



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba. CP 83 329. Tel. 53 24 60 4476 Fax: 53
24 60 2290

**TESIS APLICADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MASTER EN
TOPOGRAFÍA MINERA**

**DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS REDES DE
DENSIFICACIÓN GEODÉSICAS EN LA MINA ECG**

Autor: Ing. Ernesto Reyes Céspedes

Tutores: Dr. C. Diosdanis Guerrero Almeida
M. Sc. Ana Caridad Che Viera

Moa, 2014

"Año 55 de la Revolución"



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

DEDICATORIA

A mis familiares y en especial a mi madre.

A la memoria de mi padre.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

PENSAMIENTO

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



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

AGRADECIMIENTOS

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

A nuestra Revolución Socialista.

A todo el claustro de profesores.

Al Dr. C Orlando Belete Fuentes.

A Fabián, estudiante extranjero de 5to año de la carrera de Ingeniería en Minas.

A todos **GRACIAS**



RESUMEN

La siguiente investigación se realizó en yacimiento Yagrumaje sur de la Mina Ernesto Che Guevara de Moa provincia Holguín, con el objetivo de determinar la precisión de las redes de densificación geodésicas trazadas con estaciones totales y GPS. Es evidente que en estos yacimientos lateríticos no existe un procedimiento que permita valorar la precisión de los trabajos topográficos para guiar los trabajos mineros que permita proyectar una red de densificación geodésica más confiable. El trabajo realizado permitió establecer la precisión de las redes de densificación geodésica cuando se mide con estaciones totales y GPS, cuando se considera el coeficiente de influencia accidental y determinar por primera vez en estos yacimientos el coeficiente de influencia accidental de las poligonales de las redes de apoyo por categorías y clases. Finalmente se calculó la cantidad de etapas de desarrollo de la base geodésica y la precisión de las mediciones de diferentes etapas para las poligonales construidas en el yacimiento Yagrumaje Sur. Las Estaciones Totales y GPS aseguran la precisión necesaria de las mediciones de las poligonales en todas sus categorías.

Palabras claves: Redes geodésicas, densificación, precisión, yacimiento laterítico, topografía minera.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

ÍNDICE

No		Pág.
	Introducción	8
	CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.1	Introducción	11
1.2	Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en el mundo.	12
1.3	Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba.	13
	CAPITULO II: TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN LA REHABILITACIÓN DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LA MINERÍA	16
2.1	Características de los trabajos geológicos y mineros del yacimiento	16
2.1.1	Breves características geológicas del yacimiento	17
2.1.2	Breves características hidrogeológicas de la zona de estudio	18
2.2	Confección de la base planimetría para el levantamiento	22
2.3	Construcción de poligonales de enlace	26
	CAPITULO III: TRABAJOS TOPOGRÁFICOS MINEROS EN ÁREAS EN PROCESO DE LA REHABILITACIÓN	30
3.1	Necesidad de realizar los trabajos topográficos	30
3.2	Influencia de las pendientes en la rehabilitación de los suelos	31
3.3	Análisis de los factores topográficos que influyen en la rehabilitación	33
3.3.1	Áreas llanas y talúdes suaves	36
3.3.2	Arranque de la capa útil de suelo (capa vegetal) después de realizados los trabajos topográficos	37
3.4	Aplanamiento vertical de las escombreras	38
3.4.1	Fórmulas utilizadas para el cálculo de volumen	41



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

3.4.2	Formación de terraza	47
3.4.3	Inclinación del talud de los suelos minados	48
3.5	Cálculo de movimiento de tierra	50
3.5.1	Levantamiento topográfico	50
3.5.2	Descripción del proceso de descarga con el software CarlsonXPort	50
3.5.3	Creación del Modelo digital del terreno para el movimiento de tierra mediante los software	54
3.5.4	Metodología para el cálculo de volumen mediante el software Cartomap6	54
3.5.5	Pasos para la importación de los puntos	60
3.5.6	Pasos para la creación del modelo digital del terreno	66
3.5.7	Cubicaciones (Cálculo de volumen)	72
	Conclusiones	73
	Recomendaciones	74
	Bibliografía	75



INTRODUCCIÓN

La Topografía Minera es una rama de la ciencia y la técnica, cuya tarea principal es crear redes de apoyo, efectuar levantamientos, dibujar objetos de la superficie y de las excavaciones mineras en los planos utilizando también los datos obtenidos de los levantamientos, mediciones y observaciones para resolver distintas tareas geométricas que se nos presentan en el transcurso de las exploraciones, confección de proyectos y construcción y explotación de las unidades minera.

Los trabajos de Topografía minera tienen mucho en común con los de geodesia.

Pero la mayoría de los problemas de la Topografía Minera los resolvemos valiéndonos de los datos de la exploración minera y geológica.

En los trabajos topográficos es necesario guiarse por las normas y reglamentos técnicos de la Topografía Minera, aprobadas por los organismos competentes en el país. Para esto la Topografía Minera cumple con las tareas principales en las minas de explotación tales como:

- 1- Construir las redes topográficas de apoyo;
- 2- Realizar los trabajos de densificación dentro del área de estudio;
- 3- Determinar la precisión de la construcción de las redes topográficas de apoyo;
- 4- Efectuar levantamientos en la superficie o bajo mina, así como confeccionar y completar los planos de superficies y de las excavaciones, basándonos en los datos obtenidos.
- 5- Trazar y efectuar trabajos de levantamiento en las superficies relacionados con las distintas construcciones, realizar trabajos en las excavaciones mineras, ejecutar el control periódico sobre los mecanismos de elevación.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

- 6- Estudiar la geometría de la yacencia y calidad del mineral; dibujar y rectificar los gráficos de la geometría minera que dan la idea de la yacencia y calidad del mineral de los distintos lugares.
- 7- Situar y dar dirección a las excavaciones subterráneas, cuidando que los trabajos de excavación coincidan con la dirección de estas en el plano; ejercer control sobre las dimensiones, hacer orientar los frentes de encuentros y otras.

Es evidente que en estos yacimientos lateríticos no existe un procedimiento que permita valorar la precisión de los trabajos topográficos para guiar los trabajos mineros que permita proyectar una red topográfica de densificación geodésica más confiable.

Debido a las insuficiencias en el análisis de la precisión de estos trabajos topográficos que se realizan, se propone el siguiente problema:

Problema: La necesidad de determinar la precisión de las redes de densificación geodésicas trazadas con estaciones totales en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara.

Objeto de investigación: Los yacimientos lateríticos pertenecientes a la mina de la empresa Ernesto Che Guevara.

Campo de acción: Los métodos y tecnología topográfica para la densificación de las redes geodésicas de apoyo.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Objetivo: Determinar la precisión de las redes de densificación geodésicas trazadas con estaciones totales en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara.

Hipótesis: Si se analizar el estado de la red de densificación geodésica en el yacimiento, se determina la cantidad de etapas de desarrollo de la red de apoyo y calcula el coeficiente de influencia accidental de las poligonales, entonces se podrá determinar la precisión de las redes de densificación geodésica trazadas con estaciones totales en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara.

Objetivos específicos:

- Analizar el estado de la red de densificación geodésica en el yacimiento.
- Determinas la cantidad de etapas de desarrollo de la red de apoyo.
- Calcular el coeficiente de influencia accidental de las poligonales
- Determinar la precisión del punto final de las poligonales trazadas en la mina en la Empresa Ernesto Che Guevara.

Aportes práctico: Un procedimiento para valorar la precisión de las redes de densificación geodésica trazadas con estaciones totales y GPS en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara.

Métodos de investigación:

- Matemático estadístico;
- Teórico-histórico-lógico, análisis y síntesis, inductivo-deductivo;
- Empírico: observación y experimentación;
- Técnica empleada: entrevista.



CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo al progreso científico-técnico que actualmente se produce en las diferentes ramas de la minería, se hace cada vez más necesario el desarrollo de la cantidad y complejidad de grandes cálculos topográficos que se realizan para poder llevar a cabo tareas de construcción de las redes topográficas de apoyo en la actividad minera. Aparejado a esto trae consigo nuevas y mayores exigencias de gran rigor con respecto a su alta eficiencia, por tal motivo no se concibe su ejecución sin la aplicación de tecnologías apropiadas como las estaciones totales, los GPS y software para la confección del plano topográfico y llevar a cabo el desarrollo de los trabajos mineros.

Según la evolución y modernización de los instrumentos topográficos y software utilizados para el trazado de las redes de apoyo, los fabricantes lanzan al mercado internacional las más recientes tecnologías, integradas por diferentes aplicaciones internas que posibilitan la rapidez y gran eficiencia para los diferentes cálculos.

En la actualidad con el desarrollo de las nuevas tecnologías de equipos software para realizar cálculos topográficos se hace necesario crear un procedimiento para la determinación de la precisión de los trabajos topográficos mineros en las zonas mineras. Lo expresado anteriormente trae consigo la mejora continua de los resultados de los trabajos topográficos mineros que se llevan a cabo en diferentes minas o canteras.

La empresa de proyectos (CEPRONIQUEL) en los últimos años ha adquirido diferentes software para realizar diversos trabajos de topografía para lo cual son



empleados los software: AutoCAD civil 3D-2010, Surfer8, Cartomap V 6.0, este último limitado a llaves muy costosas en el mercado internacional. Por eso es objetivo de este trabajo, crear un procedimiento que permita evaluar la precisión de la construcción de las redes topográficas de apoyo.

1.2 ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS PRECEDENTES RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA A NIVEL INTERNACIONAL

Revista geodesia y aerofotolevantamiento (1974): Trata sobre la precisión del visado enlazando con el empleo de los métodos geodésicos de alta precisión y valora el error de colimación a distancia de 100-400m.

Manual de levantamientos a grandes escalas (1977): trata sobre el procedimiento para trazar redes de levantamiento con poligonales.

