

Polígono de puntos topográficos con fines docentes en el Instituto Superior Minero Metalúrgico*

Helder Vemba Mucuta Lito

Especialidad: Ingeniería en Minas

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se proyectó un polígono de puntos topográficos que garantiza el desarrollo de las clases prácticas en las asignaturas de Topografía General y Topografía Minera, en el Instituto Superior Minero Metalúrgico, lo que permitirá la densificación de la red geodésica planimétrica y altimétrica de apoyo a las tareas docentes, así como la incorporación de estos puntos a la red nacional, con el objetivo de que puedan ser empleados en distintas tareas de interés del estado. Se propuso el empleo de las nuevas tecnologías como instrumentos topogeodésicos en la etapa de mediciones de campo, aplicando parámetros técnicos obtenidos en investigaciones anteriores. El polígono está conformado por un sistema de poligonales de enlace que se unen en dos puntos centrales a determinar con observaciones (GPS).

Palabras clave: topografía; redes geodésicas; sistema de posicionamiento global (gps); estación total.

* Trabajo tutorado por el M. Sc. Yordanys E. Batista Legrá y el Dr. C. Orlando Belete Fuentes.
Recibido: 2 marzo 2016 / Aceptado: 30 julio 2016.

Topographical polygon points for teaching purposes at the Metallurgical Mining Institut

Abstract: A topographical polygon points which ensures the development of practical classes in Mine Surveying and General Surveying subjects at the Mining Metallurgical Institute allowing the densification of the altimetry and planimetric geodesic network for teaching support tasks was projected, as well as the incorporation of these issues into the national network with the purpose of using them in different tasks of state interest. The use of new technologies as topographic instruments at the stage of field measurements, applying technical parameters obtained in previous research was proposed. The polygon consists of a system of series polygonal that links the two central points to be determined with (GPS) observations.

Key words: topography; geodesic networks; global positioning system (GPS); total station.

Introducción

En 1982 se construyó un polígono de puntos topográficos para el desarrollo de las clases prácticas con 11 puntos topográficos alrededor del Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM). Se emplearon poligonales de rodeo o de enlace a partir de coordenadas referenciadas al Sistema Geodésico Nacional. Estos puntos empezaron a desaparecer en el inicio del periodo especial. Actualmente las clases prácticas de topografía no cuentan con un polígono de puntos topográficos referenciados al sistema de coordenada nacional que permitan el aprendizaje en condiciones normal de la producción.

Con el desarrollo tecnológico y el avance de las nuevas tecnologías de instrumentos topo geodésicos, estaciones totales y sistema de posicionamiento global (GPS), que permiten obtener las coordenadas espaciales, se necesitan bases de apoyo con criterios de exactitud más rigurosos, por lo que es necesario construir un polígono que satisfaga las nuevas exigencias.

Uno de los objetivos instructivos de la carrera de Ingeniería de Minas e Ingeniería geológica consiste en expresar gráficamente el objeto de trabajo, interpretar los proyectos y trabajos topográficos, ejecutar y calcular redes topográficas para los trabajos geológicos, mineros y de construcción.

Wangdi (2010) plantea el empleo de las estaciones totales en la creación de polígonos topográficos, realizando una valoración de las ventajas de estas tecnologías respecto a los instrumentos tradicionales. Aporta parámetros como distancias máximas de medición en redes de primera categoría.

Salek y Jatri (2003) aportan las características del suelo, lo cual facilitó el criterio de diseño de los monumentos a establecer en el polígono.

Una vez consultados a los profesores de las asignaturas Topografía General y Topografía Minera del ISMMM se les solicitó las necesidades de prácticas en el terreno que permitan dar cumplimiento al objetivo de las asignaturas, relacionando las siguientes:

Trabajo con el Teodolito. Estacionamiento y orientación

Determinación en campo del error de colimación

Medición de ángulos horizontales y verticales
Medición directa e indirecta de distancias
Trazado de una poligonal
Trazado de un circuito de nivelación
Levantamiento taquimétrico
Replanteo de puntos en el terreno
Transmisión de las cotas en las canteras
Transmisión de las cotas en la mina subterránea
Transmisión de la cota de la superficie a la mina con cinta larga y con cinta corta
Nivelación geométrica en las excavaciones subterráneas.

