



Cálculo de la precisión de las poligonales y levantamientos con estaciones totales y GPS

Calculating the accuracy of traverses and surveys with total stations and GPS

Cálculo da precisão de travessias e levantamentos com estações totais e GPS

Orlando Belette-Fuentes ^I

orlandobelette@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2866-0540>

Yordanys Esteban Batista-Legrá ^{II}

yebatista@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2402-9524>

Ernesto Reyes-Céspedes ^{III}

ernesto.reyes@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8003-3619>

Christian Ordóñez-Guaycha ^{IV}

cordonez@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0111-8476>

Josué González-Coronel ^V

josue.gonzalez@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0859-0493>

Eduardo Santiago Cazar-Rivera ^{VI}

ecazar@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6081-1804>

Correspondencia: orlandobelette@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 08 de junio de 2024 * **Aceptado:** 13 de julio de 2024 * **Publicado:** 03 de agosto de 2024

- I. Profesor Titular, Universidad de Holguín, Cuba.
- II. Ingeniero, Moaníquel S.A. Moa, Holguín, Cuba.
- III. Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Sede Morona Santiago, Morona Santiago, Ecuador.
- IV. Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Sede Morona Santiago, Morona Santiago, Ecuador.
- V. Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Sede Morona Santiago, Morona Santiago, Ecuador.
- VI. Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Sede Morona Santiago, Morona Santiago, Ecuador.

Resumen

El uso de las nuevas tecnologías para el desarrollo de investigaciones geológicas, mineras, civiles y geodésicas, tales como: la Estación Total, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Niveles Digitales y otros, ha permitido elevar la precisión y calidad de las mediciones topogeodésicas, evidenciándose la necesidad de la proyección y densificación de redes topogeodésicas que cubran todas las zonas de desarrollo prospectivo a corto, mediano y largo plazos. El objetivo consiste en calcular la precisión de las poligonales y levantamientos construidas con GPS y Estaciones totales. El método de posicionamiento GPS utilizado en los trabajos de campo fue el estático diferencial, empleando los dos receptores, uno en el punto de referencia (Blet) y el móvil en las estaciones de referencia determinadas para la experimentación y se fundamentó en las Instrucciones técnicas del ICGC (1987). Se realizó un análisis de la precisión a 12 poligonales de I y II clases construidas con estaciones totales y GPS, por ser ellas las que más se usan en los yacimientos lateríticos del norte de Holguín, donde se apoyan los levantamientos topográficos, se determinaron los parámetros de la red de densificación geodésica existente en la actualidad. Como conclusión se obtuvo que el análisis realizado a 22 poligonales trazadas en los yacimientos de exploración geológica, se pudo comprobar que cuando se miden las distancias y ángulos con estaciones totales y GPS, la precisión obtenida por las poligonales de segunda clase puede ser asumida por las poligonales de primera clase. Se propone eliminar el concepto de poligonales de primera y segunda clase e instituir el concepto de poligonales técnicas con precisión lineal 1:2000 y precisión angular.

Palabras clave: Precisión; GPS; Estación Total; Poligonales.

Abstract

The use of new technologies for the development of geological, mining, civil and geodetic research, such as: Total Station, Global Positioning System (GPS), Digital Levels and others, has allowed to increase the precision and quality of topogeodetic measurements, evidencing the need for the projection and densification of topogeodetic networks that cover all areas of prospective development in the short, medium and long term. The objective is to calculate the precision of the polygonal and surveys built with GPS and Total Stations. The GPS positioning method used in the field work was the differential static one, using the two receivers, one at the reference point (Blet) and the mobile one at the reference stations determined for the experimentation and was based on

the Technical Instructions of the ICGC (1987). An analysis of the precision of 12 polygonal lines of I and II classes built with total stations and GPS was carried out, since they are the ones most used in the lateritic deposits of northern Holguín, where the topographic surveys are based, the parameters of the geodetic densification network that currently exists were determined. As a conclusion, it was obtained that the analysis carried out on 22 polygonal lines drawn in the geological exploration deposits, it was possible to verify that when the distances and angles are measured with total stations and GPS, the precision obtained by the second class polygonal lines can be assumed by the first class polygonal lines. It is proposed to eliminate the concept of first and second class polygonal lines and to institute the concept of first and second class polygonal lines. techniques with linear precision 1:2000 and angular precision.