Ganshin (1974). En base a los cálculos de las poligonales de diferentes formas y distintas relaciones entre la exactitud de las mediciones lineales y angulares, se establece que la presencia solamente de los errores accidentales de las mediciones, la magnitud del error medio cuadrático del acimut en el lugar más débil de la poligonal, después de ajustadas por el método de los mínimos cuadrados en todas las condiciones es aproximadamente igual al error medio cuadrático del ángulo medido, es decir, $m_{\alpha} = m_{\beta}$.

Bakanova (1983): Levantamiento a grandes escalas. Plantea como calcular el error medio cuadrático del punto final de la poligonal con ángulos previamente ajustados. La distancia la mide con el telémetro REDTA o con el D-2 para



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

poligonometría de 2da categoría. También calcula el error límite del punto en el lugar más débil de la poligonal después de ajustada.

Bolgov (1984): Trabajos geodésicos en la construcción de grandes obras. Plantea las redes geodésicas de grandes obras y su fijación en el terreno. Trata los tipos de redes analíticas necesarias y su precisión medidas con instrumentos tradicionales (teodolitos y telémetros).

Lébedev (1984): Geodesia aplicada a la ingeniería. Valora la influencia de los errores sistemáticos y accidentales en las poligonales. Calcula la precisión de las distancias y de los ángulos y determina que cuando las distancias se miden con geodímetros, los errores sistemáticos no ejercen influencia y asegura que los geodímetros pequeños garantizan la precisión necesaria de la medición de la distancia en las poligonales de todas las categorías.

Koskov (1986): Manual para levantamientos de ciudades. Plantea la precisión de las poligonales se deben calcular con los ángulos previamente ajustados, para poligonales quebradas y para poligonales alargadas por separado.

Batrakov (1987), en su libro: Redes geodésicas de densificación. Plantea calcular la exactitud de las poligonales trazadas entre puntos de apoyo y demuestra que el error relativo mayor se encuentra en las poligonales trazadas entre puntos de apoyo (en el medio) y establece que en los levantamientos en superficies abiertas o en terrenos construidos a escala 1:5000, el error límite de posición de los puntos de la base de levantamiento es de 0.1m y comprueba si la poligonal puede ser aceptada como red de levantamiento.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

En el IV curso GPS para Geodesia y Cartografía, desarrollado en Cartagena de India, Colombia en el año 2003, definen al geoide como la superficie de referencia más próxima al nivel medio del mar, como una figura geopotencial irregular debido a la distribución no homogénea de la masa en el cuerpo de la tierra y las perturbaciones provocadas por la densidad de la corteza terrestre, muestran de manera simplificada un procedimiento para la determinación de un modelo del geoide global, a partir de estudios gravimétricos, especifican que existen zonas donde es posible lograr precisiones en la determinación de las alturas hasta 10 cm, pero no aseguran la exactitud de los resultados en todos los países, abordan sobre la existencias de varios modelos del geoide a nivel mundial y algunos a nivel de países, todos referidos a un elipsoide de referencia y un datum vertical, solo ilustran los países que se utiliza como proyección cartográfica (UTM).

Sánchez (2010), diseña una metodología para el cálculo de las poligonales o itinerario según refiere en el documento, considerando los valores planimétricos y altimétricos de los puntos a determinar con GPS, hace una valoración de los errores de cierre obtenidos mediante el cálculo, pero no tiene en cuenta las posibles desviaciones que se pueden cometer durante las mediciones directas en campo. Aporta un conjunto de criterios a tener en cuenta durante la determinación de las alturas de los puntos, basándose en el fundamento del método nivelación GPS compuesta. Las principales críticas a este método se basan en la exactitud de los resultados obtenidos, según, (las instrucciones técnicas para la nivelación con GPS de la empresa GEOCUBA), este método solo es aceptable para la obtención de planos topográficos con equidistancias mayores a 2 metros.



Por su parte, Franco Rey (2009) en su artículo (Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía), acerca del empleo de los sistemas de posicionamiento global GPS escribe: " La combinación de los equipos informáticos e instrumentos topográficos, el desarrollo de avanzados programas de cálculos topográficos y modelos digitales del terreno, la utilización ya generalizada de los GPS, permiten la obtención de precisiones antes solo alcanzadas por métodos geodésicos en las coordenadas planimétricas". Conserva la hipótesis de realizar los trabajos de levantamiento topográfico con GPS a escala 1:5000 en paralelo con las mediciones de los puntos de apoyo y luego transformar aplicando el método (Helmert), las coordenadas de todo el trabajo una vez realizado el ajuste de la poligonal con la ayuda de un software de cálculo topográfico, criterio que difiere de la tesis de Benoit Froment (2011), donde establece la necesaria elaboración matemática de las mediciones para obtener los puntos de apoyo con la exactitud que permitan posteriormente realizar los trabajos topográficos. El autor realiza una sintaxis sobre los software topográficos actuales empleados para el procesamiento de levantamientos realizados con GPS, e ilustra varios ejemplos que facilitan el aprendizaje, además muestra todo un algoritmo de cálculo hasta la obtención de los principales errores presentes durante el procesamiento, pero no define criterio alguno de los valores permisibles para la determinación de las coordenadas altimétricas.

López (1996), aborda la temática sobre el ajuste de poligonales planimétricas cerradas realizadas con GPS, donde hace referencia a los métodos de ajustes siguientes: (Regla de la Brújula, Regla del tránsito, Método de Crandall, Método de los mínimos cuadrados), el autor realiza una comparación entre los métodos teniendo en cuenta la complejidad y los criterios de corrección que maneja cada uno y considera los mínimos cuadrados como el más apropiado para la



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

poligonometría, ya que asigna dentro de su procedimiento un peso relativo a las medidas angulares y otro a las medidas lineales, ajustando de la manera más imperceptible las longitudes y los rumbos de sus lados, deja claro la complejidad y lo extenso del proceso de cálculo pero con el advenimiento de las computadoras ha pasado de una desventaja a una particularidad.

Ochoa (1997), en la tesis para obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad de Sonora, realiza el ajuste de poligonales por el método de mínimos cuadrados, donde aporta el fundamento matemático llevado a lenguaje de programación Autolisp, para crear una aplicación en Autocad, que permite realizar los ajustes correspondientes a las mediciones de campo. Coincide con la tesis de Serefín López Cuervo (1996), que el método de mínimos cuadrados es el más apropiado para el ajuste, solo trata la planimetría, plantea que no es aconsejable cuando se realizan estos trabajos con los sistemas GPS obtener la altimetría y remite a otra tecnología. Se definen los conceptos sobre errores y tolerancias en la poligonometría, pero solo se centra en una breve alusión a estos sin profundizar en el fundamento teórico práctico y no las refiere a ninguna norma.

El 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



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

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.

Fargas (2001), en su artículo redes topográficas define la poligonometría como el método de densificación más utilizado en la topografía por ser económico, que puede adaptarse a cualquier complejidad de la zona de trabajos, pero solo teniendo en cuenta la planimetría, considera emplear el método de nivelación para obtener las coordenadas altimétricas. Además establece una metodología para el cálculo de poligonales cerradas y la obtención de los errores altimétricos y planimétricos, sin considerar la tarea de ajuste. Hace un análisis sobre diferentes sistemas de referencias utilizados en Europa y la necesidad de lograr homogenizar en un sistema único global, que permita el empleo de los sistemas de posicionamiento global a nivel mundial en uno solo.

Marcelo Santos, Robert Tenzer (2011), en su artículo algunas consideraciones sobre las alturas ortométricas y normales, plantean que es posible obtener alturas ortométricas más exactas que las alturas normales. "Nuestra conclusión es que la altura ortométrica, y como consecuencia, el geoide, puede obtenerse tan exactamente como la altura normal y el quasigeoide. Se ha mostrado que muchos



de los argumentos históricos en contra de ambas alturas son erróneos: originados por mala conceptos erróneos, o han sido refutados por avances científicos y tecnológicos, al igual que por la gran disponibilidad de datos de distinta variedad". " Por lo tanto las tendencias para desacreditar cualquiera de ellas, la solución más tradicional de Stokes o la alternativa de Molodensky, están fuera de lugar y si ambas son igualmente exactas, por qué no usar una que respete la física y satisfaga los requerimientos prácticos y científicos (por ejemplo en Geofísica o en Oceanografía)".

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.

Alfonz Porvaznik (1984), establece el algoritmo de cálculo de las correcciones por la curvatura de la tierra y refracción solar, que influyen en los resultados de las mediciones de campo ocupando una zona extensa, considera que para cada región deben de calcularse estas correcciones que están en función de las relaciones entre la diferencia de alturas y el nivel medio del mar.

1.3 ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS PRECEDENTES RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA EN CUBA

Belete (1998), en su tesis doctoral: Vía para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de mineral extraído propone una metodología para valorar la exactitud



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

del modelo Digital del Terreno y propone una nueva tecnología, pero no considero la nueva tecnología topográfica.

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.

Aguilera, I. (2002), realizó un trabajo sobre rehabilitación, pero no llega a conformar un orden de realización de los trabajos topográficos mineros.

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.

Batista (2009), realiza constantemente trabajos topográficos en la rehabilitación minera con las estaciones Totales, sin construir una adecuada red de apoyo topográfica.

Herrera. (2010), propuso una metodología de realización de los trabajos topográficos mineros para la rehabilitación minera, pero no considero la



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

construcción de las redes de apoyo construidas con estaciones Totales, por lo que no llega ser un procedimiento.

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 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, I. (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.

Dr. C, Prof. Titular Reynaldo P. Acosta Gutiérrez del Grupo Empresarial GEOCUBA, creo el (modelo del geoide Cuba 2000), a partir de los datos disponibles, sobre la base de la adopción del método combinado de mejoramiento de los modelos geopotenciales, el uso de determinaciones GPS y de las diferencias entre las superficies de referencia ideal y el datum vertical de la República de Cuba, demostró que las diferencias obtenidas en el modelo reflejan fielmente los errores de transmisión de las ondulaciones del geoide mediante la nivelación astrogravimétrica (NAG). Aunque la investigación resulto positiva para ser empleado en diferentes tipos de trabajos, en las mediciones realizadas por Sergio Ricardo Desdin en su tesis doctoral, para la caracterización de los movimientos horizontales recientes de la corteza terrestre en la región de Mayarí,



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Nicaró y Moa con el empleo de tecnología de punta, sistema de posicionamiento global GPS, empleando este modelo del geoide Cuba 2000, pudo obtener precisiones en las coordenadas altimétricas alrededor de los 20 cm, muy próximo a los valores obtenidos empleando entonces el modelo del geoide global (EGUM96).

