



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 INFLUENCIA DE LOS ERRORES DE LOS
ACIMUTES DE PARTIDA EN LA POLIGONAL**

Autor: Ing. Yoelis Rueda Barrios

Tutor: Dr. C. Orlando Belete Fuentes

Moa, 2014

Año 56 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

En los trabajos de densificación geodésica en estos yacimientos lateríticos, no se determinan los errores de los acimutes de partida, cuestión que imposibilita evaluar la exactitud con que se construyen las poligonales. Es objetivo de este trabajo determinar la influencia de los errores de los acimutes de partida en la exactitud de la poligonal construida con estaciones totales. Se determinó la influencia del error medio cuadrático del acimut de partida en las mediciones poligonométricas y los errores de los acimutes de partida en el error de cierre angular de la poligonal. Las investigaciones realizadas sobre la determinación de los errores en las redes de densificación geodésicas en estos yacimientos, permitió definir que la influencia de los errores de los acimutes de partida en la exactitud de las poligonales puede ser despreciable atendiendo a las pequeñas magnitudes obtenidas cuando se mide con estaciones totales, y que el error medio cuadrático del acimut de partida determinado para las poligonales de las redes de densificación geodésicas en estos yacimientos lateríticos, no influye en las mediciones poligonométricas de primera y segunda categorías, y si en las de primera y segunda clases.

Palabras claves: Precisión, poligonales, densificación geodésica, errores.

ABSTRACT

In the geodesic densification works in these laterite deposit, the errors of the initial azimuths are not determined, a question that disables to evaluate the accuracy with which the polygonal are constructed. It is an objective of this work to determine the influence of the errors of the initial azimuths in the construction accuracy of the polygonal with total stations. The influence of the medium



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

quadratic error of the initial azimuth was determined in the polygonal-metric measurement and the errors of the initial azimuths in the error of angular closing of the polygonal. The realized investigations on the determination of the errors in the nets of geodesic densification in these locations, it allowed to define that the influence of the errors of the initial azimuths in the accuracy of the polygonal can be worthless assisting to the small obtained magnitudes when it is measured with total stations, and that the medium quadratic error of the initial azimuth determined for the polygonal of the nets of geodesic densification in these laterite deposit, doesn't influence in the polygonal-metric measurements of the first and second categories, but influences in those of first and second classes.

Key words: Precision, polygonal, geodesic densification, errors.



ÍNDICE

No		Pág.
	Introducción	1
	CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1	Introducción	7
1.2	Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en el mundo.	8
1.3	Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba.	14
	CAPITULO II: ANALISIS DE LAS REDES DE DENSIFICACIÓN EN EL YACIMIENTO	
2.1	Confección de la base planimétrica para el levantamiento	21
2.2	Redes analíticas	23
2.3	Propuesta de construcción de poligonales de enlace	26
2.3.1	Trabajos de densificación geodésica	29
2.3.2	Señalización	29
2.3.3	Determinación de los puntos de la poligonal	29
2.3.4	Determinación de las coordenadas de los puntos de la poligonal	29
2.3.5	Cálculo de los puntos de las poligonales en los yacimientos de la concesión minera Ernesto Che Guevara.	31
	CAPITULO III: INFLUENCIA DE LOS ERRORES DE LOS ACIMUTES DE PARTIDA EN LAS POLIGONALES GEODÉSICAS	



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

3.1	Generalidades	34
3.2	Influencia del error medio cuadrático del acimut de partida en las mediciones poligonométricas	34
3.3	Influencia de los errores de los acimutes de partida en el error de cierre angular de la poligonal.	37
3.4	Influencia de los errores de los acimutes de partida en el error de cierre lineal de la poligonal, obtenidos antes de ser ajustados los ángulos.	39
3.5	Influencia de los errores de los acimutes de partida en las coordenadas ajustadas de los puntos de la poligonal.	40
3.6	Influencia de los errores de los acimutes de partida en los ángulos medidos de la poligonal.	47
3.7	Influencia de los errores de las mediciones angulares en los acimutes de los lados de la poligonal.	48
	Conclusiones	50
	Recomendaciones	51
	Bibliografía	52



INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre apareció sobre la faz de la tierra hace unos millones de años comenzó a incidir sobre el medio tan pronto como inició su vida social. Con el uso del fuego y la invención de la agricultura alrededor de 800 años atrás se inició el deterioro del medio ambiente. Las características de la capacidad para modificar su entorno deteriorándolo o protegiéndolo distingue el género humano de las otras **especies**.

Cuba no está ajena a esta tendencia. Hoy en día una mayor exigencia de la población, que ve la actividad minera como altamente contaminante, aunada a la amenaza por parte de países desarrollados de restricciones comerciales a los productos mineros, amparados en argumentos de carácter ambiental, ha hecho de la preocupación por el medio una realidad **ineludible**.

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:



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

- 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.

- 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.

La introducción de las estaciones totales en la minería laterítica permitió transitar hacia nuevos métodos de construcción de redes de densificación geodésica, tales como: redes poligonométricas de primera y segunda categorías, redes de primera y segunda clases. Un gran uso se ha obtenido en la poligonometría-el método más operativo de determinación de la posición de los puntos, en particular en terrenos



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

montañosos donde prevalecen las grandes pendientes y tupida vegetación (Froment 2011).