Keywords: Precision; GPS; Total Station; Polygonal.

Resumo

A utilização de novas tecnologias para o desenvolvimento de investigações geológicas, mineiras, civis e geodésicas, tais como: Estação Total, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Níveis Digitais e outras, tem permitido aumentar a precisão e a qualidade das medições topogeodésicas. evidenciando a necessidade de projeção e densificação de redes topogeodésicas que cubram todas as áreas de desenvolvimento prospetivo a curto, médio e longo prazo. O objetivo é calcular a precisão de poligonais e levantamentos construídos com GPS e Estações Totais. O método de posicionamento GPS utilizado no trabalho de campo foi o diferencial estático, utilizando dois receptores, um no ponto de referência (Blet) e o móvel nas estações de referência determinadas para a experimentação e teve por base as Instruções Técnicas do ICGC (1987). . Foi realizada uma análise da precisão de 12 travessias de classes I e II construídas com estações totais e GPS, por serem as mais utilizadas nos depósitos lateríticos do norte de Holguín, onde são suportados levantamentos topográficos. Foi determinada a rede de densificação geodésica existente. Como conclusão, obteve-se que a análise realizada em 22 poligonais desenhadas nos locais de exploração geológica, foi possível verificar que quando as distâncias e ângulos são medidos com estações totais e GPS, a precisão obtida por travessias de segunda classe pode ser assumida por travessias de primeira classe. Propõe-se eliminar o conceito de travessias de primeira e segunda classe e instituir o conceito de travessias técnicas com uma precisão linear e uma precisão angular de 1:2000.

Palavras-chave: Precisão; GPS; Estação total; Poligonal.

Introducción

La exactitud de los trabajos topográficos que hoy en día se ejecutan en los yacimientos lateríticos de la región minera de Moa dependen, en gran medida, de las bases de apoyo de levantamiento. Con el advenimiento del sistema de posicionamiento global por satélites y las estaciones totales, se ha hecho cada vez más real el sueño sobre la determinación de coordenadas espaciales a grandes distancias, con exactitudes similares a las de la nivelación geométrica, con el mínimo de gasto material y humano.

En Cuba se trabaja en la investigación de la red geodésica estatal de apoyo para los trabajos topográficos, con el empleo de las tecnologías de sistema de posicionamiento global y estaciones totales, abarcando el mayor campo posible de aplicaciones, entre ellos la minería, la construcción y la agricultura, además se ha investigado a nivel nacional la obtención de los valores permisibles para el replanteo en grandes obras industriales y edificios múltiples.

El hombre, al utilizar la nueva tecnología de instrumentos topogeodésicos, debe justificar su uso con las potencialidades, en función de obtener mayor productividad y calidad en el desarrollo de su trabajo y para ello, necesita un conocimiento tanto científico como técnico.

Las estaciones totales y los GPS se introdujeron a partir de la década del 90, precisamente en la industria del níquel, en la Empresa de Ingeniería y Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), posteriormente se fueron sumando profesionales de las minas de las plantas de níquel Comandante Ernesto Che Guevara, Pedro Sotto Alba y Rene Ramos Latour, logrando adquirir experiencias empíricas, que posteriormente fueron transmitidas a especialistas de GEOCUBA para la creación de metodologías de trabajo, que a partir del año 2000, fueron transmitidas a las empresas del frente nacional de proyectos.

No se concibe la ejecución del cálculo de volumen sin la aplicación de tecnologías apropiadas para el levantamiento topográfico, utilizando instrumentos como las estaciones totales, los GPS y softwares en la confección del plano topográfico para llevar a cabo el desarrollo de los trabajos mineros.

Según la evolución y modernización de los instrumentos topográficos y softwares 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 gran rapidez y eficiencia para los diferentes cálculos (García Soler, 2015).

