

**IMPACTO DEL EMPLEO DE LA NUEVA TECNOLOGÍA DE ESTACIONES
TOTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS
POLIGONOMÉTRICOS EN YACIMIENTOS LATERÍTICOS CUBANOS**

**TOTAL IMPACT OF NEW TECHNOLOGY USE STATIONS FOR THE
DETERMINATION OF POLYGONOMETRIC TECHNICAL PARAMETERS IN
LUBRICATING CUBAN DEPOSIT**

Ing. Yorlandis Oliveros Blanco
Dr. C. Yordanys Esteban Batista Legrá

Fecha de recepción: 15 de diciembre de 2016

Fecha de aceptación: 20 de enero de 2017

RESUMEN

Se expuso el impacto económico, social y ambiental que produjo la aplicación de la nueva tecnología de estaciones totales para la determinación de los parámetros técnicos poligonométricos en los yacimientos lateríticos de la región minera de Moa; el cual se basa en el empleo de estaciones totales, tecnología que supone una mayor eficiencia en los procesos productivos y levantamientos topográficos. Se elaboró considerando un análisis interdisciplinario entre geodesia física, topografía, hidrografía, cartografía digital, entre otras. Como resultado se obtienen nuevos parámetros técnicos para la poligonometría en yacimientos lateríticos, lo que permitirá mitigar las afectaciones causadas a los bosques, a las especies endémicas y a las comunidades cercanas, unido a una considerable disminución en la apertura de trochas y las operaciones con maquinarias pesadas. En fin, contribuirá a conservar el paisaje del entorno de las zonas pobladas, así como, a minimizar las contradicciones entre las entidades mineras y los pobladores de las comunidades cercanas a los yacimientos en exploración.

PALABRAS CLAVES: topografía; comunidades mineras; coordenadas; puntos de apoyo; yacimientos lateríticos.

SUMMARY

It was exposed the economic, social and environmental impact that made the application of the new technology of total stations for the determination of technical polygonometric parameters in lateritic deposits of Moa's mining region. It is based on the use of total stations, a technology which entails an increased efficiency of the productive processes and soil surveys. It was designed based on an interdisciplinary analysis of Geodesy, Physics, Topography, Hydrography, Digital Cartography, among others. New technical parameters were obtained for the polygonometry in the laterite ore, which allows mitigating damages to forests, endemic species and nearby communities combined with the significant reduction in trail openings and the operations with heavy duty equipment. It is concluded that it will contribute to the conservation of the surrounding landscape in the populated areas as well as minimizing the conflicts between the mining industries and the locals living in the nearby areas to the ore bodies that are under exploration.

KEYWORDS: topography; mining communities; coordinates; support points; lateritic deposits.

INTRODUCCIÓN

En nuestros días el mundo está en un proceso de rápida transición, provocado por la aceleración de los avances científicos y tecnológicos. Este fenómeno se ha denominado como: Revolución Científica y Tecnológica, la cual está afectando el fundamento mismo de las sociedades, las economías y las relaciones internacionales y ha dado un gran impulso a la tendencia hacia la globalización, producida por cambios internacionales como la privatización emprendida por los grandes países desarrollados.

La Revolución Científica y Tecnológica es un cambio radical en las relaciones entre la ciencia y la técnica que impacta económica, política, social y culturalmente al

conjunto de actividades humanas. Por ello, ninguna esfera relacionada con la actividad humana queda excluida de su fuerte impacto.

Así, la geodesia y la topografía son disciplinas afectadas por el desarrollo tecnológico de estos días, con la aparición de nuevos instrumentos, tecnologías de medición y análisis computacional. Además, el hombre se ha visto obligado a evolucionar con respecto a su concepción científica y a los resultados que de ellas espera.

Estas ciencias tuvieron sus primeras manifestaciones en antecedentes que facilitaron su desarrollo desde mucho antes de que el hombre abandonara la vida nómada por:

- ✓ las señales que utilizó para orientarse;
- ✓ el uso de letreros toponímicos con indicación de distancias a destinos en carreteras, en faros ópticos o electrónicos;
- ✓ la publicación de tratados de geografía;
- ✓ el cálculo científico de la longitud de la circunferencia terrestre;
- ✓ la aparición del telescopio de Galileo o de Kepler;
- ✓ la aplicación de la Mecánica Celeste por Newton;
- ✓ el uso de los sistemas de coordenadas;
- ✓ el cálculo diferencial de Neper;
- ✓ el surgimiento de los logaritmos;
- ✓ otras vías que permitieron avanzar en la ciencia de la observación de los astros.