Sin embargo, como muestra la experiencia en la construcción de redes de densificación geodésicas, en la exploración y explotación de yacimientos lateríticos cubanos, se dificulta con frecuencia la determinación de los acimutes de partida en las poligonales, a causa de la destrucción de las señales en los puntos de la red poligonometría de apoyo, la no visibilidad entre puntos de partida, entre otras causas. Estas dificultades se eliminan con la medición del acimut astronómico (Fargas 2001). Por tanto, no se determinan los errores de los acimutes de partida, cuestión que imposibilita evaluar la exactitud con que se construyen las poligonales en estos yacimientos (Batista & Belete 2013).

No se sabe cuál será la influencia de los errores de los acimutes de partida en la exactitud de la poligonal construida con estaciones totales en los yacimientos lateríticos de la mina Comandante Ernesto Che Guevara.

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 los errores de las poligonales construida con estaciones totales en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara y valorar la influencia de los errores de los acimutes de partida en la exactitud de la poligonal



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

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 valoración de la influencia de los errores en las redes geodésicas de apoyo.

Objetivo: Determinar los errores de los acimutes de partida de las poligonales construida con estaciones totales en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara.

Hipótesis: Si se revisan los trabajos topográficos realizados en la determinación de la precisión de las poligonales, analiza la precisión de las poligonales en el territorio y se determina la Influencia de los errores de los acimutes de partida en las poligonales geodésicas, entonces se podrá determinar los errores de los acimutes de partida de las poligonales construida con estaciones totales en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara.

Objetivos específicos:

- Revisar los trabajos topográficos realizados en la determinación de la precisión de las poligonales.
- Analizar la precisión de las poligonales en el territorio.
- Determinar la Influencia de los errores de los acimutes de partida en las poligonales geodésicas.



Aporte práctico: Una metodología para valorar la influencia de los errores de los acimutes de partida en las poligonales geodésicas construidas en la mina Ernesto Che Guevara.

Métodos de investigación:

1. Etapa facto – perceptible.
2. Revisión bibliográfica y de documentos técnicos para conocer los antecedentes del problema y su desarrollo histórico.
3. Etapa del análisis teórico.

Métodos teóricos:

- Histórico - Lógico al analizar la evolución y tendencias actuales del problema.
- Hipotético - Deductivo al formular la hipótesis de la investigación.
- Analítico – Sintético al realizar el análisis del objeto de estudio teniendo en cuenta su relación con los elementos y factores que lo componen.

Métodos Empíricos:

- La observación directa para la caracterización del problema.
- Consultas a expertos y documentación técnica para diagnosticar la situación actual del problema.
- Estudio didáctico del caso en cuestión.



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

- 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 cálculo 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 softwares 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, $m_{\alpha} = m_{\beta}$.



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

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 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



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

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.

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 las 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



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

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



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

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 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



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

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.

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 geode, 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 malos 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 geode 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



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

Belete (1998), en su tesis doctoral: Vía para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de mineral extraído propone una metodología para valorar la exactitud del modelo Digital del Terreno y propone una nueva tecnología, pero no considero la nueva tecnología topográfica.

Belete (2013) en su artículo: algunas consideraciones sobre la exactitud de las redes de levantamiento topográfica, no considera la influencia de los errores que se cometen en la construcción de poligonales y su influencia en el cálculo de volumen de mineral extraído de los frentes de arranque.

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.



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

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 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



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

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 resultó 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, Nicaro 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



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

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 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.



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

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 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 la 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.

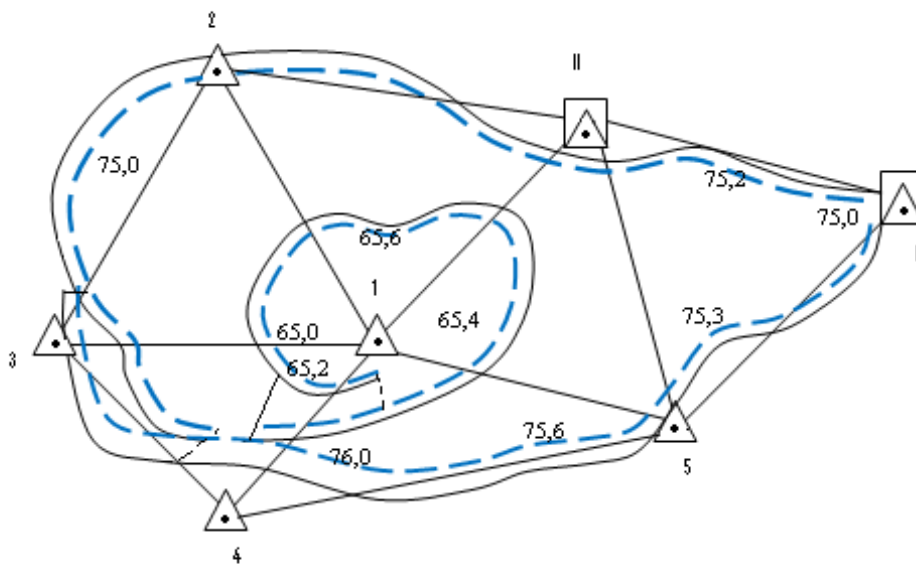


Fig. 2.1 Confección de la base para el levantamiento



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.

