

CDU: 528. 162

EL INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO OFERTA LOS SIGUIENTES CURSOS DE POSTGRADO:

Elementos de cálculo operacional
Fecha: octubre a diciembre 1988

Geodesia Aplicada
Fecha: octubre a diciembre 1988

Construcción subterránea
Fecha: enero a febrero 1989

Explotación a cielo abierto
Fecha: enero a febrero 1989

Explotación subterránea
Fecha: enero a febrero 1989

Laboreo excavaciones subterráneas
Fecha: enero a febrero 1989

Fragmentación de rocas
Fecha: enero a marzo 1989

Estudio del proceso de precipitación de sulfuro a partir de soluciones deidas
Fecha: enero a marzo 1989

METODOS DE APROXIMACION DEL RELIEVE

C.Dr. Alejandro Chibunichev; Ing. Felipe Rodiles, Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un análisis de los métodos existentes para realizar la aproximación del relieve. Además con estos métodos creamos un modelo numérico del relieve a través del cual realizamos trabajos tales como, confección de planos topográficos, trazado de perfiles, cálculo de volúmenes, etc.

ABSTRACT

There is a detailed analysis of the existing methods for the relief approximation in this paper. Furthermore, with these methods we create a relief numeric model by means of which we analyse some works such as confection of topographic plans profile traces volume calculus, etc.

Actualmente en las minas niquelíferas de Moa se aplican los métodos tradicionales de topografía en la determinación de los volúmenes de mineral extraído, en renovación, confección de los planos topográficos de la mina, construcción de los perfiles, etc.

Como método básico de todos estos trabajos se utiliza el método de las secciones verticales dentro de 16,6 m.

Es evidente que tal método no es preciso porque no se sabe cuales variaciones de la superficie topográfica existen entre dos perfiles por la distancia 16,6 m. La disminución de la distancia entre las secciones verticales provoca el aumento considerable del volumen de los trabajos de campo y de gabinete.

Por eso en el laboratorio de fotogrametría del ISMM fueron realizadas las investigaciones [6] sobre la aplicación de fotogrametría terrestre para la confección de los planos topográficos de la mina en escalas grandes para determinar el volumen de mineral extraído y de escombros. Estas investigaciones demostraron la gran eficacia del método fotogramétrico en comparación con los métodos topográficos desde el punto de vista del tiempo y de la precisión. Pero este método tiene sus deficiencias: ocupa mucho tiempo el proceso de confección del plano topográfico en el equipo universal estereofotogramétrico y el proceso de planimetría en las curvas de nivel.

Una de las vías del aumento de la eficacia de los métodos fotogramétricos es la aplicación del modelo numérico del relieve para el trazado automático de las curvas de nivel con ayuda de máquina computadora y el coordinatógrafo automatizado (plotter).

Por el modelo numérico del relieve se entiende un conjunto cuyos elementos son: las coordenadas y las cotas de los puntos del terreno y la regla del tratamiento de estos datos.

El modelo numérico del relieve se obtiene como resultado del procesamiento en la máquina computadora de las mediciones estereofotogramétricas realizadas a partir de fotografías en el estereocomparador o en el equipo universal. Además, para obtener el modelo numérico se pueden utilizar los resultados del levantamiento taquimétrico.

En todos los casos el modelo numérico del relieve se presenta por un conjunto de puntos con tres coordenadas geodésicas X, Y, Z.

Según los esquemas de preparación y organización de los datos iniciales los modelos numéricos existentes se pueden dividir en (3):

- Modelos con la distribución de los puntos de apoyo en los vértices de una red regular de los cuadrados, rectángulos o triángulos.
- Modelos semiregulares en forma de un sistema de los perfiles paralelos entre sí.

- Modelos con los puntos de apoyo accidental (en el sentido geométrico) en los puntos característicos del relieve.

Según uno de estos esquemas se realizan las mediciones de los puntos a partir de los fotogramas los cuales van a servir como puntos de apoyo para la descripción matemática del relieve del terreno. El método del tratamiento matemático de la información numérica del relieve depende del esquema de preparación y organización de los datos iniciales. Pero de todos modos siempre se va a resolver el problema de la interpolación de las cotas entre los puntos de apoyo tratándose de cumplir una serie de exigencias contradictorias.

