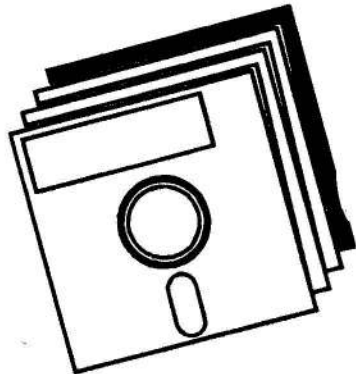


Sistema computarizado.

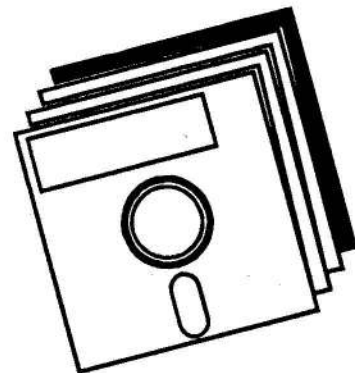
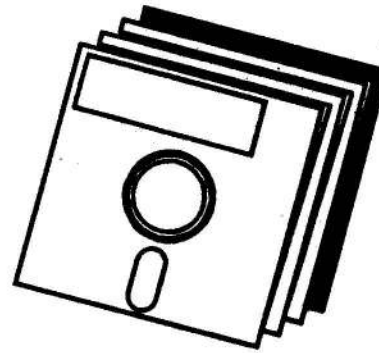


NUEVA VARIANTE PARA EL CALCULO DEL COSTO EN SOFTWARE YA DISEÑADOS

Sencilla variante de cálculo que permite conocer con gran precisión el costo del software diseñado, a partir de algunas modificaciones realizadas a la metodología ADESA (Análisis y Diseño Estructurado de Sistemas Automatizados).

BASE DE DATOS GEOLOGICA REGIONAL

Basado en las Asociaciones Estructuro- Formacionales como elemento integrador de los conjuntos litológicos, estructuras, evolución tectónica y metalogenia, brinda una información novedosa de alta base científica que le puede ser útil a cualquier investigador de Cuba o del Caribe



SISTEMA COMPUTARIZADO DE INFORMACION ACERCA DEL LEXICO ESTRATIGRAFICO CUBANO.

En su versión actual describe 12 Grupos, 226 Formaciones, 59 Miembros y 17 Unidades Litodémicas (Complejos, Metamorfitas, Olistostromas, etc.). Incluye autores, referencias originales y redescrpciones, sinonimias, localidades tipo, holoestratotipos e hipoestratotipos, fósiles índices, correlaciones y relaciones estratigráficas y otros datos de interés. Soportado sobre el Sistema Operativo Windows 3.1, puede ser útil para los estudiosos de la Geología de Cuba y del Caribe y de gran utilidad práctica en los Institutos de Investigación, Centros de Educación Superior y Empresas Geólogo-Mineras.

Para una información más detallada, dirijase a:

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
Las Coloradas, Moa, C.P. 83320
Holguín, Cuba.
Telfs.: (53) (24) 6 6678 y (53) (24) 6 6234
Telefax: (53) (24) 6 4428
Telex: 021 397

ANALISIS DE LOS ERRORES TOPOGRAFICOS COMETIDOS EN LA DETERMINACION DE LOS VOLUMENES DE MASA MINERA EXTRAIDA CON LA UTILIZACION DE LOS RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO TAQUIMETRICO

Ing. Orlando Belete Fuentes
Lic. Fredy Breff Azahares

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN: Se expone una metodología para valorar la exactitud de determinación de los volúmenes de masa minera extraída en los yacimientos lateríticos del nordeste de la provincia de Holguín con la utilización del levantamiento taquimétrico. Esto permitió obtener un error de 4,2 % en la mina Punta Gorda y 7,1 % en la mina Moa, una diferencia en la extracción anual de más de 50 000 t. de aproximadamente 1 000 000 que se minan. La determinación de estos valores sobrepasa el valor permisible para el cálculo del volumen que es de 2,5 %.

ABSTRACT: Exposed is a methodology in order to evaluate the precision of the algorithm used to determine the stadia method. It is also checked the way in which the position in the net of the evolving, the border condition of the system of steps, the position of the points in the stadia method, the irregularity talus shape, the representation of the points and the measure of the areas in the calcule of the volume of the extracted mining mass. The application of this methodology permite to obtain an error of 4,2 % in Punta Gorda mine and 7,1 % in Moa mine.

Como en todo proceso de minería, la topografía desempeña un papel de gran importancia, que comienza en la etapa de exploración del depósito y no termina hasta el agotamiento total de las reservas existentes. La experiencia ha demostrado que menospreciar la importancia de los trabajos topográficos en cualquiera de las etapas de ejecución de las labores geólogo-mineras, representa el primer paso para que posteriormente se presenten numerosas deficiencias que acabarán afectando negativamente la calidad del mineral extraído.

