

PERFECCIONAMIENTO DEL CALCULO DE VOLUMEN EN LOS YACIMIENTOS LATERITICOS CUBANOS

THE IMPROVING ACCURACY OF VOLUME CALCULATION IN CUBAN LATERITIC DEPOSITS

ORLANDO BELETE FUENTES

Departamento de Minería. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
E-mail: obelete@moa.mimbas.cu

RESUMEN: El análisis de los valores obtenidos de volumen de mena en los frentes de arranque de los yacimientos de corteza de intemperismo de Moa, en un período de cinco años, mostró una gran diferencia entre los valores obtenidos por los cálculos topográficos y los reportados por la planta. Se propone una nueva metodología que incluye: toma de datos iniciales, determinación de errores que influyen en el cálculo de volumen; aplicación del taquímetro universal y aplicación del modelo digital del terreno. Con esta metodología se logra reducir en un 28 % el error total en el cálculo de volumen, y en un 80 % la diferencia de tonelaje entre el mineral extraído y el suministrado.

Palabras claves: cálculo de volumen, yacimientos de corteza de intemperismo, topografía minera.

ABSTRACT: An analysis of the figures obtained of the volume of ore brought from the weathering crust deposit of Moa, during a period of 5 years, showed a great difference between values obtained from topographical calculations and that reported for the processing plant. This prompted a revision of method used in the calculation of volume by them.

A new methodology is proposed that include: registration of the initial information, determination of the errors that affect the calculation of volume, application of the universal stadia survey and the application of terrain digital model. With the use of this methodology, the total errors in the calculation of volume was reduced to 28 %. The difference of tonnage between mineral dug out and the one supplied was reduced to a value of 80 %.

Key words: weathering crust deposits, volume calculation, mining topography.

INTRODUCCIÓN

El cálculo de volumen de mena es un aspecto importante para considerar en cualquier yacimiento mineral, por la repercusión que tiene en la planificación minera y en el cumplimiento de los planes de producción. La imprecisión en los resultados de estos cálculos acarrea consecuencias negativas desde el punto de vista económico y productivo.

En la obtención de los datos para el cálculo de volumen en yacimientos a cielo abierto constituye una prác-

tica mundial el empleo del levantamiento taquimétrico, siempre que el error cometido no supere el 2,5 %. Este método de levantamiento se aplica a los yacimientos de corteza de intemperismo de la región de Moa para representar en el plano el objeto minado. El volumen de mena extraída se calcula mediante el método de secciones paralelas y el método de las áreas de influencia.

Una revisión de los valores de volumen obtenidos durante un período de cinco años arrojó una gran diferencia entre los valores reportados por la planta y aqué-

llos obtenidos por los cálculos topográficos, en los cuales, además, el error cometido superaba el valor permisible.

Chaikov (1971), describe algunos errores que afectan el cálculo de volumen en yacimientos de hierro y manganeso de Krivoi Rog. Por otra parte, Haim Said (1986) se refiere a los errores que introduce el uso de excavadoras en el minado de frentes de arranque mayores de 20 m de ancho. Hasta el momento, en la bibliografía no se refiere información sobre los errores que se cometen al calcular el volumen de mena en yacimientos de corteza de intemperismo. El autor logró determinar los errores para este tipo de yacimiento y elaborar una metodología que permite reducirlos, la cual, al no tenerse en cuenta, provocaba las diferencias de tonelaje antes referidas.

La metodología incluye cuatro pasos: 1. Toma de datos iniciales; 2. Determinación de los errores que influyen en el cálculo de volumen; 3. Utilización del taquímetro universal; 4. Aplicación del modelo digital del terreno (MDT).

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Toma de datos iniciales

La toma de los datos iniciales se realiza sobre una red topográfica de apoyo, densificada y ajustada. La medición de los puntos de la red se realiza con un distanciómetro electroóptico, y se emplean los métodos de microtriangulación, intercepciones y poligonales con teodolitos.

Para la determinación de los bordes superior e inferior de los escalones, los puntos de mira deben ubicarse cada 10 m, aproximadamente. Se recomienda ubicar puntos en la parte quebrada, donde el contorno del borde cambia de dirección. La distancia máxima del taquímetro a la mira no debe exceder los 66 m y deben determinarse, como mínimo, tres puntos en la parte cóncava del talud.

Determinación de los errores que influyen en el cálculo de volumen

- Error por la posición del punto en la red de levantamiento (M_{vc})

En la determinación de este error se considera la irregularidad de la forma de los frentes de explotación. El error se determina por la expresión siguiente:

$$M_{vc} = \pm \sqrt{m_{vc}^2 + m_{vo}^2}$$

Donde:

m_{vc} - error por la posición del punto en la red de levantamiento;

m_{vo} - error por la irregularidad de la forma del frente de extracción.