Sin embargo, en la actualidad la geodesia ha superado mucho su base geométrica inicial, se desenvuelve en un contexto de entornos físico-dinámicos fundamentales y ha pasado de las interpretaciones bidimensionales a las tridimensionales (Belete, 2015).

Las técnicas de medición contemporáneas se inscriben ahora en un entorno dinámico-espacial que permite resultados muy precisos en tiempos relativamente cortos, en comparación con los métodos tradicionales. En particular, las Estaciones Totales y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que, desde la década de los

noventas, vinieron a revolucionar la tecnología de medición geodésica, sustituyendo ventajosamente los métodos de posicionamiento astronómico: triangulación, trilateración, poligonometría y doppler, aplicados para conformar la Red Geodésica Estatal hasta fechas recientes.

No obstante, los extraordinarios adelantos hechos en los últimos tiempos en el campo de la ciencia y la tecnología representan un reto particularmente difícil para los países en desarrollo. Tales avances brindan nuevas oportunidades, pero para aprovecharlos hay que aumentar rápidamente la capacidad de aplicar nuevas tecnologías en la promoción de su desarrollo.

Por esta causa, en Cuba, independientemente de que se avance en pos de alcanzar los niveles requeridos de desarrollo tecnológico, aún se presentan innumerables limitaciones que inciden también en la geodesia y la topografía; por ejemplo, actualmente los procedimientos que rigen los trabajos topográficos se encuentran desactualizados por la falta de incorporación de la nueva tecnología.

En los últimos años, 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 (GPS) y estaciones totales, con ello se abarca el mayor campo posible de aplicación en sectores como la minería, la construcción y la agricultura; pues, los acelerados, profundos y generalizados cambios que vive la humanidad desde las últimas tres décadas encuentran una de sus causas fundamentales en la interrelación cada vez más estrecha y orgánica entre desarrollo científico, avances tecnológicos y su aplicación en la esfera de la producción.

Sin embargo, las corrientes internacionales de comercio y mantenimiento de estaciones totales están controladas por los grandes países desarrollados y por las instalaciones y agentes internacionales que estos países dominan. Estos se limitan a la venta de la nueva tecnología y no a la transmisión de conocimientos al hombre, con lo que frenan el desarrollo de los países en desarrollo.

Ello motiva a que, en el proceso de implementación de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido Comunista de Cuba, sea un objetivo la creación de una capacidad nacional en materia de ciencia y tecnología que minimice la importación de tecnología y la dependencia económica por esta transferencia de tecnología.

Lo anterior, supone la realización de inversiones en las áreas de las ciencias básicas, la innovación tecnológica, la investigación y el desarrollo, es decir, la generación de conocimientos científicos y técnicos. Independientemente de ello, el empleo de Estaciones Totales en la poligonometría en Cuba no ha logrado gran auge, ya que los parámetros técnicos vigentes limitan las potencialidades, mientras que en el resto del mundo ha alcanzado un amplio desarrollo.

En este país se han establecido dos métodos para la obtención de las coordenadas de los puntos de apoyo: poligonometría y nivelación, cuando con la nueva tecnología se pudiera eliminar uno de ellos e integrar los resultados en uno más efectivo, menos complejo y muy eficiente.

Particularmente, para los trabajos de la topografía minera, la industria niquelífera requiere, con intensidad cada vez mayor, instrumentos topográficos que se desempeñen satisfactoriamente en condiciones adversas, a costos accesibles y en corto tiempo; pues, el desarrollo de la topografía y la demanda de los trabajos en la minería requieren un marco de referencia que permita definir inequívocamente y con precisión los diversos rasgos y detalles.

Por las condiciones físico-geográficas y la extensión de los yacimientos cubanos la obtención de las coordenadas de puntos de la red de apoyo a los trabajos topográficos se ha ejecutado por la poligonometría. Con el paso de los años, el equipamiento minero y la tecnología empleada para su determinación no satisfacen las exigencias en cuanto a la exactitud y precisión de las nuevas tecnologías de los instrumentos topo-geodésicos.

