

Tabla 2

Mina	Excavación	Tipo de roca	Profundidad de la excav. m	Temperatura grados
Cromita	Socavón 3	Peridotita	100	22,8
Cromita	Socavón 2	Serpentinita	70	22,7
Cromita	Cámara 10	Mineral de Cromo	100	22,4
Cayó Güan	Socavón 8	Dunita	70	23,1
Mercedi - tas	Galería E-3	Gabro-Pegmatita	85	23,2
Mercedi - tas	Galería E-4	Peridotita	85	22,7

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se desprende que la temperatura del aire en las excavaciones, para una misma época del año, como regla varía poco, de 23 a 25 °C en invierno y de 27 a 29 °C en el verano.

Con respecto a la temperatura del macizo rocoso se obtuvo que varía muy poco, de 22,5 a 23,5 °C, y no depende del tipo de roca, ni de la época del año.

CDU: 624.12

CONDICION DE ESTABILIDAD DE LAS EXCAVACIONES  
EN LAS QUE SE UBIQUEN  
FRIGORIFICOS

Ing. Roberto Blanco T. ; Ing. Roberto Watson Q. , Instituto Superior Minero Metalúrgico

## RESUMEN

En el presente artículo se hace un análisis de la influencia que tiene sobre el estado tensional del macizo su enfriamiento. El problema se enfoca, concretamente, para la situación que se crea al ubicar un frigorífico en condiciones subterráneas lo cual conlleva a un enfriamiento de la roca circundante, en aproximadamente 40 °C.

Se hace un análisis de la condición de estabilidad de las excavaciones que se encuentren en tales situaciones y se dan criterios para valorar la afectación que puede sufrir el macizo debido a su enfriamiento.

## ABSTRACT

In this paper there is an analysis of the freezing influence over the bulk tensional state. The problem is focused, especially for the situation that is created to located a freezing in underground conditions which shares to a freezing of the surrounding rock approximately 40 °C.

There is an analysis of the excavations stability condition that are in such a case an there are given criteria to valve the affecting condition that the bulk can suffer due to its freezing.

En las excavaciones que se utilicen para frigoríficos pueden ocurrir, al entrar la instalación de frío en explotación, variaciones de las cargas que sobre ellas actúan debido a la manifestación de tensiones térmicas.

A partir de los trabajos de investigación realizados se conoce que la temperatura del macizo rocoso es de 23 a 24 °C. Cuando este macizo se enfría cada una de sus partes elementales, que se encuentran rodeando a la excavación, tiende a comprimirse y el macizo contrarresta esta acción, es por ello que el contorno de dichas excavaciones y hasta una cierta distancia de él, o sea en el límite de la zona de enfriamiento, actúan tensiones a tracción. Como resultado de este fenómeno se pueden formar en el macizo grietas, zonas de rocas destruidas, etc.

Existen diversos trabajos [1, 5] que estudian la acción de tensiones térmicas, pero en todos los casos en minas profundas en las que el enfriamiento del macizo se produce a cuenta de la ventilación, y por ende de la disminución de temperatura que se alcanza es de sólo algunos grados [6, 7].

Debido a lo antes expresado se plantea que el papel de las tensiones térmicas es insignificante y puede no tenerse en cuenta. Ahora bien, esto se explica a partir del hecho conocido, de que las tensiones a tracción en el techo de las excavaciones sólo surgen cuando el

coeficiente de empuje lateral es inferior a 0,35 y 0,40 (en dependencia del tipo de roca). Se conoce que el valor de este coeficiente a grandes profundidades es muy superior a este valor e incluso en ocasiones se acerca a la unidad [1, 2, 5, 4], y por ende las tensiones térmicas que surgen en este caso no ejercen una influencia negativa en el estado general del macizo.

A pocas profundidades, y por ende para pequeños valores del coeficiente de empuje lateral en el techo y piso de las excavaciones, surgen tensiones a tracción, las cuales actúan en estos casos con las tensiones térmicas. Las rocas que no tengan una alta resistencia a tracción en estos casos se destruyen.

#### Condición de la estabilidad de las excavaciones

Para las condiciones estudiadas: una posible caída de la temperatura hasta en 40 °C y una pequeña profundidad de las excavaciones (120-150 m) se propone como condición de estabilidad la siguiente expresión:

$$R_t \geq \sigma_\theta + \sigma_\theta^t \quad (1)$$

Donde:

$R_t$  - Límite de resistencia de la roca a tracción.