La falta de una red de puntos de apoyo capaz de controlar el desarrollo de los trabajos topográficos mineros en el yacimiento, es la causa principal para que se produz-

can una serie de errores cuya influencia se hace evidente en el cálculo de volúmenes y específicamente en las grandes diferencias que se obtienen entre el mineral que se procesa y el mineral que se explota. Esta es la causa que ha conllevado a que se realice el análisis de cómo influyen los errores topográficos en la determinación del volumen de masa minera extraída en canteras, utilizando una metodología diseñada por los autores.

El trabajo se realizó en las minas de los yacimientos Punta Gorda y Moa, pertenecientes a la Unión de Empresas del Niquel, en el noreste de la provincia de Holguín, Cuba, analizando la influencia de estos errores en el cálculo de volúmenes.

ERROR DE LA POSICION DE LOS PUNTOS DE LA RED DE LEVANTAMIENTO

A la conclusión sobre la existencia de estos errores se llegó, sobre la base de que los puntos topográficos no pueden conservarse permanentemente en la cantera, debido al avance del frente de explotación o movimientos de tierra. Aquí, el levantamiento se realiza al final de cada mes y se hace desde diferentes posiciones de los puntos de la red de apoyo, conllevando a errores en la determinación de los volúmenes, influenciados por el error de la posición del punto en la red del levantamiento. La exactitud de determinación de los puntos de la red de levantamiento está condicionada por la exactitud necesaria de determinación de los volúmenes de extracción de masa minera y el ancho de los frente de excavadora que se emplean en las canteras. El error de determinación del

volumen del frente de la excavadora se determina por la fórmula:

$$mV_c = mc / 2 \cdot L \cdot h \quad (1)$$

donde mc es el error de la posición del punto de la red de levantamiento.

La magnitud relativa de (1) será:

$$Mvc = mc / (2 \cdot d) \quad (2)$$

donde l , d y h son la longitud, ancho y altura del frente de la excavadora respectivamente.

Como se observa en la fórmula anterior, al aumentar d disminuye el error del cálculo de volumen.

Si el levantamiento del frente de la excavadora se hace desde varios puntos determinados independientemente, el error relativo al determinar el volumen será:

$$Mvc = mc/d \cdot k \quad (3)$$

donde k es la cantidad de puntos en la red de levantamiento, de donde se deduce que al aumentar k disminuye el error en k veces.

Si se toma una tolerancia del 1,8 % obtenemos los errores medios de la posición de los puntos de la red de levantamiento para los diferentes frentes de excavadora.

ERRORES DE DETERMINACION DE LOS CONTORNOS DE LOS BORDES SUPERIORES E INFERIORES DE LOS ESCALONES

La realización del levantamiento taquimétrico de los bordes superiores e inferiores de los contornos de los escalones en las canteras minadas, siempre se lleva a cabo sobre superficie irregular y en ocasiones con derrumbe, por lo que los puntos taquimétricos se sitúan generalmente a intervalos de distancia entre 20 y 40 metros, conllevando a la generalización de los contornos de los bordes y por consiguiente a los errores de las áreas de las secciones.

Es evidente que la magnitud de los errores del cálculo de las áreas en los bordes de los contornos de la cantera, depende ante todo de la distancia entre los puntos, del levantamiento y de las irregularidades de los contornos de los bordes tanto superiores como inferiores.

Para poder determinar los errores producidos por la irregularidad de los contornos de los bordes, en la (Figura 1), a manera de ejemplo, se muestra un sector del borde determinado para los puntos 1, 2 y 3 donde los intervalos entre ellos se seleccionaron a una equidistancia (a) de 20 metros y se determinaron las longitudes de las ordenadas (b) en el plano entre los bordes superiores e inferiores en el cual se tomaron los siguientes valores: $b_1 = 10$ m, $b_2 = 14$ m, $b_3 = 8$ m; a -distancia entre puntos. El área real del sector limitado por el contorno del borde y la recta AB será igual a:

$$SA_{123B} = a(b_1 + b_2 + b_3)/2 = a(b_1 + b_2 + b_3)/2 \quad (4)$$

Si el contorno real 1, 2, 3 se sustituye por el contorno 1, 3 entonces, el área de la Figura A13B será la siguiente:

$$SA_{13B} = (2a(b_1 + b_3))/2 \quad (5)$$

La diferencia entre los valores de las fórmulas (4) y (5) será (ΔS), error del área por la influencia de la irregularidad del contorno y es igual a:

$$\Delta S_1 = 2a(b_1 + b_3)/2 - 2a(b_1 + 2b_2 + b_3)/4 = 2a(b_1 + b_3 - 2b_2)/4 \quad (6)$$

Al dividir el valor ΔS_1 por la magnitud del sector AB, es decir, por $2a$ se obtendrá el error de generalización del contorno:

$$\Delta S/2a = (b_1 + b_3 - 2b_2)/4 = \Delta S/4 \quad (7)$$

El numerador de la fórmula (7) representa la segunda diferencia de las ordenadas sucesivas b_1, b_2, b_3

Para poder operar con los errores de la irregularidad de los contornos de los bordes al igual que con los errores casuales es necesario saber si le corresponde la ley de distribución normal. Para esto, en una serie de contornos se

TABLA 1.

