

Determinación de la red óptima de levantamiento topográfico con estación total para el cálculo de volumen

Determination of the optimal topographic survey network with total station for volume calculation

Orlando Belette Fuentes¹, Alfredo Maceo Marcheco² Yordanys Esteban Batista Legrá³

Para citar este artículo: Belette, F.O., Maceo, A.M. y Batista, Y.E. (2020). Determinación de la red óptima de levantamiento topográfico con estación total para el cálculo de volumen. Revista de Topografía Azimut, 12(1), 08-17.

Fecha de Recepción: 20 de marzo de 2020

Fecha de Aceptación: 17 de junio de 2020

Resumen

El objetivo de este trabajo es determinar la red óptima de levantamiento topográfico para realizar el cálculo de volumen en canteras, explanaciones y en otras áreas donde se ejecuten movimientos de tierra, empleando como instrumental una *estación total* con sus accesorios. La investigación realizada en las áreas objeto de estudio permitió definir que para un terreno llano (pendiente menor que 4%), la red óptima de levantamiento topográfico es cada 10 m, donde además se pudo comprobar (a partir del empleo del *AutoCAD Civil 3D*) que la diferencia en el cálculo de volumen para el movimiento de tierra es despreciable (menor que 0,4%); y para un terreno montañoso (pendiente mayor que 9%), la diferencia es más representativa y la red óptima es cada 5 m.

Palabras clave: red óptima, estación total, volumen de terraplén o relleno, levantamiento topográfico, MDT.

Abstract

The objective of this work is to determine the optimum net of topographic surveying to carry out the calculation of volume in quarries, terraces and in other areas where earth movements are executed, using as equipment a Total Station with their accessories. The investigation carried out in the areas study object, allowed to define that for a flat ground (smaller slope that 4%), the optimum net of topographic surveying is each 10 m, where it could also be proven (starting from the employment of the *AutoCAD Civil 3D*) that the difference in the calculation of volume for the earth movement is worthless (smaller than 0.4%); and for a mountainous ground (bigger slope that 9%), the difference is more representative and the optimum net is each 5 m.

Keywords: optimum net, total station, embankment volume or filler, topographic surveying, MDT.

¹PhD, Profesor Titular, Universidad de Holguín, correo electrónico: orlandobelette@gmail.com

²Master en Topografía minera, Centro de proyectos de la agricultura, Guantánamo.

³PhD, Profesor Titular, Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo vertiginoso de la tecnología en la fabricación de instrumentos de medición para la rama de la topografía para la ejecución de los levantamientos de campo, como son las estaciones totales, GPS, niveles electrónicos, etc., así como el diseño de potentes *softwares* para el procesamiento y dibujo de los planos topográficos, como *Surfer*, *Cartomap*, *Civil 3D* y *AutoCAD Land*, contribuyen al aumento en la productividad, calidad y eficiencia de los trabajos de topografía. (Batista, y Belette, 2013, p. 64). (Leica Geosystems, 2007).

Todo esto conlleva obtener mejores resultados en las ramas de la prospección geológica, explotación minera, de la construcción y otras donde se necesite hacer cálculos de volumen de material, ya sea en canteras (de material de la construcción o mineral), explanaciones, etc. Aparejado a esto se suman nuevas y mayores exigencias, respecto a su seguridad, larga duración en servicio y alta eficiencia. Por tal motivo no se concibe su ejecución sin la aplicación de tecnologías apropiadas que incluye la determinación de la red óptima de levantamiento topográfico detallado con estación total para el cálculo de volumen, en las áreas donde se ejecuten esos movimientos de tierra.

Uno de los aspectos de mayor influencia en el costo de la construcción de una presa, carretera u otra obra, así como la exploración minera, es sin dudas el movimiento de tierra.

El cálculo de los volúmenes se realiza por el método de las secciones transversales y de las secciones longitudinales, sin importar el tamaño de la cuadrícula, ni el relieve, aspectos que inciden en la precisión del cálculo. No se determina la red óptima de levantamiento topográfico con *estación total* para calcular el volumen, por tanto, se desconocen las influencias que podría tener en el resultado,

además, se realizan de forma manual. (Belete, 2000, p.12) y Batista y Belette. 2013, p.34) y (Hernández, 2013, p.16).

