

Softwares mineros para el cálculo de volumen y la confección de perfiles topográficos

Javier Alejandro Rodríguez Chávez

jrchvez@minas.ismm.edu.cu

Luis Alberto Ramírez Meléndez

lrnelendez@ismm.edu.cu

Gianna Banesa Moya Rivera

Saturnino Ndongo Obama

Universidad de Moa, Cuba

Yosvani Naranjo Alarcón

Yosvani.naranjo@scgemin.minem.cu

Empresa Geominera Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen: Se elaboró un procedimiento para el cálculo de volumen en áreas minadas y la confección de perfiles topográficos mediante el uso de softwares mineros, con la finalidad de definir las principales características técnicas de los diferentes softwares, así como evaluar los resultados obtenidos para el procedimiento del cálculo del volumen en áreas minadas y la confección de perfiles topográficos. Se realizaron levantamientos topográficos a escala 1:1000 de la zona de estudio y sus alrededores, se tomaron 193 puntos de relleno, así como el pie y el borde superior del área minada entre los niveles +143(techo) hasta +134 (piso) de la cantera. Se procedió a la exportación de los datos por Topocal hacia la computadora en formato TXT, transformados en formato *.dat y Ascll, importados por los softwares *Surfer* y *Gemcom* para su posterior visualización, modelación cualitativa y cuantitativa, así como el cálculo de volumen en áreas minadas y la confección de perfiles topográficos. Se evalúan los resultados obtenidos y se validan de los softwares usados en la mina Oro Barita.

Palabras claves: áreas minadas; banco de explotación; *Surfer* 8; *Gemcom* 6,8.

Trabajo tutorado por el M. Sc. Walkis Herrera Blanco.

Recibido: 13 noviembre 2022/ Aceptado: 6 febrero 2023.

Mining software for the calculation of volume and the preparation of topographic profiles

Abstract: A procedure was developed for the calculation of volume in mined areas and the preparation of topographic profiles through the use of mining software, in order to define the main technical characteristics of the different software, as well as to evaluate the results obtained for the procedure. the calculation of the volume in mined areas and the preparation of topographic profiles. Topographic surveys were carried out at a scale of 1:1000 of the study area and its surroundings, 193 filling points were taken, as well as the foot and the upper edge of the mined area between levels +143 (ceiling) to +134 (floor). from the quarry. The data was exported by Topocal to the computer in TXT format, transformed into *.dat and Ascll formats, imported by the Surfer and Gemcom software for subsequent visualization, qualitative and quantitative modeling, as well as volume calculation in mined areas and the preparation of topographic profiles. The results obtained are evaluated and the software used in the Oro Barita mine is validated.

Keywords: mined areas; level of exploitation; Surfers 8; Gemcom 6.8.

Introducción

El cálculo de volumen y la confección de perfiles topográficos con la ayuda de softwares en la actividad minera, se ha desarrollado de acuerdo a la necesidad de calcular grandes volúmenes con mayor productividad, prontitud, ahorro de tiempo, fuerza de trabajo, así como una mayor rapidez y precisión de los resultados. Mientras que la construcción de perfiles permite visualizar una representación gráfica sobre las superficies de áreas explotadas por el hombre (Tejada *et al.*, 2021; Solis, Torres & Paredes, 2022; Ocampo & Sepúlveda, 2022).

Según la evolución y modernización de los softwares utilizados para el cálculo de diferentes volúmenes y confección de perfiles, los fabricantes lanzan al mercado internacional las más recientes tecnologías, integradas por diferentes aplicaciones internas que posibilitan la rapidez y gran eficiencia en los diferentes cálculos.

Los sistemas informáticos mineros hacen más factible los cálculos de volumen y geometrización de grandes zonas extraídas por la minería, donde ya son utilizados y actualizados por métodos de interpolación para las figuras irregulares (Peucker *et al.*, 1978; De Floriani and Magillo, 2009; Fuentes, Pardo & Legrá, 2020). Las empresas mineras utilizan estos softwares para balancear y actualizar los recursos geológicos extraídos de las minas, por lo que están obligadas a utilizar la actualización topográfica y el procesamiento o interpretación de grandes base datos a partir de cálculos de volúmenes y su representación gráfica mediante perfiles transversales y longitudinales.

Existe una gran variedad de softwares que se utilizan en el campo de la topografía para la realización de diferentes funciones, ya sea para cálculos, representación de perfiles longitudinales y transversales, curvas de nivel, cálculo de volúmenes, diseño de carreteras, autopistas, vías, canales, ferrocarriles, entre otras funciones (Machaca, 2011).