Yacimiento	mc' (m)	L (m)	d (m)	h (m)	mVc (m ²)	Mvc (%)
Punta Gorda	0,86	80	67,7	9,35	643,3	2
Moa	0,74	80	58,6	15,28	904,6	2

La determinación de los puntos de la red de levantamiento se recomienda realizarlo con distanciómetros electro-ópticos, empleando los métodos de microtriangulación, intersecciones, poligonales con teodolito, cumpliendo las exigencias técnicas del ICGC.

hallaron las primeras diferencias Δ' y las segundas diferencias Δ'' de las ordenadas que representan los contornos y

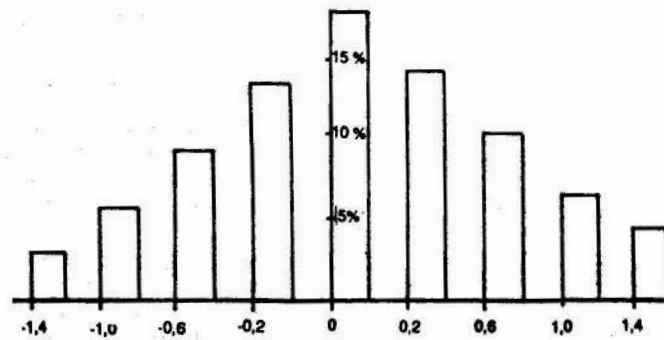


FIGURA 1. Histograma

se construyeron histogramas de frecuencia.

Este histograma muestra que en el contorno del borde superior del sector experimental número 2 de la mina Moa, las primeras y segundas diferencias pueden considerarse distribuidas normalmente.

El área bajo la curva limitada por n puntos puede calcularse por la siguiente fórmula:

$$S = a(b_1 + b_2 + \dots + b_n + b_{n+1})/n \quad (8)$$

Como $L = a \cdot n$ y $bm = \sum b/n$ entonces $S = L \cdot bm$ donde L - longitud del sector levantado, a - distancia entre puntos y bm - b media.

El error de determinación del área en función de los errores producidos por la irregularidad del contorno se determinó por la siguiente fórmula:

$$ms = L \cdot m \cdot b_m \quad (9)$$

De la fórmula anterior se deduce que el error del área es proporcional al error de la ordenada media (mbm), el cual depende de la magnitud del intervalo (a) y del carácter del contorno del borde. Al variar la magnitud del intervalo se obtienen las diferentes magnitudes de mbm .

La determinación del error de mbm se puede obtener mediante la comparación de las ordenadas medias, obtenidas por el número limitado de puntos para los distintos intervalos de distancia y las ordenadas más probables (b_{prob}) obtenidas por el levantamiento más detallado (a intervalos de 5 m) de los contornos de los bordes (ver tablas) y se calcula por la fórmula:

$$mbm = \pm (\delta)^2/n \quad (10)$$

donde $\delta = bm - b_{prob}$, n : cantidad de diferencias.

Los contornos levantados se realizaron en un plano a escala 1:250 divididos en sectores experimentales con longitud de 40 metros. El valor más probable de las ordenadas se obtuvo a intervalos de 5 metros.

Los valores de bm para determinar el error del área por la irregularidad, por los contornos de los bordes, se determinaron para los distintos intervalos 10, 20 y 40 metros:

- para intervalo de 10 m -

$$bm = (b_1 + 2b_2 + 2b_5 + 2b_7 + b_9)/8 \quad (11)$$

- para intervalo de 20 m -

$$bm = (b_1 + 2b_5 + b_9)/4 \quad (12)$$

- para intervalo de 40 m -

$$bm = (b_1 + b_2)/2 \quad (13)$$

El error del área (ms) para el sector experimental con longitud (L) teniendo en cuenta los errores de los contornos de los bordes inferiores y superiores es igual a:

$$msa = \pm mbm \cdot L \cdot 2 \quad (14)$$

y para el frente de excavadora con longitud $D = L \cdot n$

$$msa = \pm mbm \cdot 2DL \quad (15)$$

multiplicando y dividiendo la expresión anterior por (a)

$$msa = \pm K \cdot a \cdot D \quad (16)$$

De esta manera se puede afirmar que el error del área de la sección horizontal determinado por el levantamiento taquimétrico, depende del intervalo entre puntos (a), de la longitud de frente de excavadora (D) y del coeficiente k .

