



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1676>

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

*Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina
"Catoca"*

Some experiance in the geodesic base net of densification in the mine "Catoca"

*Alguma experiência na rede de base geodésica de densificação na mina
"Catoca"*

Orlando Belete-Fuentes ^I
orlandobelette@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2491-8030>

Nancy Viviana Zabala-Alarcón ^{III}
nancy.zabala@esepoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3956-4650>

Fabián Ricardo Ojeda-Pardo ^{II}
fabian.ojeda@esepoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3192-5084>

César Voltaire Jaramillo-Espinosa ^{IV}
cesarjar2471@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2926-7270>

Correspondencia: orlandobelette@gmail.com

***Recibido:** 30 de noviembre de 2020 ***Aceptado:** 20 de diciembre de 2020 * **Publicado:** 09 de enero de 2021

- I. Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad de Moa, Universidad de Holguín, Vía Guardalavaca, Holguín, Cuba.
- II. Máster en Metalurgia por la Universidad de Moa, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas, Morona Santiago, Ecuador.
- III. Estudiante de la Carrera de Ingeniería en Minas, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas, Morona Santiago, Ecuador.
- IV. Ingeniero en Minas por la Universidad de Moa, Master en Administración Ambiental, Gobierno Provincial de Imbabura, Unidad de Cooperación Internacional y Geoparque Imbabura, Imbabura, Ecuador.

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

Resumen

La necesidad de continuar con la explotación de la mina de diamante “Catoca”, Angola, ha impuesto una serie de trabajos topogeodésicos en la región que comienzan con el trazado de la red de apoyo y los trabajos para su densificación. Debido a que en la zona solo existen tres vértices de la red de primer orden, se han tenido que trazar las redes de segundo orden y demás, hasta llegar a las redes de replanteo utilizando métodos modernos.

El problema consiste en la necesidad de realizar una densificación de la red geodésica de apoyo para llevar a cabo los trabajos topogeodésicos en la mina “Catoca”.

Primero fue necesario proyectar en un mapa a escala 1:1000 000 la red propuesta para luego replantarla, con ayuda de las técnicas del Sistema de Información Geográfica (GIS) y de la Cartografía Digital, para poder efectuar trabajos de densificación de la red Geodésica de la región, con vista facilitar los trabajos Topogeodésicos a realizar en el proyecto Catoca.

La información recopilada fue necesaria para conocer la distribución de la red geodésica, se determinó el carácter geométrico de la red propuesta y se aplicó la técnica GPS.

El principal resultado consistió en la creación de una metodología para la densificación de la red geodésica en la zona de la mina, para facilitar los trabajos de explotación minera, en la cual fue analizada la variante más racional para la localización de los puntos geodésicos de la malla en la zona de estudio, teniendo en cuenta la situación estratégica, económica y ecológica de la región y la determinación de la forma geométrica más racional de construcción de la malla geodésica.

También fueron utilizados métodos e instrumentos geodésicos especiales por ser los más precisos y más económicos en relación con los métodos clásicos de observación de la red de triangulación.

Palabras claves: Malla geodésica; red de apoyo; trabajos topogeodésicos.

Abstract

The necessity of continuing with the exploitation of the diamond mine "Catoca", in Angola, has imposed a series of geodesic- topographical works in that region, beginning with the layout of the topographic base net and its densification. In this zone there are only three vertexes of the first order net, hence the second and higher order nets had to be drawn up to the restate net using latest methods.

The problem in this case is the necessity of realizing a densification of geodesic base net in order

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

to carry out geodesic- topographical works in the mine "Catoca."

To carry out a densification of the geodesic net of the said region, it was necessary to project on a map to scale 1:1000 000 the proposed net, then to replant it with the help of the technical SIG and the Digital Cartography, so as to facilitate the geodesic- topographical works to be carried out in the project Catoca.

The gathered information was necessary to know the distribution of the geodesic net, the geometric character of the proposed net was determined and the technical GPS was used.

The main result consisted of the creation of a methodology for the densification of the geodesic net in the area of the mine, to facilitate the works of mining exploitation, in which the most rational variant was analyzed for the localization of the geodesic points of the network in the concerned area, keeping in mind the strategic and economic situation, ecology of the region and the determination of the most rational geometric way in construction of the geodesic network;

It is of great importance to mention that modernized methods and special geodesic instruments were also employed and more economic in comparison with the classic methods observed in the triangulation net;

Key words: Geodesic net; geodesic base net; topographical works.