Teniendo en cuenta estas necesidades se propone proyectar un polígono de puntos topográficos referenciado al sistema de coordenadas nacional en el ISMMM para el desarrollo de las clases prácticas en las asignaturas de Topografía general y Topografía minera. Se fundamenta la proyección del polígono y la forma en que se van a distribuir los puntos por toda el área para simular las condiciones de una mina, por lo que se decide proyectar el polígono de forma tal que los elementos naturales del terreno del área del instituto sirvan para simular condiciones de una mina, tanto subterránea como a cielo abierto.

La importancia del proyecto, desde el punto de vista económico, radica fundamentalmente en la incorporación del polígono docente del Instituto Superior Minero Metalúrgico al Sistema Geodésico Nacional y pueda ser utilizado en diferentes trabajos de interés del estado.

Materiales y métodos

El proyecto para la construcción de un polígono de puntos topográficos es un documento organizativo en el cual se plasma la variante conveniente para realizar la monumentación y las mediciones de campo que permitan obtener las coordenadas (x , y , z) de puntos con fines topográficos, fijándose en este como aspectos fundamentales la forma en que deben realizarse las observaciones, así como la precisión con que se quieren obtener los resultados (Córdova, 1987).

El proyecto consta de dos etapas. En la primera se tiene en cuenta la elección de los puntos iniciales existentes en la zona de trabajo que pertenecen a la red geodésica

nacional, así como el trazado de estos puntos y la geometría de los métodos de densificación a utilizar en un mapa de la zona objeto de estudio. Al realizar este trabajo deben escogerse dos o más alternativas, ya que es posible que, al hacer el reconocimiento, se percate de que no se puede llevar a cabo lo proyectado por existir un determinado obstáculo u otro tipo de dificultad que no aparezca plasmado en el mapa. De ahí la importancia de escoger varias alternativas (Córdova, 1987).

La segunda etapa está constituida por la planificación del trabajo, incluyendo la determinación del instrumental que se va a emplear y el personal, haciéndose esto sobre la base de la precisión con que se quieran obtener los resultados.

Con el objetivo de planificar las áreas para el establecimiento de los puntos que conformarán el polígono, así como reconocer los puntos de la red geodésica nacional, se realizó la etapa de reconocimiento. Se recorrieron todas las áreas dentro del límite que corresponde al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Para revisar la red geodésica existente se realizó el recorrido por las diferentes áreas. En el lateral izquierdo del hotel Miraflores se encontraron tres puntos topográficos empotrados en la acera con chapas bronceadas pertenecientes a la red geodésica nacional, dos puntos al noroeste de la entrada principal denominados R-1 Y R-2 y un punto con nomenclatura MF-2 ubicado en la segunda entrada del reparto Miraflores.

Se encontró un punto topográfico en el triángulo de la rotonda empotrado en el contén de la acera con la nomenclatura de la empresa Geocuba TC-5.

Frente al hospital municipal, al bajar por la avenida Calixto García, se encuentra un punto topográfico empotrado en la acera con la nomenclatura 5277-4T.

Se realizó la búsqueda de la estación 5277-4-75, perteneciente a la red geodésica nacional de IV orden, encima del edificio número cuatro de Minas. Este punto de tipo chapa empotrada, ubicado en el año 1987, no pudo ser encontrado ya que en el edificio las labores de impermeabilización del techo sellaron la chapa.

Ubicación geográfica del área de proyecto

La zona donde se proyectan los puntos topográficos del polígono se encuentra ubicada en la ciudad de Moa, abarca un área de aproximadamente 5,5 km², comprendida entre

las coordenadas. $75^{\circ}00'$, $74^{\circ}25'$, a $20^{\circ}40'$, $20^{\circ}35'$. Ocupa la hoja de mapa a escala 1:25 000, con nomenclatura 5277-IV-a.

Dentro del municipio de Moa, el área de estudio limita al norte con el reparto Miraflores, al este con el reparto Caribe, al oeste con la empresa Comunales y al sur con áreas de la fábrica de hielo y el Combinado Lácteo (Figura 1).