Pretendemos con este trabajo de investigación realizar el cálculo de volumen con el empleo del *software AutoCAD Civil 3D*, utilizando las bases de datos obtenidas a partir de las mediciones con una estación total en diferentes objetos de estudio (21 viviendas biplantas, base para tanques de combustibles y lubricantes, cantera La Balastera); con el objetivo de determinar la red óptima de levantamiento topográfico y poder generalizar los resultados en canteras, explanaciones y en otras áreas donde se ejecuten movimientos de tierra. (Pérez y Sánchez, 2004, p.58 y Téllez, 2013, p.109).

METODOLOGÍA

El cálculo de volumen mediante *software AutoCAD Civil 3D* en diferentes zonas donde se llevó a cabo el levantamiento topográfico, se realiza por una metodología elaborada por los autores, el cual procesa datos obtenidos de diferentes frentes de extracción en la Mina y en el sector de la construcción. Según revisión bibliográfica, no se ha contactado con otra metodología elaborada que considere el trazado de cuadrículas para calcular el volumen en terreno con diferentes pendientes.

Para la realización de este trabajo fue necesario la recopilación y procesamiento de diferentes bases de datos de los levantamientos topográficos, a escala 1:200, obtenidos por las mediciones directas en el campo de Mina, aportados por diferentes organismos, es decir, puntos tomados en redes de levantamiento cada 4 a 6 m, en diferentes condiciones físico-geográficas, en áreas donde se realizan movimientos de tierra, ya sea extracción de mineral, material para la construcción o donde se construirá alguna explanación para la ejecución de alguna obra. Las datas utilizadas se filtraron por

el método de las tres sigmas (Belete, 1998, p.67), para eliminar los errores groseros de la población. Las cuadrículas se elaboraron para levantamientos de 5, 10 y 15 m, se obtuvieron datos de diferentes fechas, en el caso de las explanaciones se midieron antes y después de su ejecución (Norma Ramal NR FA, 01 de enero de 2001. Hidrografía y Geodesia).

El estudio adoptó bases de datos de áreas con las siguientes características:

- Coordenadas de la base de apoyo para el levantamiento topográfico de la Mina Ernesto Che Guevara y yagrumaje Sur de Moa,
- Base de datos para la construcción de 21 viviendas biplantas en un terreno con pendiente menor que 4 %, ubicada en la provincia de Guantánamo y municipio de Niceto Pérez,
- Base para tanque de combustibles y lubricantes en un terreno con pendiente mayor que 10 %, ubicada en la provincia de Guantánamo y municipio de Imías,
- Cantera La Balastera con pendiente mayor que 10 %, ubicada en la provincia de Guantánamo y municipio de Maisi.

Estas bases de datos fueron obtenidas por la empresa de proyectos Genedis (Generando Diseño), otra base fue aportada por Ceproníquel (Centro de Proyectos del Níquel de Moa), obtenida del levantamiento topográfico de las dos superficies del yacimiento Yagrumaje Sur, de la Empresa Ernesto Che Guevara con pendiente mayor que 9 %.

En todos los casos, los levantamientos fueron ejecutados con Estaciones Totales Leica TPS 805. Para este trabajo se crearon las bases geodésicas planimétricas de primera clase o superior, y altimétricas con precisión de nivelación técnica (Leica Geosystems, 2007,

p.17).

Una vez realizados los levantamientos topográficos, se adelantó el trabajo de gabinete, con la descarga de los datos por vía cable desde la estación total mediante el *software Leica Geo Office Tools*, y se guardaron como un fichero de datos txt. Con la base de datos de las dos superficies, se procedió a la confección del *modelo digital del terreno (MDT)* y luego se calculó el volumen con el *software* antes mencionado. (Calaña y Belete, 2014, p.67) y (Quesada y Suárez. 2015).

Para la obtención de los resultados se recurrió al procedimiento registrado por Ceproníquel, que incluye:

- Procedimiento para importar datos de puntos.
- Procedimiento para crear una superficie TIN (red irregular triangular) (figura 1).

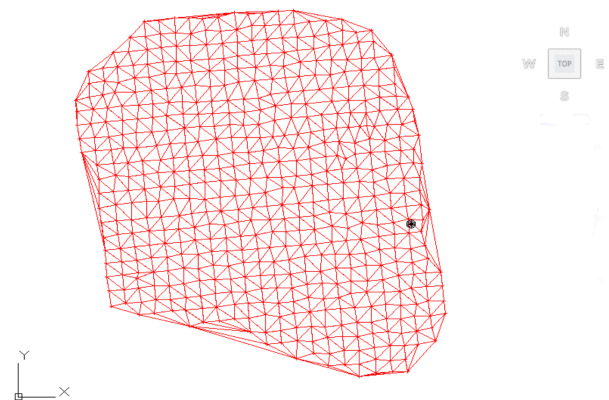


Figura 1: Superficie TIN sin curvas de nivel.