Resumo

A necessidade de continuar com a exploração da mina de diamantes “Catoca”, Angola, impôs uma série de trabalhos topogeódicos na região que se iniciam com o traçado da rede de apoio e as obras para o seu adensamento. Como existem apenas três vértices da rede de primeira ordem na área, as redes de segunda ordem e assim por diante tiveram que ser rastreadas, até chegar às redes de piquetagem usando métodos modernos.

O problema consiste na necessidade de realizar um adensamento da rede geodésica de suporte para a realização dos trabalhos topogeódicos na mina “Catoca”.

Primeiramente, foi necessário projetar a rede proposta em um mapa na escala 1: 1000 000 e posteriormente replantá-la, com o auxílio das técnicas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Cartografia Digital, para realizar trabalhos de densificação em a Rede Geodésica da região, com vistas a facilitar os trabalhos topogeodésicos a serem realizados no projeto Catoca.

A informação recolhida foi necessária para conhecer a distribuição da rede geodésica, foi

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

determinado o carácter geométrico da rede proposta e aplicada a técnica GPS.

O principal resultado consistiu na criação de uma metodologia para o adensamento da rede geodésica na área da mina, para facilitar os trabalhos de lavra, na qual foi analisada a variante mais racional para a localização dos pontos geodésicos da mina. área de estudo, tendo em conta a situação estratégica, económica e ecológica da região e a determinação da forma geométrica mais racional de construção da malha geodésica.

Métodos e instrumentos geodésicos especiais também foram usados por serem os mais precisos e baratos em relação aos métodos clássicos de observação da rede de triangulação.

Palavras-chave: Geodesic mesh; rede de suporte; trabalhos topogeodésicos..

Introducción

Teniendo en cuenta que solo existen puntos de triangulación del orden en la región minera de Catoca, Angola, ocurre la necesidad de densificar la red geodésica para apoyar los trabajos topogeodésicos para realizar la explotación minera, la creación de una base geodésica para la realización de diferentes levantamientos topográficos necesarios para el desarrollo de la economía nacional, así como el aumento de los demás ordenes de triangulación y la orientación de las redes de densificación para el mapeo de grandes formas y dimensión de la tierra.

Si se considera que la zona en estudio es potencialmente rica en Diamantes, surge la necesidad de efectuar un estudio para facilitar la explotación de los recursos minerales allí existentes para el desarrollo socio - económico del país. En el área solo existen tres puntos geodésicos de la red de primer orden.

El problema consiste en la necesidad de realizar una densificación de la red geodésica de apoyo para llevar a cabo los trabajos topogeodésicos en la mina “Catoca”.

Objetivo:

Crear una metodología para la densificación de la red geodésica de triangulación de “Catoca”.

Materiales y métodos

Se utilizaron informes técnicos realizados por el Instituto Cartográfico de Angola y diferentes mapas topográficos a escala 1:1000 000, además de haberse utilizado equipos de tecnología de

punta y software. Los métodos de las encuestas y las entrevistas fueron vitales para realizar el trabajo con desempeño.

Trabajos topogeodésicos realizados en la region en estudio

A partir de 1962-1966 la firma ARTOP se encargó de la creación de la base geodésica que sirvió de partida para la construcción del mapa a escala 1: 100 000, partiendo del paralelo 12° en el sentido Norte y del meridiano 18° en el sentido Este con el uso del método de trilateración, las cuales fueron establecidas las siguientes tolerancias según Yaklovin, 1982:

- Error medio cuadrático en la posición planimétrica de los puntos $\pm 30\text{m}$;
- Error medio cuadrático en la posición altimétrica de los puntos $\pm 10\text{m}$;

Fueron determinados cuatro puntos astronómicos en un área superior a 300 000 Km² en las cuales fueron establecidas las siguientes tolerancias:

- Error medio cuadrático en la determinación del azimut $4.3''$;
- Error medio cuadrático en la determinación de la longitud 0.4s (de tiempo) o $7''$ (arco).