Este trabajo propone elaborar un procedimiento para el cálculo de volumen en áreas minadas y perfiles topográficos mediante el uso de los softwares mineros en la cantera de Oro Barita en Santiago de Cuba.

El área del yacimiento Oro Barita está localizada en la región El Cobre al oeste de la ciudad de Santiago de Cuba, en el extremo centro-oriental de la cordillera Sierra Maestra a 22 km del centro de la ciudad. Limita al norte con el municipio San Luís y al sur con el

municipio Guamá, al este con el consejo popular Agüero-Mar Verde y al oeste con el consejo popular Dos Palmas. La extensión territorial es de 169,5 km².

La planta metalúrgica Oro Barita tiene gran importancia en la economía local y nacional ya que la zona aurífera El Cobre Norte puede acrecentar los recursos y las reservas a procesar (Gómez, 2013; Isla, 2016; Arias *et al.*, 2017).

Materiales y métodos

Softwares empleados para el cálculo de volumen de mineral y estériles en la mina

Surfer 8: programa para confeccionar mapas y trazar líneas de contorno en 3D. Esta versión permite un significativo avance en la construcción de mapas de superficie y gráficos en 3D, así como en la realización de curvas de niveles, permite mayor capacidad de ficheros (lee ficheros de datos de filas y columnas, dependiendo de la memoria disponible), aplica nuevos métodos de rejillas, realiza modelos de variogramas, estadística descriptiva, cálculo de área y volumen, entre otros usos en la rama del saber.

Gemcom 6,8: es un software de diseño tridimensional aplicados en la industria minera con un sistema computacional integrado, desarrollado para simplificar el trabajo de geólogos y mineros. Es un ambiente gráfico que permite visualizar y editar en forma bidimensional o tridimensional información de variadas fuentes. Gemcom provee múltiples herramientas de diseño y planificación de minas a cielo abierto y subterráneo. Trabaja con bases de datos, lo que permite organizar y reunir una gran cantidad de información perteneciente a un solo proyecto. Esta información se almacena en espacios virtuales donde se organizan los diferentes elementos que forman el proyecto.

La actualización topográfica fue realizada con la ayuda de la Estación Total Sokkia SET6 10 k.

Se trabajó con la aplicación Excel y se guardaron los archivos tipos en formato .txt.

La metodología se realizó por varias etapas: trabajos de gabinete y de campo en conjunto, entrada de datos y por último, procesamiento de la información. La Figura 1. describe las actividades desarrolladas en cada una de estas etapas.

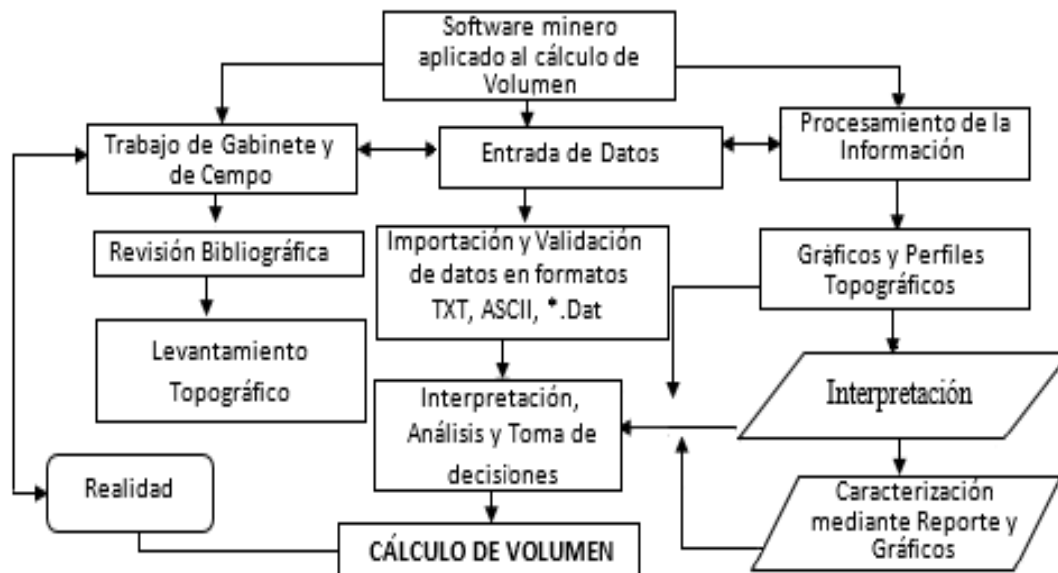


Figura. 1. Flujo de procesamiento metodológico en el cálculo de volumen.