En la actualidad, con el desarrollo de las nuevas tecnologías en equipos y softwares para realizar cálculo de volumen, se hace necesario determinar la red óptima de levantamiento topográfico con Estación Total para el cálculo de volúmenes en canteras, presas de cola, explanaciones y en otras áreas donde se ejecuten movimientos de tierra.

Las empresas de proyectos han adquirido en los últimos años diferentes softwares para realizar diversos trabajos de topografía y cálculo de volumen, entre ellos: AutoCAD Civil 3D-2013, Surfer11, AutoCAD Land, Cartomap V 6.0, este último limitado a llaves muy costosas en el mercado internacional.

Autores como Khitous et al., (2020), Mozzhuhin (2018), Albes da Silva et al., (2018) y otros, plantean como calcular el error medio cuadrático del punto final de la poligonal con ángulos previamente ajustados y calculan la precisión de las distancias y de los ángulos y determinan 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.

Rojas Villacis y Zúñiga Arnobo, (2020) y Acosta González et al., (2021), afirman 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 y proponen una ecuación empírica para valorar la exactitud de representación del relieve. Por otra parte, Baque Solís et al., (2022) propusieron valorar la exactitud del levantamiento del relieve en terrenos llanos considerando la generalización del relieve.

Otros autores (Jiménez Calero et al., (2019), Del Río Santana et al., 2020, realizaron un análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de Drones y GPS).

La aplicación de un repertorio de competencias científicas como herramienta de investigación, enseñanza y evaluación y fue investigado por Olivero Pera y Umpierrez Oroño, (2023) y Gómez Larrakoetxea et al., (2023) establecieron una estrategia de selección de hardware y algoritmos de inteligencia artificial en entornos 'Edge computing'

En la minería también tuvo su aplicación, donde Meza et al., (2017) elaboraron una metodología para el cálculo de reservas en minas a cielo abierto utilizando drones.

La precisión de las poligonales la aplicaron Ojeda, et al, (2023) y Dimitriov et al., (2020) en la determinación del coeficiente de refracción en los yacimientos lateríticos de Cuba. Por otra parte, Leizea Alonso, et al., (2021).

En Cuba Batista (2016), en su tesis doctoral: “procedimiento para la modelación de coordenadas espaciales, propone un procedimiento para la modelación de las coordenadas espaciales, pero no consideró la nueva tecnología topográfica. Acosta González et al., 2021 en su artículo: “Comparación de las mediciones por los métodos geodésicos y la modelación numérica, 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 y editó un libro en 2008 titulado Topografía, en el que 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 además 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 (2016), en su tesis doctoral: “Procedimiento para la modelación de coordenadas espaciales. (Tesis de Doctorado) plantea los problemas de precisión en las redes topográficas cuando se miden con estaciones totales, pero no trata la exactitud que deben tener los planos con pendientes pronunciadas.

Batista y Belette (2013), en su artículo: “Consideraciones sobre la exactitud de las redes de levantamiento topográfico”, publicado en la revista Minería y Geología plantea que este trabajo fue realizado en el yacimiento Camarioca Sur, área que se encuentra en este momento en fase de exploración geológica, donde existe indecisión a la hora de seleccionar si una poligonal es de 1ra o 2da clase, sobre la longitud máxima y la evaluación de la cantidad de etapas de desarrollo, valoran la precisión con que se realizan estos trabajos en el yacimiento.

Materiales y métodos

En la anterior caracterización de la exactitud de las redes de densificación geodésica realizada por el ICGC, aparecen las anteriores poligonales técnicas divididas en dos clases, cuya precisión lineal es 1: 2000 y 1:1000 y con una sola precisión angular ($1'\sqrt{n}$). No puede ser que existan poligonales

de diferente precisión lineal e igual precisión angular, si son medidas con el mismo instrumento topográfico (Batista y Belette, 2014).

Las instrucciones técnicas del ICGC (1987) muestran en uno de sus acápites, las características de las poligonales según su exactitud, donde se valora la precisión de las poligonales de primera y segunda clases (tabla 1).