RESULTADOS

Comparación de la interpolación de las curvas de nivel

La interpolación de las curvas de nivel creadas por el *software AutoCAD Civil 3D* es un parámetro importante para el cálculo de

volumen, ya que de ello depende la precisión de los cálculos:

- Curvas de nivel creadas por *AutoCAD Civil 3D* para 21 viviendas biplantas para red de levantamiento cada 5 m (figura 2).

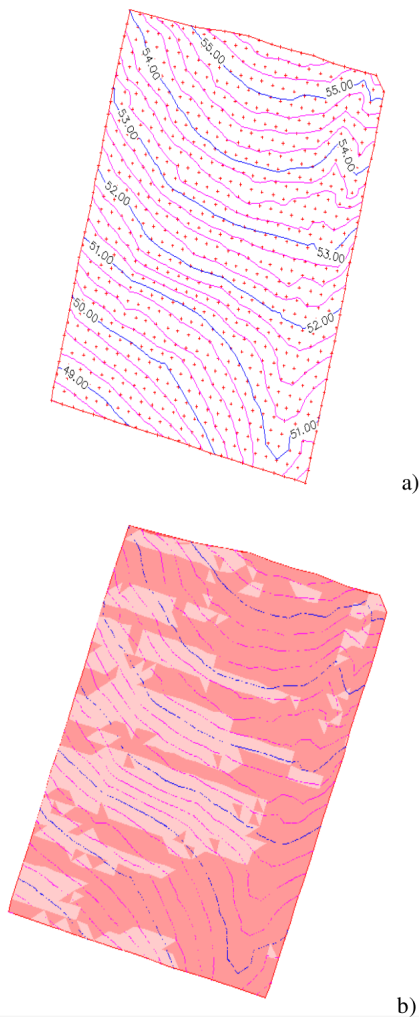


Figura 2: a) Curvas de nivel para la red de levantamiento cada 5 m del terreno; b) vista en 3D.

- Curvas de nivel creadas por *AutoCAD Civil 3D* para 21 viviendas biplantas para red de levantamiento cada 10 m (figura 3).

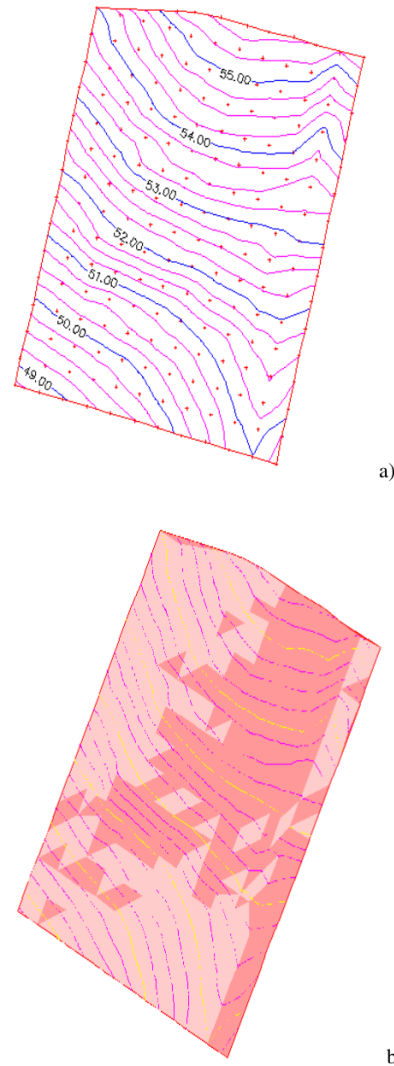


Figura 3: a) Curvas de nivel para la red de levantamiento cada 10 m del terreno; b) vista en 3D.

- Curvas de nivel creadas por *AutoCAD Civil 3D* para 21 viviendas biplantas para la red de levantamiento cada 15 m (figura 4).

Según las observaciones y análisis de las curvas de nivel (figuras 2-4), no existe una diferencia a considerar que pueda incidir en el resultado del cálculo de volumen de movimiento de tierra de una red a otra; las mismas mantienen su morfología y un mismo

relieve independientemente de la red de levantamiento.

