de Posicionamiento GPS. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. La Habana. 29 p.
- Rodríguez, R.; et al. 2007. La red Geodésica Estatal planimétrica de Cuba: Orígenes, Evolución y perspectivas para su ulterior perfeccionamiento. V Congreso Geomática 2007. La Habana.11 p.
- Rodríguez, R; H, Barrabí. Estudio estadístico de la distribución de las reservas para diferentes valores del contenido límite en algunos yacimientos de níquel. Trabajo de evento, ISMM, Moa, inédito.
- Rossi, S. 2007. Medición, incertidumbre y cifras significativas. en línea], Consultado el 23 de septiembre del 2011 y disponible en: <http://www.fi.uba.ar/materias/6201/MQmedierrcifrsig.pdf>





- Rossi, S. 2007. Medición, incertidumbre y cifras significativas. [en línea], consultada el 22/12/2012, disponible en: <http://www.fi.uba.ar/materias/6201/MQmedierrcfrsig.pdf>
- Sabtan, A. 1993. "Numerical Techniques in Reservoir Capacity Evaluation". Quartely Journal of Engineering Geology, USA, Volume 26.
- San José-Blasco, J.; et al. (2007). Técnicas geodésicas y fotogramétricas aplicadas al análisis de la dinámica y cartografía del glaciar rocoso activo del corral del veleta (Sierra Nevada) durante el período 2001-2007. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. MAPPING INTERACTIVO. 9P.
- Sánchez, M. 2010. Métodos topográficos clásicos. Conferencia. Universidad de Cantabria. España. 32p.
- Sistemas de posicionamiento global (GPS), descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro. A.Pozo-Ruz, A.Ribero, M.C. García Alegre, L. García, D. Guevara, F. Sandoval.
- Suárez, J. 1988. "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". Editorial. Ingeniería de suelos Ltda. Colombia. 547 p.
- Sundakov, A. 1981. Trabajos Geodésicos para la construcción de grandes obras industriales y altos edificios. Editorial Mir. Moscú.
- SURFER, Surface Maping System, versión 5.00. Golden Sobtware, Inc., Mar, 1/1994.
- Tesis al grado de ing. Civil. Ubicación Geográfica con un GPS portátil y levantamiento topográfico. González Aguirre Ricardo, Sandoval Flores Raúl Armando. 2009
- Tesis al grado de ing. Civil. Utilización de tecnologías GPS en levantamientos de poligonales cerradas, comparación entre una poligonal GPS y una poligonal tradicional. Adalberto Revé Robles Stubbs. Guatemala 1995.
- Trabajos topográficos para la determinación del coeficiente de curvatura y refracción. en línea], Consultado el 28 de mayo del 2012 y disponible en: <http://www.google.cu>.



- Rodríguez-Roche, E. 2004. Perfeccionamiento de la Red Planimétrica Nacional mediante el empleo del Sistema Global de Posicionamiento GPS. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. La Habana. 29 p.
- Wolfgang, A., Guía para estimar la incertidumbre de la medición. El Marqués, Qro. México, 2004, págs. 1-27.
- Ángel Manuel Felicísimo. “El Modelo Digital de Elevaciones” [en línea], consultada el 27/09/2012, disponible en: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- WWW, Cartografía. “Mediciones de Deformación en Escaneo Láser”. [en línea], consultada el 02/12/2012, disponible en: <http://www.gim-international.com/>
- WWW, English_Heritage. *3D Laser Scanning for Heritage, Advice and Guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*. [en línea], consultada el 29/10/2012, disponible en: <http://www.heritage3d.org/downloads/3dscanning.pdf>.
- WWW, Paschotta, R. *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*. [en línea], consultada el 26/12/2012, disponible en:
- WWW, Wikipedia.”Escaner 3D”. [en línea], consultada el 25/11/2012, disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ner_3D
- WWW,FARO . “faro”. [en línea], consultada el 03/10/2012, disponible en: <http://www.faro.com/focus>
- WWW,FOTOCART. “Fotogrametría Digital S.L”. [en línea], consultada el 16/11/2012, disponible en: <http://www.fotocart.com/fotocart.htm>