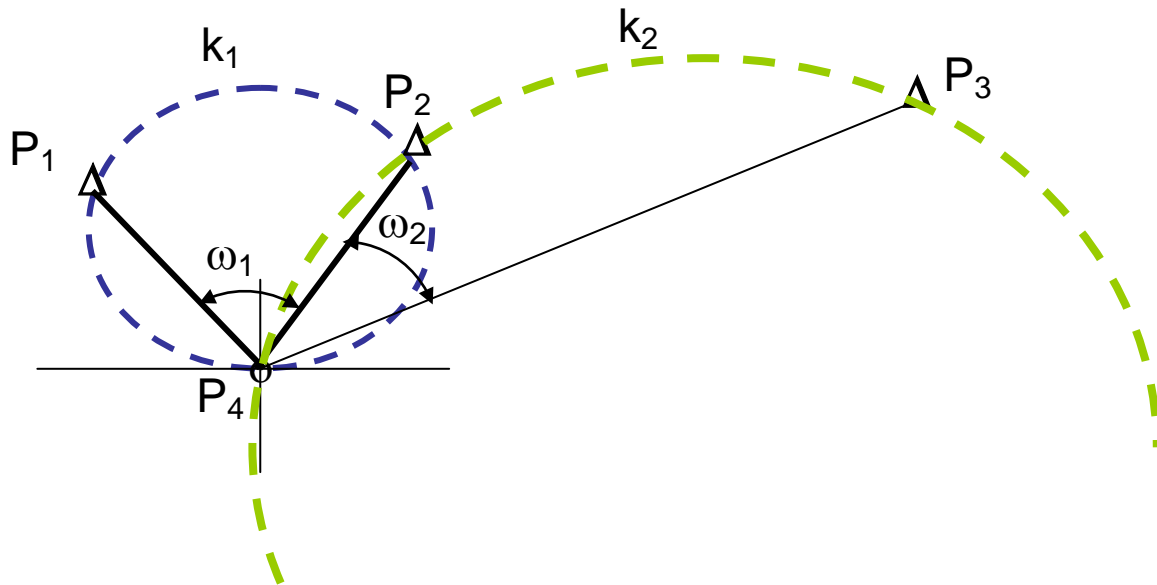


Fig. 2.2 Intersección inversa

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.

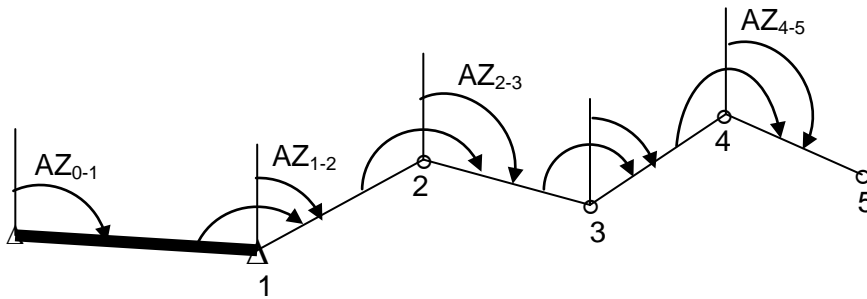


Figura. 2.3 Poligonal abierta.

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

Figura 2.4, las cuales se orientan midiendo.

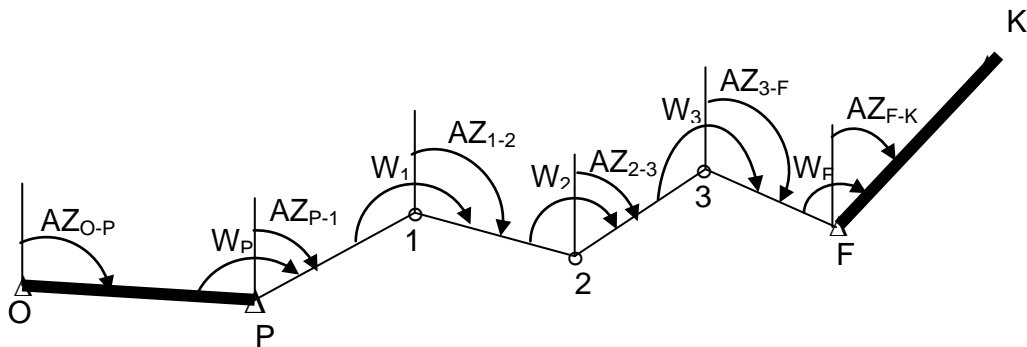


Figura. 2.4 Poligonal de enlace por dos puntos extremos de dos lados orientados.

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

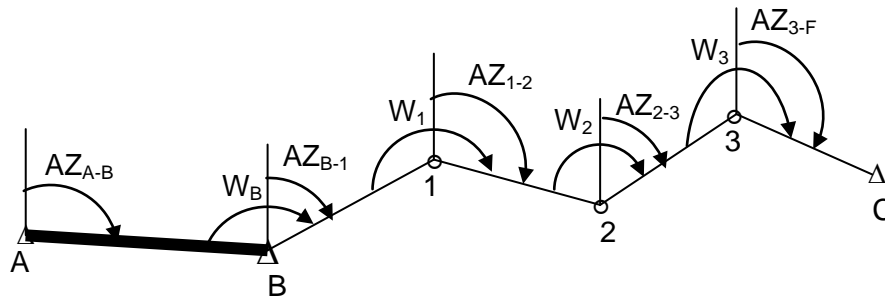


Figura. 2.5 Poligonal de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado.

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.

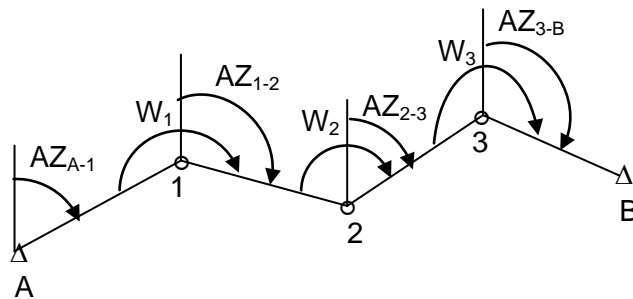


Figura 2.6 Poligonal de enlace por dos puntos extremos.