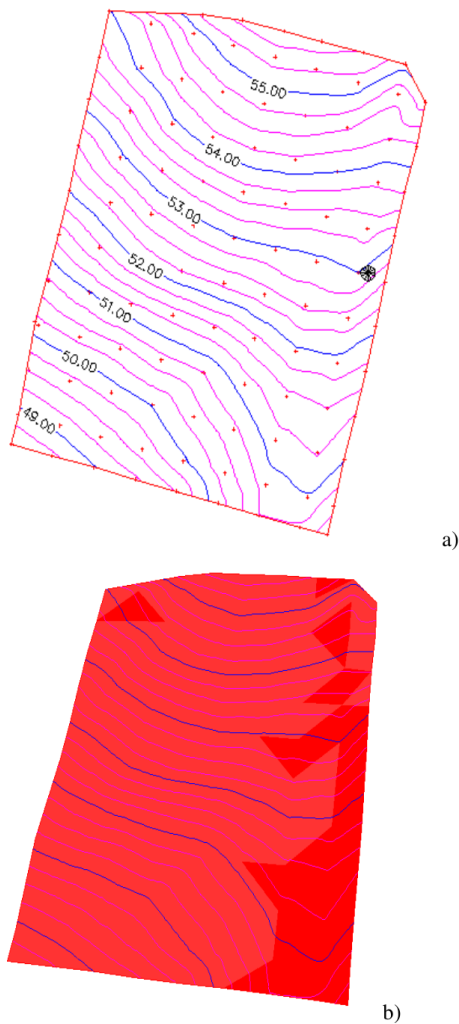


Figura 4: a) Curvas de nivel para la red de levantamiento cada 15 m del terreno; b) vista en 3D.

Cálculo de volumen con el *software Autocad Civil 3D*

El análisis de los resultados del cálculo de volumen de movimiento de tierra entre las

diferentes áreas de estudios, para determinar la red óptima de levantamiento topográfico, partió del criterio de que el valor más exacto se obtendrá con la red de levantamiento cada 5 m y que la diferencia máxima permisible en el cálculo de volumen entre dos redes será de 2,5 %, según instrucciones técnicas para los trabajos topográficos mineros. (Belete, 1998, p. 56). En las tablas 1 a 4 se pueden apreciar los resultados obtenidos.

En este caso, en terreno con poca pendiente (tabla 1 y figura ??), se observan valores muy similares entre la red de 5 m y la red de 10 m, donde la mayor diferencia se obtiene en el corte, que es el volumen más significativo, y esta diferencia es menor que 2,5 %, y en el relleno es 1,99 m³. Para el caso de la red de 15 m, la diferencia en el corte es de 4,21 % y mucho mayor en el relleno, que supera el 437 %.

Aquí se observa que, para el volumen de corte, la diferencia de la red de 5 m, con respecto a las de 10 m y 15 m, es menor que 1 % (tabla 2); sin embargo, en el volumen de relleno, la diferencia es exagerada.

La tabla 3 muestra que los volúmenes de corte para las redes de 10 y 15 m son mayores que 2,5 % respecto a la red de 5 m, y los volúmenes de relleno superan en más del 500 % la diferencia, comparado con la red de 5 m.

En la tabla 4, se observa que para el volumen de corte la red de 10 m da una diferencia menor que 1 %, y en el volumen de relleno mayor que 2,5 %; en el caso de la red de 15 m, tanto para el volumen de corte como el de relleno la diferencia es mayor que 2,5 %, comparado con la red de 5 m.

Tabla 1: Volumen obtenido con software AutoCAD Civil 3D, área pendiente menor que 4%.