En estas instrucciones técnicas no se muestra ningún criterio para elegir, si una poligonal se realiza de primera o de segunda clase.

Mediciones con los receptores GPS Leica 1200

El método de posicionamiento GPS utilizado en los trabajos de campo fue el estático diferencial, empleando los dos receptores, uno en el punto de referencia (Blet) y el móvil en las estaciones de referencia determinadas para la experimentación (fig. 1).

Figura 1: Receptor GPS definido como móvil, estacionado en punto experimental.



Estación total



GPS

El inicio y terminación de las sesiones de trabajo fue planificado previamente, considerando la geometría de la constelación de satélites para cada día de medición. Durante el trabajo, se precisó que los atributos de los puntos del proyecto, alturas de antena y los datos meteorológicos al inicio y al finalizar la sesión fueran plasmados en la ficha de campo.

Se partió del análisis de las poligonales trazadas por los técnicos de GEOCUBA y validándolas con los softwares AutoCAD Map y AutoCAD Civil 3D 2010. Para el control de los trabajos se

utilizó el sistema GPS Leica 1200, saliendo de los puntos de apoyo utilizados por GEOCUBA Oriente Norte según itinerario presentado en informe técnico preliminar.

Para determinar las longitudes máximas de las poligonales que no fueron calculadas en las normas, se aplica la ecuación 3.3 Batista y Belette (2012).

$$L = 1.73MT_m \quad (1)$$

Donde:

L : Longitud máxima de la poligonal

M : Error estándar (Ganshin & Koskov, 1977), $M=0,43$ mm)

T_m : Denominador del error relativo permisible de la poligonal.

En la tabla 1 se muestra el completamiento de los parámetros no tenidos en cuenta en la instrucción técnica para levantamientos topográficos a escalas 1:2000, 1:1000 y 1:500.

Tabla 1: Completamiento de los parámetros técnicos poligonométricos

Características	4to orden	I categoría	II categoría	I clase	II clase
Error relativo	1:25000	1:10000	1.5000	1:2000	1:1000
Error medio cuadrático en la medición de ángulos	2"	5"	10"	25"	50"
Error de cierre angular	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$	$50''\sqrt{n}$	$100''\sqrt{n}$
Longitud límite, km	10	5	3	1,5	0,7

En la altimetría se analiza lo establecido en la tabla 2, donde se muestran los errores de cierres según el orden de precisión.

Tabla 2: Errores admisibles en planimetría

Distancias (m)	IV Orden (m)	I Categoría (m)	II Categoría (m)	I Clase (m)	II Clase (m)
Para 100	0,004	0,010	0,020	0,050	0,100
Para 500	0,020	0,050	0,100	0,250	0,500
Para 1000	0,040	0,100	0,200	0,500	1,000
Para 1200	0,048	0,120	0,240	0,600	1,200

Para 1500	0,06	0,150	0,300	0,750	1,500
-----------	------	-------	-------	-------	-------

En los cálculos, para la determinación de los errores admisibles en la altimetría se utilizaron las ecuaciones 3.5 y 3.6 para el cuarto orden de precisión y la nivelación técnica, respectivamente.

$$\text{IV orden} \quad F_n \pm 20\sqrt{L} \quad (2)$$

$$\text{Técnica} \quad F_n \pm 50\sqrt{L} \quad (3)$$

Donde:

L : Longitud de la línea en km

F_n : Error de cierre de la línea de nivelación.

Los errores admisibles en la altimetría, en las poligonales estudiadas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Errores admisibles en altimetría

Distancias (m)	IV Orden (m)	I y II Categoría y Clase (m)
< 100	0,006	0,016
100- 500	0,014	0,035
500-1 000	0,020	0,050
1 000-1 200	0,022	0,054
1 200-1 500	0,024	0,061

Para obtener los errores máximos permisibles en la determinación de coordenadas espaciales fue necesario combinar las tolerancias en los planos horizontales y verticales. Se calculó considerando la suma de las fuentes de errores, según Olivera (2010), a partir de la ecuación 3.7. En la tabla 3.6 se muestran los resultados.

$$m_{TC} = \sqrt{m_{planim}^2 + m_{alt}^2} \quad (4)$$

Donde:

m_{TC} : Errores totales en la determinación de un punto con coordenadas espaciales.

m_{planim} : Errores en la determinación de la planimetría.

m_{alt} : Errores en la determinación de las alturas.