Reynaldo P. Acosta Gutiérrez en el año 2002, presentó una metodología para la nivelación GPS en las condiciones de la república de Cuba, donde mediante el uso de los modernos modelos gravitacionales de la tierra y del modelo del geoide Cuba 2000, determinó las diferencias de altitudes normales entre los puntos sobre la superficie de la tierra, utilizando las altitudes elipsoidales h , medidas con receptores GPS, las diferencias entre las ondulaciones del geoide en dichos puntos previamente corregidas por la influencia del campo gravitacional y la variación de las diferencias entre las desviaciones astrogravimétricas de la línea vertical. Logró la transmisión de las altitudes hacia los puntos experimentales coincidentes con puntos de nivelación geométrica a distancias desde 4.4 hasta 194 Km. mediante la Nivelación GPS (N GPS) para las condiciones de la república de Cuba, con exactitudes desde ± 48.82 hasta ± 0.04 ppm (partes por millón) o milímetros por kilómetros respectivamente; que clasifican dentro de todos los órdenes de nivelación geométrica. Pero además reconoce que en las zonas montañosas no es posible que la exactitud de los resultados esté dentro de los órdenes de la nivelación geométrica.

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



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

valores de deformaciones de objetos de obra en el plano vertical, pero 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.

Arango Andreu 1983, crea en su libro una metodología para la medición y cálculo de la nivelación trigonométrica y cómo eliminar los errores introducidos en las mediciones por curvatura y refracción, pero no define las tolerancias admisibles para cada orden de precisión del punto a determinar, es decir considera todas las mediciones en una sola precisión y realiza la corrección de curvatura y refracción teniendo en cuenta los parámetros definidos a nivel global, no hace una descripción de los elementos que se tienen en cuenta para asumir el valor de las correcciones que propone, realiza una caracterización de la instrumentación utilizada en la época en profundidad, reflejando las verificaciones que deben de realizarse antes de ejecutar cualquier trabajo y enuncia la necesidad de conocer en detalle la superficie de referencia para la determinación de las coordenadas altimétricas.

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 del 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



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

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).

Belete Fuentes 1998 en su tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, realiza un análisis crítico y detallado del control del volumen de mineral extraído y la masa volumétrica, refleja de manera crítica el estado de los trabajos topográficos creando una metodología para la valoración de los errores cometidos durante la realización del levantamiento, pero de manera clara deja en sus recomendaciones que el empleo de las nuevas tecnologías de instrumentos topográficos y software de cálculo van a minimizar los errores relacionados en su investigación, incitando a continuar los experimentos con sistemas de posicionamiento global GPS y estaciones totales para llegar a atenuar las diferencias del volumen de mineral extraído y el que se reporta por la planta procesadora, que en esa época y la actual afecta los resultados productivos.

CONCLUSIONES PARCIALES

Sobre la bibliografía consultada tanto a nivel nacional como internacional, no se evidencia un estudio de la precisión de las redes topográficas de apoyo que contemple el error del punto final de la poligonal en Cuba y valore las etapas de construcción, y menos si se trata de yacimientos lateríticos.



CAPÍTULO II: ANALISIS DE LAS REDES DE DENSIFICACIÓN EN EL YACIMIENTO

2.1. CONFECCIÓN DE LA BASE PLANIMÉTRICA PARA EL LEVANTAMIENTO

El desarrollo de los trabajos mineros y los de exploración geológica entre otros trae como resultado la realización de levantamientos planimétricos y altimétricos enlazados a redes topográficas de apoyo. El levantamiento se apoya en los puntos de la red donde se conocen las coordenadas y los acimuts. Los planos se confeccionan en un sistema de coordenadas único. Tanto las redes de apoyo como las de levantamiento en el proceso de realización de los trabajos mineros y la rehabilitación de suelos se complementan, por eso estos trabajos se llevan a cabo sistemáticamente con los cálculos, para que al inicio de realización de los trabajos topográficos necesarios sea creada la red de puntos suficiente. El error medio cuadrático de la posición de los puntos más cercanos de la red de apoyo topográfico no supere $\pm 0.2\text{m}$ en el terreno. La red de puntos para el levantamiento se puede realizar por diferentes métodos en dependencia de las condiciones del lugar.

Redes de densificación topográficas: Consiste en trasladar al plano todo el levantamiento topográfico, con su cota, puntos determinados del terreno, partiendo, en planimetría, de una recta escrupulosamente medida orientada que se denomina la base, y en altimetría, tomando como origen un punto cuya altitud sobre nivel medio del mar sea conocida, o al que se le asigne una cota arbitraria,



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

arrastrando ésta a los demás puntos previo cálculo, de los desniveles parciales de uno a otro.

Levantamiento topográfico: Los levantamientos topográficos son tridimensionales y utilizan técnicas de levantamiento geodésico plano y otras especiales para establecer un control tanto vertical como horizontal. La configuración del terreno y de los elementos artificiales o naturales que hay en él se localiza a través de medidas que se representan en una hoja plana para configurar un mapa topográfico.

Estación Total (ET): Se denomina estación total a un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico. Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD) de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, (seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimutes y distancias.



2.2 REDES ANALÍTICAS

Para el yacimiento de la mina Che Guevara se propone que se utilicen los puntos de partida de la red de apoyo (fig. 2.1).

Las mediciones se realizan con estaciones totales. El error de cierre angular debe ser menor de 1 minuto y en triángulos con longitudes menores de 200m – 1.5 minutos.

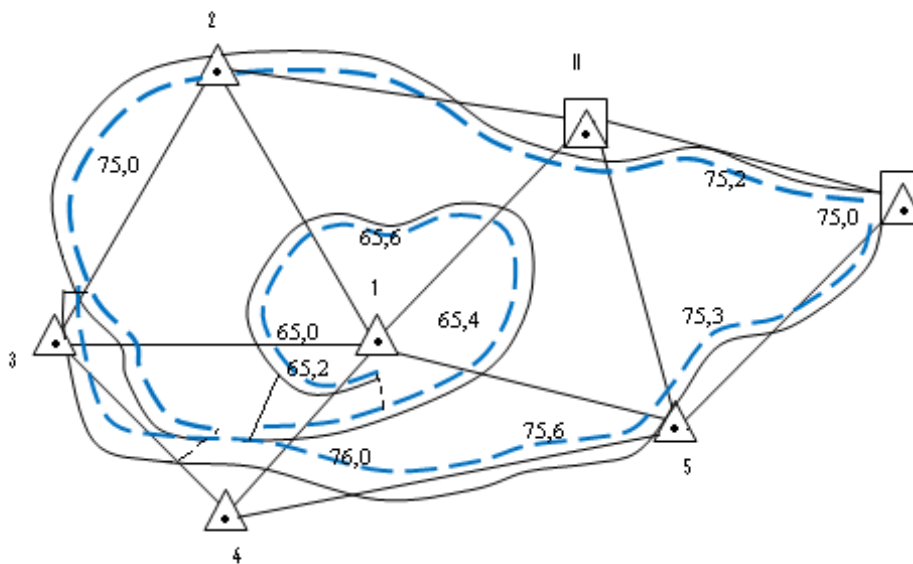


Fig. 2.4 Confección de la base para el levantamiento



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Esta red se propone que se construya por los métodos de microtriangulación, intersecciones (directa o inversa) o con poligonales de enlace. Si el error angular en los triángulos es menor que el permisible, este se reparte proporcional a los ángulos medidos y finalmente se calculan las coordenadas de todos los puntos.

Es recomendable que los triángulos formen ángulos mayores de 30 grados y menores de 150 grados.

La base AB debe fijarse fuera de los límites del área a minar.

La longitud de los lados de los triángulos no debe superar 150m.

Intersecciones directa e inversa

Se usan en terrenos muy accidentados, cuando no sea posible medir inmediatamente la distancia desde el punto marcado hasta los puntos de la base de coordenadas conocidas.

En las intersecciones directas se miden dos ángulos entre los lados de la base y las direcciones en el punto determinado. Se determinan las coordenadas dos veces y se toma el valor medio.

La diferencia entre dos determinaciones no debe superar 0.8%.

La distancia medida desde el punto determinado hasta los puntos de la base no debe superar 3Km en levantamiento a escala 1:5000 y 1.2Km en levantamientos a escala 1:2000.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

En las intersecciones inversas los ángulos horizontales α y β se miden desde 3 puntos de la red. No se debe realizar cuando los 4 puntos se encuentran en una misma circunferencia (fig. 2.2). Esto, en la práctica casi no ocurre.

El levantamiento se debe realizar de forma tal que incluya el autocontrol, garantizando la ausencia de errores graves. Los objetos del levantamiento de rehabilitación son relieve de la superficie terrestre, contornos de la cantera, contornos naturales y artificiales, desagüe de los acuíferos, taludes de las escombreras y bordes de la cantera, comunicaciones superficiales y soterrados y edificios, canales y otros objetos que se deben considerar en la proyección de los trabajos de rehabilitación.

El levantamiento se realiza en las condiciones de relieve muy accidentado en el lugar de corte y relleno.

La escala del levantamiento se elige en dependencia de las dimensiones del área perteneciente al levantamiento. A veces el levantamiento se realiza a escala 1:1000 – 1:5000.