RELACIÓN DE ANEXOS

Anexo textual 2.1. Base Geodésica Cantarrana

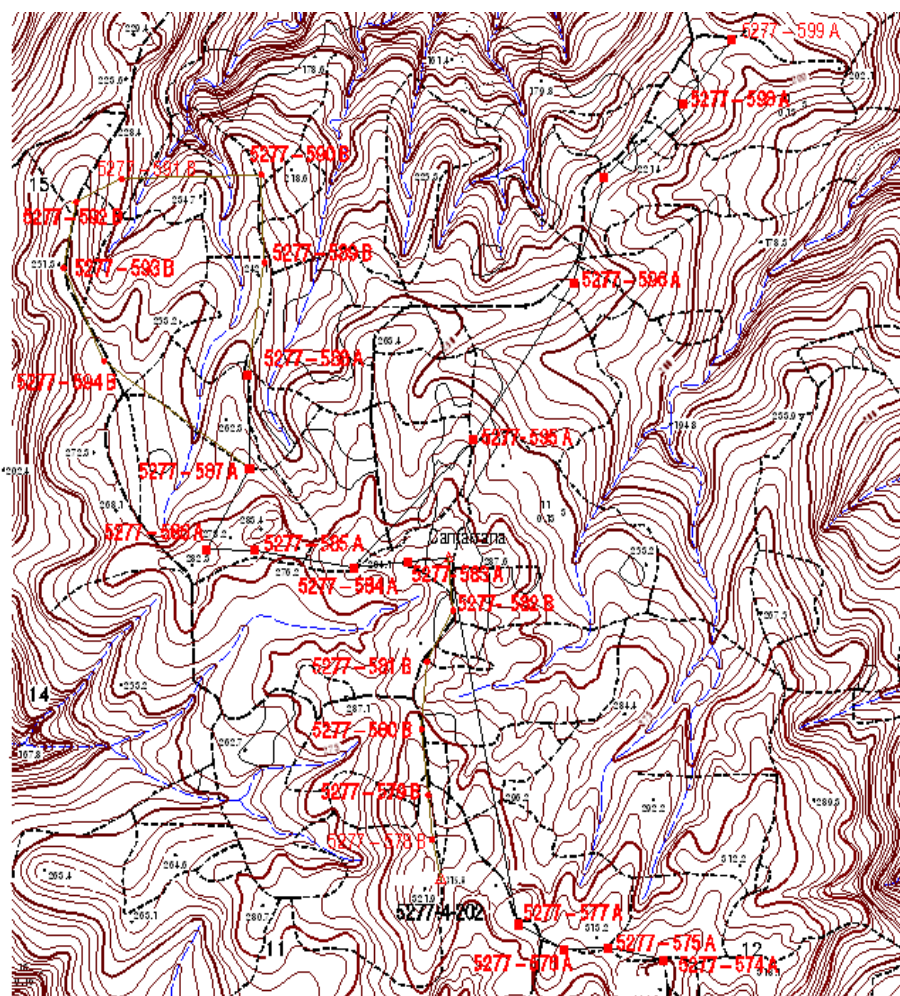
5277-- 583 A	711279,97	214260,12	282,182	1ra categoría
5277 – 584 A	711166,04	214247,18	280,363	1ra categoría
5277 – 585 A	710956,26	214283,03	276,785	1ra categoría
5277 – 586 A	710853,26	214283,18	280,439	1ra categoría
5277 – 587 A	710945,31	214442,04	266,435	1ra categoría
5277 – 588 A	710941,46	214626,58	253,796	1ra categoría
5277 – 589 A	710975,08	214846,36	242,205	2da categoría
5277 – 590 A	710969,37	215018,6	234,716	2da categoría
5277 – 591 A	710673,61	215010,29	233,855	2da categoría
5277 – 592 A	710576,6	214965,08	245,844	2da categoría
5277 – 593 A	710550,65	214835,75	250,945	2da categoría
5277 – 594 A	710636,23	214653,42	262,357	2da categoría
5277-- 595 A	711418,17	214498,71	261,926	1 ^{ra} categoría
5277 – 596 A	711630,72	214806,58	240,964	1 ^{ra} categoría
5277 – 597 A	711696,18	215014,55	223,939	1 ^{ra} categoría
5277 – 598 A	711862,21	215155,07	223,556	1 ^{ra} categoría
5277 – 599 A	711965,48	215283,91	212,379	1 ^{ra} categoría
5277 – 577 A	711513,54	213548,38	304,592	1 ^{ra} categoría
5277 – 576 A	711611,68	213499,28	305,98	1 ^{ra} categoría
5277 – 575 A	711703,95	213501,64	310,515	1 ^{ra} categoría



5277 – 574 A	711820,99	213477,47	318,977	1 ^{ra} categoría
5277- 4 – 202	711352,96	213634,29	289.492	4to Orden
5277 – 578 B	711331,03	213714,05	310,413	2da categoría
5277 – 579 B	711322,35	213801,76	308,306	2da categoría
5277 – 580 B	711308,84	213931,19	297,435	2da categoría
5277 – 581 B	711319,71	214063,44	294,512	2da categoría
5277- 582 B	711375,74	214163,93	292,353	2da categoría



Anexo 2.2 Esquema de Representación Gráfica de la Base Geodésica



SIMBOLOGIA

	Foliáceos
	Maleza compacta
	Yerba
	Maleza sin espina
	Estación Trigonómica
	Punto Poligonómico de 2da Categoría
	Punto Poligonómico de 1ra Categoría
	Rotulo hidrógrafico
	Cota
	Cota altimétrica
	Cota planimétrica
	Terraplén mejorado
	Terraplén no mejorado
	Caminos
	Trilho
	Río discontinuo
	Curva de nivel índice
	Curva de nivel principal
	Curva de nivel complementaria