El coeficiente k depende de mbm que es determinado por el carácter de los contornos y por la magnitud a .

El error de volumen se determinó, para rocas mineras blandas, por la siguiente ecuación:

$$mvs = (0,11a^{1,1} \cdot h \cdot D)/2 \quad (17)$$

El error relativo de determinación del volumen se determinó por la siguiente ecuación:

$$mvs = (0,11a^{1,1})/(d \cdot 2D) \cdot 100 \quad (18)$$

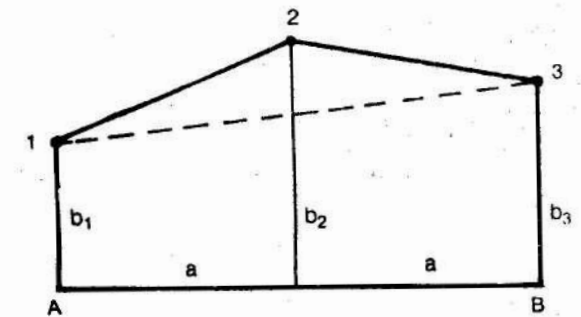


FIGURA 2. Representación de un contorno limitado por tres puntos

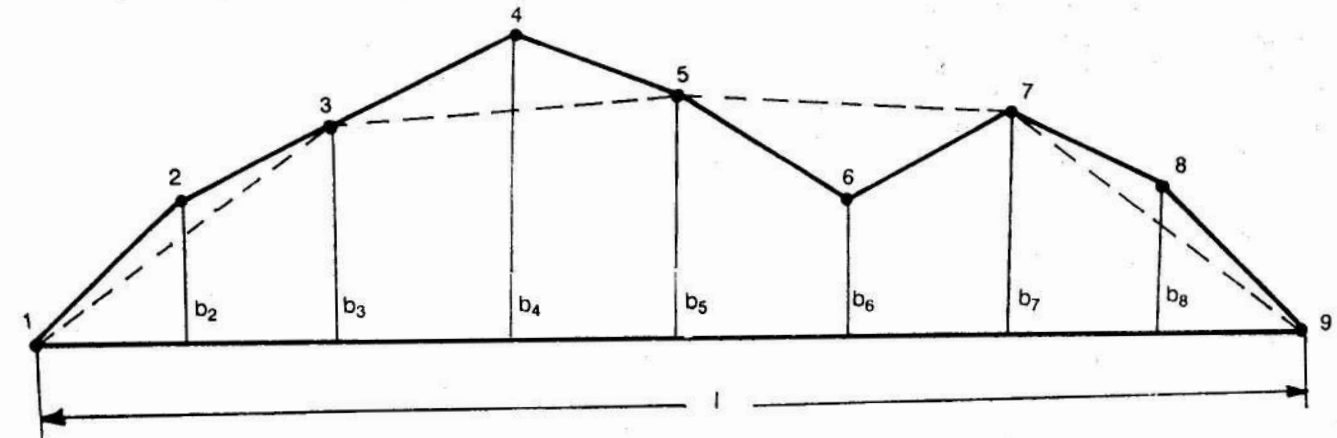


FIGURA 3. Representación de un contorno limitado por dos puntos

y haciendo $k = mbm/(a \cdot 2L)$ se obtiene:

donde d - ancho medio del talud.

ERROR POR LA IREGULARIDAD DE LOS PERFILES DE LOS TALUDES

Las configuraciones regulares del perfil del escalón son limitadas por la posición del contorno en el borde superior e inferior, lo que lo hace suficiente para la representación gráfica en los planos horizontal y vertical, sirviendo este para la determinación del volumen de la masa minera extraída. Sin embargo, en diferentes métodos de extracción y estabilidad de las rocas en el macizo, la configuración regular hace que los ángulos y perfiles de los taludes de los escalones sean diferentes e incluso los hace a veces más complejos.

En la actualidad, en nuestros yacimientos, los bordes de los taludes de los escalones se determinan en dos

posiciones: borde superior y borde inferior, con cuyas representaciones gráficas se calculan los volúmenes.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, se hace necesario determinar un tercer punto en el escalón para poder configurar bien el talud.

Si se calcula el volumen con relación a los puntos AC (volumen 1) y ABC (volumen 2), se obtendrá una diferencia de volumen ocasionada por la configuración del talud del escalón y será lo que llamamos error por la configuración del talud, el cual ejercerá gran influencia en el cálculo del volumen

Se sabe que la forma de los frentes de excavadoras se determina, no solamente por los contornos de los bordes, sino también por la superficie de los escalones. Sin embargo, durante la realización del levantamiento taquimétrico del talud de los escalones, a causa de la inaccesibilidad

para el portamina, no se levantan, como resultado de lo cual los planos de las secciones verticales-transversales estas se representan en forma de líneas rectas que unen los bordes superior e inferior.