Poligonales cerradas de rodeo. Comienzan y terminan en el mismo punto. 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

La construcción de las poligonales 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 señalaron 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 ECG-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.

- El punto ECG-23 tiene visibilidad con UBMICHE, 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



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

- 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

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



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

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: INFLUENCIA DE LOS ERRORES DE LOS ACIMUTES DE PARTIDA EN LAS POLIGONALES GEODÉSICAS

3.1 Generalidades

Se midieron en 5 yacimientos lateríticos de la provincia de Holguín, Cuba (Yagrumaje Norte, yagrumaje Sur) 18 poligonales de primera categoría, 27 de segunda, 45 de primera clase y 56 de segunda, distribuidas a lo largo de los yacimientos con la utilización de la estación total de la firma Leica 806, para determinar la influencia de los errores de los acimutes de partida en la exactitud de la poligonal construida en estos yacimientos. Los datos iniciales partieron de puntos de 4to orden de la red geodésica estatal, que permitieron trazar poligonales de menor precisión en todas direcciones dentro del área de los yacimientos. Los ángulos se obtuvieron con 6 series de mediciones, las distancias fueron medidas en doble sentido. Las poligonales se calcularon utilizando el software nacional TOPO6 y comprobado por software internacionales como CARTOMAP Y AUTOCAD Civil 3D.

A continuación realizamos el análisis de la influencia del error medio cuadrático en las mediciones topográficas mostrando solo 5 ejemplos:

3.2 Influencia del error medio cuadrático del acimut de partida en las mediciones poligonométricas

Se analizó la influencia de los errores de los acimutes de partida determinados al final de la poligonal alargada en la exactitud de sus elementos. Para una representación simplificada se muestran las mediciones de los ángulos y



distancias en la poligonal sin errores. Los ángulos se midieron a la derecha del recorrido Belete, 1998 (Fig. 3.1).

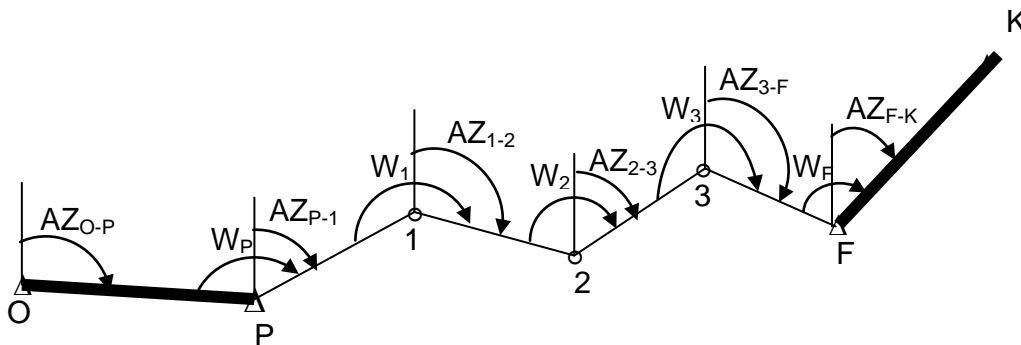


Figura 3.1. Esquema de una poligonal de enlace por dos puntos extremos de dos lados orientados.

En la determinación del error de cierre angular de las poligonales se debe considerar la influencia de los errores del acimut del lado de esa poligonal, y se expresa por la siguiente fórmula (3.1) Batrakov, 1987:

$$m_{\alpha} = \frac{1}{4} m_{\beta} \sqrt{\frac{(n+1)(n^2 + 2n - 3)}{n(n+2)}} \quad (3.1)$$

Donde:

n- número de lados de la poligonal;

m_{α} - error medio cuadrático de la medición del acimut de partida, s;

m_{β} - error medio cuadrático de la medición de los ángulos de la poligonal, s.



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

Se realizó el análisis de las poligonales que se emplearon en la densificación geodésica de los yacimientos lateríticos estudiados, cuyos resultados aparecen en la tabla a continuación:

Tabla 3.1. Determinación del error medio cuadrático del acimut para poligonales de primera categoría

No. de poligonales	Cantidad de lados de la poligonal	Error medio cuadrático del acimut de partida (m_{α}), s
1	10	4,45
2	12	4,47
3	9	3,89
4	13	4,65
5	10	4,45
Promedio	10,8	4,38

Tabla 3.2. Determinación del error medio cuadrático del acimut para poligonales de segunda categoría

No. de poligonales	Cantidad de lados de la poligonal	Error medio cuadrático del acimut de partida (m_{α}), s
1	14	4,81
2	11	4,28
3	14	4,81



4	13	4,65
5	12	4,47
Promedio	12,8	4,61

En las poligonales de primera y segunda categorías, el error medio cuadrático del acimut tiene un comportamiento similar al error medio cuadrático del ángulo medido (tablas 3.1 y 3.2), debido a que la cantidad de lados de las poligonales está dentro del rango permisible (15), por tanto, se cumple que $m_{\alpha} = m_{\beta}$.

En las poligonales de primera y segunda clases, el comportamiento es diferente, el error medio cuadrático del acimut es distinto al error medio cuadrático del ángulo medido, debido a que la cantidad de lados de las poligonales no está dentro del rango permisible, por tanto, no se cumple que la condición de que $m_{\alpha} = m_{\beta}$. Ganshin, et al. (1977) expresa que el número de lados de una poligonal, ya sea cualquiera su tipo, no debe sobrepasar de 15, con esta condición solo la cumplen las poligonales de primera y segunda categorías.