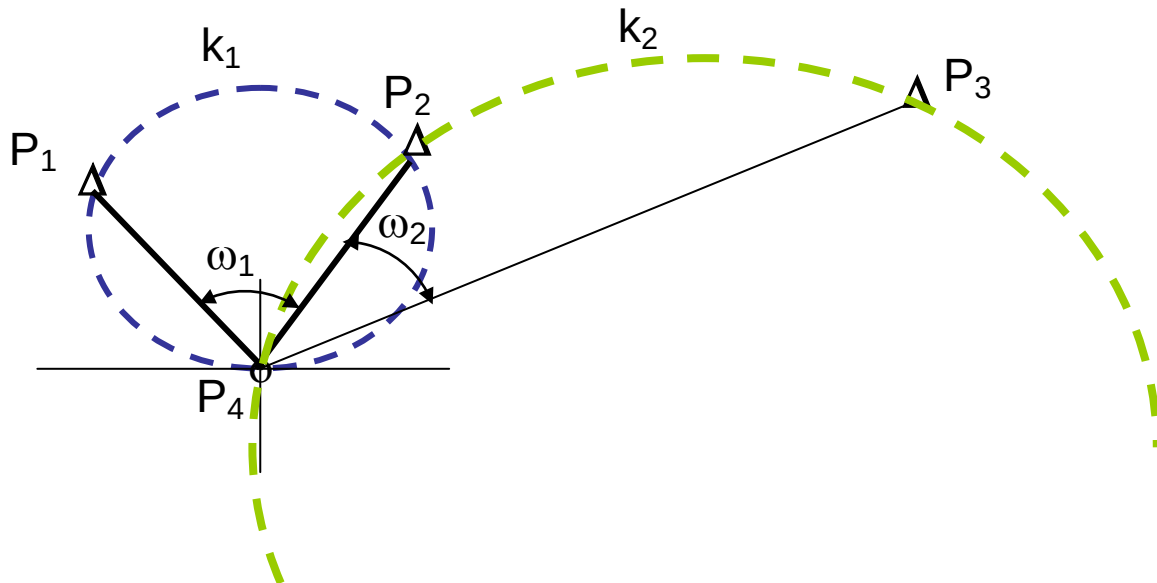


Fig. 2.2 Intersección inversa

2.3 PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE POLIGONALES DE ENLACE

De acuerdo al tipo de unión con la red de los puntos ya conocidos, se proponen los siguientes tipos de poligonales, según el modo de orientación y enlace:

Poligonales abiertas orientadas en el punto inicial (Figura 2.3). En el punto final no hay control en las anotaciones topográficas dadas (no tiene comprobación). Estas poligonales tienen uso limitado.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

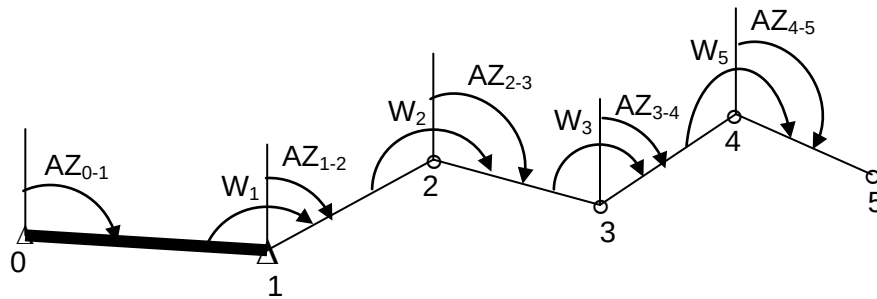


Figura. 2.3 Poligonal abierta.

Poligonales de enlace por dos puntos extremos de dos lados orientados.

Figura 2.4, las cuales se orientan midiendo.

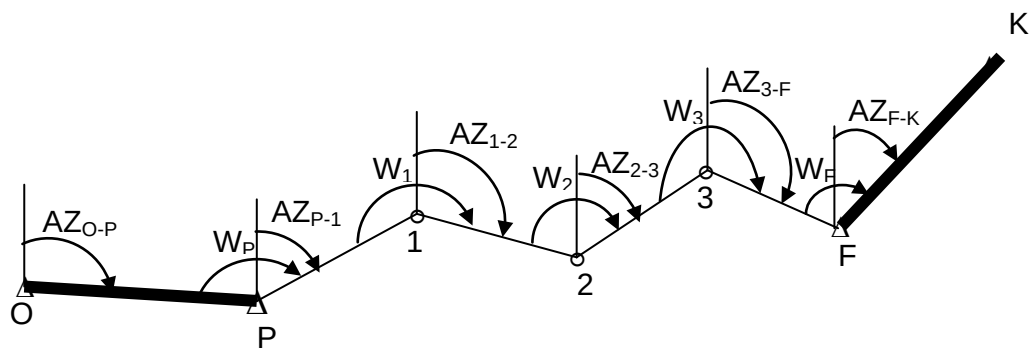


Figura. 2.4 Poligonal de enlace por dos puntos extremos de dos lados orientados.

Poligonales de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado (Figura 2.5).

Ellas son orientadas midiendo el ángulo en el punto inicial y terminan en un punto conocido determinado por las mediciones efectuadas anteriormente.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

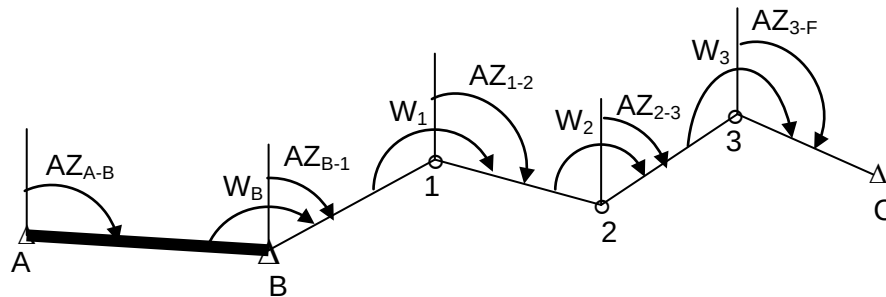


Figura. 2.5 Poligonal de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado.

Poligonales de enlace por dos puntos extremos sin orientación (Figura 2.6). Ellas comienzan y terminan en puntos conocidos, sin que se ella medido el ángulo de orientación en los puntos inicial y final. Estas poligonales se orientan indirectamente, mediante cálculo.

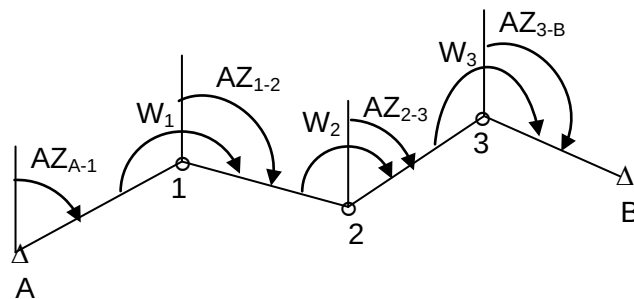


Figura 2.6 Poligonal de enlace por dos puntos extremos.

Poligonales cerradas de rodeo. Comienzan y terminan en el mismo punto (Figura 2.7). La poligonal cerrada de rodeo es aquella que parte de un punto de



coordenadas (X, Y) y acimut conocido, y se recorre, como su nombre lo indica, rodeando el área objeto de levantamiento, hasta terminar en el punto inicial de referencia.

2.3.1 Trabajos de densificación geodésica

Los trabajos de densificación de la red de apoyo en el yacimiento Punta Gorda, Yagrumaje Norte y Yagrumaje Sur, se realizaron con una estación total Sokkia 630RK, primeramente se eligieron los lugares apropiados para la colocación de los puntos. Una vez seleccionados estos se estabilizaron con monumentos de hormigón 50x40x20, a los que le fueron grabados en la parte superior delante de la chapa el nombre del punto y en la inferior el año en que se colocó (2013).

2.3.2 Señalización

Con el objeto de preservar los puntos se señalizaron con un poste de madera dura pintado de amarillo fosforescente, así como el monolito para que llame la atención y así evitar que sean destruidos accidentalmente y poder encontrarlos con facilidad.

2.3.3. Determinación de los puntos de la poligonal

En el yacimiento Punta Gorda se colocaron 6 puntos desde el ECG-23 al ECG-28, inicialmente solo eran 5, pero se hizo necesario colocar un sexto, debido a que el punto ECG-24, con el único punto que tenía visibilidad era con la chapa que se



encuentra en la caseta del despacho (5277-01A), pero casualmente la visibilidad entre ellos quedó interrumpida por un riel que sostiene el techo del parqueo de los Volvos, en vista de ello se colocó el EGC-28 al lado de un poste eléctrico de manera que fuera visible desde el EGC-24, para que le sirviera a éste de orientación y viceversa.

2.3.4. Determinación de las coordenadas de los puntos de la poligonal

Para determinar las coordenadas se realizaron varias poligonales de segunda categoría de enlace entre puntos con coordenadas conocidas. La medición en cada vértice de las poligonales se realizó tres veces, para evitar cualquier error accidental o de mala manipulación, adjunto el archivo de descarga de la estación (Red de Apoyo Punta Gorda.sdr) que contiene todos los datos que se usaron para el cálculo, también se adjunta el archivo de Excel Red de Apoyo Punta Gorda.xls que contiene los cálculos de las poligonales, además de la descarga de la estación procesada con Sokkia Link, si se desea revisar tanto el cálculo como la medición, puede realizarlo con cualquiera de estos dos archivos, pero es recomendable usar el archivo de Excel, porque en el archivo de descarga los datos están más crudos (Por ejemplo, todos los ángulos están en decimal), si revisa la descarga observará que todas las mediciones de los vértices están repetidas tres veces, la segunda repetición tiene una "a" detrás del nombre del punto y la tercera tiene una "b", esto se hizo así con el objeto de identificarlas fácilmente, para el cálculo se usó la primera repetición (la que no tiene ninguna letra detrás del nombre).