Así que, con el desarrollo científico-técnico, el avance de la tecnología de instrumentos topográficos y la necesidad de estudiar los distintos fenómenos naturales que inciden sobre la vulnerabilidad de obras mineras, se hace necesario crear bases de apoyo con criterios de exactitud más rigurosos, que permitan dar respuesta a las necesidades topográficas siempre crecientes en los yacimientos lateríticos cubanos, sobre todo, si se tiene en cuenta que las redes geodésicas existentes en los yacimientos lateríticos cubanos, en las minas de las fábricas «Pedro Sotto Alba» y «René Ramos» datan de antes de 1959 y la de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara desde el año 1986 (Chencho, 2012).

Por ello, se sugiere el uso de la nueva tecnología de estaciones totales en los yacimientos lateríticos cubanos, justificado por las potencialidades en función de obtener mayor productividad y calidad en el desarrollo de su trabajo. Lógicamente esto exige preparación técnica del personal que lo manipula y conocimientos tecnológicos para su aplicación en determinadas industrias, puesto que el uso adecuado de la tecnología implica una necesaria preparación cultural del hombre que la aplica.

La tecnología de estaciones totales se introdujo en Cuba a partir de la década del 90, precisamente en la industria del níquel, en la Empresa de Ingeniería y Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL). Posteriormente, profesionales de las minas de las plantas de níquel «Comandante Ernesto Che Guevara», «Pedro Sotro Alba» y «René Ramos Latour» se fueron interesando en obtener los conocimientos para su aplicación.

Estos lograron adquirir experiencias empíricas que luego fueron transmitidas a especialistas, quienes a partir del año 2000 adquirieron los instrumentos. Entre ellos se encuentran el grupo empresarial GEOCUBA y las empresas del frente nacional de proyectos.

Como resultado, el uso de las estaciones totales para los trabajos de exploración geológica, explotación y estudios de rehabilitación minera y en ramas como la construcción y la agricultura, ha jugado un papel importante en Cuba y en el resto del mundo.

Muestra de ello es que en los últimos años aumentó considerablemente la extracción de minerales y se ha venido trabajando en proyectos de máxima prioridad del estado, como son los proyectos de agricultura de precisión que se implementan en el occidente del país y que centran las bases para el proyecto minería de precisión.

Este último se fundamenta en el empleo del sistema de posicionamiento global GPS en las maquinarias mineras para mejorar el rendimiento en los procesos de arranque y en que las bases de apoyo para el monitoreo del sistema GPS se construyen con el método poligonometría.

Por otra parte, en la literatura e instrucciones vigentes se recogen los principales parámetros para la densificación de redes geodésicas por poligonales con diferentes

órdenes de precisión, sin embargo, estos documentos no tienen en cuenta la precisión de la nueva tecnología (estaciones totales) y es pobre la información que aparece relacionada con el uso de la poligonometría en las actividades mineras.

En este sentido, la geodesia, como ciencia, se ve en la necesidad de mejorar sus métodos, con el objetivo de obtener parámetros poligonométricos que respondan a las potencialidades de la nueva tecnología (estaciones totales) y a que esta pueda ser utilizada de acuerdo con la productividad para la cual fue diseñada.

De modo que se considera que el uso de la nueva tecnología de estaciones totales contribuiría a solucionar limitaciones que se presentan actualmente en los trabajos de topografía minera, tales como, la existencia de poligonales de diferente precisión lineal e igual precisión angular.

Ello se evidencia en la caracterización de la exactitud de las redes de densificación geodésica a utilizar en los trabajos de la topografía minera, realizada por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía ICGC (1987), en la que aparecen las poligonales divididas en dos clases, cuya precisión lineal es 1:2000 y 1:1000 y con una sola precisión angular ($1'\sqrt{n}$).

Se demuestra también en que hoy las instrucciones técnicas del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía ICGC (1987) limitan la distancia entre puntos de poligonal hasta 300 m, esto provoca que en la exploración geológica se intensifiquen las labores de trochado y mediciones y se incremente el número de trabajadores y el tiempo de trabajo.

Además, las instrucciones técnicas del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía ICGC (1987) muestran, en uno de sus acápites, las características de las poligonales según su exactitud y valora la precisión de estas en la primera y segunda clases de precisión (Tabla 1).