Tabla 4: Errores totales en la determinación de las coordenadas espaciales para poligonales

Distancias (m)	IV Orden (m)	I Categoría (m)	II Categoría (m)	I Clase (m)	II Clase (m)
< 100	0,007	0,019	0,026	0,052	0,101
100- 500	0,024	0,061	0,105	0,252	0,501
500-1 000	0,045	0,112	0,206	0,502	1,001
1 000-1 200	0,053	0,132	0,246	0,602	1,201
1 200-1 500	0,065	0,162	0,306	0,752	1,501

Determinación de tolerancias admisibles por normas en coordenadas espaciales para levantamientos topográficos

En el cálculo se consideraron los requisitos contenidos en las instrucciones técnicas para los levantamientos topográficos a las escalas 1: 2 000, 1: 1 000 y 1:500, editada por el Ministerio de la Construcción en el año 1987. La fusión de las tolerancias admisibles en coordenadas espaciales se realizó utilizando la ecuación 5. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Tolerancias admisibles para la determinación de coordenadas espaciales en levantamientos topográficos

Escala	De importancia espaciales (m)	En zonas llanas espaciales (m)	En zonas montañosas espaciales (m)
1:500	0,26	0,30	0,39
1: 1 000	0,52	0,60	0,77
1: 2 000	1,04	1,20	1,55

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos en las mediciones experimentales realizadas con las estaciones totales en el polígono de puntos de centración forzada de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba, donde se interrelacionan las desviaciones en la medición de distancias, coordenadas y alturas de los puntos, mostrando las máximas diferencias referenciadas a cada punto patrón.

Tabla 6: Resultados de las mediciones experimentales

Distancias patrones (m)	Desviaciones en cotas (mm)	Desviaciones en coordenadas (mm)	Desviaciones en distancias (mm)
< 100	4	2	1
100- 500	18	8	3
500-1 000	44	11	5
1 000-1 200	53	13	8
1 200-1 500	68	16	10

El error total de las mediciones experimentales para cada distancia patrón se obtuvo empleando la ecuación 3.8 (Olivera, 2010), donde se interrelacionan las tres fuentes de error en la determinación de las coordenadas espaciales.

$$m_{TC} = \sqrt{m^2 dist + m^2 alt + m^2 coord} \quad (5)$$

Donde:

m_{TC} : Errores totales en la determinación de un punto con coordenadas espaciales.

m_{dist} : Errores en la determinación de las distancias

m_{alt} : Errores en la determinación de las alturas

m_{coord} : Errores en la determinación de las coordenadas.

Se realizó un análisis de la precisión de las poligonales de I y II clases cuando se construyen con estaciones totales y GPS, por ser ellas las que más se usan en los yacimientos lateríticos del norte de Holguín donde se apoyan los levantamientos topográficos.

Tabla 7: Parámetros de la red de densificación geodésica existente en la actualidad.

Características	4to orden	I categoría	II categoría	I clase	II clase
Error relativo	1:25000	1:10000	1.5000	1:2000	1:1000
e.c.m de la medición de ángulo, s.	2	5	10	-	-
Error de cierre angular	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$	$60''\sqrt{n}$	

Longitud límite, Km	10	5	3	-	-
---------------------	----	---	---	---	---

Se realizó un análisis de los datos de la tabla 7, determinando la relación entre precisión lineal y precisión angular. Esta relación se obtuvo aplicando la siguiente regla de tres propuestas por los autores:

$$\frac{P_1}{emc_1} = \frac{P_2}{emc_2} \quad (6)$$

Donde:

P₁- Precisión lineal de la poligonal de 4to orden;

emc₁- error medio cuadrático de la medición del ángulo de la poligonal de 4to orden;

P₂- Precisión lineal de la poligonal de 1ra categoría;

emc₂- error medio cuadrático de la medición del ángulo de la poligonal de 1ra categoría.