Cálculo de volumen para 21 viviendas biplantas							
Red de cuadrículas	Área	Volumen de	Volumen de	Diferencia	Diferencia	Porcentaje respecto red 5 m	
	m ²	corte, m ³	relleno, m ³	corte/5 m m ³	Rell/5 m m ³	Corte	Relleno
1	2	3	4	5	6	7	8
Cada 5 m	18447,8	14264,79	1,99	0	0	0	0
Cada 10 m	16265,5	14208,05	0	56,74	1,99	0,39	100
Cada 15 m	17509,9	14865,07	10,7	-600,28	-8,71	4,21	437,68

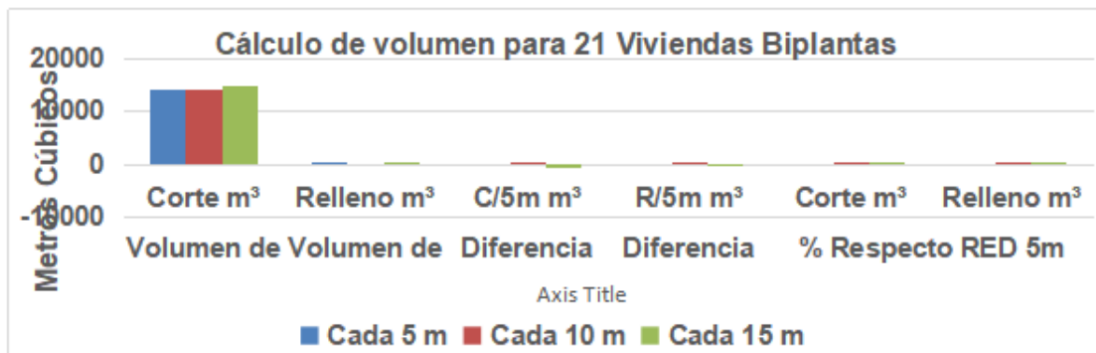


Figura 5: Comparación de los volúmenes obtenidos para diferentes redes del levantamiento topográfico detallado para 21 viviendas biplantas.

Tabla 2: Volumen obtenido con el software AutoCAD Civil 3D, área pendiente mayor que 10%.

Cálculo de volumen para base de tanque de combustibles y lubricantes							
Red de cuadrículas	Área	Volumen de	Volumen de	Diferencia	Diferencia	Porcentaje respecto red 5 m	
	m ²	Corte m ³	Relleno m ³	corte/5 m m ³	Rell/5 m m ³	Corte m ³	Relleno m ³
1	2	3	4	5	6	7	8
Cada 5 m	5246,5	31403,89	6,24	-	-	-	-
Cada 10 m	6345,66	31704,48	307,79	-300,59	-301,55	0,96	4832,53
Cada 15 m	7585,41	31219,76	670,19	184,13	-663,95	0,59	10640,22

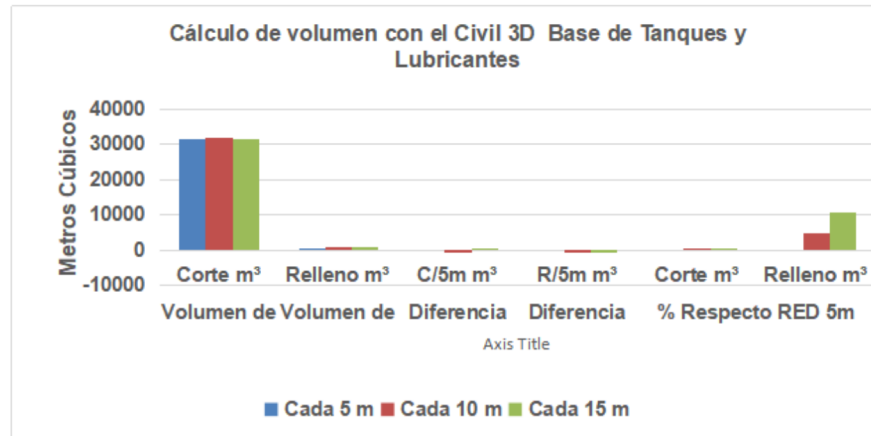


Figura 6: Comparación de los volúmenes obtenidos para diferentes redes del levantamiento topográfico detallado base de tanques y lubricantes.

Tabla 3: Volumen obtenido con el software AutoCAD Civil 3D, área pendiente mayor que 9%.