Procedimiento de trabajo para el cálculo de volumen y confección de perfiles topográficos

Durante el desarrollo en la investigación se tomaron 193 puntos topográficos de relleno, así como el pie y el borde superior del área minada o extraída por el equipamiento minero entre los niveles +143 (techo) hasta +134 (piso) de la cantera.

Previamente al levantamiento topográfico de la zona minada, se procedió a la exportación de los datos por Topocal en formato TXT óxlsx, donde son organizados y revisados; una vez validados los datos, son transformados en formato *.dat y AscII, importados por los softwares Surfer 8 y Gemcom para la modelación del levantamiento topográfico y cálculo de volumen.

Se procedió al cálculo del volumen de un área extraída por los equipos de minería (retroexcavadora y buldócer), según lo planificado en la orden de trabajo de un día, sobre el nivel o banco en explotación +134m (*msnm*) de la mina Oro Barita. Para esto se realizaron dos levantamientos topográficos a escala 1:500, un primer levantamiento para modelar o confeccionar el modelo digital del terreno de la superficie superior y el segundo, después de extraer el volumen planificado, lo que representará el modelo digital de la base o fondo.

Una vez realizado los levantamientos topográficos, se procedió a la descarga de los datos desde la Estación Total mediante la interfase el software *Sokkia link* y se guardan

como un fichero de datos txt. Con la base de datos de las dos superficies se procede a la confección del modelo digital del terreno o una superficie compuesta por puntos de rellenos (con su Z), pie y borde de las zonas ya extraídas; obteniéndose un procedimiento de trabajo para el cálculo de volumen con cada uno de los softwares.

Partiendo de la cartografía existente, se realizó el levantamiento topográfico de la cantera y la actualización del área minada en bancos de tres metros entre +134 (piso) al +137 m (techo) a distinta escala (1:500 y 1:1000).

Metodología para el cálculo de volumen mediante el software Surfer 8

El cálculo del volumen determina el volumen neto entre la superficie superior e inferior. Para calcular el volumen entre dos superficies, primero se debe crear la red cuadriculada de datos (Grid Data) de las superficies superiores e inferiores; las cuadrículas de datos definirán la elevación de la superficie superior (techo) y la superficie inferior (piso) respectivamente. Ambas redes de cuadrícula deben usar las mismas dimensiones y el mismo número de filas y columnas. El método utilizado en Surfer 8 para el cálculo de volumen entre dos superficies es *Triangulation with linear Interpolation*.

Se debe actualizar la cartera a través de un levantamiento topográfico, donde la superficie superior representa la topografía actualizada anteriormente, mientras que la superficie inferior, representa la topografía actualizada después del minado. En algunos lugares, se debe hacer un corte en la topografía actual para quitar la tierra al nivel del sitio final. En otras áreas, se puede necesitar tierra para rellenar áreas donde la topografía actual está por debajo de la elevación del sitio final. El volumen neto es la diferencia entre todos los cortes y todos los rellenos. Si el volumen es positivo, es necesario retirar la tierra del sitio para lograr el nivel final. Si el volumen es negativo, se debe transportar tierra al sitio para lograr la pendiente final planificada para el sitio.

Validación de los procedimientos de trabajos para el cálculo de volumen y construcción de perfiles

Para la validación de los softwares Surfer 8 y Gemcom 6.8, se analizaron y compararon los resultados obtenidos del cálculo de volumen de material minado y se diseñó una figura geométrica irregular, a partir del cual se creó un fichero de datos, para obtener el modelo digital de las superficies superior e inferior de la figura irregular formada, por lo que se procede a calcular el volumen de la misma, mediante cálculo manual empleando

expresiones matemáticas(dicho cálculo demoraría varios días para su resultado), mientras que, si utilizamos o aplicamos los softwares mineros esto demoraría un par de hora como máximo. El primer procedimiento de cálculo; hay que conocer el área de cada triángulo formado (según la figura geométrica) y después hallar el área total del polígono y multiplicar esta por la altura del polígono desde el piso hasta el techo (Figura 2).