Resultados y discusión

El cálculo de las coordenadas espaciales en los experimentos se muestra en la tabla 1.

Tabla 8: Error total en la determinación de las coordenadas espaciales en los experimentos

Distancias (m)	Errores obtenidos coordenadas espaciales (m)
100	0,004
500	0,020
1000	0,046
1200	0,055
1500	0,070

Los resultados del análisis de las poligonales calculadas se encuentran en la tabla 9.

Tabla 9: Resultado del análisis de las poligonales calculadas.

$\frac{1:25000}{2''} = \frac{1:10000}{x} ; x=5''$	$\frac{1:10000}{5''} = \frac{1:5000}{x} ; x=10''$	$\frac{1:5000}{10''} = \frac{1:2000}{x} ; x=25''$
$\frac{2''}{5''\sqrt{n}} = \frac{5''}{x} ; X = 10''\sqrt{n}$	$\frac{5''}{10''\sqrt{n}} = \frac{10''}{x} ; x=20''\sqrt{n}$	$\frac{10''}{20''\sqrt{n}} = \frac{25''}{x} ; X = 50''\sqrt{n}$

Como se nota de la tabla 9, los resultados comprobados de las poligonales de 4to orden y de primera y segunda categorías, no muestran diferencias significativas. Por consiguiente, se puede asegurar que los resultados obtenidos a través del cálculo por la ecuación 1 y los de la tabla 10. son iguales, lo que demuestra la validez de la fórmula propuesta.

Tabla 10: Parámetros de la red de densificación geodésica propuestos por los autores

Características	4to orden	I categoría	II categoría	Técnica
Error relativo	1:25000	1:10000	1.5000	1:2000
e.m.c de la medición de ángulo, s.	2	5	10	25
Error de cierre angular, s.	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$	$50''\sqrt{n}$
Longitud límite, Km	10	5	3	1.5

Por primera vez en estos tipos de yacimientos, se calcularon los parámetros de la red de densificación geodésica con Estación total y GPS, a 22 poligonales trazadas para la exploración geológica, donde se propone eliminar el concepto de poligonales de primera y segunda clases por poligonales técnicas, constituyendo un aporte.

Conclusiones

Se calculó por primera vez, en estos yacimientos, la precisión de las poligonales y levantamientos construidos con GPS y Estaciones totales, que permitió proponer los parámetros de la red de densificación geodésica. Se realizó el análisis a 22 poligonales que permitió establecer que cuando se miden las distancias y ángulos con estaciones totales y GPS, la precisión obtenida por las poligonales de segunda clase, puede ser asumida por las poligonales de primera clase. Se propone eliminar el concepto de poligonales de primera y segunda clase e instituir el concepto de

poligonales técnicas con precisión lineal 1:2000 y precisión angular $50''\sqrt{n}$. Se determinaron los parámetros de medición para la poligonometría y levantamiento topográfico con estaciones totales en los yacimientos lateríticos de la región minera de Moa, a partir de la modelación de coordenadas espaciales.

Referencias

1. García-Soler, Carlos. 2015. Análisis, desarrollo y optimización de un sistema para el diseño de Redes topográficas valorando el modelo Digital del terreno. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. pp 407. http://redgeomatca.rediris.es/redlatingeo/2015/CARLOS_SOLER_GARCIA.pdf
2. Khitous, F.; Strozzi, F.; Urbinati, A; Alberti, F. (2020). A Systematic Literature Network Analysis of Existing Themes and Emerging Research Trends in Circular Economy. *Sustainability*, 12(4): 1633. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12041633>
3. Mozzuhin, O. A. (2018). La refracción en la nivelación trigonométrica bilateral. Determinación de las correcciones. *Geodesia y Cartografía*, 4(2), 8-13. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2018-934-4-8-13>.
4. Alves da Silva, et.al. Evaluating the accuracy in volume calculation in a pile of waste using UAV, GNSS and LiDAR [en línea]. 22(2), 2016. [fecha de consulta 12 de mayo de 2017]. Disponible en: www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982
5. Rojas Villacis C. y Zúñiga Arnobo, C. (2020). Análisis de costos operativos en pequeña minería y Minería artesanal en Nambija. *Fijempa Investigación y desarrollo*, 1(1). ISSN-e 2602-8484. DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.2568>
6. Luis Enrique Acosta González, Fabian Ricardo Ojeda Pardo, Orlando Belette Fuentes, Javier Alejandro Pérez Fernández (2021). Comparison of settlements by geodetic methods and numerical modeling. Test case: fuel storage tank. *Revista Polo del Conocimiento* Vol. 6, No 6, junio 2021. URL: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2747>
7. Baque Solís, J. E.; Cuadrado Torres, L. M.; Palacios Paredes, B. G. (2022). Análisis comparativo topográfico sobre levantamientos altimétricos con RTK GNSS, Estación Total