En dichas instrucciones técnicas tampoco se muestra ningún criterio para elegir si una poligonal se realiza de primera o de segunda clase, dificultad que se supera con las estaciones totales, pues estas han revolucionado el proceso de medición en campo. Ellas pueden medir distancias de hasta 3 km con precisiones milimétricas.

Tabla 1. Parámetros de la red de densificación geodésica existente en la actualidad

Características	I clase	II clase
Error relativo	1:2000	1:1000
Error de la medición de ángulo, seg
Error de cierre angular	$60''\sqrt{n}$	
Longitud límite, km

La investigación propone realizar un análisis de la precisión de las poligonales de las clases I y II construidas con estaciones totales, por ser ellas las que más se usan en los yacimientos lateríticos del norte de Holguín donde se apoyan los levantamientos topográficos.

Se conoce por los resultados de la experiencia práctica del hombre y las características técnicas del equipamiento que se emplea que se pueden realizar mediciones de distancias mayores en un menor tiempo, con lo que se minimiza la construcción de trochas.

Por tanto, se plantea como objetivo de la investigación: establecer un método que permita la obtención de parámetros de medición en la poligonometría, con el empleo de estaciones totales, en los yacimientos lateríticos cubanos.

Metodología

En una primera etapa se analizó críticamente la información contenida en documentos científicos, fundamentalmente las investigaciones realizadas por Desdín (2009) y por varias empresas (Geocuba, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, Ceproniquel).

En la segunda etapa se realizó una caracterización de los factores que tienen una incidencia directa en las mediciones con estaciones totales, como son: la

temperatura, la humedad, la refracción solar, las pendientes y el tamaño de cada cuerpo de mineral en los yacimientos a estudiar.

En una tercera etapa se realizaron mediciones experimentales en el laboratorio y en el terreno.

En la cuarta etapa, a partir de las investigaciones realizadas y de los resultados obtenidos, se propuso y validó el método.

RESULTADOS

Síntesis del método que se propone para la determinación de parámetros técnicos poligonométricos con estaciones totales en yacimientos lateríticos cubanos

El método descrito en el siguiente flujograma (Figura 1) relaciona las etapas de los principales trabajos de campo y gabinete para la obtención de los nuevos parámetros técnicos poligonométricos. Cada uno de los instrumentos de medición cuenta con sus etapas, donde se realizan mediciones experimentales de campo y, posteriormente, estas se procesan e interpretan en gabinete con la ayuda de softwares de cálculo y dibujo.



Figura 1. Flujograma que muestra el método empleado en la determinación de los parámetros técnicos poligonométricos (Batista, 2016).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Impacto del empleo de la nueva tecnología de estaciones totales en las condiciones actuales

Impacto económico:

Aumento de la productividad en los trabajos topográficos de los yacimientos lateríticos cubanos, en sus procesos de exploración geológica, explotación y rehabilitación minera, pues se logrará emplear la nueva tecnología a plena capacidad de diseño, en función de la disminución de costos.

Al aumentar las magnitudes de los parámetros poligonométricos actuales se logrará la disminución de los puntos de apoyo en más de un 40 %, con lo que se contribuirá al ahorro de materiales para su construcción (cemento, áridos, acero).

La determinación de los parámetros técnicos poligonométricos permitirá la obtención de bases de apoyo con criterios de exactitud rigurosos que den paso al proyecto minería de precisión, lo que permitirá una planificada y correcta explotación minera que logre la disminución de los altos costos en la rehabilitación minera.

Mientras que, con los parámetros técnicos vigentes, se emplean dos métodos diferentes para poder obtener los valores de coordenadas (x,y,z): los planimétricos y los altimétricos. Ello trae consigo que aumenten las labores de campo innecesariamente, que se extienda la permanencia en terreno, que se incremente el gasto de combustible y la cantidad de trabajadores para enfrentar las labores de trochas; lo que encarece las labores y aumenta el costo de producción.

Impacto social:

Para poder implementar el método, surge la necesidad de elevar el nivel científico de los recursos humanos, fundamentalmente de los que no están vinculados directamente con la producción.

También se eleva la seguridad del hombre que opera las estaciones totales porque se conocen los permisos adecuados para la tecnología, a partir de un fundamento científico. Así que se humaniza más el trabajo y se garantiza al individuo un ambiente de trabajo favorable y confiable.