Una vez realizado los cálculos, se realizó el análisis y comparación de los resultados obtenidos del cálculo de volumen, y de la interpolación de las curvas de nivel creadas por cada uno de los softwares antes mencionados.

Cálculo de volumen de figuras irregulares

Con la ayuda de los métodos de triangulación se calculó el volumen de una figura geométrica irregular mediante la expresión matemática.

$$V = A \Delta x h ; m^3$$

$$V = 831.844 m^2 * 2,92m$$

$$V = 2428.984 m^3$$

La expresión da como resultado el área total que multiplicada por la altura promedio entre las superficies. Este resultado es la base del volumen obtenido mediante los softwares mineros.

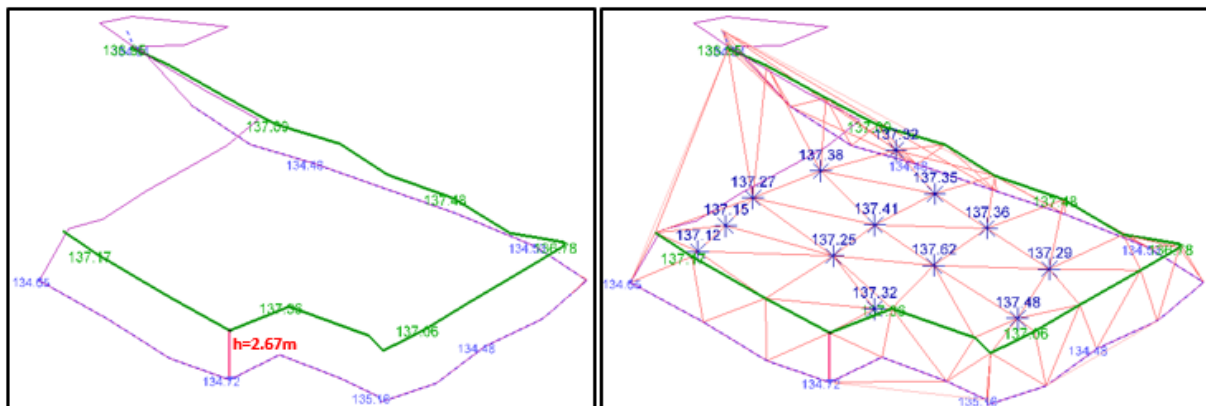


Figura 2. Figura geométrica irregular (por método de triangulación).

El resultado obtenido mediante la expresión matemática se muestra en la figura 3.

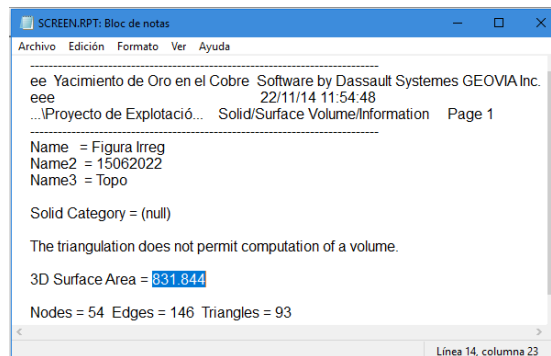


Figura 3. Reporte generado por Gemcom 6.8 sobre la superficie.

Cálculo de volumen mediante los softwares utilizados

Para realizar el cálculo de volumen de la figura irregular con los softwares, se importaron la base de datos creada con Gemcom 6.8 y Surfer 8. Para ambos se creó el modelo digital de las dos superficies (Figura 4), y se procedió a calcular el volumen.

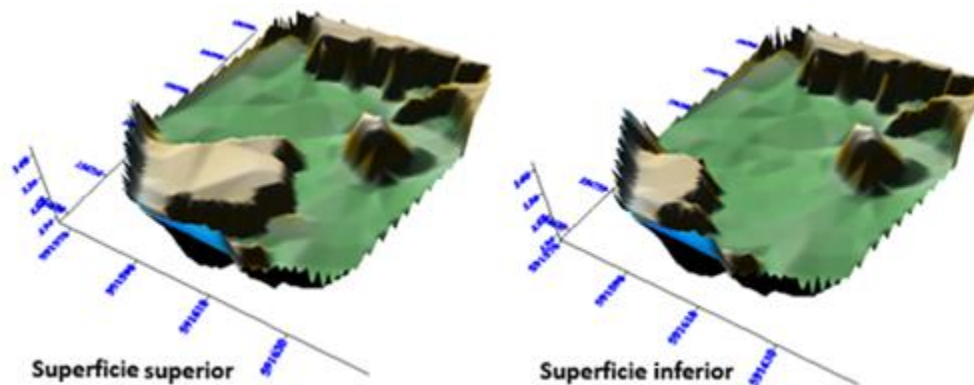


Figura 4. Modelo Digital en 3D en Surfer 8 de figuras irregulares.