- y Drone en Manta. Pol. Con 7(12): 586-602. ISSN 2550 - 682X. DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v7i8>
8. Jiménez Calero, N. M.; Magaña Monge, A. O.; Soriano Melgar, E. (2019). Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de Drones y GPS como métodos indirectos. (Trabajo de diploma). Universidad de El Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20697>
 9. Del Río Santana, O.; Gómez Córdova, F. J.; López Carrilolo, N. V.; Sáenz Esqueda, J. A.; Espinosa Fraire, A. T. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. Revista de Arquitectura e Ingeniería 14(2): 1-10. ISSN: 1990-8830. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193963490001>
 10. Olivero Pera, M. J.; Umpierrez Oroño, S. (2023). Aplicación de un repertorio de competencias científicas como herramienta de investigación, enseñanza y evaluación. HOLOS, 39(1): e14280, 1-19. ISSN 1807-1600. DOI: <https://doi.org/10pts.15628/holos.2023.14280>
 11. Gómez Larrakoetxea, N.; Sanz Urquijo, B.; García Barruetaña, J.; Pastor López, I. (2023). Estrategia de selección de hardware y algoritmos de inteligencia artificial en entornos 'Edge computing'. DYNA 98(1): 38-44. DOI: <https://doi.org/10.6036/10671>
 12. Meza- Linares, E. Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017. Metodología para el cálculo de reservas en minas a cielo abierto utilizando drones [en línea]. 2017. [fecha de consulta 19 de julio de 2017]. Disponible en: www.ptolomeo.unam.mx:8080/.../Metodología%20para%20el%20cálculo%20de%20...
 13. Ojeda Pardo, F. R.; Belette Fuentes, O.; Quiroz Cabascango, V. E.; Mosquera Urbano, A. P.; Reyes Céspedes, E. (2023). Determination of the local refraction coefficient in Cuban lateritic mineral deposits. Journal of Physics: Conference Series, 2573(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2573/1/012009>
 14. Dimitrov N.; Georgiev I. and Danchev P. (2020). Refraction correction in precise leveling observations for national leveling network first order. Geodesy and cartography, 46(4): 159–162. ISSN 20296991 DOI: <https://doi.org/10.3846/gac.2020.11555>
 15. Batista, Y. (2016). Procedimiento para la modelación de coordenadas espaciales. (Tesis de Doctorado). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 96 p.

16. Luis Enrique Acosta González, Fabian Ricardo Ojeda Pardo, Orlando Belette Fuentes, Javier Alejandro Pérez Fernández (2021). Comparison of settlements by geodetic methods and numerical modeling. Test case: fuel storage tank. Revista Polo del Conocimiento Vol. 6, No 6, junio 2021. URL: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2747>
17. Leizea Alonso, I.; Zubizarreta Gorostidi, j.; Mendikute Garate, A.; Yague Fabra, Y. A. (2021). Fotogrametría portable en proceso con marcadores ópticos aplicada a la metrología dimensional de alto rango. DYNA 96(1): 35-39. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9401>
18. Batista Legrá, Y. y Belette Fuentes, O. (2013). Consideraciones sobre la exactitud de las redes de levantamiento topográfico. Revista Minería y Geología, 29(3), 56-64.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).