- Utilizar los esquemas relativamente simples de la organización de los datos mientras que la cantidad de los mismos sea mínima.
- Asegurar la precisión necesaria de la determinación de las cotas durante la restitución del modelo del relieve.
- Permitir apreciar objetivamente la precisión de acercamiento hacia la superficie topográfica real.
- Asegurar la posibilidad de transformar la información numérica a la forma tradicional gráfica.

Actualmente para la resolución de diferentes problemas de topografía e ingeniería fueron propuestos, y se están utilizando, varios métodos de modelación matemática del relieve, que se basan en los esquemas lineales y no lineales de interpolación de las cotas entre los puntos de apoyo.

Se utilizan mucho los métodos de modelación matemática, los cuales permiten pasar los puntos de apoyo con la distribución arbitraria hacia el modelo numérico del relieve en la forma de una red de cuadrículos, rectángulos o triángulos (fig. 1).

Es bueno utilizar estos modelos para resolver diferentes problemas, tales como trazado de las curvas de nivel, determinación de los volúmenes de mineral, confección de los perfiles en cualquier dirección y proyección de las construcciones lineales (camino, vías eléctricas, etc).

En otras palabras es necesario obtener las cotas de los puntos Z_{ij} (fig. 1) de los vértices (i, j) de la red de cuadrados, rectángulos o triángulos con las coordenadas dadas X_{ij}, Y_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$).

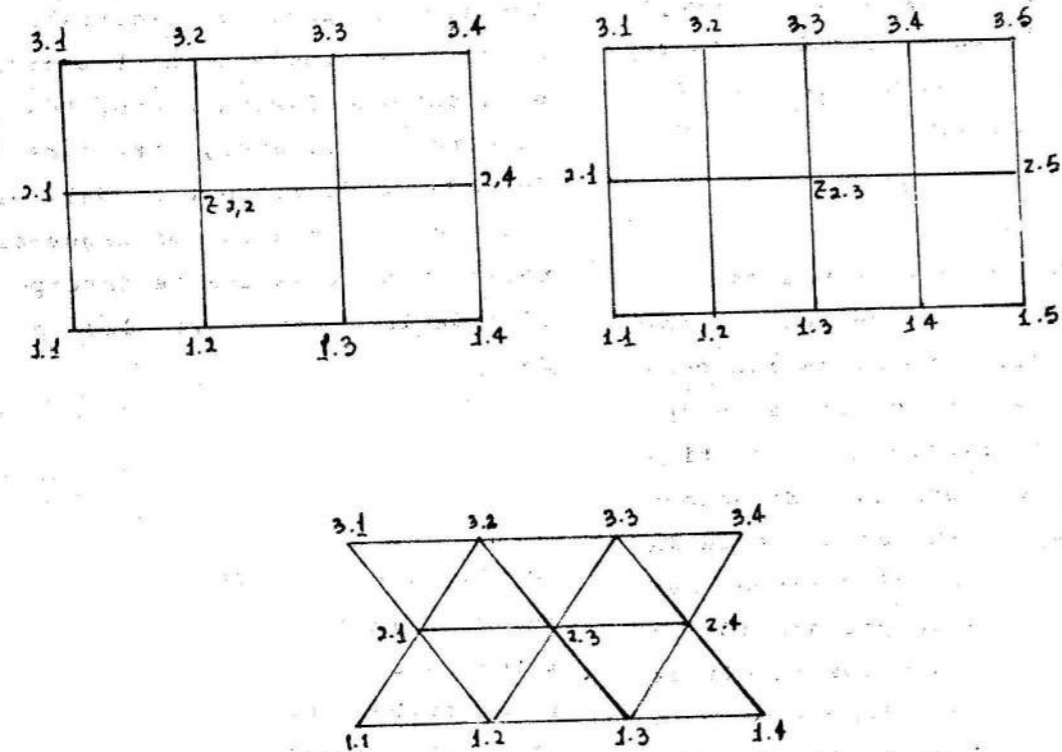


Figura 1

Uno de los métodos de cálculo de las cotas de los puntos según las coordenadas dadas X, Y consiste en construir alrededor de estos puntos una superficie interpoladora de primer, segundo o tercer orden.

Con este fin de un fichero de los puntos de apoyo se eligen los más cercanos al punto a determinar, los cuales están separados de él no más que a una distancia dada R.