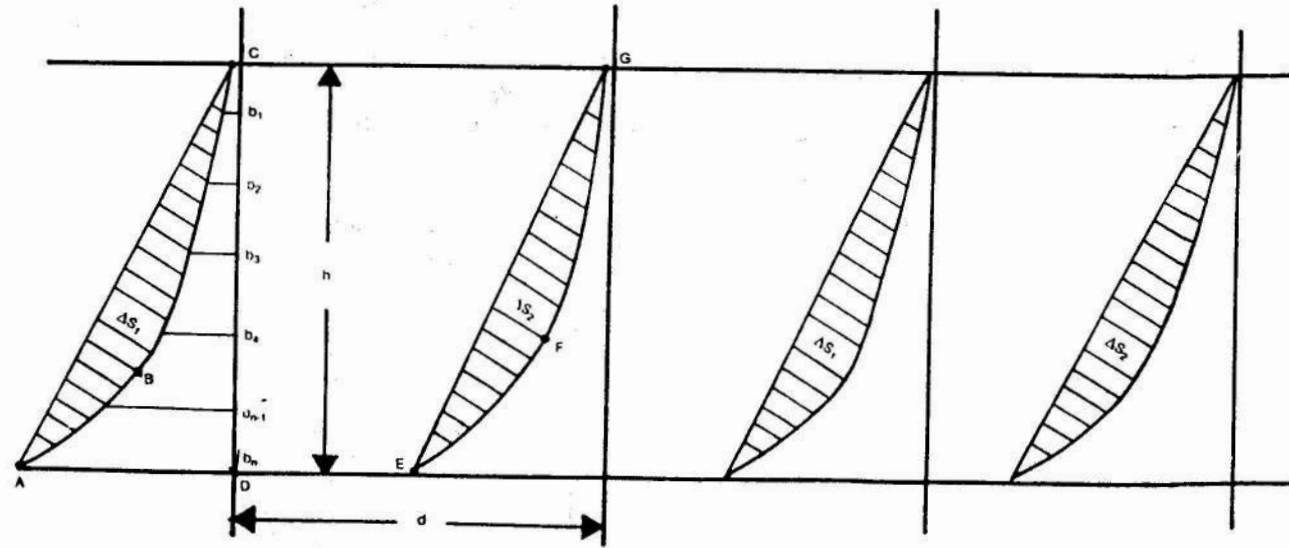


FIGURA 4. Configuración de los perfiles del talud

Durante la explotación de rocas relativamente blandas utilizando excavadoras, el movimiento de la cuchara durante el arranque de la roca se realiza desde abajo hacia arriba en tres ciclos: arranque, arranque-alce y alce. Como resultado de los movimientos de la cuchara el perfil toma una forma cóncava, aproximándose a una parábola.

En la (Figura 4), donde ABC y EFG son el perfil real del talud y AC y EG son el generalizado, tenemos que:

$$S_r = S_o - \Delta S_1 + \Delta S_2 \quad (19)$$

donde S_r y S_o son las áreas de la sección transversal del perfil real y el generalizado respectivamente; ΔS_1 y ΔS_2 son las áreas entre ambos perfiles y 1 y 2 son las posiciones inicial y sucesiva del talud.

De la expresión (19) se demuestra que:

$$\text{Si } S_o - S_r = D, \text{ entonces } \Delta S_1 - \Delta S_2 = D \quad (20)$$

En este caso D es la diferencia entre las áreas de la sección de los perfiles generalizados y real de los taludes. Si $\Delta S_1 = \Delta S_2$, entonces $D = 0$ y por consiguiente la posición del punto B no ejerce influencia en el volumen del frente de la excavadora.

Como demuestra la investigación realizada, en la mayoría de los casos ΔS_1 y ΔS_2 no son iguales entre sí.

Los trabajos experimentales para determinar los valores de ΔS_1 , ΔS_2 y D , se realizaron en diferentes canteras de la empresas del níquel, con diferentes condiciones minero-

geológicas, en sectores experimentales de 80 metros de longitud a ambos lados del frente de excavadora, a intervalos de distancia de 5, 10, 20 y 40 metros.

En los planos, a intervalos de 5 m, se trazaron secciones transversales para medir las ordenadas $b_1, b_2, b_3, \dots, b_{n-1}$.

Para cada sección se calcularon las áreas de las figuras ABCD y ACD y luego los valores de ΔS_1 mediante:

$$\Delta S_1 = S_{abcd} - S_{acd} \quad (22)$$

Análogamente se determino S_2 para la siguiente posición del talud. En cada sector experimental se determinaron las áreas $\Delta S_1, \Delta S_2, D$ y las medias aritméticas para S_1, S_2 y D .

La longitud de D media se puede analizar como la diferencia entre las áreas de la sección transversal-vertical del frente de excavadora obtenido en los taludes generalizado y real, respectivamente.