A continuación se relacionan los puntos que pueden usarse para orientar los futuros trabajos desde cualquiera de estos monumentos.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

- El punto ECG-23 tiene visibilidad con UBMCHÉ, CRATER y 5277- 01A
- El punto ECG-24 tiene visibilidad con ECG-28
- El punto ECG-25 tiene visibilidad con CRATER
- El punto ECG-26 tiene visibilidad con VIGIA
- El punto ECG-27 tiene visibilidad con VIGIA
- El punto ECG-28 tiene visibilidad con ECG-24 y 527701-A

2.3.5. Cálculo de los puntos de las poligonales en los yacimientos de la concesión minera Ernesto Che Guevara.

Tabla 2.1. Catálogo de coordenadas de los puntos de la red de apoyo determinados en el yacimiento Punta Gorda.

Punto	X	Y	Z
ECG-23	703478.231	220477.493	78.086
ECG-24	702893.488	220704.215	69.613
ECG-25	702136.197	218931.596	155.985
ECG-26	702691.239	221661.712	8.784
ECG-27	701410.435	221086.985	13.533
ECG-28	703162.435	220855.934	65.475



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Tabla 2.2. Coordenadas calculadas con Excel de los puntos de la poligonal 4 en el Yacimiento Yagrumaje Norte.

Nombre	X	Y	Z	Código
ECG-18	703998.652	220144.964	75.949	MON
ECG-19	704353.68	219009.076	96.377	MON
ECG-20	704868.041	220415.393	78.436	MON
ECG-21	705705.027	220235.432	77.361	MON
ECG-22	705347.903	220864.195	60.828	MON

Tabla 2.3. Coordenadas compensadas con Excel de los puntos de la poligonal 4 en el Yacimiento Yagrumaje Norte.

Nombre	X	Y	Z	Código
ECG-18	703998.636	220144.966	75.95	MON
ECG-19	704353.662	219009.078	96.378	MON
ECG-20	704868.023	220415.395	78.437	MON
ECG-21	705705.009	220235.434	77.363	MON
ECG-22	705347.903	220864.195	60.828	MON



CONCLUSIONES PARCIALES

1. Las coordenadas obtenidas en la densificación de la red de apoyo alcanzaron una precisión superior a 1:40 000, por lo que dan respuesta a los futuros trabajos topográficos.
2. Las coordenadas obtenidas satisfacen la precisión para el levantamiento topográfico a escala 1:500 y el análisis de la precisión de los cálculos de volúmenes de minerales.
3. El método de densificación geodésica por poligonometría realizados con la estación total **Sokkia 630RK** satisface los parámetros de calidad adecuada para la densificación de redes y el levantamientos topográficos a escala 1:500.



CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS POLIGONALES

3.1. CÁLCULO DE LA PRECISIÓN NECESARIA DE LAS MEDICIONES POLIGONOMÉTRICAS

En el territorio donde se explora el yacimiento Yagrumaje Sur, se necesita crear la base geodésica para el replanteo y amarre de la red de perforación 35x35m a escala 1:5 000, en este caso, hay que preocuparse de que la base tenga una cantidad mínima de etapas de desarrollo para evitar que se diluya la precisión. Cuantas más etapas de desarrollo de la base haya, menos segura será la precisión de las coordenadas de los puntos a replantear.

En el territorio Yagrumaje Sur existe un punto de triangulación de 4to orden y tres de 1ra categoría, pues surge el problema de elegir del modo más razonable, la cantidad de etapas para obtener mayor densificación de la base geodésica y calcular la precisión necesaria de la construcción de cada etapa.

Aceptamos como base de los cálculos que servirán de etapa final de construcción de la base geodésica, las poligonales técnicas cuyo error medio de su construcción es de 1:2000 $(T_m)f = 2000$, en calidad de etapa de partida de desarrollo de la base se acepta la de triangulación de 4to orden, para lo cual $(T_m)i = 50000$.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Es razonable imponer la condición de que el coeficiente de reducción de la precisión siempre se mantenga igual al pasar de una etapa intermedia de desarrollo a otra.

En este caso, podemos escribir para las etapas intermedias de desarrollo de la base, la siguiente ecuación (Lebedev, 1984):

$$T_1 = \frac{T_i}{K} ; T_2 = \frac{T_1}{K} = \frac{T_i}{K^2} ; T_3 = \frac{T_2}{K} = \frac{T_i}{K^3} ; \dots T_n = \frac{T_i}{K^n} \quad (3.1)$$

y

$$K = \sqrt[n]{\frac{T_i}{T_f}} \quad (3.2)$$

Donde:

T_i – error relativo inicial;

T_f – error relativo final;

K – coeficiente de reducción de la precisión.

Para la valoración del error medio cuadrático de las mediciones realizadas con Estaciones Totales se tomó el error medio cuadrático del lado más débil de la base para buscar mayor precisión (Tabla 3.1).



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Tabla 3.1. Error medio cuadrático relativo de las poligonales de densificación

Determinación del error medio cuadrático relativo de la distancia medida			
Error medio cuadrático relativo	4to orden	1ra categoría	2da categoría
Error medio cuadrático relativo del lado de partida	1:100 000	1:50 000	1:20 000
Error medio cuadrático relativo del lado más débil	1:50 000	1:20 000	1:10 000
Error medio cuadrático relativo de determinación del lado de la poligonal	1:25 000	1:10 000	1:5 000

Según los datos obtenidos calculamos el coeficiente de reducción de la precisión K, partiendo de la poligonometría de 4to orden para el lado más débil de la base:

Según (3.2):

$$K = \sqrt[3]{\frac{50000}{5000}} = \sqrt[3]{10} = 2.16$$

El denominador de la precisión relativa media de la etapa intermedia de densificación será:



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

$$T_1 = \frac{50000}{2.16} = 23148$$

$$T_2 = \frac{23148}{2.16} = 10716$$

$$T_3 = \frac{10716}{2.16} = 4961$$

$T_1 = 23148$, la precisión límite relativa será 1:10 000;

$T_2 = 10716$, la precisión límite relativa será 1:5 000;

$T_3 = 4961$, la precisión límite relativa será 1:2 000;

Por consiguiente, en nuestro caso, forman parte del esquema de desarrollo de la base:

1. Una poligonometría de 1ra categoría (1:10 000),
2. Una poligonometría de 2da categoría (1:5 000);
3. Una poligonal de 1ra clase (1:2 000).

Con los resultados obtenidos queda comprobado que con el uso de las Estaciones Totales no es necesario construir poligonales de 2da clase (precisión lineal 1:1000).

Fueron medidas las siguientes poligonales pertenecientes a la densificación de la red topográfica de apoyo del yacimiento Yagrumaje Sur (tablas 3.2-3.5), donde se ve claramente que las longitudes de las poligonales están excedidas y que no es



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

necesario trazar poligonales de 2da clase. Este análisis se hace para corroborar lo que otros autores plantean sobre este hecho.

Tabla 3.2 Poligonales de primera categoría

No. lados	Error angular	E. angular permisible	Error Lineal	Error Relativo	E. L. Admisible	Perímetro, m
10	0° 0' 25"	0° 0' 33"	0.37536	1/11 175	1/10 000	4194.61
12	0° 0' 20"	0° 0' 30"	0.36537	1/11 216	1/10 000	4251.45
9	0° 0' 21"	0° 0' 32"	0.36931	1/11 458	1/10 000	4126.78
13	0° 0' 23"	0° 0' 33"	0.37234	1/11 423	1/10 000	3987.16
10	0° 0' 22"	0° 0' 31"	0.37632	1/11 624	1/10 000	4782.56

Tabla 3.3 Poligonales de segunda categoría

No. lados	Error angular	E. angular permisible	Error Lineal	Error Relativo	E. L. Admisible	Perímetro, m
14	0° 0' 3"	0° 1' 17"	0.00278	1/29956	1/5 000	834.28
11	0° 0' 4"	0° 0' 33"	0.3635	1/25010	1/5 000	909.2120
14	0° 0' 12"	0° 1' 17"	0.60133	1/5683	1/5 000	3417.58
13	0° 0' 11"	0° 1' 18"	0.60145	1/6855	1/5 000	916.45
12	0° 0' 14"	0° 1' 15"	0.60164	1/5934	1/5 000	956.17



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Tabla 3.4 Poligonales de primera clase

No. lados	Error angular	E. angular permisible	Error Lineal	Error Relativo	E. L. Admisible	Perímetro, m
16	0° 1' 10"	0° 4' 7"	0.26410	1/3336	1/2 000	881.04
15	0° 1' 59"	0° 4' 7"	0.02493	1/51214	1/2 000	1276.55
17	0° 0' 16"	0° 4' 22"	0.01804	1/61644	1/2 000	1112.19
49	0° 2' 1"	0° 6' 19"	0.55805	1/3796	1/2 000	2118.55
4	0° 0' 57"	0° 2' 27"	0.24917	1/2377	1/2 000	592.37
7	0° 1' 47"	0° 3' 00"	0.07907	1/8886	1/2 000	702.63

Tabla 3.5 Poligonales de segunda clase

No. lados	Error angular	E. angular permisible	Error Lineal	Error Relativo	E. L. Admisible	Perímetro, m
42	0° 2' 9"	0° 6' 33"	1.25638	1/2317	1 /1000	2911.20
14	0° 1' 37"	0° 4' 0"	0.16593	1/4977	1 /1000	825.98
27	0° 3' 19"	0° 5' 17"	0.67968	1/1810	1/1000	1230.87
13	0° 1' 44"	0° 3' 44"	0.49113	1/1670	1/1000	820.51
15	0° 1' 55"	0° 4' 02"	0.17234	1/4706	1/1000	855.32



Los resultados de las tablas 3.2-3.5 están dentro de los parámetros de las categorías y clases.

3.2 COMPROBACIÓN DE PRECISIÓN DE LAS REDES DE DENSIFICACIÓN GEODÉSICA

Durante el estudio de la red topográfica que se usan en estos yacimientos lateríticos, se halló la relación entre las mediciones angulares y lineales realizadas con Estaciones Totales. Una vez realizado el ajuste de la poligonal con el objetivo de elevar la exactitud de los elementos de la red, se determinó la relación que existe entre los elementos angulares y lineales (Ganshin, 1977):

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{m''_{\beta}}{206265}}{\frac{m_s}{S}} \leq 3 \quad (3.3)$$

Si esta condición no se cumple, los elementos angulares y lineales analizados tendrán diferente precisión, en dependencia de cuales de las dos magnitudes es menor.