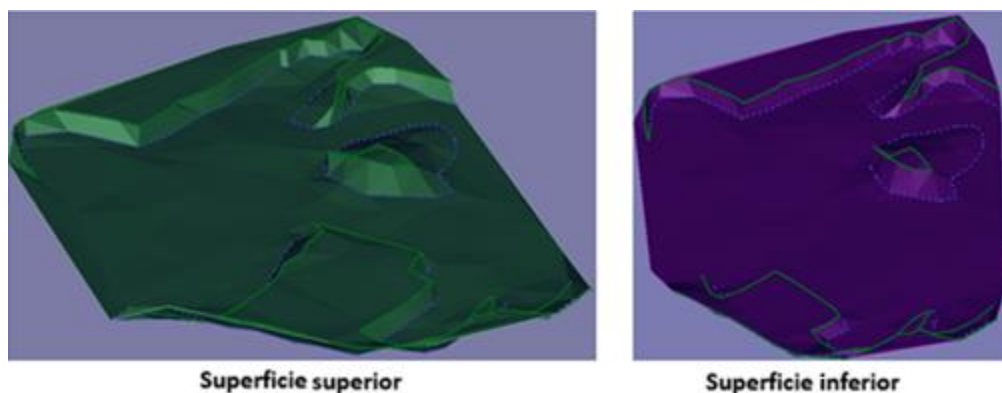


Figura. 5 Modelo Digital en 3D en Gemcom 6.8 de figuras irregulares.

Resultados obtenidos con el software Surfer 8 y Gemcom 6.8

Tabla 1. Resumen del cálculo de volumen obtenido con el software Surfer 8

Factor escala Z	Trapezoidal Rule	Simpson's Rule	Simpson's 3/8 Rule
1	2439.280545711348	2439.284703970595	2439.284462852267
Volumen de corte y relleno			
Volumen positivo (corte)	Volumen negativo (relleno)		Volumen neto (Corte-relleno)
2439.39856467712	0.11732733133244		2439.281237345786

Report 1: Incremental								
PLANE	ROCKGROUP	GRADEGROUP	Volume m3	Density t/m3	Tonnage t	AU g/t	AG g/t	AZUFRE %
137VP	RECURSOS	Esteril	104.381	2.110	220.243	0.266	20.82	4.87
		Mena 2	3.386	2.300	7.788	1.241	23.55	4.34
		Total	107.767	2.116	228.031	0.299	20.91	4.85
	Total		107.767	2.116	228.031	0.299	20.91	4.85
134VP	RECURSOS	Esteril	992.115	2.110	2,093.362	0.249	28.02	5.90
		Mena 2	51.717	2.300	118.949	1.140	51.34	5.28
		Total	1,043.832	2.119	2,212.311	0.297	29.27	5.86
	Total		1,043.832	2.119	2,212.311	0.297	29.27	5.86
Total			1,151.599	2.119	2,440.342	0.297	28.49	5.77

Figura 6. Resumen del reporte de los cálculos realizados con el Gemcom 6.8.

Comparación de la interpolación de las curvas de nivel

La interpolación en curvas de nivel creadas por cada software es un parámetro importante a tener en cuenta para el cálculo de volumen y la creación de perfiles topográficos, ya que de ello depende la precisión de los cálculos. Según la observación y análisis de las curvas de nivel (Figuras 6 y 7), no existe una diferencia a considerar que pueda incidir en el resultado del cálculo de volumen.

Curvas de nivel creadas por Surfer 8

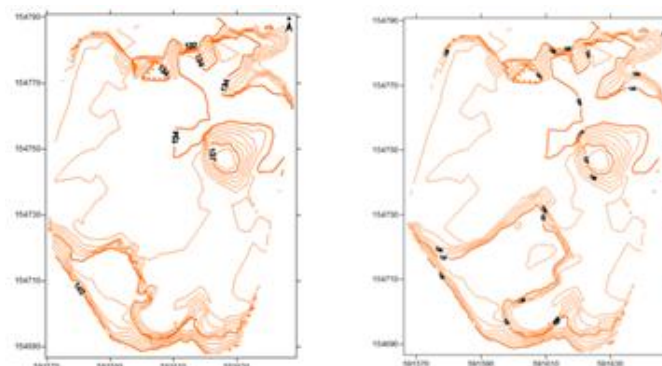


Figura 7. a) Curvas de nivel de la superficie base de la figura geométrica irregular. b) Curvas de nivel de la superficie superior de la figura irregular.