La dispersión de los valores D_1 con respecto a D media, se determinó como la desviación media cuadrática.

$$MD = \pm \frac{(D_i - D_{media})^2}{n - 1} \quad (23)$$

donde: n - cantidad de secciones a determinar a D media, a partir de lo cual el error del valor medio de la diferencia D media es MD media = $\pm MD/n$.

Estos resultados aparecen en la (Tabla 2).

TABLA 2.

Yacimiento	Cantidad de sectores	Errores del área mSa (m^2)			Error relativo de determinación del volumen					
		$a=10$	$a=20$	$a=40$	m^3			%		
					10	20	30	10	20	40
Punta Gorda	11	63,2	96,1	172,0	116,2	249,0	532,2	0,49	1,04	2,23
Moa	4	79,7	95,7	192,3	189,3	405,7	869,8	0,48	1,03	2,20

La diferencia de los volúmenes del frente de excavadora, determinado en los taludes generalizados y real respectivamente es:

$$V = V_o - V_r \quad (24)$$

donde: V_o es el volumen generalizado del talud y V_r el volumen real.

Como $V = [(S_1 + S_n)/2 + S_2 + S_3 + \dots + S_{n-1}]a$, entonces:

$$\Delta V = [(D_1 + D_n)/2 + D_2 + D_3 + \dots + D_{n-1}]a \quad (25)$$

Supongamos que: $(D_1 + D_n)/2 = D_1$, entonces obtenemos:

TABLA 3.

Canteras	Intervalos	ΔS_1 (m^2)	ΔS_2 (m^2)	ΔS media m^2	ΔV (m^3)	Mvc (%)
Punta Gorda	10	9,54	11,56	-2,02	323,2	2,36
	20	7,63	11,44	-3,3	609,6	3,56
	40	3,69	9,56	-3,87	619,2	3,64
Moa	10	9,24	14,96	-5,72	192,0	4,07
	20	8,5	11,0	-3,52	563,2	6,00
	40	7,48	8,31	-0,90	915,3	10,6

En la tabla se puede observar que los errores del volumen por la influencia de la configuración del talud, surgen a causa de la variabilidad de la forma de la superficie del talud y de la distancia entre los puntos.

$$\Delta V = a(n - 1) \left(\sum_{i=1}^n D_i \right) / n - 1$$

donde $\sum_{i=1}^n D_i = D$ media; $a(n-1) = L$; L : longitud del frente.

El error relativo del volumen del frente de la excavadora se determinó por la siguiente relación:

$$Mv_o = D_{media}/S \quad (26)$$

donde S es el área de la sección transversal del frente de excavadora.

Este trabajo pone de manifiesto la cantidad de volumen que se extrajo, pero que no aparece contabilizado, trayendo como consecuencia que se informe una cantidad de volumen que realmente no es y que no coincide con la cantidad que tiene el pozo de perforación.

ERRORES DE LA POSICION DE LOS PUNTOS DEL LEVANTAMIENTO TAQUIMETRICO

Los errores de la posición de los puntos del levantamiento taquimétrico, surgen a causa de los errores de la medición de los ángulos y las distancias durante la realización del levantamiento.

La magnitud media de este error fue obtenida por diferentes investigadores y toma valores entre 0.30 y 0.40 m para longitudes de rayos visuales de 20 - 240 m.

El error medio de la posición del punto en la dirección perpendicular al contorno del borde, se obtuvo para longitudes de rayos visuales de 20 - 240 m.

El error del área de la sección horizontal del frente de excavadora a causa de los errores de la posición de los puntos del levantamiento es:

$$m_{st} = mt \quad 2ah \quad (27)$$

donde mt es el error de la posición del punto en la dirección perpendicular al contorno del borde; a , intervalo entre puntos, y h altura media.

El error del volumen del frente determinado, teniendo en cuenta las secciones horizontales en los bordes inferiores y superiores es igual a:

$$mvT = \pm mTh \quad (a \cdot L) \quad (28)$$

y en unidades relativas es:

$$mvT = \pm mT \quad a/d \quad L \quad (29)$$

El error del volumen del frente a causa de los errores de la posición de los puntos en la altura es:

$$mvh = \pm (mH / n) S \quad (30)$$

en unidades relativas es:

$$Mvh = \pm mH/h \quad n \quad (31)$$

donde mh es el error de la posición del punto en el plano vertical.

Esta magnitud fue investigada por una serie de autores y es de 0,1 m; n es el número de puntos para la determinación de la altura media de un borde.

El error relativo total de determinación del volumen a causa de los errores de la posición de los puntos es igual a:

$$MvT, h = \pm ((mT^2) a/d^2 \cdot L) + (mH^2/nh^2) \quad (32)$$

De la fórmula se ve que el error de determinación del volumen del frente, depende no solamente de la magnitud mt y mh , sino de la distancia entre puntos, longitud y ancho del frente.