Se puede afirmar que error medio cuadrático del acimut de partida no influye en las mediciones poligonométricas de primera y segunda categorías, y si en las de primera y segunda clases.

3.3 Influencia de los errores de los acimutes de partida en el error de cierre angular de la poligonal.

El error de cierre lineal de la poligonal se calcula por la siguiente fórmula (3.2):

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{lim}} - [\alpha_f - \alpha_i + 180^{\circ}(n + 1)] \quad (3.2)$$



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

Donde:

n-número de lados de la poligonal,

α_i – acimut del lado inicial,

α_f – acimut del lado final,

Para esclarecer la influencia solamente de los errores de los acimutes de partida, aceptamos que $\sum \beta_{lim}$ se calculó sin error. En este caso:

$$f_{\beta} = \Delta_{\alpha_i} - \Delta_{\alpha_f} \quad (3.3)$$

Donde:

Δ_{α_i} – error del acimut del lado inicial

Δ_{α_f} – error del acimut del lado final

$$m_{f\beta}^2 = m_{\alpha_i}^2 + m_{\alpha_f}^2 \quad (3.4)$$

Si se cumpliera que:

$$m_{\alpha_i} = m_{\alpha_f} = m_{\alpha} \quad (5)$$

Donde:

m_{α_i} – error medio cuadrático del acimut del lado inicial;

m_{α_f} – error medio cuadrático del acimut del lado final;

m_{α} – error medio cuadrático del acimut medido;

Entonces:



$$m_{f\beta} = m_{\alpha} \sqrt{2} \quad (3.6)$$

Para nuestro caso, la influencia de los errores de los acimutes de partida en el error de cierre angular de las poligonales analizadas resultó ser:

$$m_{f\beta} = 5\sqrt{2} = 7,01'' .$$

Este resultado es válido para todos los tipos de poligonales analizadas, porque se midieron con el mismo instrumento con un error aproximadamente igual a $m_{\alpha} = 5''$.

Por tanto, los errores de los acimutes de partida no ejercen influencia en el error de cierre angular de la poligonal.

3.4 Influencia de los errores de los acimutes de partida en el error de cierre lineal de la poligonal, obtenidos antes de ser ajustados los ángulos.

Los errores de cierre de los incrementos de coordenadas obtenidos con los ángulos antes de ser ajustados se calcula de la siguiente manera Batrakov, 1987:

$$M'_{fs} = L_1 \frac{m_{ai}}{\rho} \quad (3.7)$$

Donde:

L_1 -longitud de la poligonal.

Este error fue calculado para todo tipo de poligonal, cuyos resultados se encuentran a continuación:

$M'_{fs} = 10,25 \text{ cm}$ para poligonales de 1ra categoría

$M'_{fs} = 3,41 \text{ cm}$ para poligonales de 2da categoría

$M'_{fs} = 2,63 \text{ cm}$ para poligonales de 1ra clase



$M'_{fs} = 3,22 \text{ cm}$ para poligonales de 2da clase

Todas las magnitudes fueron medidas con el mismo instrumento, por eso el error del acimut es igual para todos los tipos de poligonales ($m_{\alpha i} = 5''$), de ahí que los resultados se diferencien por la longitud de la poligonal.

Los valores obtenidos de las mediciones indican que los errores de los acimutes de partida no ejercen influencia en el error de cierre lineal de la poligonal, obtenidos antes de ser ajustados los ángulos.

3.5 Influencia de los errores de los acimutes de partida en las coordenadas ajustadas de los puntos de la poligonal.

Después de realizado el análisis del comportamiento de los errores de cierre lineal de las poligonales, notamos que el mayor desplazamiento se produce en el eje de las abscisas (tablas 3.3 y 3.4).

Tabla 3.3. Error de cierre lineal en las poligonales de primera categoría

Error de cierre lineal en X, m	Error de cierre lineal en Y, m
0,460	-0,753
0,072	-0,602
0,079	-0,134
0.343	-0.153
0.198	0.126



Tabla 3.4. Error de cierre lineal en las poligonales de segunda categoría

Error de cierre lineal en X, m	Error de cierre lineal en Y, m
0.00205	-0.00188
0.3631	0.0168
0.09710	0.02894
0.26316	-0.54069
0.73389	0.28394
-0.04792	-0.67799

Si se construyera la poligonal siguiendo el eje de las Y (hacerla coincidir por el eje de las ordenadas), los errores $\Delta_{\alpha i}$ y $\Delta_{\alpha F}$ no influirán en las ordenadas de los puntos de la poligonal, y si en el eje de las abscisas. Por eso necesario orientar la poligonal por el eje de las ordenadas para evitar este desplazamiento (Fig. 3.2).

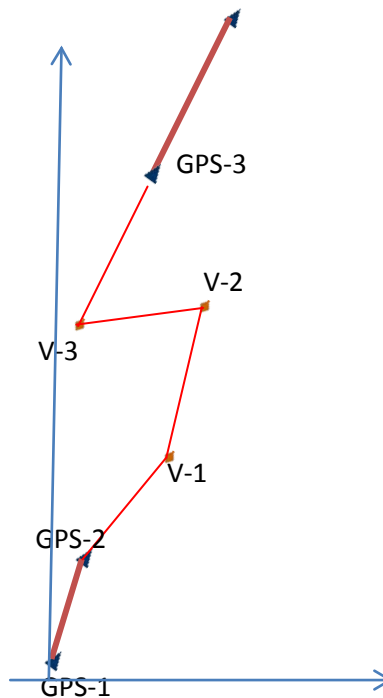




Fig. 3.2. Esquema de una poligonal alargada distribuida por el eje de las ordenadas (caso de estudio-poligonal base del yacimiento Cantarrana).

