

3. Se pudo comprobar la efectividad de la aplicación de los métodos geólogo-geomorfológicos de la evaluación pronóstico de los yacimientos de corteza de intemperismo ferroniquelífera al hacer las comparaciones con los datos obtenidos por la Empresa de Geología de Santiago (EGS) en las diferentes etapas de exploración.

REFERENCIAS

1. COBIELLA, J.L. y J. Rodríguez: "Algunos rasgos de la geología oriental" en Ciencias Técnicas, serie Geodesia y Geofísica, no. 3, 1978.
2. GARCIA, G.: "Regularidades de la distribución de las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas de los macizos serpentiniticos de Cuba, como base en los trabajos de búsqueda y exploración de los yacimientos de níquel y cobalto". Disertación para la obtención del grado de Candidato a Doctor, ISMMMoA, 1978.
3. Knipper, A.L. y R. Cabrera: "Tectónica y geología histórica en la zona de articulación entre el mio y eugeosinclinal y del cinturón hiperbasítico de Cuba" en Contribución a la geología de Cuba, publicación especial no. 2, Academia de Ciencias, 1974.

ESTADO TENSIONAL DEL MACIZO POR LA LINEA DE CARGAS AL CORTAR BLOQUES DE MARMOL CON MECHA DETONANTE EN BARRENOS RELLENOS CON AGUA

RESUMEN

En el trabajo se determinan los parámetros de las ondas de tensión en el macizo de mármol para el caso de la explosión de mezcla detonante, rellenando los barrenos con agua, para distintos diámetros de los barrenos y diferentes distancias entre ellos, estableciéndose la influencia de estos factores sobre el estado tensional del macizo.

También se determina las tensiones producidas por los productos de la explosión. En ambos casos se establece la comparación con los límites de resistencia a tracción estática y dinámica del mármol.

Аннотация

В работе определяются параметры волн напряжения в мраморном массиве для случая взрывания детонирующего шнура в шпурах, накопленных водой, при различных диаметрах шпуров и различные расстояния между ними, устанавливаемыми влиянием этих — факторов на напряженное состояние массива. Кроме этого, определяются значения напряжений, возникающих от продуктов взрыва.

В обоих случаях производится сравнение с пределом прочности при статическом и динамическом растяжении мрамора.

ESTADO TENSIONAL DEL MACIZO POR LA LINEA DE CARGAS
AL CORTAR BLOQUES DE MARMOL CON MECHA DETONANTE
EN BARRENOS RELLENOS CON AGUA

José A. Otaño Noguel
Ingeniero de Minas, Profesor Titular
Facultad de Minería del ISMMMOA

El corte de bloques de mármol de forma regular mediante la explosión con mecha detonante en barrenos rellenos con agua requiere de una elección correcta de los parámetros: diámetro y profundidad de los barrenos, distancia entre los mismos y longitud de la carga.

Para elegir correctamente estos parámetros es necesario tener una concepción clara acerca del carácter del desarrollo de los procesos de deformación del macizo al explotar las cargas según un determinado esquema.

El mecanismo de la acción de la explosión en los distintos medios, entre ellos la roca, se ha estudiado de tal forma que actualmente se pueden determinar los parámetros de las ondas de tensión para distintos esquemas de explosión por vía analítica. A continuación se da la determinación de los parámetros de las ondas de tensión en el macizo de mármol de la cantera "Rosa Aurora" de la Empresa "Pepín Vázquez" de la provincia Granma, para el caso de la explosión con mecha detonante, rellenando los barrenos con agua, para distintos diámetros de los barrenos y diferentes distancias entre ellos.

PARAMETROS INICIALES DE LAS ONDAS DE CHOQUE
EN EL AGUA AL HACER EXPLOSION LA MECHA DETONANTE

El cálculo se realizó teniendo en cuenta la compresibilidad del agua y la variación del estado de los productos de

la detonación, según una ley isentrópica con índice constante [1].

$$P\rho^{-K} = a \quad (1)$$

La presión inicial en los productos de la detonación:

$$P_H = \frac{\rho D^2}{K+1} \quad (2)$$

La velocidad de la onda de depresión en los productos de la detonación:

$$U = \frac{D}{K+1} \left\{ 1 - \frac{2K}{K-1} \left[1 - \left(\frac{P_x}{P_H} \right)^{\frac{K-1}{2K}} \right] \right\} \quad (3)$$

La velocidad de los límites en el momento inicial:

$$U_x = \sqrt{\frac{P_x}{\rho_0} (1 - \eta_x)} \quad (4)$$

La velocidad inicial de la onda de choque en el agua:

$$D_{ch} = \frac{U_x}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_x}} \quad (5)$$

$$\eta_x = \frac{\rho_0}{\rho_x} = \frac{1}{\left(\frac{P_x}{P_H} + 1 \right)^{\frac{1}{n}}} \quad (6)$$