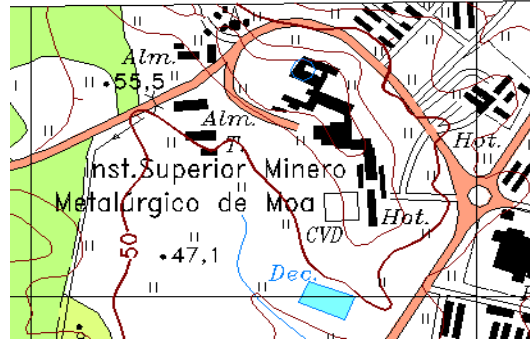


Figura 1. Localización del área de estudio.

Caracterización físico-geográfica

La topografía de la zona es relativamente ondulada, principalmente en la parte noreste, teniendo esta área como altura más significativa 61,6 m, con respecto al nivel medio del mar.

Estas condiciones del relieve permiten que para la densificación se utilice el método de poligonometría, que favorece las zonas de semiondulaciones existentes y, además, considera aspectos como: mejor acceso a los puntos, intervisibilidad entre ellos, buena construcción geométrica de las redes poligonométricas proyectadas. También se tuvo en cuenta lograr la ubicación de los puntos en lugares seguros, como las elevaciones.

Los suelos son rocosos ferríticos potentes que se desarrollan sobre serpentinitas, esto favorece el proceso de establecimiento de los puntos topográficos que conforman el polígono en el terreno, facilitando la construcción de monumentos sencillos o del tipo empotrado.

Caracterización topogeodésica del área de estudio

En la zona de estudio existe un total de cinco puntos pertenecientes a la red geodésica nacional (Tabla 1), con los valores de coordenadas en el sistema Cuba Sur. En la Figura 2 se muestra el esquema de distribución de la red.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de apoyo de la red geodésica nacional

Señal	X (m)	Y (m)	Z (m)	Categoría
R-1	695 808,610	224 541,759	50,111	1ra clase
R-2	695 854,823	224 472,865	48,795	IV orden
MF-2	695 794,634	224 615,177	46,863	1ra clase
5277-4T	696 127,475	224 197,984	35,394	IV orden
TC-5	696 044,236	224 214,961	39,760	1ra categoría

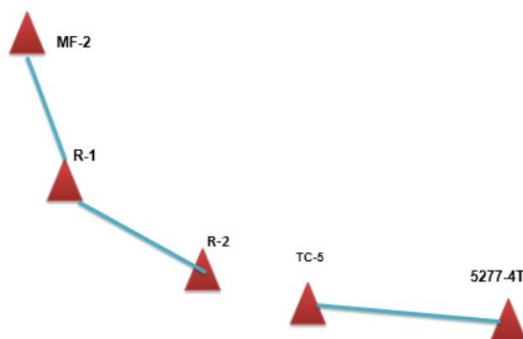


Figura 2. Esquema de la distribución de la red.

Proyección de la densidad de puntos

Considerando el orden de precisión de los puntos geodésicos encontrados en zona próxima al área de estudio, así como el equipamiento tradicional y moderno de instrumentos topográficos que serán utilizados con fines docentes, se decide proyectar el polígono de puntos topográficos con una precisión de primera categoría.

Las instrucciones técnicas para levantamientos topográficos a escala 1:2000, 1:1000 y 1:500 plantean que la densidad de puntos en el orden de precisión de primera categoría será de un punto cada $0,5-1 \text{ km}^2$.

Para calcular la cantidad de puntos a proyectar se emplea la ecuación 1.

$$CP = \frac{S}{D} \quad (1)$$

Donde:

CP: cantidad de puntos a proyectar;

S: superficie de la región a densificar;

D: densidad establecida según el orden de precisión.

Al aplicar la ecuación 1 se obtiene:

$$\text{Densidad promedio de un punto cada } 0,5 \text{ km}^2: CP = \frac{5}{0,5} = 10 \text{ ptos}$$

$$\text{Densidad promedio de un punto cada } 1 \text{ km}^2: CP = \frac{5}{1} = 5 \text{ ptos}$$

La cantidad de monumentos a proyectar para el polígono está entre 5 y 10 puntos.

Por la homogeneidad de la red se proyectaron nueve puntos de primera categoría que, en total con la suma de los puntos de la red existente, el polígono de puntos del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa estará formado por 14 monumentos topográficos amarrados al sistema nacional.

Instrumentos topogeodésicos a utilizar

Los instrumentos topográficos a utilizar en el proceso de medición de campo deben encontrarse apto para el uso, avalado con sello de certificación emitido por laboratorio metrológico competente.