Otra forma de comprobar lo expresado anteriormente es que precisión angular debe ser aproximadamente a precisión lineal:

$$\frac{m''_{\beta}}{\rho''} \approx \frac{m_s}{S} \quad (3.4)$$

Donde:

m_s - Error en la medición de la distancia, m;



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

S- Distancia medida, m

m''_{β} - error medio cuadrático de la medición del ángulo de la poligonal, en grados;

De ser iguales indica que ambos elementos de la red tienen igual precisión.

La comprobación comenzó con el análisis de las siguientes características de la red de densificación propuesta (ver tabla 3.2), con el objetivo de comprobar si los datos de la tabla 3.2 pertenecientes a la última columna (poligonal técnica) evidencian la precisión del cálculo:

1. Error medio cuadrático de la medición del ángulo contra el error relativo;
2. Error de cierre angular contra el error relativo;
3. Precisión angular contra precisión lineal;
4. Error de cierre angular contra error medio cuadrático de la medición del ángulo.

3.2.1 Error medio cuadrático de la medición del ángulo contra el error relativo;

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{m''_{\beta}}{206265}}{\frac{1}{E_L}} \leq 3 \quad \frac{1}{3} \leq \frac{\frac{2}{206265}}{\frac{1}{25000}} \leq 3 \quad \frac{1}{3} \leq \frac{50000}{206265} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq 0.24 \leq 3$$



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
 “Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
 FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
 DEPARTAMENTO DE MINERÍA

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{e''_{\beta}}{206265}}{\frac{1}{E_L}} \leq 3 \quad \frac{1}{3} \leq \frac{\frac{5}{206265}}{\frac{1}{10000}} \leq 3 \quad \frac{1}{3} \leq \frac{50000}{206265} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq 0.24 \leq 3$$

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{e''_{\beta}}{206265}}{\frac{1}{E_L}} \leq 3 \quad \frac{1}{3} \leq \frac{\frac{10}{206265}}{\frac{1}{5000}} \leq 3 \quad \frac{1}{3} \leq \frac{50000}{206265} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq 0.24 \leq 3$$

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{e''_{\beta}}{206265}}{\frac{1}{E_L}} \leq 3 \quad \frac{1}{3} \leq \frac{\frac{25}{206265}}{\frac{1}{2000}} \leq 3 \quad \frac{1}{3} \leq \frac{50000}{206265} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq 0.24 \leq 3$$

Esta relación está cerca del límite permisible, cuyo valor es 0.24 por debajo de $\frac{1}{3}$, significa que las mediciones angulares se realizaron con menor precisión que las lineales.

3.2.2 Error de cierre angular contra el error relativo;

Suponiendo que n=9 vértices:



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
 “Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
 FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
 DEPARTAMENTO DE MINERÍA

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{5''\sqrt{n}}{206265}}{\frac{1}{E_L}} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq \frac{\frac{15}{206265}}{\frac{1}{25000}} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq \frac{375000}{206265} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq 1.82 \leq 3$$

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{10''\sqrt{n}}{206265}}{\frac{1}{E_L}} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq \frac{\frac{30}{206265}}{\frac{1}{10000}} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq \frac{300000}{206265} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq 1.45 \leq 3$$

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{20''\sqrt{n}}{206265}}{\frac{1}{E_L}} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq \frac{\frac{60}{206265}}{\frac{1}{5000}} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq \frac{300000}{206265} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq 1.45 \leq 3$$

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\frac{50\sqrt{n}}{206265}}{\frac{1}{E_L}} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq \frac{\frac{150}{206265}}{\frac{1}{2000}} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq \frac{300000}{206265} \leq 3; \quad \frac{1}{3} \leq 1.45 \leq 3$$

3.2.3 Precisión angular contra precisión lineal;

La precisión angular debe ser aproximadamente igual a la precisión lineal:

$$\frac{m''_{\beta}}{\rho''} \approx \frac{1}{P} \quad (3.5)$$

Donde:



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

m''_{β} - error medio cuadrático del ángulo.

- Comprobación para la triangulación de 4to orden:

$$\frac{2}{206265} \approx \frac{1}{25000}; \quad \frac{1}{103132,5} \approx \frac{1}{25000};$$

Comprobación para la poligonometría de I categoría;

$$\frac{5}{206265} \approx \frac{1}{10000}; \quad \frac{1}{41253} \approx \frac{1}{10000};$$

Comprobación para la la poligonometría de II categoría;

$$\frac{10}{206265} \approx \frac{1}{5000}; \quad \frac{1}{20626,5} \approx \frac{1}{5000};$$

Comprobación para la la poligonometría técnica.

$$\frac{25}{206265} \approx \frac{1}{2000}; \quad \frac{1}{8250,6} \approx \frac{1}{2000}.$$

Estos resultados significan que las mediciones angulares y las lineales no tienen igual precisión. Los ángulos se midieron de una forma y las distancias de otra. Es necesario que ambas mediciones se midan con la misma precisión.



3.2.4 Error de cierre angular contra error medio cuadrático de la medición del ángulo.

$$\frac{5''\sqrt{N}}{2''} = 2''.5\sqrt{n}; \quad \frac{10''\sqrt{N}}{5''} = 2''\sqrt{n}; \quad \frac{20''\sqrt{N}}{10''} = 2''\sqrt{n}; \quad \frac{50''\sqrt{N}}{25''} = 2''\sqrt{n}$$

Estos resultados muestran la validez de los cálculos realizados en la tabla 3.1.

3.3. CÁLCULO DE LA PRECISIÓN DEL PUNTO FINAL DE LA POLIGONAL

El error medio cuadrático del punto final de una poligonal de forma alargada, cuando sus lados se han medido con Estación Total, se calcula por la siguiente fórmula (Lebedev, 1985):

$$M^2 = nm_s^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho} L \right)^2 \frac{n+3}{12} \quad (3.6)$$

Donde:

M – Error medio cuadrático de determinación del punto final de la poligonal;

n – Cantidad de líneas medidas en la poligonal;



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

m_s – Error medio cuadrático de la medición de la distancia;

m_β - Error medio cuadrático de la medición del ángulo;

L – Longitud de la poligonal.

Los resultados realizados por (3.6) se muestran en las tablas 3.6-3.9.

Tabla 3.6. Resultados del error medio cuadrático de las poligonales calculados por el método de Lebedev (1985) sin considerar la influencia de los errores accidentales (3.6) para poligonales de primera categoría

Longitud de la poligonal, m	Número de lados de la poligonal	$m_\beta = 5''$	
		Error medio cuadrático (M), cm	Error relativo $\frac{\Delta_{lim}}{L}$
4194.61	10	10,71	1/39076
4251.45	12	11,66	1/36452
4126.78	9	10,10	1/40863
3987.16	13	11,31	1/35240
4782.56	10	12,17	1/3932



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Tabla 3.7. Resultados del error medio cuadrático de las poligonales calculados por el método de Lebedev (1985) sin considerar la influencia de los errores accidentales (3.6) para poligonales de segunda categoría

Longitud de la poligonal, m	Número de lados de la poligonal	$m_{\beta} = 5''$	
		Error medio cuadrático (M), cm	Error relativo $\frac{\Delta_{lim}}{L}$
834.28	14	3,05	1/27434
909.2120	11	2,90	1/31363
3417.58	14	10,05	1/34010
916.45	13	3,13	1/29261
956.17	12	3,11	1/30695

Tabla 3.8. Resultados del error medio cuadrático de las poligonales calculados por el método de Lebedev (1985) sin considerar la influencia de los errores accidentales (3.6) para poligonales de primera clase

Longitud de la poligonal, m	Número de lados de la poligonal	$m_{\beta} = 5''$	
		Error medio cuadrático	Error relativo



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

		(M), cm	$\frac{\Delta_{lim}}{L}$
881.04	16	3,35	1/26301
1276.55	15	4,24	1/30099
1112.19	17	4,05	1/27459
2118.55	49	11,25	1/18835
592.37	4	1.48	1/28756
702.63	7	1.37	1/39912

Tabla 3.9. Resultados del error medio cuadrático de las poligonales calculados por el método de Lebedev (1985) sin considerar la influencia de los errores accidentales (3.6) para poligonales de segunda clase

Longitud de la poligonal, m	Número de lados de la poligonal	$m_{\beta} = 5''$	
		Error medio cuadrático (M), cm	Error relativo $\frac{\Delta_{lim}}{L}$
2911.20	42	11,04	1/20740
825.98	14	3,03	1/27232



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

1230.87	27	5,39	1/22859
820.51	13	2,86	1/28671
855.32	15	3,19	1/26771

De los resultados de los cálculos que aparecen en las tablas 3.6-3.9 se concluye que:

- Los errores límites permisibles de las poligonales medidas en los yacimientos pertenecen al orden de clases y categoría analizadas.
- El cálculo del error medio cuadrático de las poligonales realizado por el método de Lebedev (1985) sin considerar la influencia de los errores accidentales alcanza resultados exagerados, muy alejados de su valor real.

Otros autores proponen otras fórmulas para valorar la determinación del error medio cuadrático del punto final de la poligonal considerando la influencia de los errores accidentales (Ganshin, 1977):

$$m^2 = \mu^2 L + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} L^2 \left(\frac{n+3}{12} \right) \quad (3.7)$$

Donde:

μ - Influencia de los errores accidentales.



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Debe comprobarse que el error relativo de las mediciones obtenidas sea igual al error relativo medio dado por las instrucciones (tabla 3.1):

$$\frac{1}{\frac{L}{m_L}} = \frac{1}{T_{media}}$$

El error medio cuadrático y el error relativo límite del punto final de una poligonal se puede relacionar por la siguiente fórmula:

$$\frac{\Delta_{lim}}{L} = \frac{2M}{L} \quad (3.8)$$

Donde:

Δ_{lim} – error límite

Cuando se mide con Estaciones Totales, los errores de medición de las poligonales son principalmente de carácter accidental y dependen muy poco de la distancia medida y no hay o son casi inexistentes los errores sistemáticos.