La ecuación de estado del agua:

$$P = A \left[\left(\frac{P_x}{P_0} \right)^n - 1 \right] \quad (7)$$

donde: ρ - densidad del TEN en la mecha

D - velocidad de detonación del TEN en la mecha
 $D = 8 \cdot 10^5$ cm/s

K - índice de la isentrópica, $K = 3$

P_x - presión en el límite de los medios, kg/cm²

ρ_0 - densidad inicial del agua
 $\rho_0 = 1,025 \cdot 10^{-6}$ kg·s²/cm⁴

ρ_x - densidad del agua en el frente de la onda,
 kg·s²/cm⁴

A - constante en la ecuación de estado del agua
 $A = 3\,940$ kg/cm²

n - constante de compresibilidad del agua
 $n = 8$

Los parámetros iniciales de la onda en el agua U_x , P_x , se determinaron solucionando las ecuaciones (3) y (4) por el método grafoanalítico, construyendo en coordenadas U, P las dependencias:

$$U = f(P_x)$$

Para la ecuación (3):

P_x , kg/cm ²	$2,56 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^5$
U , m/s	2 000	2 570	3 020	3 620	5 060

Para la ecuación (4):

P_x kg/cm ²	$2,5 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$
η_x	0,595	0,61	0,63	0,66
U_x m/s	3,200	2,790	2,360	1,840

El punto de intersección de las características en la Figura 1 corresponde al momento de divergencia de la onda y da el valor de los parámetros iniciales:

$$P_x = 1,83 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$U_x = 2\,640 \text{ m/s}$$

La presión inicial de los productos de la detonación:

$$P_H = 2,56 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

y la velocidad inicial de la onda de choque:

$$D_{ch} = 6\,860 \text{ m/s}$$

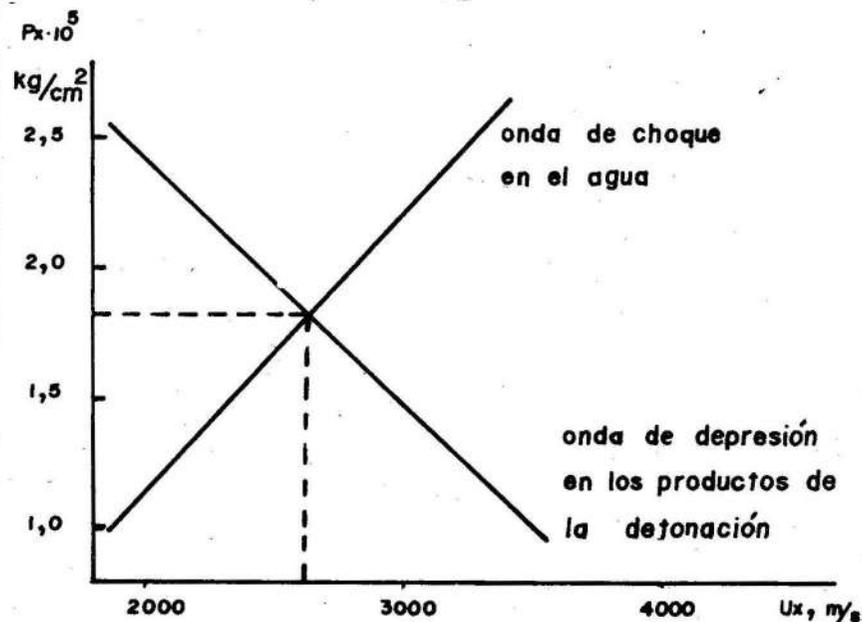


Fig. 1.

PARAMETROS DE LAS ONDAS DE TENSION EN EL AGUA EN EL CONTACTO CON EL MARMOL EN LA PARED DEL BARRENO PARA DISTINTOS DIAMETROS DE ESTE

Los parámetros de las ondas de tensión se calcularon según la metodología elaborada por V.A. Borovikov [2].

CARACTERISTICAS DE LA SE (TEN)

Densidad $\rho = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^4$

Calor de la explosión $Q = 1\ 360 \text{ kcal/kg}$

Velocidad de detonación $D = 8 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$

CARACTERÍSTICAS DEL MARMOL

Densidad $\rho_o = 2,69 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^4$

Velocidad de difusión de las ondas longitudinales

$C_o = 5,9 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$

Transversales $C_t = 3,2 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$

Coefficiente de Poisson $\mu = 0,29$

Resistencia de onda $\rho_o C_o = 1,587 \text{ kg} \cdot \text{s/cm}^3$

CARACTERISTICAS DEL AGUA

Densidad $\rho_a = 1,025 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^4$

Velocidad del sonido $C_a = 1,46 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$

Resistencia de onda $\rho_a C_a = 0,15 \text{ kg} \cdot \text{s/cm}^3$

La presión máxima en el agua al llegar la onda a la pared del barreno se determina por la dependencia empírica de B.D. Jristoforov y E.A. Shirokova para pequeñas R [3].