Se utilizarán los receptores Leica GPS 1200 de doble frecuencia, con un error medio cuadrático de 5 mm+2 ppm y la estación total Leica TS09, con un error medio cuadrático en la medición del ángulo de cinco segundos y en la medición de la distancia de 3 mm+2 ppm.

Requisitos técnicos a tener en cuenta durante la proyección

1. Los puntos topográficos que conforman el polígono se proyectarán de 1ra categoría, tomando como base las estaciones de la red geodésica nacional de IV Orden y 1ra categoría.
2. La densidad establecida para la red geodésica es:
 - 1ra categoría: un punto de cada 0,5 – 1 km².

3. El lugar para ubicar los monumentos debe garantizar la conservación de los mismos por un período largo de tiempo, poseer seguridad, así como tener en cuenta el posible desarrollo sucesivo de la red geodésica, o sea:

- Debe ser de fácil acceso.
- El suelo debe ser firme, resistente y de poca humedad.
- Debe estar apartado de los lugares de tránsito de los vehículos.
- Debe de estar fuera de la zona de cultivo.
- Debe de estar alejado de la línea de transmisión eléctrica.
- Prever que el lugar en el futuro no sea utilizado para construcciones.
- De fácil colocación y de visibilidad de las señales que sobre él deban armar.
- No utilizar los lugares de depresión que retengan el agua producida por la lluvia.
- Las estaciones se proyectarán de forma que se garantice uniformidad, estar distribuidas equivalentemente en la región, o sea, tener en cuenta la homogeneidad de la red, siempre que las características físico-geográfico lo permitan.

Requisitos para la poligonometría de 1ra categoría

- Se proyectan y ejecutan mediante poligonales de enlace o sistemas poligonométrico con uno o más puntos nudos.
- Se deben trazar por direcciones que garanticen una buena unión geométrica entre los puntos, teniendo presente su futura utilización para distintos trabajos geodésicos.
- Durante la proyección y establecimiento de los puntos se debe garantizar la intervisibilidad entre los puntos anteriores y posteriores.
- Las poligonales deben ser lo más rectilíneas posibles por lo que el ángulo de salida y de entrada de la poligonal, con respecto a su diagonal, no debe ser mayor de 30° .
- La relación entre la longitud de la poligonal y su diagonal no debe ser mayor de 1,25 (ecuación 2).

$$\frac{Lp}{Ld} \leq 1.25 \quad (2)$$

Donde:

Lp: Longitud de la poligonal (suma de las longitudes de los lados);

Ld: Longitud de la diagonal (distancia entre los puntos inicial y final, respectivamente).

En la Tabla 2 se muestran las tolerancias admisibles establecidas en la minería para la medición de poligonales (Batista & Belete, 2013), los mismos deben cumplirse para el determinado orden de precisión en la realización de este proyecto.

Tabla 2. Parámetros técnicos para la poligonometría en la región minera de Moa

Características	4to orden	I categoría	II categoría	Técnica
Error relativo	1:25000	1:10000	1:5000	1:2000
EMC de la medición de ángulo, (s)	2	5	10	25
Error de cierre angular	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$	$50''\sqrt{n}$
Longitud límite, km	10	5	3	1,5

Proyección de la red

Teniendo en cuenta la distribución y densidad de los puntos de la red geodésica nacional existente en el área de trabajo se decide medir con el sistema de posicionamiento global (GPS) dos puntos principales que van a permitir el cierre de un sistema poligonométrico conformado por dos poligonales.

Los puntos GPS serán medidos a partir de dos estaciones de referencia. Primeramente, se debe ubicar la estación de referencia en el monumento R-2 de la red geodésica; se comprobará la estación móvil en los puntos R-1 y MF-2 para medir los nuevos puntos del polígono proyectado (GPS-1 y GPS-2). Luego se repite el procedimiento, pero ubicando la estación de referencia en el punto MF-2 y comprobando la estación móvil en los puntos R-1 y R-2. En la Figura 3 se muestra el esquema de medición.