Las determinaciones astronómicas fueron efectuadas por medio del Astrolabio y el teodolito Wild T2. Las mediciones angulares se realizaron con el Wild T2 y las distancias se midieron con el telurómetro (distanciómetro de radio) MRAICW y el MRA2, con sus respectivos instrumentos.

La longitud de los lados alcanzó hasta 40 Km. Para garantizar la visibilidad entre los puntos se utilizaron torres de Bilby, con 16 a 33m de altura. Los puntos fueron monumentos con cimiento, con dimensiones de 40 x 40 x 80cm enterrados a una profundidad de 30cm.

La red de triangulación construida por la firma ARTOP fue combinada con las firmas M.G.A. y la TECAFO.

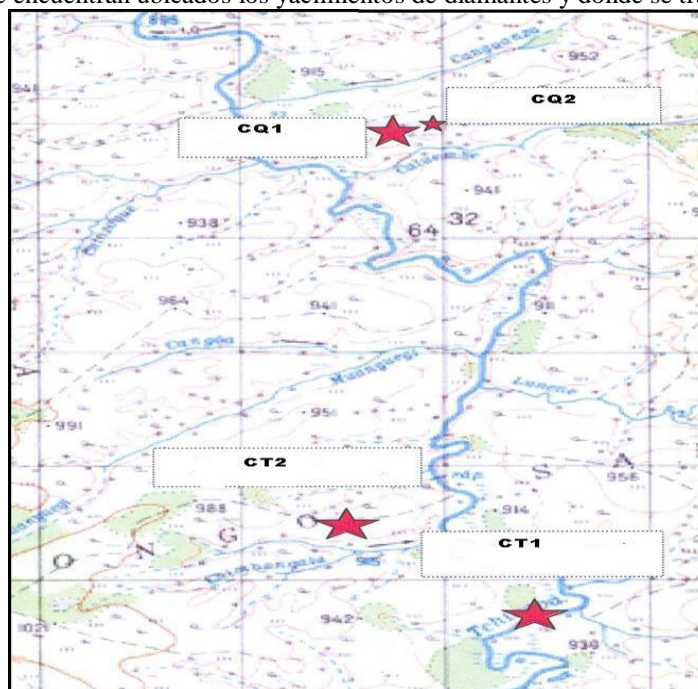
En base a las tolerancias que se establecieron para la ejecución de la red del Este de Angola, se puede deducir que la ARTOP no tenía como objetivo crear una buena red geodésica. Su tarea principal era determinar las coordenadas de los puntos de apoyo para el mapa a escala 1:100 000. (Ver tabla 1)

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

Tabla 1: Comparación entre los valores del M.G.A. y ARTOP

Nombre de los lados	Longitud de la triangulación (M.G.A); m	Longitud de la triangulación (ARTOP); m	Diferencia	Error relativo
Mussimoge-Lutumi	23953,34	23953,448	-0,386	1: 62 054
Mussimoge-Quende	17298,268	17298,161	-0,107	1: 62 664
Mussimoge-Dada	17837,931	17837,630	-0,301	1: 59 259
Quende	16836,086	16835,594	-0,492	1: 34 220

Figura 1: Mapa donde se encuentran ubicados los yacimientos de diamantes y donde se trazó la red de densificación.



Densificación de la red geodésica de Catoca utilizando la tecnología de sistema de posicionamiento global (GPS)