TABLA 4.

Yacimiento	Parámetros	$a=10$	$a=20$	$a=40$
Punta Gorda	mvh	127,73	171,39	221,06
	$Mvth$	1,10	1,16	1,25
Moa	mvh	110,37	148,53	191,34
	$Mvth$	0,73	0,80	0,92

TABLA 5.

Yacimiento	Error deter-do	$a=10$	$a=20$	$a=40$
Moa	mvh	69,88	98,83	139,77
	$Mvth$	0,16	0,22	0,32
Punta Gorda	mvh	29,83	40,19	59,67
	$Mvth$	0,15	0,21	0,29

ERRORES DE REPRESENTACION DE LOS PUNTOS EN EL PLANO

La determinación de los volúmenes de extracción de rocas mineras se realiza en base a la documentación gráfica obtenida de los materiales del levantamiento topográfico. Sin embargo, la representación de los puntos en el plano viene acompañada de errores. Estos errores fueron calculados para distintos intervalos de distancia (Tabla 6).

El error de ubicación de los puntos en el plano se puede realizar por la fórmula:

$$mhi = \pm m \cdot h \cdot \beta_i \cdot \cos(t_i)^2 + m \cdot H \cdot li \cdot \operatorname{sen}(t_i)^2 \quad (33)$$

donde: $m\beta_i$ y mH_i son los errores de la posición del punto a causa de los errores de construcción del ángulo y de la distancia acumulada; t_i es el ángulo formado entre el rayo visual y la dirección del borde.

La magnitud $m\beta_i$ depende de la exactitud del transportador utilizado y de la distancia li desde el instrumento hasta el punto.

$$m\beta_i = m\beta_i \cdot li / p \quad (34)$$

El error medio $m\beta$ en base al estudio de los trabajos de investigación consultados es de ± 10 , de lo que se desprende que:

$$m\beta_i = \pm 0,003 \cdot li \quad (35)$$

El error medio previo de la distancia acumulada mhl es igual a 0.25 mm lo que $mhl = \pm 0.00025 M$, donde M es el denominador de escala.

Los errores del ploteo de los puntos fueron calculados para diferentes canteras a escalas 1:250 situando el taquímetro a 10, 20, 30, 40 y 60 m del borde.

El error del volumen del sector elemental entre los puntos adyacentes al calculado por las secciones superiores e inferiores será:

TABLA 6.

Cantera	Intervalo	$\Delta S (m^2)$	$A (m)$	$d (m)$	$L (m)$	$mvp (m^3)$	$Mvp (\%)$
Punta Gorda	10	11,77	9,35	67,7	80,0	10,04	0,22
	20	8,77	9,35	67,7	80,0	82,0	0,16
	40	5,86	9,35	67,7	80,0	54,79	0,11
Moa	10	9,27	15,28	58,6	80,0	741,6	1,03
	20	4,55	15,28	58,6	80,0	354,0	0,51
	40	2,27	15,28	58,6	80,0	181,6	0,25

ERRORES EN LA MEDICION DE LAS AREAS

En la determinación de los volúmenes de roca extraída, las áreas se calculan por el método mecánico con ayuda del planímetro, el cual posee una gran sencillez y alta productividad.

Se calcularon las áreas y sus errores en los planos a escala 1:250, 1:200 y 1:500 utilizando la fórmula de Jordan.

$$\Delta S = 0,0002 M \cdot S \quad (42)$$

donde ds es el error del área calculada con el planímetro; M , denominador de la escala del plano; S , área de la sección.

La determinación de los errores del planímetro se hizo en comparación con las áreas obtenidas con el planímetro y el método analítico.

TABLA 7.

No	Dim	S_p	S_r	$S_p - S_r$	ΔS	$\Delta S/s \%$
1	8,3	68,7	68,9	-0,2	0,83	1,20
2	10,0	100	100	0,0	1,0	1,00
3	16,6	276,3	277,6	-1,3	1,67	0,60
4	20,0	395,8	400	-4,2	2,0	0,50
5	33,3	1 105,3	1 110,9	-4,6	3,33	0,30
6	40,0	1 580	1 600	-20,0	4,0	0,25
7	50,0	2 479,2	2 500	-20,8	5,0	0,20
8	66,0	4 424,3	4 443,6	-19,3	6,67	0,15
9	100,0	9 930,0	10 600	-70,0	10,0	0,10

Es conocido que en la minería del níquel las áreas más pequeñas que se miden con el planímetro son mayores de

$$mV_i = \pm mH_i a h \quad (36)$$

El error de todo el volumen del frente es,

$$mvh = \pm a^2 h^2 (mH_1^2 + mH_2^2 + \dots + mH_n^2) \quad (37)$$

Multiplicando y dividiendo la expresión por h^2 tenemos que $mvH = \pm mhlh/n$, donde mH es el error medio cuadrático de la ubicación de los puntos en el plano

$$mH = \pm (m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2) \quad (38)$$

La expresión mH/n representa el error medio de la posición del contorno levantado del borde con longitud L a causa de la ubicación de los puntos en el plano.