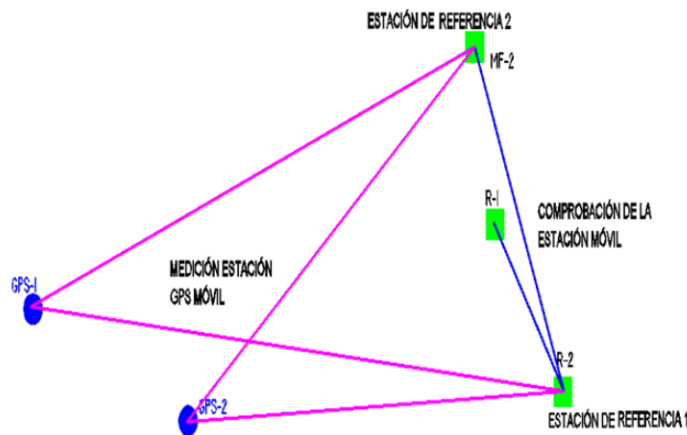


Figura 3. Proyección de la red GPS.

Para las mediciones de los puntos GPS que conformarán el polígono (GPS-1 y GPS-2) se utilizará el método estático diferencial y se debe tener en cuenta lo establecido en la

instrucción ITT-008 de la Empresa de Ingeniería y Proyectos del Níquel, avalada por la Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia (ONHG).

1. La distancia máxima entre estación de referencia y estación móvil no debe exceder los 10 Km.
2. Las condiciones de la geometría de los satélites (GDOP), debe ser menor de 3,0.
3. Tiempo de medición para cada punto, 25 minutos.
4. Debe comprobarse, antes de comenzar la jornada de medición de campo, el instrumento, a partir de la estación de referencia Blet; ubicar la otra estación móvil en uno de los puntos con coordenadas conocidas encontrados en la etapa de reconocimiento.
5. En gabinete debe consultarse, antes de realizar las mediciones, el almanaque de la constelación de satélites para planificar las jornadas de mediciones de campo.

En la Figura 4 se muestra el sistema poligonométrico proyectado para el polígono de puntos topográficos del ISMMM. La poligonal número uno de este sistema se proyecta al sentido de medición partiendo de la base topográfica, conformada por los puntos R-1 y MF-2 de la red geodésica nacional; con un itinerario de 0,37 km por área de los edificios 34 del reparto Miraflores, para realizar cierre en base topográfica, formada por los puntos medidos con el sistema de posicionamiento global (GPS-1 y GPS-2) (Figura 5). Esta poligonal permite densificar tres puntos que conformarán el polígono (PG-1, PG-2 y PG-3).