Análisis de los resultados obtenidos

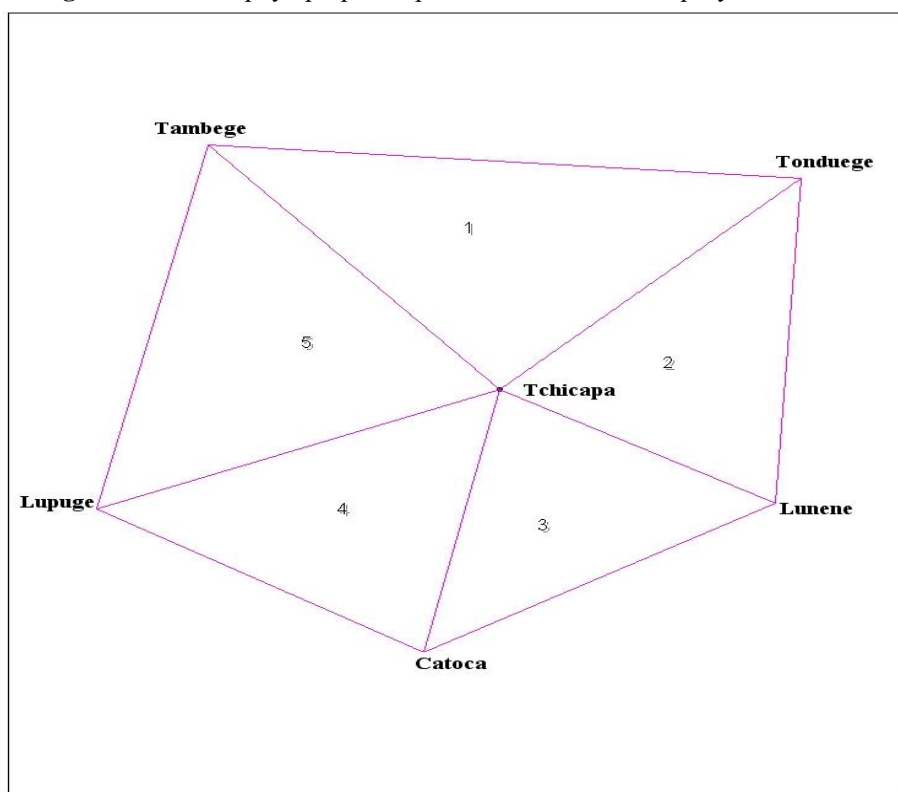
Para la creación de la base geodésica de apoyo para densificar el proyecto “Catoca”, fue necesario apoyarse en el mapa N° 121 a escala 1: 100 000, se verificó la identificación de los tres puntos de la red de triangulación de primer orden con un área de 3036 Km². Se desarrolló la red geodésica

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

de triangulación de segundo orden por el método de figuras con punto central (sistema central), en un área de apenas 1953 Km².

Para tal efecto se realizó la georreferencia del mapa, usando las técnicas de la Cartografía Digital y del Sistema de Información Geográfica (SIG), las longitudes de los lados fueron proyectados dentro de los parámetros establecidos. Seguidamente se determinaron las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) de los vértices de la red, estas coordenadas posteriormente fueron confirmadas en el terreno con mediciones GPS (Global Positioning System). Antes de proceder al replanteo, se efectuó el cálculo de la resistencia de la figura para la determinación de la precisión y el carácter geométrico de la red. Se verificó el tipo de figura con punto central (sistema central).

Figura 2: Red de apoyo propuesta para la densificación del proyecto “Catoca”



Apoyándose en el mapa No. 121 a escala 1:100 000 fueron obtenidas las coordenadas UTM y geográficas de los cuatro cantos de la hoja (ver fig. 1).

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

Tabla 2: Coordenadas del mapa topográfico georeferenciado N°. 121 a escala 1:100 000

N° de puntos	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas geográficas	
	E	N	φ	λ
1	390 000	9 005100	20° 00'	9° 00'
2	445 000	9 005100	20° 30'	9° 00'
3	390 000	8 950000	20° 00'	9° 30'
4	445 000	8 950000	20° 00'	9° 30'

Información alfanumérica

En el mapa N° 121 a escala 1:100 000 en el cual se apoya el proyecto para la creación de la base geodésica de apoyo para la densificación de la mina “Catoca”, fue necesario apoyarse en los tres vértices de la red de primer orden para poder trazar la red de segundo orden.

Las coordenadas de estos tres vértices (Ver Tabla 3).

Tabla 3: Coordenadas de la malla propuesta

N° de puntos	Nombre de los puntos	Coordenadas	
		X	Y
1	Tonduege	440265,000	8981786,873
2	Tchicapa	428596,707	8971262,050
3	Lunene	439283,329	8965596,102
4	Lupunge	412958,529	8965273,053
5	Cotoca	425645,925	8958168,340
6	Tombege	417215,569	8983415,516

Orden de los trabajos realizados

Se escogió el método del sistema central por un punto localizado en un área de mayor elevación, por tener un menor valor de la resistencia dada, el cual garantiza mayor precisión en el cálculo de los lados de la malla.