La superficie interpoladora se presenta como regla como un polinomio no mayor que de segundo orden y la cantidad de los términos utilizados pueden ser arbitraria. Para polinomio completo de segundo grado.

$$A_{(xy)}^k = Z = A_0 + A_1X + A_2Y + A_3XY + A_4X^2 + A_5Y^2 \quad (1)$$

Hace falta determinar 6 coeficientes incógnitas "a", que se hallan a través de la resolución del sistema de ecuaciones (1) formados por las coordenadas X, Y, Z de los puntos de apoyo. Cuando la cantidad de los puntos supera la cantidad de las incógnitas el sistema de ecuaciones (1) se resuelve bajo la condición:

$$\sum_1^k P_k [Z_k - A_{(X_k, Y_k)}]^2 = \min \quad (2)$$

Es decir se resuelve según el método de mínimos cuadrados. Aquí P_k son los pesos de los puntos de apoyo, los cuales se determinan en dependencia de la posición de estos puntos respecto al punto a determinar.

Como resultado de la resolución del sistema de ecuaciones (1) se obtienen los coeficientes "a". Después sustituyendo en las ecuaciones (1) estos coeficientes y las coordenadas X_{ij} , Y_{ij} del punto a determinar se calcula la cota Z_{ij} .

Similarmente se hallan las cotas Z_{ij} de todos los puntos de la red regular.

Por los diferentes investigadores fueron propuestas y elaboradas varias modificaciones que se diferencian entre sí por el método de elección de los puntos, por la dimensión de la zona para modelar y el cálculo de los pesos [6, 8].

Los resultados de investigaciones realizadas por diferentes autores muestran [6, 8] que los métodos de este grupo garantizan buenos resultados solamente en el caso que hay gran densidad en los puntos de apoyo, el cual durante los levantamientos en grandes escalas es igual aproximadamente a 80 - 100 puntos para 1 hectárea. Existen factores subjetivos dentro de los cuales se encuentran: la dimensión de la zona a modelar, la determinación de los pesos y otros.

Además durante la elección geométrica de los puntos de apoyo no hay ninguna garantía que en la zona a modelar no van a utilizarse simultáneamente los puntos de apoyo situados a ambos lados de una línea divisoria del relieve.

Tal método de modelación del relieve fue realizado (en el laboratorio de Fotogrametría del ISMM) en un conjunto de los programas con el fin de trazar las curvas de nivel utilizando la máquina computadora personal NEC y su coordinatógrafo automatizado "miplot II".

Todas las conclusiones antes mencionadas fueron reafirmadas, y a nuestro juicio, por ahora, éste método no puede ser recomendable para su utilización en las minas de níquel donde hay gran variación del relieve.

Existe otro método, el cual muy particularmente consideramos es más eficaz, de modelación matemática del relieve [1, 3, 4, 5, 6]. Aquí se propone utilizar el aparato de correlación para interpolar las cotas en una zona determinada, suponiendo que el relieve es una función aleatoria de la distribución de las cotas.

En este caso la superficie topográfica se describe con la expresión:

$$Z = BC \quad (3)$$

Donde:

Z - Es el vector de las cotas de los puntos del terreno.

B - Es una matriz de valores de una función de correlación (P) de las distancias entre los puntos del terreno.

C - Es el vector de los coeficientes constantes para la zona dada.

Los métodos elaborados [1, 3, 4, 5, 6] según la ecuación (3) se diferencian entre sí por la expresión de la función de correlación F .

Existen las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 F &= 1 - r^2 \cdot F = \exp(-Qr^2) \\
 F &= \exp(-a^k) \quad F = \frac{1}{1+r} \\
 F &= (r^2 + a)^p \quad F = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{a}{\sqrt{r^2 + a^2}}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Donde: son las distancias entre los puntos; a es una constante.

Como mostraron nuestras investigaciones en calidad de F es mejor utilizar la siguiente modificación de (4).

$$F = \sqrt{r^2 + 1}$$

Para determinar los coeficientes C_k se utilizan los puntos de apoyo con las coordenadas conocidas X, Y, Z . Supongamos que tenemos " K " puntos de apoyo para una zona, entonces de (3) tenemos

$$C_k = B_k^{-1} Z_k \tag{6}$$

Donde:

$$C_k = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_k \end{bmatrix}; \quad B_k = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} & \dots & F_{1k} \\ F_{21} & F_{22} & \dots & \dots & F_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{k1} & F_{k2} & \dots & \dots & F_{kk} \end{bmatrix}$$

B^{-1} - es la matriz inversa de B_k

F_{ij} - es la función de correlación de las distancias entre los puntos de apoyo, calculada según (4) o (5), aquí

$$\begin{aligned}
 r &= \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \\
 (i &= 1, 2, 3 \dots k); (j = 1, 2, \dots k)
 \end{aligned}$$

Como resultado de la ecuación (6) se obtiene la superficie que coincide estrictamente con la superficie topográfica en los puntos de apoyo.