Curvas de nivel creadas por Gemcom 6.8

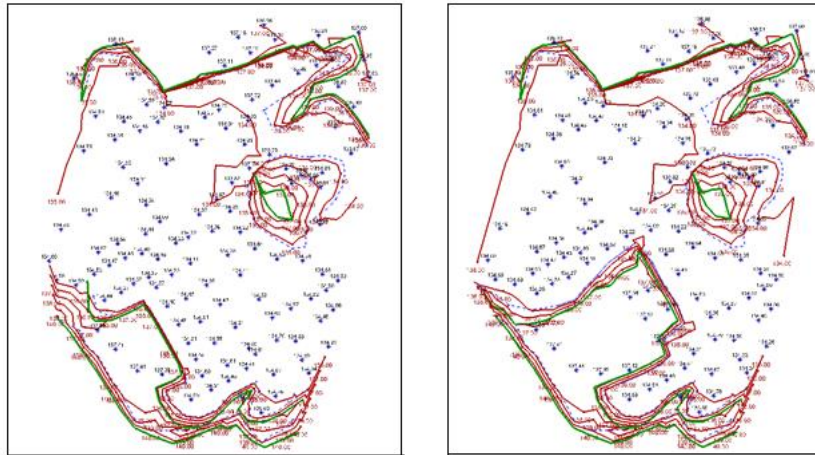


Figura 8. a) Curvas de nivel 2D de la superficie base. b) Curvas de nivel 2D de la superficie superior.

Comparación de los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos anteriormente en el cálculo del volumen dentro de dos superficies abiertas, fueron comparados con los resultados arrojados por el software profesional Gemcom 6.8 y Surfer 8 con respecto a los métodos manuales (tradicionales). El sistema Gemcom utiliza un método similar para calcular el volumen parcial del material contenido en los bloques, para esta ocasión se utilizó un nivel de integración de 3 a 3 segmentos de líneas por cada bloque.

Una vez obtenidos los resultados del cálculo de volumen en la figura geométrica irregular, con los softwares Surfer 8 y Gemcom 6.8, se comparó con el resultado aproximado, según la expresión matemática (Figura 10).

Los resultados obtenidos (cantidad de m^3) entre los softwares, no varían en cuanto a los volúmenes reales obtenidos, mientras que, al aplicar el método de cálculo matemático manual (tradicionales o convencionales), el volumen varía (en cantidad), ya que la altura tomada entre las superficies fue promediada o se tomó la altura media entre ambas superficies. Se comprobó que es válido la aplicación del cálculo de volumen por softwares mineros para áreas irregulares y que agilizan en tiempo y confiabilidad de los resultados; mientras que, los métodos manuales son muy trabajosos, engorrosos y el error de exactitud es mayor con respecto a los métodos tecnológicos o computacionales. Los resultados obtenidos al comparar el volumen obtenido de la figura irregular por los

métodos manuales y el volumen calculado por los softwares Surfer 8 y Gemcom 6.8 varían en un 0,47 % lo cual representa 11,47 m³ y se encuentra por debajo del 5 % (rango aceptable). La mina escoge el rango del 5 % aceptable, para el cálculo de volumen y se fundamenta en métodos empíricos y prácticos, al ser un rango que representa ínfimo con respecto al volumen extraído y a las pérdidas planificadas en el proyecto minero y las diluciones por extracción aprobada. Por otro lado, también se analizan factores que influyen en el cálculo de volumen, tales como:

- Hora de las actualizaciones topográficas en el día (si es después de las 10.00 AM o antes)
- Ubicación del punto topográfico en que se toma las mediciones
- Angulo de mediciones topográficas
- Distancia de la toma de las mediciones
- Errores humanos
- Factores climatológicos
- Errores visuales e instrumentales.

Por esta razón se consideró un método confiable. En la empresa existen dos procedimientos para el cálculo de volumen aprobado por la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) y sistema de gestión y calidad.