En este caso, la influencia mayor del acimut de partida en las coordenadas ajustadas se logra en el eje de las abscisas (tabla 3.5).

Después de la deducción de la fórmula por parte de Batrakov, (1987), para conocer la influencia de estos errores en las ordenadas de los puntos de la poligonal, presentamos la fórmula final (3.8):

$$m_x^\alpha = \frac{\sqrt{2}}{8} \frac{n}{n+1} L \frac{m_\alpha}{\rho} \quad (3.8)$$

Donde:

m_α - error medio cuadrático de la medición de los acimutes de partida de la poligonal, s

n- cantidad de ángulos medidos en la poligonal.

El cálculo se realizó para las poligonales de la red de densificación geodésica en los yacimientos estudiados, cuyos resultados se presentan a continuación (tabla 3.5):

Tabla 3.5. Determinación del error medio cuadrático del desplazamiento transversal de los puntos de una poligonal influenciado por los errores de los acimutes de partida en las abscisas ajustadas.

Poligonales	No. Estación	(m_x^α) , m	Error Máximo	Distancia, m	Error Relativo
-------------	--------------	--------------------	--------------	--------------	----------------



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

Primera Categoría	5	1.78	2.0	5000	1:10 000
	10	1.95			
	15	2.0			
Segunda Categoría	5	1.07	1.67	3000	1:5 000
	10	1.17			
	15	1.21			
Primera Clase	5	0.53	1.33	1500	1:2 000
	10	0.57			
	15	0.60			

Para la comparación del grado de influencia de los errores de los acimutes de partida y los errores de los ángulos medidos en las abscisas ajustadas, calculamos el error medio cuadrático del desplazamiento transversal m_Y^β por la fórmula de Batrakov, 1987 (3.9):

$$m_X^\beta = \frac{1}{8\sqrt{3}} \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{(n+2)(n^2+2n+4)}{n(n+1)}} \quad (3.9)$$

Donde:

m_β - error medio cuadrático de la medición de los ángulos de la poligonal, s

El error medio cuadrático del desplazamiento transversal de los puntos de una poligonal influenciado por los errores de los ángulos medidos en las abscisas ajustadas de calculó por (3.9) y se presentan en la tabla 3.6.



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

Tabla 3.6. Determinación del error medio cuadrático del desplazamiento transversal de los puntos de una poligonal influenciado por los errores de los ángulos medidos en las abscisas ajustadas.

Poligonales	No. Estación	(m_x^β), m	Distancia, m	Error Relativo
Primera Categoría	5	2.6	5000	1:10 000
	10	3.2		
	15	3.7		
Segunda Categoría	5	1.6	3000	1:5 000
	10	1.8		
	15	2.2		
Primera Clase	5	.70	1500	1:2 000
	10	0.95		
	15	1.11		

El cálculo de la influencia de los errores de los acimutes de partida en las coordenadas ajustadas de los puntos de la poligonal se realizó para las poligonales de la red de densificación geodésica por primera vez en los yacimientos estudiados.

Según instrucciones del ICGC (1987), la cantidad de estaciones en las poligonales no debe superar la cantidad de 15. En el trabajo se determinó la cantidad mínima, media y máxima de estaciones. A medida que aumenta la cantidad de estaciones, aumenta el error medio cuadrático del desplazamiento transversal.



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

Se considera un aporte por el autor la determinación del error máximo que representa el valor permisible del desplazamiento transversal (tabla 6, columna 4), determinado por primera vez en estos yacimientos. El error máximo consiste en la división del error relativo entre la distancia establecida en la instrucción del ICGC, (1987). Por lo que el error medio cuadrático del desplazamiento transversal de los puntos de una poligonal no debe superar este error permisible.

La determinación del error medio cuadrático del desplazamiento transversal de los puntos de una poligonal influenciado por los errores de los ángulos medidos en las abscisas ajustadas se presenta en la siguiente tabla:

El error medio cuadrático del desplazamiento transversal influye en los errores del acimut de partida y de los ángulos medidos en las abscisas ajustadas.

La comparación de los resultados de la influencia de los errores de los acimutes de partida con los errores de las mediciones angulares en las abscisas ajustadas del punto central de una poligonal alargada, muestra que si el error del acimut es igual al error del ángulo ($m_{\alpha}=m_{\beta}$), la influencia de los errores de los ángulos medidos será mucho mayor, es decir, el error m_{α} debe ser menor que m_{β} .

En la práctica geodésica prevalece al criterio de exactitud, que determina la influencia de las fuentes de errores (10), considera que si una de las dos fuentes de errores que se caracteriza por un determinado error medio cuadrático, no supera 1/3 del error medio cuadrático de las mediciones que representa la otra fuente, entonces la primera fuente de errores se desprecia.