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

La fórmula (1) indica que a medida que aumentan las mallas dentro del sistema y la calidad de los triángulos dentro de cada malla, aumenta R (Resistencia), o sea, se obtiene una menor precisión en el cálculo de los lados de la malla (Bambino, 1989).

Dentro de los parámetros establecidos se midieron las longitudes con 14 Km como media con ángulos oscilando entre 50 -70 °. Los puntos se situaron en las zonas más altas del territorio del área útil.

Se recomienda la utilización de intersecciones geodésicas dentro o fuera de la malla, cuando el grado de inaccesibilidades del territorio no sea posible realizar mediciones angulares.

Posteriormente calculó la resistencia de la figura con el objetivo de conocer la precisión de la malla.

- Cálculo de los pesos inversos.

Siendo esta una figura con punto central (sistema central) se empleó la fórmula (1):

$$Q_i = 1 \times R_i \quad (1)$$

Donde los valores de la Resistencia de la figura (R_i) son obtenidos por tabla. (Ver tabla 4).

Se comprueba que $\sum R_i$ es menor de 100, quiere decir que $40 \leq 100$. O sea, cuando $\sum R_i$ se separe de 100, mejor será la condición geométrica de la figura (Bambino, 1988).

Tabla 4: Valores de los Ángulos, Resistencia de la figura y del Peso Inverso de la red propuesta de apoyo para la densificación del Proyecto “Catoca”

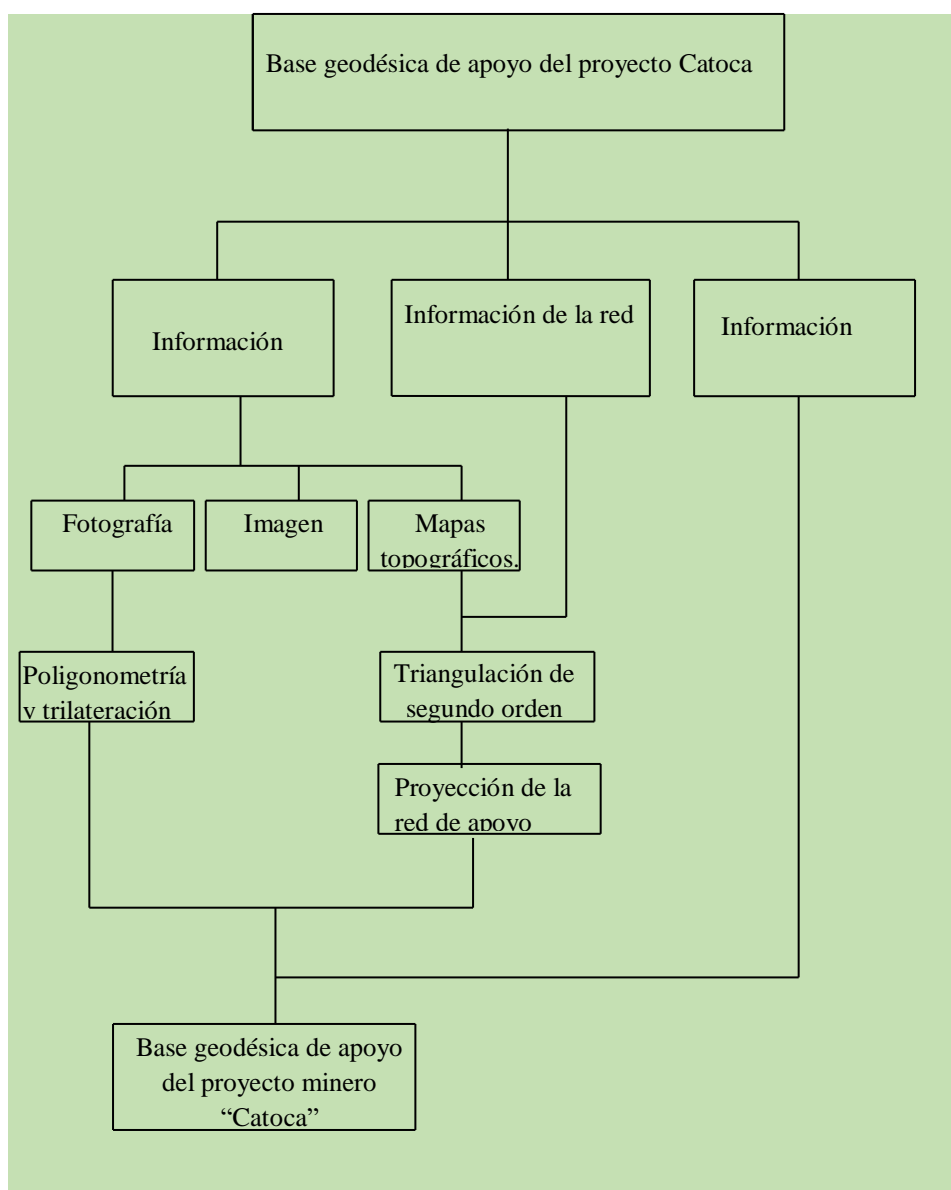
Nº de Ángulos	Ángulos	Resistencia de la fig. (R)	Constante (K)	Peso Inverso (Q)
1	40°			
2	48°	14	1	14
3	44°			
4	67°	9	1	9
5	56°			
6	50°	8	1	8
7	75°			
8	50°	4	1	4
9	58°			
10	60°	5	1	5