El primer procedimiento es el cálculo de volumen en pilas de los lotes en formación (forma de un tronco de pirámide) y de los stock pile del mineral que se alimenta a planta (un cono) donde se utiliza el software Surfer 8, el mismo también se utiliza en los reportes al cierre de semana del material extraído de la cantera, con el objetivo de verificar y certificar el volumen del material extraído por los equipos de carga (Volvos, Bel y Belaz) que ambos son tabulados por topografía y por fábrica) y es comparado por el Gemcom 6.8 que es el software que se utiliza para el cálculo de volumen y de recursos extraídos en la cantera.

El segundo procedimiento es utilizando el software Gemcom 6.8 que el programa oficial que se escoge para la planificación minera y certificación de los reportes diarios del material extraídos de la cantera por camiones. El mismo está certificado y aprobado por la ONRM para los cierres de años.

Comparación de los resultados obtenidos de la figura irregular

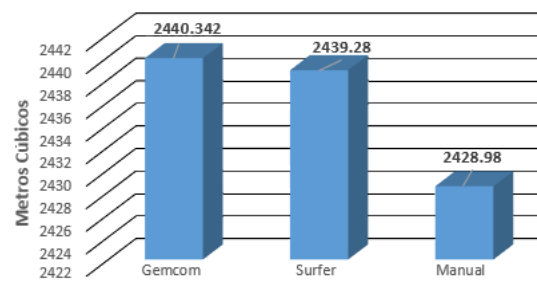


Figura. 9. Comparación de los volúmenes obtenidos

Comparación de la construcción de perfiles longitudinal entre los softwares

Para realizar los perfiles topográficos fue necesario obtener el modelo digital del terreno con el uso del Surfer 8 y el Gemcom 6.8, a partir de la importación de base de datos. Para la determinación de los perfiles, se crearon superficies con curvas de nivel y superficie en 3D.

La construcción de perfiles topográficos es una práctica muy útil para entender lo que representan los mapas topográficos. Un perfil topográfico es un corte o sección a lo largo de una línea dibujada en un mapa. Los perfiles, deben estar hechos a escala. Pero dado que se manejan dos dimensiones diferentes: horizontal y vertical, cada una puede tener una escala diferente; generalmente la escala horizontal es la misma que la del mapa y la vertical frecuentemente se exagera con el fin de hacer más evidentes los rasgos del relieve.

La figura 10 muestra un perfil topográfico realizado con Surfer 8; a la izquierda del perfil se observa una escala vertical, la misma representa la altura de los bancos a minar o que han sido extraídas por los equipos mineros, también se observa una escala horizontal que coincide con la escala del levantamiento topográfico observándose la longitud del perfil.

En la figura 11 se observa un perfil topográfico realizado en Gemcom entre dos superficies (superior e inferior) y exportado y editarlo al formato Cad (AutoCAD). En escala vertical se observa los niveles de explotación desde los bancos +134 m hasta 140 m; mientras que en la escala horizontal se observa las coordenadas y dirección del perfil topográfico. Su escala coincide con la escala del levantamiento topográfico y del plano de superficie.

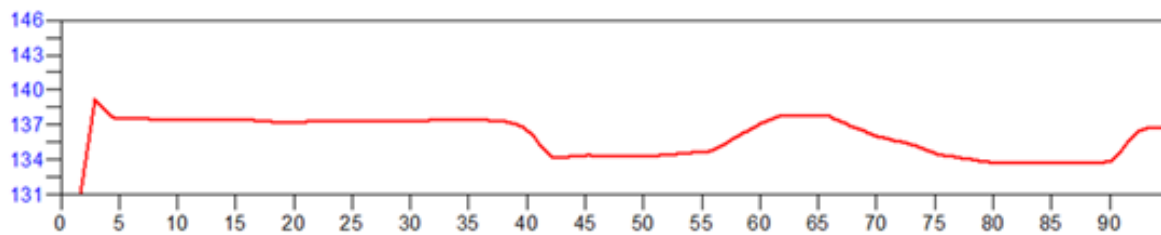


Figura 10. Representación gráfica de Perfiles Topográficos utilizando Surfer 8.