Al disminuir la apertura de trochas y las operaciones con maquinarias pesadas y conservar el paisaje del entorno de las zonas pobladas se minimizan las contradicciones entre las entidades mineras y los pobladores de las comunidades cercanas a yacimientos en exploración.

Al disminuir los trabajos de campo, particularmente la apertura de trochas, se impone la necesidad de reducir las plantillas de las brigadas de topografía. Esto puede traer consigo el surgimiento de conflictos laborales, por lo que es de suma importancia cumplir a cabalidad con la estrategia del país sobre el reordenamiento

de la fuerza laboral en otras tareas, dando el tratamiento adecuado a cada trabajador.

Mientras que, con el método vigente, se afectan las zonas cercanas a los yacimientos en proceso de exploración geológica; se generan contradicciones entre sus pobladores y las direcciones de las industrias del níquel y el gobierno, pues, al realizar el trochado, van desapareciendo las especies de animales y plantas frutales endémicos de la zona de los cuales se alimentan los miembros de las comunidades; se afecta el entorno paisajístico y se produce intenso ruido y polvo por las máquinas que realizan las trochas.

Además, se origina incertidumbre en el hombre que opera la tecnología al conocer que, según instrucciones, su instrumento tiene mayor rendimiento del que está obteniendo, pero desconoce su alcance.

Impacto ambiental:

Como resultado de la reducción de la apertura de trochas disminuye la afectación al paisaje y a las especies endémicas de las zonas donde se encuentran los yacimientos lateríticos en exploración.

A partir del resultado de los nuevos parámetros técnicos poligonométricos, obtenidos como consecuencia de la aplicación del método propuesto, se minimiza la monumentación de puntos topográficos de apoyo a la minería, por lo que se disminuye la afectación de los suelos. Mientras que con el método vigente se afectan el aire, las aguas y el suelo.

Aire

Se produce contaminación, fundamentalmente por polvo y gases, ocasionada por la maquinaria minera en la apertura de trochas, la explotación minera, el tráfico de camiones, así como por la eliminación del aporte de oxígeno realizado por los árboles.

Aguas

Se produce contaminación de las aguas superficiales, producida por el tráfico de camiones y por las operaciones necesarias para la creación de las escombreras y la

construcción de viales e infraestructuras.

Suelo

Se produce impacto sobre la flora y la fauna, principalmente por las operaciones de destape, la construcción de caminos de acceso, la preparación del área y la ubicación de las escombreras.

La monumentación de puntos de apoyo topográficos en el terreno es densa debido a las mediciones cortas de los lados de las poligonales, con lo que el suelo se expone a la erosión y se produce la destrucción de nichos ecológicos para la fauna y la alteración del paisaje.

CONCLUSIONES

El conocimiento científico de los nuevos parámetros técnicos para la poligonometría en yacimientos lateríticos permitirá al hombre, como ser social, emplear confiablemente la tecnología de estaciones totales de acuerdo con la productividad para la cual están diseñadas.

La obtención de nuevos parámetros técnicos poligonométricos, fundamentados científicamente a partir de un método que responde al uso de una nueva tecnología, permitirá mitigar las afectaciones a los bosques, al paisaje, a las especies endémicas de la zona de estudio y a las comunidades cercanas.

Se demuestra que la aplicación del método propuesto tiene un impacto económico positivo, pues se logra aumentar la productividad y la eficiencia en los trabajos de campo; sin embargo, ello genera un impacto negativo en lo social, cuya principal consecuencia es reordenar, en otras tareas, al personal innecesario en las brigadas de topografía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA LEGRÁ, Y. (2016). *Procedimiento para la modelación de coordenadas espaciales en la región minera de Moa* (Tesis doctoral). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

COLECTIVO DE AUTORES. (1987). *Instrucciones técnicas para levantamientos topográficos a escala 1:2000, 1:1000, 1:500*. ICGC. La Habana: Editorial del centro de información de la construcción.

CHENCHO, N. (2012). *Levantamientos con Estaciones Totales* (Tesis de pregrado). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

DESDÍN, S. (2009). *Caracterización de los movimientos lentos de la corteza terrestre en la región minera del Nordeste de Holguín* (Tesis doctoral). Instituto Técnico Militar, Ciudad de la Habana.

BELETE FUENTES, O. (2015). *Topografía General*. La Habana: Editorial Félix Valera.