Los coeficientes C_k expresan la correlación entre las cotas de los puntos de apoyo y las distancias entre ellos mismos, es decir estos coeficientes caracterizan la ley de variación de la cota del punto Z en dependencia de su posición en la zona elaborada, respecto a los demás puntos de apoyo.

Después de calcular estos coeficientes a partir de los puntos de apoyo se pueden (con cierta aproximación) obtener las cotas de los puntos a determinar (por ejemplo las cotas de una red de cuadrados

o triángulos) poniendo conocidas las coordenadas planas X, Y . Para eso se utiliza la misma ecuación (3).

$$Z_n = B_{nk} C_k \tag{7}$$

Donde:

$$Z_n = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix}; \quad B_{nk} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} & \dots & F_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{n1} & F_{n2} & F_{n3} & \dots & F_{nk} \end{bmatrix};$$

$$C_k = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_k \end{bmatrix}$$

Z_1, Z_2, \dots, Z_n son las cotas de " n " puntos a determinar; F_{ij} es la función de correlación de las distancias entre los puntos a determinar y los puntos de apoyo, calculada según la misma fórmula (5), aquí

X_i, Y_i son las coordenadas dadas de los puntos a determinar ($i = 1, 2, 3 \dots n$);

X_j, Y_j son las coordenadas de los puntos de apoyo ($j = 1, 2, 3 \dots K$)

C_k son los coeficientes obtenidos a partir de los puntos de apoyo por (6)

Así se determinan las cotas de cualquier punto en los límites de la zona de modelación.

En general estos métodos de modelación del relieve están limitados desde el punto de vista computacional por las dimensiones de la matriz B

ya, que invertir la dimensión de esta matriz es igual a la cantidad de los puntos de apoyo utilizados.

Además de los dos grupos de métodos antes mencionados existen otros.

En los límites de una zona elemental, según los puntos de apoyo que entran en ella, se confecciona un polinomio de segundo o tercer orden después se determinan los coeficientes de todo el sistema de polinomios bajo la condición de continuidad y "suavidad" en los límites de las zonas elementales del campo de modelación [6]. A la vez se calculan los valores de las cotas en los vértices de la red de cuadrados o triángulos.

Los demás métodos que existen en la práctica son las modificaciones de estos tres grupos.

Además existe otro método [7, 8]. La información sobre el relieve en los límites de una zona (por ejemplo en los límites de un par de fotogramas) se forma (por ejemplo el esquema que corresponde a tecnología tradicional de levantamiento topográfico) como fichero de los puntos a lo largo de las curvas de nivel arbitrarias y los puntos extremos del relieve. La posición de las curvas de nivel con equidistancia dada se halla analizando los puntos de apoyo e interpolando linealmente éstas entre ellos. Este método exige una información complementaria para poder elegir en el fichero de los datos iniciales los puntos entre los cuales hay que interpolar. El algoritmo de tal

método es muy complejo porque hay que tener en cuenta diferentes variantes de variación del relieve.

Los demás métodos que existen en la práctica son las modificaciones de los antes mencionados.

Analizando estos métodos de modelación matemática del relieve nosotros llegamos a la conclusión de que el método que se basa en la correlación entre las distancias y las cotas de los puntos del terreno es mejor para resolver nuestros problemas. Pero no se puede decir que los demás métodos no sirven. La conclusión final respecto al mejor método se puede hacer solamente después de realizar investigaciones más amplias.

Para realizar la confección automatizada de un plano topográfico fueron elaborados tres programas fundamentales "FOTOTER", "MODELO" y "CURVA".

El programa FOTOTER sirve para resolver las intersecciones inversa y directa fotogramétrica, es decir para obtener las coordenadas de varios puntos del terreno a partir de las coordenadas y los paralajes de los puntos correspondientes de un par de fotogramas terrestres medidas en el estereocomparador [2].

Los puntos del terreno obtenidos por este programa sirven como puntos de apoyo para crear el modelo numérico del relieve por el programa MODELO. Este programa se basa en la teoría antes mencionada (3-7) y como resultado se obtiene una red de los triángulos (fig. 1c) en los

límites de zonas levantadas con cotas calculadas en los vértices de éstos.