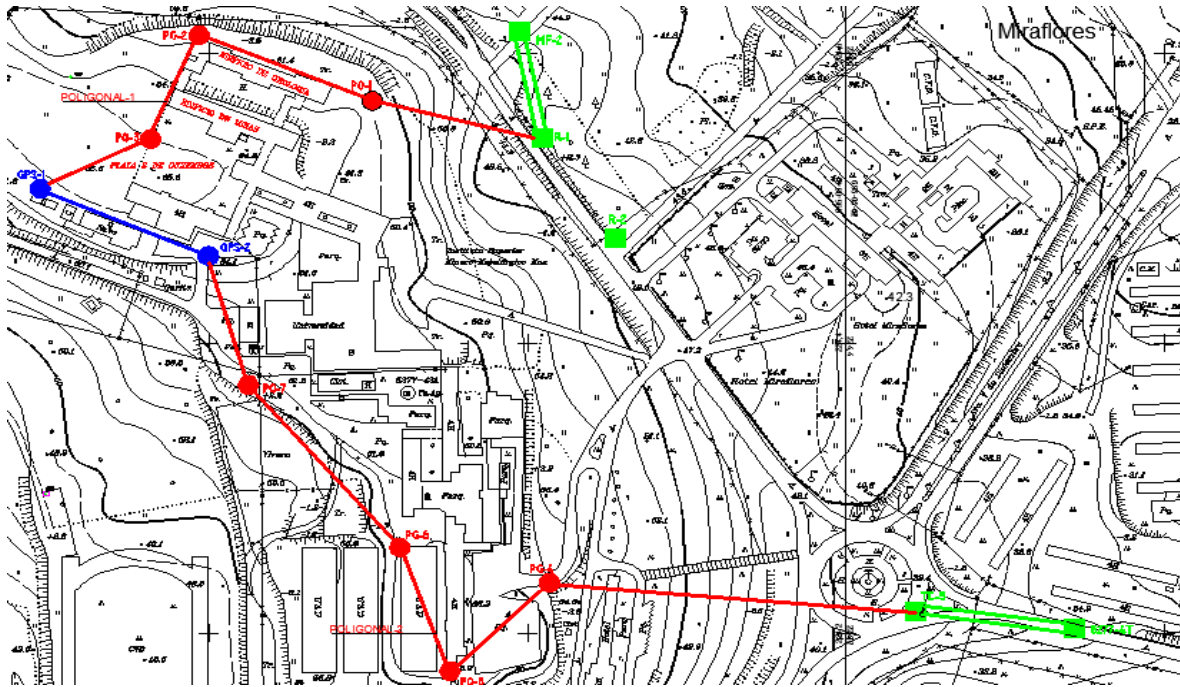


Figura 4. Sistema poligonométrico.

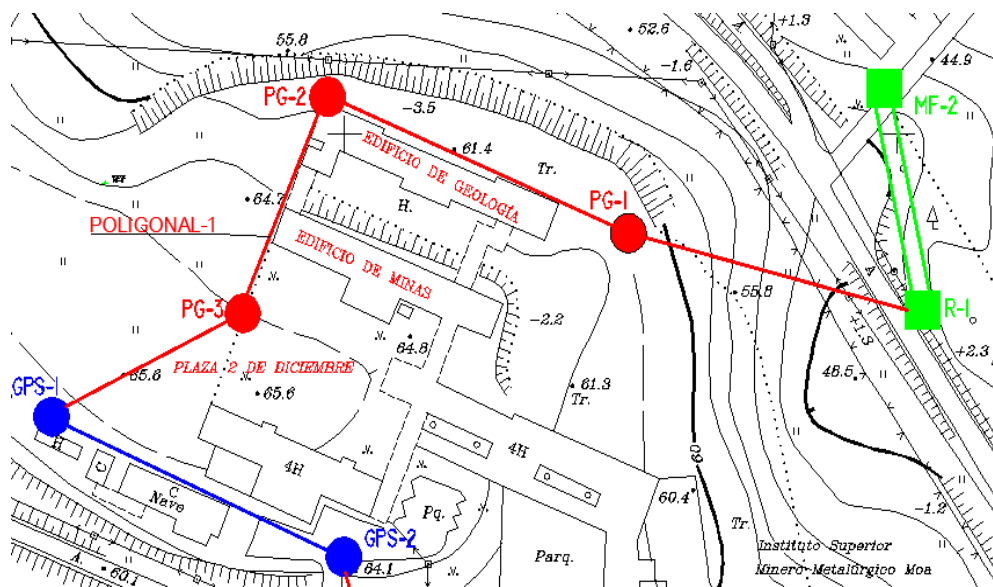


Figura 5. Itinerario de la poligonal 1.

La poligonal número dos parte de la base topográfica, formada por los puntos TC-5 y 5277-4T (Figura 6) de la red geodésica nacional, en dirección al hotelito de la universidad, ocupando las áreas deportivas del ISMMM y cerrando en los puntos GPS-1 y GPS-2. Esta poligonal permite densificar cuatro puntos que se le asignarán las nomenclaturas PG-4, PG-5, PG-6 y PG-7.