Al aplicar este criterio utilizando las formulas (3.9) y (3.10), se puede afirmar que los errores de los acimutes de partida se pueden despreciar si se cumple que:



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

$$m_X^\alpha \leq \frac{1}{3} m_X^\beta \quad (3.10)$$

La condición se cumple en gran diapasón de lados si $m_\alpha = m_\beta$. En sentido general se demuestra que:

$$\frac{\sqrt{2}}{8} \frac{n}{n+1} L \frac{m_\alpha}{\rho} < \frac{1}{3} \frac{1}{8\sqrt{3}} \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{(n+2)(n^2+2n+4)}{n(n+1)}} \quad (3.11)$$

o

$$\frac{m_\alpha}{m_\beta} < \sqrt{\frac{(n+2)(n^2+2n+4)(n+1)}{54n^2}} \quad (3.12)$$

De donde:

$$\frac{(n+1)(n+2)(n^2+2n+4)}{n^2} > 54 \frac{m_\alpha^2}{m_\beta^2} \quad (3.13)$$

Siendo $m_\alpha = m_\beta$

$$\frac{(n+1)(n+2)(n^2+2n+4)}{n^2} > 54 \quad (3.14)$$

Los resultados de los cálculos realizados por (3.14) para cada tipo de poligonales se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Cumplimiento del criterio de exactitud por tipo de poligonal

Poligonales	Cantidad de lados	Estado de la condición
Primera categoría	11	189 > 54
Segunda categoría	13	242 > 54
Primera clase	18	247 > 54
Segunda clase	22	423 > 54



Los resultados del cálculo muestran que el criterio de exactitud se cumple (tabla 3.7), pues la primera fuente de error no supera la segunda y no se puede despreciar. Hay que considerar los errores de las dos fuentes.

Se demuestra que los errores de los acimutes de partida ejercen influencia en las coordenadas ajustadas de los puntos de la poligonal.

3.6 Influencia de los errores de los acimutes de partida en los ángulos medidos de la poligonal.

Si se considera que $m_{ci} = m_{cf} = m_{\alpha}$, entonces:

$$m_{\alpha media}^{\alpha} = \frac{(n-1)\sqrt{2}}{4(n+2)} m_{\alpha} \quad (3.15)$$

Donde:

n- número de líneas impares medidas en la poligonal

$$m_{\alpha media}^{\beta} = 1,36'' \text{ para poligonales de 1ra categoría}$$

$$m_{\alpha media}^{\beta} = 1,41'' \text{ para poligonales de 2da categoría}$$

$$m_{\alpha media}^{\beta} = 1,50'' \text{ para poligonales de 1ra clase}$$

$$m_{\alpha media}^{\beta} = 1,54'' \text{ para poligonales de 2da clase}$$

Del análisis realizado se puede afirmar que la Influencia de los errores de los acimutes de partida en los ángulos medidos de la poligonal puede no tenerse en cuenta.



3.7 Influencia de los errores de las mediciones angulares en los acimutes de los lados de la poligonal.

Primero se calcula el error $m_{\alpha media}^{\beta}$ por la fórmula (3.16)

$$m_{\alpha media}^{\beta} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(n^2 - 1)(n + 3)}{n(n + 2)}} m_{\beta} \quad (3.16)$$

$$m_{\alpha media}^{\beta} = 1,92'' \text{ para poligonales de 1ra categoría}$$

$$m_{\alpha media}^{\beta} = 2,08'' \text{ para poligonales de 2da categoría}$$

$$m_{\alpha media}^{\beta} = 2,43'' \text{ para poligonales de 1ra clase}$$

$$m_{\alpha media}^{\beta} = 12,55'' \text{ para poligonales de 2da clase}$$

Calculamos el valor de los errores medios cuadráticos $m_{\alpha media}^{\alpha}$ para poligonales (3.16) (Levchuk, 1981).

$$m_{\alpha}^{\alpha} = \sqrt{\frac{2(n-1)n}{(n+1)(n+2)(n+3)}} \frac{m_{\alpha}}{m_{\beta}} m_{\alpha media}^{\beta} \quad (3.17)$$

$$m_{\alpha}^{\alpha} = 0,61'' \text{ para poligonales de 1ra categoría.}$$

$$m_{\alpha}^{\alpha} = 0,63'' \text{ para poligonales de 2da categoría.}$$

$$m_{\alpha}^{\alpha} = 0,71'' \text{ para poligonales de 1ra clase.}$$

$$m_{\alpha}^{\alpha} = 3,25'' \text{ para poligonales de 2da clase.}$$



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

Al utilizar el criterio de exactitud de la influencia de las fuentes de errores, se puede afirmar que siendo $m_{\beta} = m_{\alpha}$, la influencia de los errores de los acimutes de partida en los acimutes de los lados de las poligonales puede ser despreciada.

El cálculo de las poligonales analizadas que considera los errores de los acimuts de partida tiene mayor precisión si se compara con los obtenidos por otros métodos.

El análisis de la influencia de los errores de los acimutes de partida en la exactitud de las poligonales de 1ra y 2da categorías, construidas en los yacimientos lateríticos, debe considerar el criterio de exactitud de la influencia de las fuentes de errores para poder garantizar la precisión exigida del cálculo del volumen de mineral extraído y disminuir la diferencia que existe entre mina y fábrica por el mineral alimentado.



CONCLUSIONES

- La investigación realizada sobre la determinación de los errores en las redes de densificación geodésicas en estos yacimientos, permitió definir que la influencia de los errores de los acimutes de partida en la exactitud de las poligonales puede ser despreciable atendiendo a las pequeñas magnitudes obtenidas cuando se mide con estaciones totales.
- El error medio cuadrático del acimut de partida determinado para las poligonales de las redes geodésicas de densificación construida con estaciones totales en los yacimientos lateríticos cubanos, no influye en las mediciones poligonométricas de primera y segunda categorías, y si en las de primera y segunda clases.
- Se estableció por primera vez en estos yacimientos, el criterio de exactitud, que muestra la consideración de las dos fuentes de errores analizadas, tanto en el eje de las abscisas como en el de las ordenadas, demostrando que la dirección de los ejes de coordenadas influye en la exactitud de las poligonales.