El coeficiente de influencia de los errores accidentales de las mediciones lineales, cuando se mide con estaciones totales o GPS, se calcula por la siguiente fórmula (3.9):

$$\mu = \frac{m_s}{\sqrt{s}} \text{ o } \mu = \frac{\sqrt{L}}{T_{media} \sqrt{2}} \quad (3.9)$$

Donde:

S- lados medidos de la poligonal, m



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

L- perímetro de la poligonal, m

T_m – error medio cuadrático relativo.

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas siguientes:

Tabla. 3.10 Cálculo del coeficiente de influencia accidental (μ) de las poligonales de 1ra categoría

Poligonales	Longitud, m	μ
1	4194.61	0.0046
2	4251.45	0.0044
3	4126.78	0.0045
4	3987.16	0.0042
5	4782.56	0.0045

Tabla. 3.11 Cálculo del coeficiente de influencia accidental (μ) de las poligonales de 2da categoría

Poligonales	Longitud, m	μ
1	834.28	0.0041
2	909.2120	0.0043



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

3	3417.58	0.0083
4	916.45	0.0043
5	956.17	0.0042

Tabla. 3.12 Cálculo del coeficiente de influencia accidental (μ) de las poligonales de 1ra clase

Poligonales	Longitud, m	μ
1	592.37	0.0086
2	881.04	0.0105
3	909.24	0.0107
4	702.63	0.0093
5	1112.19	0.0118
6	1276.55	0.0126
7	2118.55	0.0163

Tabla. 3.13 Cálculo del coeficiente de influencia accidental (μ) de las poligonales de 2da clase

Poligonales	Longitud, m	μ
--------------------	--------------------	-------------------------



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

1	2911.20	0.0382
2	825.98	0.0203
3	1230.87	0.0248
4	820.51	0.0202
5	855.32	0.0207

Los coeficientes de influencia accidental (μ) calculados por primera vez para estos tipos de yacimientos para diferentes tipos de poligonales, pertenecientes a la red de densificación geodésica están dentro de los parámetros establecidos.

Ahora le mostramos los resultados del error medio cuadrático de las poligonales considerando el coeficiente de influencia accidental (método de Ganshin, 1977) para los siguientes tipos de poligonales:

$$m^2 = \mu^2 L + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} L^2 \left(\frac{n+3}{12} \right)$$

Tabla 3.14 Resultados del error medio cuadrático de las poligonales considerando el coeficiente de influencia accidental (método de Ganshin, 1977) para poligonales de primera categoría

Longitud de	Número de	Coeficiente	$m_{\beta} = 5''$
-------------	-----------	-------------	-------------------



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

la poligonal, m	lados	de Influencia accidental, μ	Error medio cuadrático (M), m	Error relativo $\frac{\Delta_{lim}}{L}$
4194.61	10	0.0046	0.32	1/13109
4251.45	12	0.0044	0.32	1/13284
4126.78	9	0.0045	0,311	1/13251
3987.16	13	0.0042	0,31	1/12861
4782.56	10	0.0045	0,33	1/14356

Tabla 3.15 Resultados del error medio cuadrático de las poligonales considerando el coeficiente de influencia accidental (método de Ganshin, 1977) para poligonales de segunda categoría

Longitud de la poligonal, m	Número de lados	Coeficiente de Influencia accidental, μ	$m_{\beta} = 5''$	
			Error medio cuadrático (M), m	Error relativo $\frac{\Delta_{lim}}{L}$
834.28	14	0.0041	0,12	1/6902
909.2120	11	0.0043	0,126	1/7231



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

3417.58	14	0.0083	0,495	1/6905
916.45	13	0.0042	0,126	1/7241
956.17	12	0.0042	0,129	1/7397

Tabla 3.16 Resultados del error medio cuadrático de las poligonales considerando el coeficiente de influencia accidental (método de Ganshin, 1977) para poligonales de primera clase

Longitud de la poligonal, m	Número de lados	Coeficiente de Influencia accidental, μ	$m_{\beta} = 5''$	
			Error medio cuadrático (M), m	Error relativo $\frac{\Delta_{lim}}{L}$
881.04	16	0.0105	0,452	1/2814
1276.55	15	0.0126	0,454	1/2812
1112.19	17	0.0118	0.395	1/2815
2118.55	49	0.0163	0,757	1/2797
592.37	4	0.0086	0,21	1/2882
702.63	7	0.0093	0,25	1/2842



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Tabla 3.17 Resultados del error medio cuadrático de las poligonales considerando el coeficiente de influencia accidental (método de Ganshin, 1977) para poligonales de segunda clase

Longitud de la poligonal, m	Número de lados	Coeficiente de Influencia accidental, μ	$m_{\beta} = 5''$	
			Error medio cuadrático (M), m	Error relativo $\frac{\Delta_{lim}}{L}$
2911.20	42	0.0382	2,07	1/1409
825.98	14	0.0203	0,80	1/1032
1230.87	27	0.0248	0.87	1/1412
820.51	13	0.0202	0,58	1/1469
855.32	15	0.0279	0,82	1/1045

Los resultados muestran que cuando se considera el coeficiente de influencia de los errores accidentales, la precisión se acerca más al valor real, como es de esperar.

El criterio propuesto por Ganshin, 1977 para obtener el error medio cuadrático de las redes de densificación geodésica considerando el coeficiente de influencia accidental para las poligonales analizadas es el que debe prevalecer.



3.4. CÁLCULO DE LA PRECISIÓN EXIGIDA EN LAS MEDICIONES ANGULARES Y LINEALES

3.4.1 Cálculo de la precisión de las mediciones angulares:

La precisión de las mediciones angulares se determina por la siguiente ecuación (1.21):

$$m_{\beta} = \frac{1}{T_m \sqrt{2}} \rho \sqrt{\frac{12}{n+3}} \quad (3.10)$$

Sus resultados aparecen reflejados en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Cálculo de la precisión de las mediciones angulares considerando el coeficiente de las influencias accidentales

Tipo de poligonales	Error medio cuadrático de las mediciones angulares, s	
	Según cálculo	Según instrucción
Primera Categoría	2	5
Segunda categoría	4	10
Primera clase	10	25
Segunda clase	9	25



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Por tanto, el error de medición del ángulo por categoría debe estar en el orden desde los 2 hasta 5".

Tabla 3.19. Cálculo de la precisión de las mediciones angulares sin considerar el coeficiente de las influencias accidentales

Tipo de poligonales	Error medio cuadrático de las mediciones angulares, s	
	Según cálculo	Según instrucción
Primera Categoría	2	5
Segunda categoría	4	10
Primera clase	6	25
Segunda clase	7	25

Según los cálculos realizados (tabla 3.19), la precisión angular de las poligonales cuando se miden con Estaciones Totales está por encima de los valores permisibles dados en la instrucción.

3.4.2 Cálculo de la precisión de las mediciones lineales:

En dependencia de los instrumentos y métodos que se usan para medir las distancias, en los resultados de las mediciones pueden prevalecer tanto los errores sistemáticos como los accidentales. En nuestro caso, al medir las



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

distancias con Estaciones Totales, el efecto de los errores sistemáticos es despreciable, solo quedando las afectaciones de los errores accidentales.

La acumulación de los errores accidentales en los límites de cada distancia medida puede expresarse por la siguiente fórmula:

$$m_s = \mu \sqrt{S} \quad (3.11)$$

De donde:

$$\mu = \frac{m_s}{\sqrt{S}}$$

De donde:

μ - Coeficiente de influencia de los errores accidentales;

S – distancia medida de la poligonal, m.

En los límites de toda la poligonal con n lados medidos, la acumulación de los errores accidentales será (3.12):

$$m_s = \frac{\sqrt{s} \sqrt{L}}{\sqrt{2T_{media}}} = \frac{\sqrt{SL}}{\sqrt{2T_{media}}} \quad (3.12)$$

De donde:



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

$$\frac{m_s}{S} = \frac{1}{\sqrt{2}T_{media}} \sqrt{\frac{L}{S}} \quad (3.13)$$

o

$$\frac{m_s}{S} = \frac{\sqrt{n}}{T_{media} \sqrt{2}} \quad (3.14)$$

Con esta fórmula se puede calcular el error estándar relativo con que se deben medir las distancias en las poligonales, si en las mediciones prevalecen los errores accidentales como es el caso nuestro.

Tabla 3.20. Cálculo de la precisión de las mediciones lineales

Tipo de poligonales	Error medio cuadrático de las mediciones lineales	
	Según cálculo	Según instrucción
Primera Categoría	1:28 000	1:10 000
Segunda categoría	1:13 000	1:5 000
Primera clase	1:5 000	1:2 000
Segunda clase	1:2 000	1:1 000



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Las poligonales de segunda clase se construyen con menos cuidado, por eso el error medio cuadrático 1:2 000 se aproxima a 1:1 000, no se cumple así con las demás, por llevar un mayor rigor.

Según los cálculos realizados (tabla 3.20), la precisión lineal de las poligonales cuando se miden con Estaciones Totales supera con creces los datos de la instrucción técnica vigente (valores permisibles).



CONCLUSIONES PARCIALES

1. En la precisión analizada durante la comprobación del cálculo de los parámetros de la red de densificación geodésica propuesta, se pudo evidenciar que se mantiene la relación entre precisión angular y precisión lineal, hecho que comprueba que los cálculos están bien.
2. Se comprobó que existe estrecha relación entre el error medio cuadrático de la medición del ángulo y el error relativo; que la precisión angular es aproximadamente igual a la precisión lineal; y además, se comprobó el error de cierre angular de las poligonales técnicas, obteniéndose la relación, según la precisión obtenida, las poligonales satisfacen las normas de levantamiento a escala 1:5 000 y pueden usarse como base inicial en territorios de grandes dimensiones;
3. Al construir un plano de referencia de muchas etapas, hay que procurar que el coeficiente de reducción de la precisión K sea mayor de 2 ($K > 2$), en el proceso de ajuste, son notables los errores de los datos iniciales que alteran los elementos medidos.
4. Se determinó la precisión angular y lineal de las poligonales trazadas en el yacimiento Yagrumaje sur, obtenida por medio de los cálculos realizados por el autor y los comparados por las instrucciones. Ambos datos coinciden.