El programa CURVA sirve para poner en plotter la red de cuadrículos con las coordenadas correspondientes a esta red, marcar los puntos de apoyo con sus cotas, poner los límites de la zona levantada y trazar las curvas de nivel en estos límites. Las curvas de nivel se trazan analizando la red de triángulos del modelo numérico del relieve. El trazado puede ser realizado en tres escalas 1 : 500, 1 : 1 000 o 1 : 2 000.

Todos estos programas están confeccionados de forma que los resultados de un programa sirvan como dato inicial para el otro. El intercambio entre ellos se realiza a través del disco magnético. Por eso una vez calculado el modelo numérico del relieve le tenemos grabado en el disco que permite reproducir el plano topográfico en cualquier momento sin repetir los cálculos y aplicar este modelo para resolver otros problemas tales como determinación del volumen, trazado de los perfiles en cualquier dirección, elegir las vías óptimas para los caminos y otros.

Estos programas están confeccionados en el lenguaje de programación BASIC para la máquina computadora NEC y plotter II.

En la fig. 2 está representado un fragmento del plano topográfico en la escala 1:500 confeccionado por estos programas.

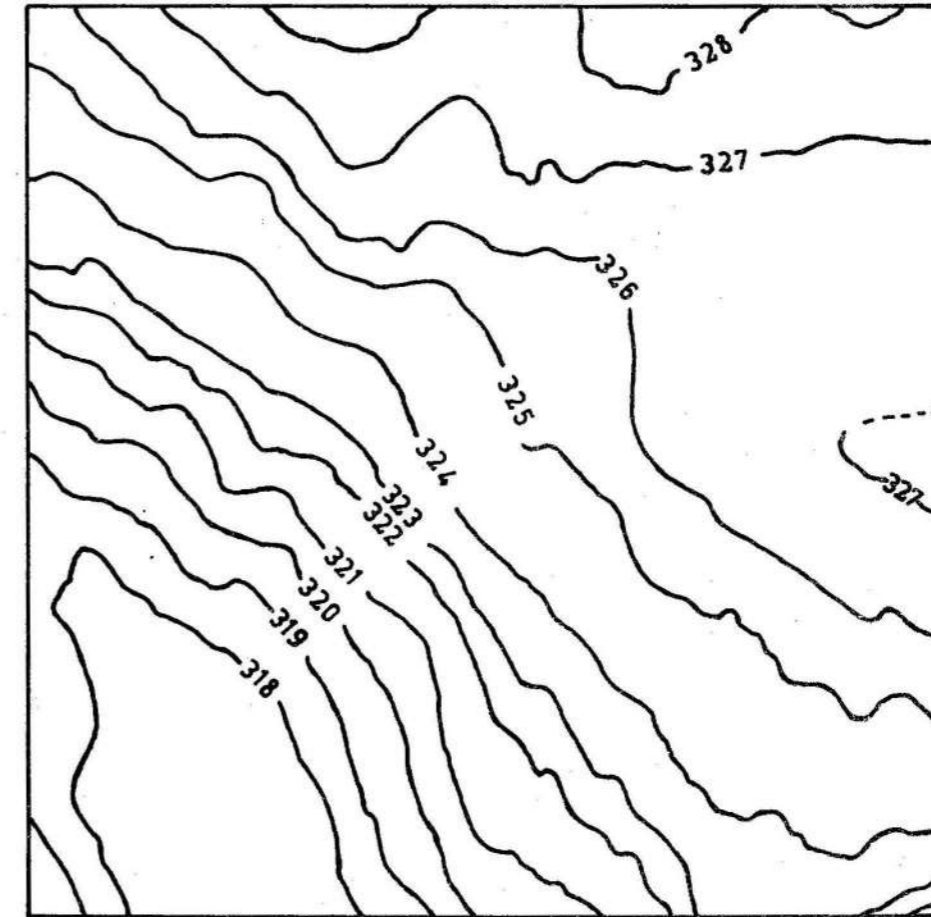


Figura 2

Tabla 1

No.		n	m _z (m)
1	Por las diferencias entre las cotas geodésicas y obtenidas por modelos numéricos en los puntos de control.	32	0,029
2	Por las diferencias en las cotas de los vértices comunes de la red de triángulos.	181 7	0,33
3	Por las diferencias entre las cotas geodésicas y obtenidos del plano interpolando entre las curvas de nivel en los puntos de apoyo.		
4	- - - - " - - en los puntos de control.		