Cálculo de volumen para cantera La Balastera							
Red de cuadrículas	Área m²	Volumen de	Volumen de	Diferencia	Diferencia	Porcentaje respecto red 5 m	
		Corte m³	Relleno m³	C/5 m m³	R/5 m m³	Corte m³	Relleno m³
1	2	3	4	5	6	7	8
Cada 5 m	27229,24	28026,41	155,94	-	-	-	-
Cada 10 m	18807,84	29913,62	1025,87	-1887,21	-869,93	6,73	557,86
Cada 15 m	23402,5	29447,31	1485,71	-1420,9	-1329,77	5,07	852,74

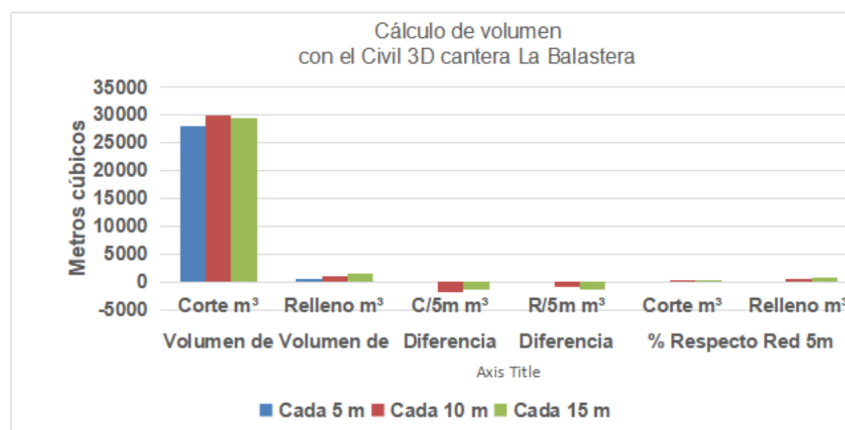


Figura 7: Comparación de los volúmenes obtenidos para diferentes redes del levantamiento topográfico detallado cantera La Balastera.

Tabla 4: Volumen obtenido con el software AutoCAD Civil 3D, área pendiente mayor que 10%.

Cálculo de volumen para yacimiento Yagrumaje Sur							
Red de cuadrículas	Área m ²	Volumen de	Volumen de	Diferencia	Diferencia	Porcentaje respecto red 5 m	
		Corte m ³	Relleno m ³	Corte/5 m m ³	Rell/5 m m ³	Corte m ³	Relleno m ³
1	2	3	4	5	6	7	8
Cada 5 m	10504,38	8470,63	298,21	-	-	-	-
Cada 10 m	10756,01	8543,58	307,26	-72,95	-9,05	0,86	3,03
Cada 15 m	10605,31	8742,56	310,13	-271,93	-11,92	3,21	4,00

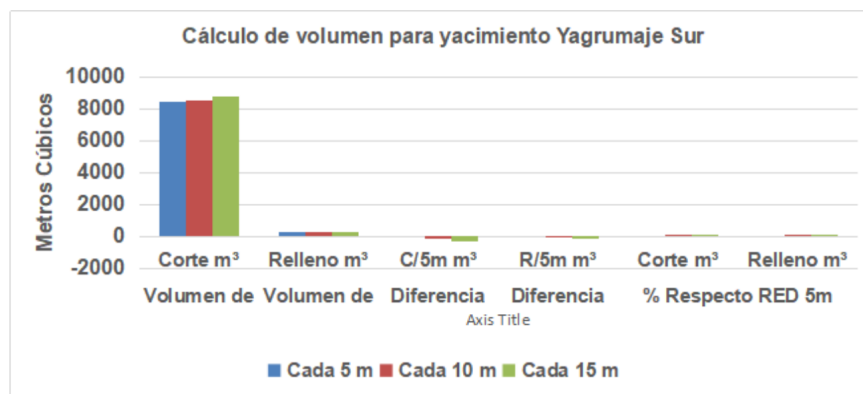


Figura 8: Comparación de los volúmenes obtenidos para diferentes redes del levantamiento topográfico detallado yacimiento Yagrumaje Sur.

Análisis de los costos de la red de levantamiento

Aunque es conocida la reducción de los costos en estos trabajos con el uso de las estaciones totales, consideramos tener en cuenta este aspecto también en la toma de decisiones, sobre todo en el caso de terrenos con pendientes menores que 4%.

Para ello, analizaremos el caso de 21 viviendas biplantas, cuyas características físico-geográficas del terreno ya fueron descritas anteriormente:

- Precio de gastos para la red de levantamiento cada 5 m de 21 viviendas biplantas: 87.97 USD.

- Precio de gastos para la red de levantamiento cada 10 m de 21 viviendas biplantas: 68.61 USD.
- Precio de gastos para la red de levantamiento cada 15 m de 21 viviendas biplantas: 66.8 USD.