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. 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.
3. Fargas, M. 2001. Redes de apoyo artículo, Provincia de Toledo España 65p.
4. Ganshin, V. N, et. al. Manual para los levantamientos a grandes escalas. Editorial Nedra, Moscú. 1977. P. 248.
5. Instrucciones técnicas. ICGC. 1987.
6. Lebedev N. N. Geodesia aplicada a la ingeniería. Nedra. Moscú. 1984. 376p.
7. Levchuk G.P.; Novok V.E; Konosov V.G. Geodesia aplicada. Nedra, Moscú. 1981. 438 p.
8. Redes ingeniero-geodésicas. Revista Geodesia y aerofotolevantamiento. Tomo 9, Editorial Nedra, Moscú. 1974. P.30.
9. 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

10. 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.
11. 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.
12. Alfonz Porvaznik, W. 1984. Topografía. Editorial pueblo y educación La Habana Cuba. 151.p
13. Baird, M.L. 1991. Experimentación, una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos. México. Prentice Hall Iberoamericana. 78p.
14. 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
15. Belete Fuentes 2008. Topografía General. Libro inédito. 418p.
16. Bosque Sendra, J. 1992. "Sistemas de información geográfica". Madrid. Ediciones Rialp, 451 p.
17. Bracken; Webster. 1990. "Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S.". London. Routledge. 444 p.
18. Burrough, P.A. 1988. "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". Oxford, Oxford University press. 194 p.
19. Cebrián, J.A; Mark, D. 1986. "Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos". Estudios Geográficos. (188), 277-299 p.



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

20. 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.
21. Comisión Oceanográfica Intergubernamental. 1994. Manual de Medición e interpretación del nivel del mar. Volúmenes I y II. UNESCO. 78p.
22. 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.
23. 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.
24. Díaz Llanes, G. Instrucciones para el trabajo en las estaciones provisionales de marea. 2001.
25. Fargas M. 2001. Redes de apoyo artículo, Provincia de Toledo España 65p.
26. Franco Rey, J. 2008. Artículo Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad de Cantabria. España. 83p.
27. Froment Brenoit, L 2011. Especificaciones técnicas para levantamientos topográficos. 9 p.
28. topográficos. 9 p.
29. 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.
30. Halliday; Resnick; Krane. 1985. Física para estudiantes de ciencias e ingeniería, 4ta. Edición. Vol. II. Editorial Continental, S.A. México. 442p.



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

31. Hernández Sapine, R; Fernández Collado, C; Pilar Baptista, C. 2007.
32. Metodología de la investigación. IV Edición. Editorial MGRW-HILL. Nueva York. Londres. 109p.
33. Holanda Blas, H; Bermejo, B. 1998. GPS y GLONASS. Descripción y aplicaciones. Madrid 66 p.
34. Hoyer. M; Wilderemar, E; Jiménez, L; Suárez, H; García, H. 2004. Procesamiento de las mediciones satelitarias GPS del proyecto Densificación REGVEN. Procesamiento Densificación PDVSA-REGVEN. 6p.
35. Hoyer. M; Wilderemar, 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.
36. Lemoine, A 1997. The Development of the NASA GSFC and NINA joint
37. 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.
38. López Cuervo, S. 1996. Topografía. Madrid. España. 432 p.
39. Molina M. I. 1997. Simple linearization of the simple pendulum for any amplitude, Phys. Teach. 489 p.
40. 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.
41. 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.



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

42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. Peñafiel, J; Zayas, J. 2001. Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía. Delegación territorial de Madrid-Castilla-La Mancha. 135 p.
47. 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.
48. 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.



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

49. R. A. Nelson y M. G. Olson, Am. J. 1986. The pendulum - rich physics from a simple system. 112p
50. Rossi, Sergio. 2007. Medición, incertidumbre y cifras significativas. Disponible en: <http://www.fi.uba.ar/materias/6201/MQmedierrcifrsig.pdf>
51. 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 del veleta (Sierra Nevada) durante el período 2001-2007. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. MAPPING INTERACTIVO. 9P.
- 52.53. Sánchez Javier, M. 2010. Métodos topográficos clásicos. Conferencia. Universidad de Cantabria. España. 32p.
53. Sears Zemansky, 1988. Física Universitaria. Estados Unidos. Editorial. Wesley 55. Iberoamericana. 305p.
54. Santos Marcelo, N; Robet Tenzar, L; Hernandez Navarro. M. 2011. Artículo. algunos aspectos sobre alturas Ortométricas y Normales. 20 p.
55. Suárez J. 1988. "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". Editorial. Ingeniería de suelos Ltda. Colombia. 547 p.
56. Vallejo Castro, C. E. 2003. Medición y procesamiento de la marea. Academia Naval Granma. La Habana 40p.
57. 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.
58. Wolfgang, A., Guía para estimar la incertidumbre de la medición. El Marqués, Qro., México, 2004, págs. 1-27.
59. Zakatov, P.S. 1981. Curso de Geodesia Superior. (En español). Editorial Mir. Moscú. 635p.



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

60. <http://www.geocities.com/CollegePark/Quad/2435/index.html>. Breve historia de los orígenes del método Monte Carlos.
61. <http://wwwcsep1.phy.ornl.gov/mc/mc.html>. Libro electrónico sobre simulación Monte Carlos.