En la tabla 1 están los errores medio cuadráticos m_z , que caracterizan la precisión con que fue obtenido el modelo numérico del relieve (primeros dos m_z) y el plano topográfico a partir de este modelo (tercero y cuarto m_z). Aquí n es la cantidad de los puntos.

El modelo numérico fue confeccionado por zonas con solape (si la cantidad de los puntos de apoyo es muy grande) por eso algunas cotas de los vértices de triángulos del modelo numérico se calculan varias veces.

En calidad de cotas finales se toma el promedio. Al mismo tiempo se calculan las diferencias de las cotas de los vértices de los triángulos comunes que sirven para apreciar la precisión de creación del modelo numérico del relieve.

Al analizar la figura 2 y la tabla 1, teniendo en cuenta que la tolerancia para la confección de un plano topográfico con equidistancia 1 m es igual a 0,33 m se puede concluir que el método elegido de modelación matemática del relieve sirve para este tipo de trabajo.

Para hacer conclusiones más amplias respecto a éste método hace falta realizar investigaciones más amplias. Hay que investigar diferentes aspectos de este método tales como:

1. diferentes tipos, formas de relieve;
2. cantidad y distribución de los puntos de apoyo;
3. las dimensiones de la zona a modelar y el

solape entre estas zonas; 4. diferentes funciones de correlación y algunos otros problemas.

REFERENCIAS

1. ARTHUR, D. W.: Interpolación de funciones de varias variables. Fotogrametría Ingenieril, No. 3, p. 261-266, 1973.
2. CHIBUNICHEV A. G. y OTROS: Resolución de intersecciones inversa y directa fotogramétrica por métodos analíticos. Inédito
3. CHUEMIN M. B.; E. A. MITTEKMAN: Métodos de aproximación de la superficie topográfica. Geodesia y Cartografía, No. 2, p. 48-56, 1974.
4. CHULMIN M. B.; E. A. MITTELMAN: "Modelos numéricos y su investigación en la toma del relieve del terreno y del fondo de la plataforma continental". Geodesia y aerofotolevantamiento, No. 4, p. 110-117, 1978.
5. HIZGYRESJUJ, D.: Sobre la descripción analítica en las M. C. E. del relieve de la superficie topográfica, en Topografía Minera. Moscú, Nedra, p. 88 - 92, 1979.
6. LOBANOV, A. H. y U. G. CHURKIN: Automatización de los procesos fotogramétricos. Moscú, Nedra, 1980.
7. MALIBCKUU, B. K. y B. U. STRUCHENKOB: Sobre la modelación del relieve de la superficie del terreno mediante funciones policuadráticas. Geodesia y Aerofotolevantamiento, No. 6, p. 31 - 36, 1975.
8. MALIASKI, B. K.: Métodos de modelación numérica del relieve de la superficie de la tierra. Geodesia y Cartografía, No. 6, p. 31-38, 1974.
9. RODILES, F. y A. G. CHIBUNICHEV: Determinación de los volúmenes de escombros removido en la Mina Moa utilizando métodos fotogramétricos terrestres en revista Minería y Geología, No. 1, Moa, 1986.

CDU: 622. 261

DETERMINACION DE LA TEMPERATURA EN LAS EXCAVACIONES Y EN EL MACIZO ROCOSO

Ing. Roberto Blanco T., Instituto Superior Minero Metalúrgico; Ing. Orlando Mosqueda, Empresa Minera Holguín

RESUMEN

En el presente artículo se ofrece una síntesis de los resultados obtenidos en la medición de la temperatura en las excavaciones y en el macizo rocoso, los cuales han sido fruto de varios años de trabajo. Se hace una valoración de la temperatura promedio, en verano y en invierno, de un grupo de excavaciones y minas estudiadas llegándose a conclusiones valiosas. Con respecto a la medición de la temperatura en el macizo rocoso se propone una metodología para la realización de dicha tarea. Se obtienen resultados que demuestran que la temperatura del macizo no depende del tipo de roca.

ABSTRACT

In the present article is a given synthesis of the results obtained in the measurements of the temperature, in the shafts and in the earth-crust, which have been the fruits of the various years the evaluation of average temperature is done in summer and winter of the ciruop of shafts and mines studied reaching valuable conclusions worth respect to the measurements of temperature in the earth-crust the methodology is proposed for the realization of the mentioned work. The results obtained show that the temperature of the earth-crust doesnt depend on the type of rock.