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

La proyección de la red geodésica de apoyo fue hecha en base al mapa N° 121 a escala 1:100 000 de la zona georeferenciada con los puntos de apoyo de la red geodésica nacional allí existentes, utilizando las técnicas de SIG y de la Cartografía Digital.

Se propone un modelo para la creación de la base geodésica de apoyo para el proyecto “Catoca” (ver el siguiente algoritmo).

Figura 3: Modelo para la creación de la base geodésica de apoyo para la densificación del proyecto de la mina “Catoca”



Metodología propuesta

Tabla 5: Etapas

Etapas	Tareas	Resultados
Diseño del proyecto (definición de los objetivos y búsqueda de toda información gráfica necesaria y disponible).	Búsqueda de toda información gráfica altamente necesaria del proyecto. Análisis físico geográfico y socio-económico de la región.	Mapas topográficos a escala 1:100 000. Fotografías aéreas 1:10 000. Informe de las campañas. Coordenadas de los vértices de la red geodésica nacional.
Análisis de los materiales disponibles y proyección de la red.	Selección de los puntos de apoyo del proyecto; Proyección de la triangulación (esquema de la red); Proyección de la poligonometría e intersección.	Red de triangulación. Red de poligonometría.
Creación de la base geodésica de apoyo.	Observación de campo de la triangulación y poligonometría Determinación de las coordenadas con GPS. Consulta y analice.	Conjunto de puntos con coordenadas conocidas (base geodésica de apoyo del proyecto Catoca).

Conclusiones

Fué creada una metodología para la densificación de la red geodésica en la zona de la mina “Catoca”, para facilitar y mejorar los trabajos de explotación minera, en la cual fue analizada la variante más racional para la localización de los puntos geodésicos de la malla en la zona de estudio, teniendo en cuenta la situación estratégica, económica y ecológica de la región y determinada la forma geométrica más racional de la construcción de la malla geodésica;

Algunas experiencias en la densificación de la red geodésica de apoyo de la mina “Catoca”

Para la densificación de la red geodésica de “Catoca” fueron utilizados métodos e instrumentos geodésicos especiales por ser los más precisos y más económicos en relación con los métodos clásicos de observación de la red de triangulación;

La proyección de la red geodésica de apoyo fue hecha a base del mapa N° 121 a escala 1:100 000 de la zona georeferenciada con los puntos de apoyo de la red geodésica nacional allí existentes, utilizando las técnicas de SIG y la Cartografía Digital.

Referencias

1. Informe técnico del I.G.C.A. sobre los trabajos Topo geodésicos realizados por la firma ARTOP en los años 1962-1966 al este de Angola.
2. Informes técnicos de la empresa nacional ENDIAMA.
3. Bambino, N. 1989. Redes geodésicas planimétricas. Editorial Pueblo y educación. Habana. Cuba, 367 p.
4. Bambino, N. 1988. Geodesia para Ingenieros aerofotogeodestas. Editorial Pueblo y educación. Habana. Cuba, 288 p.
5. Yaklovin, V. 1982. Praktikum po vishi geodesii. Nedra. Moscu, 423 p.

©2020 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/>).