El error por la posición del punto en la red de levantamiento quedará afectado por el ancho del frente de explotación (d), de manera inversa.

$$m_{vc} = \pm \frac{m_c^l}{d}$$

- Error por la determinación de los contornos de los bordes de los escalones (M_{va})

Para determinar este error, los contornos deben representarse por varios puntos y no tres puntos como dice la anterior metodología. El coeficiente de irregularidad (K), que representa el carácter de este error, debe oscilar entre 0,50 - 0,65.

- Error por la irregularidad de los perfiles de los taludes (M_{vo})

La forma de la superficie de los escalones se determina con la aplicación del taquímetro electrónico sin uso de reflectores. Debe considerarse este error solamente en el caso en que las diferencias entre las áreas de los perfiles real y linealizado sean mayores o iguales a 1 ($\Delta S1 - \Delta S2 \geq 1$).

- Error por la posición de los puntos en el levantamiento taquimétrico (M_{vt})

La distancia del instrumento a la mira debe aumentarse hasta 250 m. Cuando se midan distancias de 100 a 250 m, las lecturas deben redondearse hasta los centímetros, con dos cifras significativas.

- Error por el ploteo de los puntos en el plano (M_{vh})

Se introduce por las representaciones gráficas e incluye el error de la medición de la distancia con la regla y el error de la medición de los ángulos con el transportador. Se elimina si se aplica el modelo digital del terreno (MDT).

- Error por la determinación de áreas (M_{vp})

Se determina con el uso del planímetro, aplicando la fórmula de Jordan (Jordan, 1974). También se elimina aplicando el MDT.

El error total (M_v) se obtiene mediante la sumatoria cuadrática de los errores anteriormente descritos, según:

$$M_v = \pm \sqrt{M_{vc}^2 + M_{va}^2 + M_{vo}^2 + M_{vt}^2 + M_{vh}^2 + M_{vp}^2}$$

Para el cálculo del error medio cuadrático del volumen, el autor introdujo algunas modificaciones a las fórmulas empleadas (Chaikov, 1971), por lo que las mismas quedan de la forma siguiente:

$$m_{vs} = \frac{K \cdot a \cdot h \cdot \sqrt{L}}{\sqrt{2}}, m^3$$

$$m_{vs} = \frac{m_c \cdot h}{\sqrt{2}}, m^3$$

En ambas fórmulas se deben obtener resultados idénticos.

En unidades relativas el error será:

$$M_{vs} = \frac{K \cdot a}{d \cdot \sqrt{L}} \cdot 100, \%$$

TABLA 1. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS ERRORES EN CALCULO DE VOLUMEN DE MENA ANTES Y DESPUES DE APLICAR EL MDT

Momento	Yacimientos	Errores en %						
		MVC	MA	MO	MT	MH	MP	MV
Antes	Punta Gorda	1.87	2.71	3.18	1.17	0.22	0.16	4.85
	Moa	1.91	3.15	4.91	0.82	0.23	0.60	6.79
Despues	Punta Gorda	0.87	0.75	...	1.17	0	0	1.64
	Moa	1.00	0.74	...	0.82	0	0	1.50

Sobre la aplicación del taquímetro electrónico universal

El levantamiento debe realizarse desde el punto más alto del frente de extracción para asegurar la mayor visibilidad posible. Las mediciones se realizarán en forma radial, de manera tal que abarque la mayor parte del sector que será levantado en forma de estaciones totales. Es necesario lograr la perpendicularidad entre la superficie del objeto que se levanta (superficie del talud) y el de la visual del instrumento, lo que posibilita una mayor precisión en la determinación de las coordenadas de los puntos. Para el procesamiento de la información se recomienda la utilización de los programas Surffer, Topoceiss y Tierra.

Sobre la aplicación del Modelo Digital del Terreno (MDT)

• Análisis de la fiabilidad de los datos de entrada

Se relaciona con el análisis de los errores técnicos y reales de las mediciones de las variables que se consideran en función de los métodos usados para procesar los datos.

• Análisis de la representatividad de los datos de entrada

Se refiere a que se deben tomar las medidas necesarias para que los datos reflejen las tendencias generales y particulares del fenómeno que se mide. Deben evitarse omisiones de mediciones de zonas particulares donde el fenómeno presente características anómalas. De ser posible, las mediciones deberán desarrollarse sobre redes rectangulares.

• Solución del problema de la frontera

Deberán tenerse a mano algoritmos que permitan obtener la frontera convexa de la región donde se realizan las mediciones y otros algoritmos para procesar los datos en caso de que la frontera esté dada junto con las mediciones.

• Obtención de una red rectangular y completa mediante un método de estimación

En la mayoría de los casos se hace necesario crear una red rectangular completa (grid) a partir de los datos. Esto se logra mediante la estimación de cada variable dependiente en todos los puntos de la red. Entre los métodos de estimación se usan con frecuencia el del inverso de una potencia de la distancia, el Kriging, el método de los mínimos cuadrados, la interpolación lineal con triangulación Spline, etc. Hay que destacar que se habla de método de estimación como un concepto que incluye la interpolación (exacta o no) y la extrapolación.