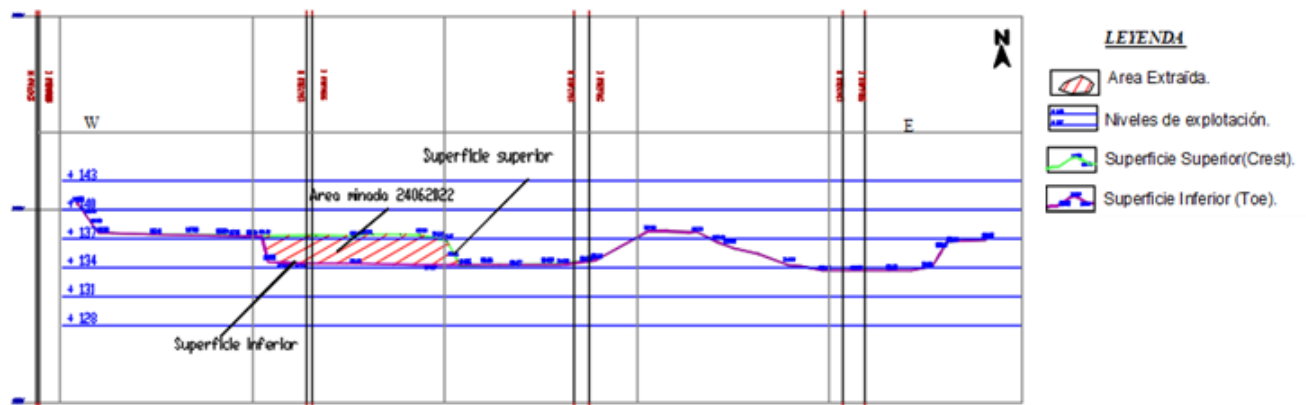


Figura 11. Representación gráfica de perfiles topográficos utilizando Gemcom 6.8.

Conclusiones

Se realizó un análisis del estado actual del conocimiento sobre la temática donde se determinó que los softwares Surfer 8 y Gemcom 6.8 forman parte de una metodología factible lo cual garantizará una optimización de tiempo en los procesos mineros de la cantera Oro Barita.

Se definió las principales características técnicas de los diferentes softwares utilizados para el cálculo de volumen y la confección de perfiles topográficos.

Se elaboró un procedimiento para el cálculo de volumen en áreas minadas y la confección de perfiles topográficos mediante el uso de los softwares mineros, permitiendo trabajar con mayor rapidez, precisión y reducir el tiempo de trabajo y por ende aumentar la productividad.

La investigación permitió comparar y validar los resultados del cálculo de volúmenes de mineral calculado por los softwares y la diferencia no es mayor de 0,47 %.

Referencias bibliográficas

- ARIAS, T., FERNÁNDEZ, D., SÁNCHEZ, Y. & LASSERA, A. (2017). Influencia de la lixiviación en la recuperación de oro en la Mina Oro-Barita de Santiago de Cuba, *Tecnología Química*, 37(3), 461-476.
- DE FLORIANI, L. & MAGILLO, P. (2009). Triangulated Irregular Network. En *Encyclopedia of Database Systems*. Springer, Heidelberg, 3178-3179.
- FUENTES, O., PARDO, F. & LEGRÁ, Y. (2020). Determination of the accuracy of calculation of volumen of extracted mineral. *Brazilian Journal of Health Review*, 3(3), 4194-4216.
- GÓMEZ, M. L. (2013). Propuesta de investigación del depósito "El Cobre Norte". *INFOMIN*, 5(1), 54-65.
- ISLA, O. A. (2016). Remoción de Cu de las aguas de la mina grande del cobre con el empleo de zeolita y sulfuro de sodio. *INFOMIN*, 8(2), 34-46.
- MACHACA, C. R. (2011). *Automatización del cálculo de volumen de mineral extraído*. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa.
- OCAMPO, Y. & SEPÚLVEDA, G. F. (2022). Uso del software ESWIK® en un dispositivo polimetálico de Cu y Au. *DYNA*, 89(223), 141-149.
- PEUCKER, T. K., FOWLER, R. J., LITTLE, J. J. & MARK, D. M. (1978). The triangulated irregular network. In *Amer. Soc. Photogrammetry Proc. Digital Terrain Models Symposium*, 516, 532.
- SOLIS, J. E., TORRES, L. M. & PAREDES, B. G. (2022). Análisis comparativo topográfico sobre levantamientos altimétricos con RTK GNSS, Estación Total y Drone en Manta. *Polo del Conocimiento*, 7(12), 586-602.
- TEJADA, F., ROTHIS, M., ONORATO, M., BLANC, P. A. PERUCCA, L., AUDERMAND, F. A. & VARGAS, N. (2021). *Análisis neotectónico Paleosísmico de la falla Loma Negra Oriental, frente orogénico de la Precordillera Central, Argentina*. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73(2).