Al sustituir en la fórmula a $h = l/a$, obtenemos la expresión del error del volumen del frente:

$$mvH = \pm mH h a \cdot h \quad (39)$$

$$mvH = \pm mH a / (l \cdot d) \quad (40)$$

Al variar L para los planos a escala 1:250 el error medio cuadrático comenzando por $L = 80$ m aumenta, pero como L también aumenta, entonces la relación prácticamente no varía. Por eso al tomar el valor medio mH/L , la fórmula (40) se puede escribir como:

$$mvH = \pm mH / L \cdot a/d \cdot 100 \quad (41)$$

La fórmula se obtuvo para los planos a escala 1:250 teniendo en cuenta que el error relativo de determinación del volumen del frente a causa de los errores de ubicación de los puntos en el plano no depende de la longitud del frente, sino que depende solamente de la distancia entre los puntos y ancho del frente.

tres metros cuadrados produciendo errores sustanciales. Según la (Tabla 7) las áreas muy pequeñas y estrechas no deben medirse con planímetros polares ordinarios, ya que resultan poca exactas sus mediciones y mientras mayor sea la escala del plano más precisa será.

Como el error permisible ds/s , 1:200 las áreas menores de 250 m deben medirse por el método de las cuadrículas o por computación.

ERROR TOTAL DE DETERMINACION DEL FRENTE DE EXCAVADORA EN EL LEVANTAMIENTO TAQUIMETRICO

El error medio cuadrático de determinación del volumen del frente de excavadora o del bloque en relación con la investigación realizada es:

$$Mv^2 = Mvc^2 + Mva^2 + Mvo^2 + Mvt^2 + Mvh^2 + Mvp^2 \quad (43)$$

TABLA 8.

Cantera	Intervalo	Mvc	Mva	Mvo	Mvt	Mvh	Mvp	Mv
Punta Gorda	10	2,0	0,49	2,36	1,10	0,15	0,11	3,3
	20		1,04	3,56	1,16	0,21	0,16	4,4
	30		2,23	3,64	1,25	0,27	0,22	4,9
Moa	10	2,0	0,48	4,07	2,73	0,16	0,25	4,6
	20		1,03	6,0	0,80	0,22	0,51	7,5
	30		2,20	10,6	0,90	0,32	1,03	11,1

En la (Tabla 8) se puede apreciar que los errores de configuración del talud son los que mayor influencia ejercen. El promedio del error total en el yacimiento Punta Gorda es de 4,2 % y en el yacimiento Moa es de 7,1 %.

Si se minara aproximadamente en cada mina un millón de toneladas de mineral al año, el error sería de 42 000 t. para el yacimiento Punta Gorda y 61 000 t. para el yacimiento Moa.

CONCLUSIONES

Se confeccionó y aplicó una metodología para determinar los errores topográficos que influyen en el cálculo de volumen de masa minera, extraída con la utilización de los resultados del levantamiento taquimétrico, lo que permitió:

- Descubrir los errores topográficos que influyen en el cálculo de volumen, así como valorar su magnitud.
- Establecer que el levantamiento taquimétrico garantiza la determinación de los volúmenes con la exactitud necesaria durante la extracción de las lateritas con excavadoras en frentes de explotación mayores de 20 metros. En caso de que el ancho de los frentes sea menor

de 20 m, el error de determinación del volumen supera la magnitud permisible (2,5 %).

- Evaluar cómo estos errores obtenidos que superan el error permisible, influyen en la diferencia de volumen. De un millón de toneladas aproximadamente que se minen al año hay una diferencia ocasionada por el error de más de 50 mil toneladas.
- Proponer el perfeccionamiento de los trabajos topográficos mineros que se llevan a cabo en las canteras, con el objetivo de obtener una mayor precisión en la determinación del volumen de la masa minera.

REFERENCIA

- CHAIKO, B. A.: *Análisis de la exactitud de determinación de los volúmenes de escombro durante la explotación de los yacimientos a cielo abierto*, CB.64.VNIMI, 1969.
- CHAIKO, B. A.: *Análisis de los métodos de determinación de los volúmenes de extracción de masa minera en canteras y vías para su perfeccionamiento*, Leningrado, 1971.
- Instrucción técnica para la realización de los trabajos topográficos, Nedra, Leningrado, 1973.
- KRONGAUZ, B.S. y otros: *Indicaciones metodológicas para la determinación de los volúmenes de masa minera extraída en canteras*, Leningrado, 1969.
- PEREGUDOV, M.A. y otros: *Trabajos topográficos en canteras y minas*, Nedra, Moscú, 1980.