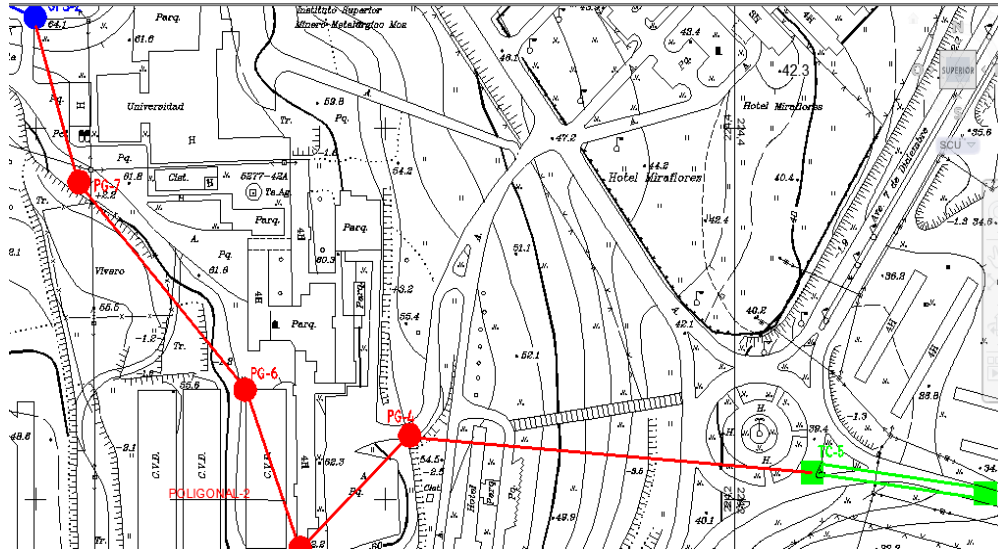


Figura 6. Itinerario de la poligonal 2.

El sistema poligonométrico será medido con la estación total TS09 y se utilizarán los parámetros determinados en la investigación realizada por Batista y Belete en el 2013 (Tabla 3) en los yacimientos lateríticos de la región minera de Moa. Cada día se verificará la estación total en una estación de medición realizando mediciones a puntos conocidos.

Tabla 3. Parámetro técnico para poligonometría

Características	IV Orden	I Categoría	II Categoría	I Clase	II Clase
Longitud de los lados de la poligonal en km	0,350	0,900	0,900	0,900	0,900

Requisitos técnicos de las poligonales proyectadas

En la proyección del sistema poligonométrico que conforma el polígono de puntos del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa se tuvo en cuenta los requisitos técnicos durante la proyección y los requerimientos para la poligonometría de 1ra categoría. La Tabla 4 muestra los resultados.

Tabla 4. Requisitos de la poligonal proyectada

Poligonales	Ángulo de entrada y salida con respecto a diagonal principal (o)	Coefficiente de relación entre longitud y diagonal principal
Poligonal 1	20	1,18
Poligonal 2	24	1,25

Tipos de monumentos

De acuerdo al tipo de suelo existente en el área del proyecto, que es de consistencia firme, se utilizará el monumento sencillo con una profundidad de hasta 50 cm y en forma de campana en el fondo, utilizando una chapa (Figura 7).

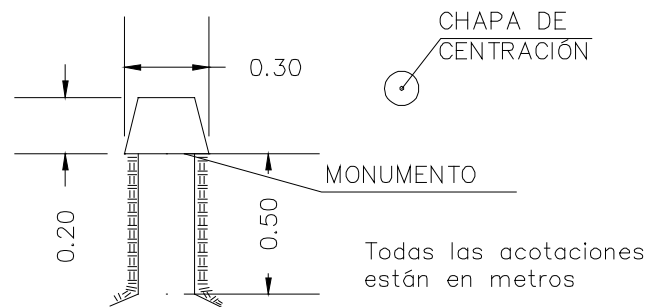


Figura 7. Esquema de monumento sencillo.

Se planificó en el reconocimiento realizar un monumento empotrado en la acera de la construcción destinada al Laboratorio de beneficios de minerales.

Conclusiones

Se proyectó un polígono de puntos topográficos con fines docentes en el área del Instituto Superior Minero Metalúrgico, amarrado al Sistema Geodésico Nacional, para la realización de las prácticas laborales, simulando condiciones reales en las minas.

El polígono garantiza el empleo de los puntos en diferentes trabajos topográficos y geodésicos que se realicen en el municipio de Moa.

Referencias bibliográficas

CÓRDOVA, G. 1987: *Geodesia* (tomo II). Editorial Científico Técnico, La Habana, 330 p.

BATISTA, Y. & BELETE, O. 2013: Consideraciones sobre la exactitud de las redes de levantamiento topográfico. *Minería & Geología* 29(3): 56-64.

SALEK, M. & JATRI, D. M. 2003: *Particularidades ingeniero-geológica del sector Miraflores, Atlántico y Vivienda Checa*. Zaldivar Riverón, A. B. (tutora). Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 45 h.

WANGDI, C. 2010: *Evaluación de la exactitud de los puntos de la red de apoyo creados con estaciones totales para calcular el volumen del mineral extraído*. Belete Fuentes, O. (tutor). Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 51 h.