DISCUSIÓN

Como se observa en las tablas 1 a 4, el mayor costo de los trabajos se obtiene para la red de levantamiento cada 5 m (263.92 USD), con 58.08 USD más que la red de levantamiento cada 10 m y una diferencia de 1588.00 Peso cubano respecto a la de 15 m, debido a que el tiempo de trabajo para la red

de 5 m es mayor que para la red de 10 m y 15 m, por tener mayor densidad de puntos a levantar en el terreno. Este comportamiento es similar en el resto de las áreas estudiadas.

El análisis y comparación de los resultados del cálculo de volumen de movimiento de tierra con el *Auto CAD Civil 3D* (tablas 1 a 4 y figuras 8 a 11), para las áreas objetos de estudio, permitieron definir la red óptima de levantamiento topográfico, en el caso de áreas con relieve llano (pendiente menor que 4%), es la red de 10 m, ya que la diferencia de volumen respecto a la red de 5 m es muy pequeña, que 0,39% en el corte, que es la actividad de mayor consideración, la cual se reafirma con el análisis hecho por tener esta red el menor costo, y en áreas con relieves de pendientes altas (mayor que 9%), la red óptima es cada 5 m, aunque es mayor el costo respecto a las redes de 10 y 15 m; sin embargo, la diferencia en el cálculo de volumen supera el 2,5% (límite permisible). El costo fue comparado con las redes trazadas cada 5 m, 10 m y 15 m con pendientes del terreno de 4% y 9%.

CONCLUSIONES

Los trabajos realizados para el cálculo de volumen de movimiento de tierra para diferentes obras, como canteras, explanaciones, etc., permitieron determinar la red óptima de levantamiento topográfico para diferentes condiciones de relieve y pendientes del terreno, con mayor precisión.

Del análisis de los resultados en el cálculo de volumen, se demuestra que para el caso de terrenos con pendientes menores que 4%, la red óptima de levantamiento debe trazarse cada 10 m; para los casos con pendientes mayores, la red óptima de levantamiento deberá realizarse cada 5 m.

El mayor costo de los trabajos se obtiene para la red de levantamiento cada 5 m (263.92

USD), con 58.08 USD más que la red de levantamiento cada 10 m y una diferencia de 63.52 USD respecto a la de 15 m.

REFERENCIAS

- Sartre, J. P. (1943). *L'etre et le neant* [El ser y la nada]. París: Gallimard.
- Batista, B. Y. y Belete, F. O. (2013). Consideraciones sobre la exactitud de las redes de levantamiento topográfico. *Revista Minería y Geología*, 29, 56-64.
- Belete, F. O. (1998). *Vías para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de mineral extraído en yacimientos lateríticos cubanos*. (Tesis de Doctorado). Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- Belete, F. O. (2000). Perfeccionamiento del cálculo de volumen en los yacimientos lateríticos cubanos. *Revista Minería y Geología*, 17, 69-72.
- Calaña, A. y Belete, F. O. (2014). Análisis de la precisión de los Interpoladores del Surfer en la modelación de relieves con pendientes abruptas. *Revista Minería y Geología*, 30, 89-103.
- Hernandez, K. (2013). Cálculo de volúmenes de movimiento de tierra mediante el Acad Land Desktop. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos95/titulo-calculo-volumenes-movimiento-tierra-acad-land-desktop/titulo-calculo-volumenes-movimiento-tierra-acad-land-desktop.shtml#ixzz4xrLikcl2>
- Leica Geosystems (2007). *Leica TPS800 Series. Manual del usuario*. Heerbrugg: Suiza.
- Norma Ramal NR FA 01-01:2001. Hidrografía y Geodesia. Instrumentos de Medición.
- Pérez, S. y Sánchez, A. (2004). *Metodología*

- para los levantamientos topográficos a la escala 1:2000, 1:1000, 1:500 con el uso de estaciones totales electrónicas.* Ciudad de La Habana: Academia Naval Granma.
- Télez, R. (2013). Evaluación de los factores que influyen en el cálculo de volumen de mineral. (Tesis de Maestría). ISMM, Moa. Holguín, Cuba.
- Quesada, D. y Suárez, D. (2015). Procedimiento para el cálculo de volumen y tonelaje en modelos de bloques con restricciones geométricas. Recuperado de [https://www.researchgate.net/.../278009867_Procedimiento_para_el_calculo_de_volume...Full-text\(PDF\)](https://www.researchgate.net/.../278009867_Procedimiento_para_el_calculo_de_volume...Full-text(PDF)).