$\sigma_\theta$  - Tensiones en el contorno de la excavación producidas por el peso de las rocas que yacen sobre ellas.

$\sigma_\theta^t$  - Tensiones térmicas tangenciales.

El valor de las tensiones ( $\sigma_\theta$ ) para un medio elástico e isotrópico (como se supone que es el que se estudia, se puede calcular por la fórmula de S. P. Timóshenko).

$$\sigma_\theta = \gamma H (1 + \lambda) - \frac{\gamma H [(a - b) (1 + \lambda) + (a + b) (1 - \lambda)] (a \sin^2 \varphi - b \cos^2 \varphi)}{a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi} \quad (2)$$

Donde:

$\gamma$  - Masa volumétrica de la roca  
 $H$  - Profundidad de la excavación  
 $\lambda$  - Coeficiente de empuje lateral en el macizo.

$a$  y  $b$  - Ejes horizontales y verticales de la excavación.

$\varphi$  - Angulo que se calcula a partir del eje horizontal de la excavación.

Las tensiones en el techo y piso de la excavación (o sea para  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  y  $\frac{3\pi}{2}$  respectivamente).

serán:

$$\sigma_\theta = \gamma H \left[ \lambda \left( 1 + 2 \frac{b}{a} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

y en los lados (Para  $\varphi = 0$ )

$$\sigma_\theta = \gamma H \left( 1 - \lambda + 2 \frac{a}{b} \right) \quad (4)$$

De la fórmula (4) se desprende que no van a surgir tensiones a atracción en los lados de la excavación.

Del análisis de la fórmula 3 se ve que por el caso en que  $\lambda = \frac{1}{3}$  las

tensiones en el techo y piso de las excavaciones serán igual a cero (para excavaciones circulares, o sea  $a = b$ ).

En caso en que  $\lambda > \frac{1}{3}$  sólo actuarán tensiones a tracción, y para valores de  $\lambda$  inferiores a  $\frac{1}{3}$  actuarán tensiones a compresión.

Las tensiones térmicas tangenciales ( $\sigma_\theta^t$ ) en el contorno de las excavaciones y el macizo de roca que la rodea se pueden calcular por las ecuaciones de la teoría de la elasticidad [7].

$$\sigma_\theta^t = \frac{\alpha E}{1 - \mu} \cdot \frac{1}{\rho^2} \left( \int_r^\rho T_\theta d\rho - T_\theta r^2 \right) \quad (5)$$

Donde:

$\alpha$  - Coeficiente de ensanchamiento lineal.

$r$  - Radio de la excavación.

$\rho$  - Distancia del centro de la excavación al punto del macizo que se estudia.

$x$  - Distancia del contorno al punto estudiado.

$R$  - Radio de la zona de enfriamiento.

$T$  - Una función que tiene en cuenta la temperatura inicial  $T_m$  y la final  $T_x$ .

$$T = T_m - T_x \quad (6)$$

Los estudios e investigaciones realizadas demuestran que la magnitud de la zona de enfriamiento ( $R$ ) en caso de una larga explotación de la obra puede alcanzar 50 m y mucho más

Por ello se puede considerar que el valor de R es muchas veces superior a las dimensiones de las excavaciones.

La variación de la temperatura en toda la zona de enfriamiento de espesor m se puede calcular por la expresión:

$$T_x = T_m - (T_m - T_c) \left(1 - \frac{x}{m}\right)^n \quad (7)$$

Donde:

$T_c$  - Temperatura en el contorno de la excavación.

n - Indicador del grado de parabolismo.

Y la expresión (6) adquiere la forma siguiente:

$$T = (T_m - T_c) \left(1 - \frac{x}{m}\right)^n \quad (8)$$

Como demuestran las investigaciones realizadas por Y. Zaslavsky en la cuenca del Don [7] el coeficiente de parabolismo depende en lo esencial del tiempo de enfriamiento del macizo y su valor al mes se puede tomar de 4 a 5, al año de 3 a 4 y después de 10 años igual a 3.

El espesor de la zona de enfriamiento m para las excavaciones con un ancho desde 3 a 6 m y descensos de temperaturas entre 20 y 4 °C se determina en lo esencial a partir de la duración del proceso de enfriamiento. El diámetro de la excavación, la diferencia de temperatura y las propiedades térmicas de las rocas influyen poco sobre la dimensión m de la zona de enfriamiento.

La magnitud de m al mes, al año y a los 10 años tendrá respectivamente un valor promedio de 5, 16 y 41 m.