CONCLUSIONES FINALES

1. Los trabajos topográficos realizados en la mina de la empresa Ernesto Guevara, permitieron establecer la precisión de las redes de densificación geodésica cuando se mide con estaciones totales y GPS, cuando se considera el coeficiente de influencia accidental.
2. Se determinó por primera vez en estos yacimientos, el coeficiente de influencia accidental de las poligonales de las redes de apoyo por categorías y por clases.
3. Se calculó la cantidad de etapas de desarrollo de la base geodésica y la precisión de las mediciones de diferentes etapas para las poligonales construidas en el yacimiento Yagrumaje Sur.
4. Las Estaciones Totales y GPS aseguran la precisión necesaria de las mediciones de las poligonales en todas sus categorías. Fue obtenida y comprobada la longitud máxima permisible de una poligonal técnica.



RECOMENDACIONES

- Realizar un trabajo similar en todos los yacimientos lateríticos del territorio;
- Reflejar los resultados obtenidos en el cálculo de mineral extraído de estos yacimientos.



BIBLIOGRAFÍA

1. Batrakov Y.G. Redes geodésicas de densificación. Nedra. Moscú. 1987. 256p.
2. Ganshin, V. N, et. al. Manual para los levantamientos a grandes escalas. Editorial Nedra, Moscú. 1977. P. 248.
3. Instrucciones técnicas. ICGC. 1987.
4. Lebedev N. N. Geodesia aplicada a la ingeniería. Nedra. Moscú. 1984. 376p.
5. Levchuk G.P.; Novok V.E; Konosov V.G. Geodesia aplicada. Nedra, Moscú. 1981. 44 p.
6. Redes ingeniero-geodésicas. Revista Geodesia y aerofotolevantamiento. Tomo 9, Editorial Nedra, Moscú. 1974. P.30.
7. Alfonz Porvaznik, W. 1984. Topografía. Editorial pueblo y educación La Habana Cuba. 151.p
8. Acosta Gutiérrez, R. P. 2001. Modelo del Geoide Cuba 2000, I Jornada de Ciencia e Innovación Tecnológica de Geocuba y II Seminario de Geomática 2002, 30 nov.–1 dic.2001, La Habana, Cuba. 32p.
9. Acosta Gutiérrez, R. P. 2002 b) .Nivelación GPS en las condiciones de la República de Cuba, I Jornada de Ciencia e Innovación Tecnológica de Geocuba y II Seminario de Geomática 2002. La Habana. Cuba. 26p.
10. Alfonz Porvaznik, W. 1984. Topografía. Editorial pueblo y educación La Habana Cuba. 151.p



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

11. Baird, M.L. 1991. Experimentación, una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos. México. Prentice Hall Iberoamericana. 78p.
12. Belete Fuentes, 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. 92
13. Belete Fuentes 2008. Topografía General. Libro inédito. 418p.
14. Bosque Sendra, J. 1992. "Sistemas de información geográfica". Madrid. Ediciones Rialp, 451 p.
15. Bracken; Webster. 1990. "Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S.". London. Routledge. 444 p.
16. Burrough, P.A. 1988. "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". Oxford, Oxford University press. 194 p.
17. Cebrián, J.A; Mark, D. 1986. "Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos". Estudios Geográficos. (188), 277-299 p.
18. Coello, N., Wisweh, L., Determination and Considerations for the Measurement Deviations in Manufacturing Process, Ed. Otto von Guericke University, preprint 4, Germany, 2001, págs. 1-6.
19. Comisión Oceanográfica Intergubernamental. 1994. Manual de Medición e interpretación del nivel del mar. Volúmenes I y II. UNESCO. 78p.
20. Dalda Mourón, M. A; Cano V. M; Gonzáles M. F; Sánchez, S. J. 2003. IV curso GPS para Geodesia y Cartografía. Cartagena de indias. Colombia. 203p.



21. Desdin Sergio, R. 2009. Caracterización de los Movimientos Horizontales Recientes de la Corteza Terrestre en la Región de Mayarí, Nícaro 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.
22. Díaz Llanes, G. Instrucciones para el trabajo en las estaciones provisionales de marea. 2001.
23. Fargas M. 2001. Redes de apoyo artículo, Provincia de Toledo España 65p.
24. Franco Rey, J. 2008. Artículo Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad de Cantabria. España. 83p.
25. Froment Brenoit, L 2011. Especificaciones técnicas para levantamientos topográficos. 9 p.
26. topográficos. 9 p.
27. García Díaz, J. 1997. Estudio de uso del GPS en el TOM. Ponencia en XII Forum de Ciencia y Técnica. GEOCUBA ORIENTE NORTE. Holguín. Cuba. 15p.
28. Halliday; Resnick; Krane. 1985. Física para estudiantes de ciencias e ingeniería, 4ta. Edición. Vol. II. Editorial Continental, S.A. México. 442p.
29. Hernández Sapine, R; Fernández Collado, C; Pilar Baptista, C. 2007.
30. Metodología de la investigación. IV Edición. Editorial MCGRAW-HILL. Nueva York. Londres. 109p.
31. Holanda Blas, H; Bermejo, B. 1998. GPS y GLONASS. Descripción y aplicaciones. Madrid 66 p.
32. Hoyer. M; Wildermar, E; Jiménez, L; Suárez, H; García, H. 2004. Procesamiento de las mediciones satelitarias GPS del proyecto



- Densificación REGVEN. Procesamiento Densificación PDVSA-REGVEN. 6p.
33. Hoyer, M; Wildermar, E; Royero, G; Suárez, H; 2002. Mediciones geodésicas GPS en el área del sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor. Laboratorio de Geodesia Física y Satelital, LUZ Chaparro. España 6 p.
34. Lemoine, A 1997. The Development of the NASA GSFC and NINA joint
35. geopotential model. In Gravity Geoid Mar Geod, Int. Symp. No 117, Tokyo Japan, 30 September-5 October 1996 (GraGeoMar 1996). Springer, Berlin Heidelberg, New York. 76p.
36. López Cuervo, S. 1996. Topografía. Madrid. España. 432 p.
37. Molina M. I. 1997. Simple linearization of the simple pendulum for any amplitude, Phys. Teach. 489 p.
38. Moraimo, F. 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.
39. Muffatti, L; Cian, N. 2007. Cálculo de aceleración de la gravedad con péndulo y medición de constante elástica de un resorte. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 21p.
40. NCGIA., "Core Currículo. 1990. "Tres volúmenes: I. Introducción to GIS. II. Technical issues in GIS. III. Application issues in GIS". Santa Bárbara, CA. National Center for Geographic Information and Analysis / University of California. 253p.
41. 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, Mexico, 1995, págs.1-20.
42. Ortiz-Marín, R; Rio Cidoncha, M.G; Martínez-Palacios, J; Cobos-Gutierrez, Y C. 2008. Método para optimizar las mediciones topográficas con aparatos GPS. Evento Interciencia. Guatemala. 10 p.
43. Ochoa Amavizca, M. 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.
44. Peñafiel, J; Zayas, J. 2001. Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía. Delegación territorial de Madrid-Castilla-La Mancha. 135 p.
45. 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.
46. Rodríguez Roche, R. E; García, D. P; Olivera, R. R. 2007. La red Geodésica Estatal planimétrica de Cuba: Orígenes, Evolución y perspectivas para su ulterior perfeccionamiento. V Congreso Geomática 2007. La Habana. 11 p.
47. R. A. Nelson y M. G. Olson, Am. J. 1986. The pendulum - rich physics from a simple system. 112p
48. Rossi, Sergio. 2007. Medición, incertidumbre y cifras significativas. Disponible en: <http://www.fi.uba.ar/materias/6201/MQmedierrcifrsig.pdf>
49. San José-Blasco, J. J; Atkinson-Gordo, D.J; Gómez Ortiz, A; Salvador-Franch, F. (2007). Técnicas geodésicas y fotogramétricas aplicadas al análisis de la dinámica y cartografía del glaciar rocoso activo del corral



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

- del veleta (Sierra Nevada) durante el período 2001-2007. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. MAPPING INTERACTIVO. 9P.
- 50.53. Sánchez Javier, M. 2010. Métodos topográficos clásicos. Conferencia. Universidad de Cantabria. España. 32p.
51. Sears Zemansky, 1988. Física Universitaria. Estados Unidos. Editorial. Wesley 55. Iberoamericana. 305p.
52. Santos Marcelo, N; Robet Tenzar, L; Hernandez Navarro. M. 2011. Artículo. algunos aspectos sobre alturas Ortométricas y Normales. 20 p.
53. Suárez J. 1988. "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". Editorial. Ingeniería de suelos Ltda. Colombia. 547 p.
54. Vallejo Castro, C. E. 2003. Medición y procesamiento de la marea. Academia Naval Granma. La Habana 40p.
55. Wisweh, L, Sandau, M., Determination of the Measuring Uncertainty and its Use for Quality Assessment and Quality Control, Ed. Otto von Guericke University, preprint 7, Germany, 1999, págs. 1-13.
56. Wolfgang, A., Guía para estimar la incertidumbre de la medición. El Marqués, Qro., México, 2004, págs. 1-27.
57. Zakatov, P.S. 1981. Curso de Geodesia Superior. (En español). Editorial Mir. Moscú. 635p.
58. <http://www.geocities.com/CollegePark/Quad/2435/index.html>. Breve historia de los orígenes del método Monte Carlos.
59. <http://www.csep1.phy.ornl.gov/mc/mc.html>. Libro electrónico sobre simulación Monte Carlos.