• Obtención de isolíneas, isofranjas y mapa de superficie a partir de ciertos algoritmos

Existen diferentes opciones gráficas para representar los datos en un mapa, entre ellas se usan mayoritariamente las isolíneas, isofranjas y las superficies tridimensionales. Para generar isolíneas se utilizan diferentes algoritmos como la proyección cilíndrica del grid, el teselado, los cortes con planos horizontales, etc. No debe olvidarse que la generación de isolíneas no tiene una solución única: el empleo de las isofranjas es preferido por algunos porque depende sólo del método de estimación utilizado, basado en el hecho de que el grid obtenido posee una alta densidad. De la misma manera, los mapas tridimensionales (que usan grid menos densos) dependen sólo del método de estimación.

• Dibujo automatizado del gráfico

El dibujo automatizado se realiza mediante una impresora o un plotter conectado a una computadora, que mediante un programa adecuado (SURFER, SURPACK, GENCOM, DATAMINE u otro) permita obtener el MDT.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La determinación de los errores que influyen en el resultado final del cálculo de volumen de mena extraída constituye el principal resultado de este trabajo. Al determinar el valor de estos errores se pudo apreciar que los mismos sobrepasaban el límite permisible (Tabla 1), lo que pone en duda la aplicabilidad del levantamiento taquimétrico en yacimientos de corteza de intemperismo.

Con la aplicación de la metodología propuesta se logró disminuir significativamente los errores por la posición de los puntos en la red de levantamiento, por la determinación de los contornos de los bordes de los escalones y por la posición de los puntos en el levantamiento taquimétrico, llevándolos a valores inferiores al permisible (2,5 %). Vale destacar que la construcción de una red topográfica de apoyo, así como el uso de distanciómetros electroópticos, aseguran una confiabilidad de alrededor de un 95 % en la toma de datos iniciales. La introducción del taquímetro universal permitió determinar con gran exactitud el área entre taludes, sin necesidad de emplear al portamiras. Por otra parte, la aplicación del MDT constituye otro aspecto novedoso dentro de la metodología, que logró eliminar los errores introducidos por la irregularidad del talud, por el ploteo de los puntos en el plano y por el cálculo de áreas. Todo ello permitió reducir en un 28% el error total en el cálculo de volumen (Tabla 1), así como la diferencia de tonelaje entre el mineral extraído y el suministrado en un 80 %.

CONCLUSIONES

1. Con el diseño de una red topográfica de apoyo y el uso de distanciómetros electroópticos se asegura una confiabilidad de un 95% en la toma de datos iniciales.
2. La aplicación del MDT permite el empleo del levantamiento taquimétrico para el cálculo de volumen de mena en los yacimientos de corteza de intemperismo de la región de Moa.
3. La metodología propuesta reduce en un 28% el error total en el cálculo de volumen y en un 80% la

diferencia de tonelaje entre el mineral extraído y el suministrado.

BIBLIOGRAFÍA

- BELETE FUENTES, O.: "Perfeccionamiento de la determinación del mineral extraído a través del cálculo de volumen y la masa volumétrica", *Minería y Geología*, XIV (2): 35-40, 1997.
- : "Vías para la elaboración de los resultados obtenidos de la masa volumétrica en el yacimiento Punta Gorda", *Memorias del Tercer Congreso Cubano de Geología y Minería*, La Habana: 56- 59, 1998.
- BERNAL, H. S., O. BELETE: "Particularidades de la determinación de la tendencia de la variabilidad y de la anisotropía en los bloques de extracción del yacimiento Moa", *Resultado de Investigación*, Centro de Información ISMM, Moa, 1993.
- CHAIKOV, B. A.: *Análisis de la exactitud de determinación de los volúmenes de escombros durante la explotación de los yacimientos a cielo abierto 64, VNIMI, Leningrado*, 1971.
- FERRERA, A. N., S. A. MATOS y otros: "Perfeccionamiento del método de control de escombros en las canteras níquelíferas de Moa", *Memorias de la I Conferencia Internacional de Geología y Minería GEOMIN'93*, Moa, 1993.
- Haim Said, M.: "Perfeccionamiento de los trabajos de levantamiento en las empresas mineras y en el extranjero", *Selección de notas científicas*, Leningrado, 1986.
- Instrucciones técnicas para la realización de los trabajos topográficos*, ICGC, La Habana, 1982.
- Instrucciones técnicas para la realización de los trabajos topográficos y mineros*, Leningrado, 1973.
- JORDAN, W.: *Tratado general de topografía*, t. I, Ed. Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 1974.
- KAZUO YAMAMOTO, J.: "Ore reserve estimation: A new method of block calculation using the inverse of weighted distance", *Engineering & Mining Journal*, 197 (9): 69-71, 1996.