Independientemente de la duración del periodo de enfriamiento de la excavación y de las dimensiones de la zona m de enfriamiento, el valor de las tensiones térmicas tangenciales en el contorno de las excavaciones permanece constante y varía solamente en caso de existir diferencia de temperatura.

La expresión (9) se puede escribir de la siguiente forma:

$$\sigma_{\theta}^t = \frac{\alpha E}{1 - \mu} T \quad (9)$$

o sea

$$\sigma_{\theta}^t = \frac{\alpha E}{1 - \mu} [(T_m - T_c) \left(1 - \frac{x}{m}\right)^n] \quad (10)$$

En condiciones normales, antes del enfriamiento de la excavación, la destrucción de la roca del techo tiene lugar a causa del surgimiento en él de tensiones a tracción que tengan magnitudes mayores que el límite de resistencia a tracción de la roca del techo.

En este caso la magnitud del eje vertical (b) de la excavación se puede tomar igual a la altura de la bóveda de destrucción (h). Cuando se produce el descenso de temperatura en la excavación en su contorno surgen tensiones a tracción, las cuales a medida que nos alejamos del contorno disminuyen y a una determinada distancia x se igualan con el límite de resistencia a tracción de dicha roca. En este caso la zona

de roca destruida en el techo de la excavación se propaga hasta una distancia x. Puede ocurrir también que las tensiones térmicas a tracción sean inferiores al valor del límite de resistencia a tracción de la roca y en este caso no va a ocurrir una destrucción complementaria de la roca a causa del enfriamiento.

En la expresión (3) haremos  $b = h + x$  y  $a = \frac{1}{2}$  y se obtiene:

$$\sigma_{\theta} = \gamma H \left[ \lambda \left(1 + 4 \frac{h+x}{1} \right) - 1 \right] \quad (11)$$

Entonces el valor de la tensión actuante se obtiene por la expresión:

$$\sigma_t = \frac{\alpha E}{1 - \mu} (T_m - T_c) \left(1 - \frac{x}{m}\right)^n - \gamma H \left[ \lambda \left(1 + 4 \frac{h+x}{1} \right) - 1 \right] \quad (12)$$

En la expresión (12) las tensiones a tracción se forman positivas y las de compresión negativas.

Con el empleo de esta fórmula y utilizando los datos obtenidos del estudio de las zonas destruidas, las propiedades físico-mecánicas de las rocas y los parámetros térmicos las rocas, y conociendo el límite de la resistencia a tracción de la roca se puede definir si la excavación es o no estable.

#### CONCLUSIONES

En el presente trabajo se hace un análisis de la influencia que tiene el descenso considerable de la temperatura en el macizo rocoso que rodea a una excavación situada a una pequeña profundidad (menos de 150 m)

Esto sucede en los casos en que se procede a ubicar un frigorífico en condiciones subterráneas, lo cual en las condiciones de nuestro país presupone un enfriamiento del macizo de 30 a 40 °C.

Se hace un análisis de las tensiones a tracción que surgen inicialmente en el techo de la excavación (antes del enfriamiento del macizo) utilizando los principios de la teoría de la elasticidad. Se analizan las tensiones complementarias, que se produzcan debido al descenso de temperatura y se dan vías para la determinación de la zona complementaria de roca destruida que puede producirse a causa de esta afectación.

#### REFERENCIAS

1. ARDASHEV K., A. y OTROS: Métodos y equipos para la investigación del surgimiento de la presión minera. Moscú, Nedra, 1981 (en ruso).
2. AVERSHIN S., G.: Golpes mineros. Moscú, Edit. Técnica, 1955 (en ruso).
3. LEBEDEV N., N.: Tensiones térmicas en la teoría de la elasticidad. Moscú, ONTI, 1937 (en ruso).
4. RUPPINEIT, V.: Algunas preguntas sobre la mecánica de rocas. Moscú, Edit. Técnica, 1954 (en ruso).
5. TALOBR, H.: Mecánica de rocas. Moscú, Edit. Técnica, 1961 (en ruso).
6. SCHERBAN A., N. y A. KRENNEV: Fundamento científico y regulación del régimen térmico en minas profundas. Kiev, Edit. Academia de Ciencias Ucrania, 1959 (en ruso).
7. ZASLAVSY Y., Z.: Investigación de la aparición de la presión minera en excavaciones capitales de las minas profundas de la cuenca del Don. Moscú, Nedra, 1966 (en ruso).