$$P_{\max} = \frac{41\ 800}{R^{1,08}} \quad (8)$$

como esta dependencia se obtuvo para una carga cilíndrica de trotil con densidad $1,6 \text{ g/cm}^3$ y calor de la explosión $1\ 060 \text{ kcal/kg}$, se determinó el radio de la carga de trotil equivalente a una carga de TEN de radio $1,5 \text{ mm}$:

$$R_c = R_c^* \sqrt{\frac{\rho_o Q}{\rho_T Q_T}} = 0,17 \text{ cm}$$

El radio relativo del barreno será:

$$R = \frac{r_b}{R_c}$$

para distintos diámetros tenemos:

Diámetro del barreno, mm	22	32	36	42
Radio relativo	6,47	9,41	10,58	12,35
Presión máxima kg/cm ²	5 564	3 712	3 271	2 768

Los valores de ρ_{max} y V_{max} correspondientes a estos valores de P_{max} , se determinaron por las fórmulas

$$\rho_{max} = \rho_a \left[1 + \frac{P_{max}}{B} \right]^{\frac{1}{n}}$$

$$V_{max} = \sqrt{P_{max} \frac{1}{\rho_a} - \frac{1}{\rho_{max}}}$$

donde: $B = 3\,048 \text{ kg/cm}^2$

$n = 7,15$

dando los valores:

Diámetro del barreno, mm	22	32	36	42
max, kg.s ² /cm ⁴	1,185	1,145	1,135	1,122
max, m/s	270,7	194,8	175,9	152,8

PARAMETROS DE LAS ONDAS DE TENSION
EN EL MARMOL EN EL CONTACTO CON EL AGUA

El cálculo se realizó por la ecuación (1):

$$\sqrt{\frac{P_f}{\rho_o} \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{AP_f}{\rho_o C_o} + 1 \right)^{\frac{1}{m}}} \right]} = V_{max} - \sqrt{\frac{P_f - P_{max}}{\rho_{max}} \left[1 + \left(\frac{P_{max} + B}{P_f + B} \right)^{\frac{1}{n}} \right]} \quad (9)$$

donde: P_f = presión en el frente de la onda refractada en el mármol

$A = 3$

$m = 3$

Para la solución de esta ecuación se utilizó el método de aproximaciones sucesivas de Newton:

$$P_f^{n+1} = P_f^n - \frac{f_2(P_f) - f_1(P_f)}{f_2'(P_f) - f_1'(P_f)}$$

donde: $f_1(P_f)$ y $f_2(P_f)$ son las partes izquierda y derecha de la ecuación (9)

y $f_1'(P_f)$, $f_2'(P_f)$ sus correspondientes derivadas.

Como valor inicial se tomó el valor de la refracción acústica

$$P_f = P_{max} \cdot k_r$$

$$k_r = \frac{2 \rho_o C_o}{\rho_a C_a + \rho_o C_o}$$

llevando el cálculo a la condición

$$\frac{f_2(P_f) - f_1(P_f)}{f_2(P_f) - f_1(P_f)} : \frac{1}{P_f^n} \leq 0,001$$

Los parámetros ρ_f , V_f , N_f se determinan por las ecuaciones

$$\rho_f = \rho_0 \left[1 + \frac{AP_f}{\rho_0 C_0^2} \right]^{\frac{1}{n}}$$

$$V_f = \sqrt{P_f \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_f} \right)}$$

$$N_f = \frac{P_f}{\rho_0 V_f}$$

se obtuvieron los siguientes valores:

Diámetro del barreno, mm	22	32	36	42
P_f , kg/cm ²	5 880	3 879	3 398	2 870
ρ_f , kg·s ² /cm ⁴	$2,7067 \cdot 10^{-6}$	$2,7010 \cdot 10^{-6}$	$2,6997 \cdot 10^{-6}$	$2,6981 \cdot 10^{-6}$
V_f , cm/s	3 673	2 412	2 102	1 777
N_f , m/s	5 900	5 900	5 900	5 900

Como se observa, la velocidad del frente de la onda de tensión se difundirá desde el barreno con una velocidad constante igual a la velocidad del sonido C_0 en el mármol.

TENSIONES EN EL MÁRMOL POR LA LÍNEA DE BARRENOS

Al calcular las tensiones por la línea de situación de las cargas es necesario determinar la influencia del relleno de agua y elegir la ley de extinción de las tensiones con la distancia. Elegimos la ley de extinción de las tensiones propuesta por V.A. Borovikov en la forma:

$$\sigma_f = \sigma_f \frac{1}{R^{1,08}} \quad (10)$$

donde σ_f - presión en el límite carga medio.

Para considerar la influencia del relleno de agua, cambiamos el espacio de agua por mármol y calculamos la presión inicial σ_{max} que debe desarrollar la explosión de una carga de radio $R_c = 0,17$ cm (tomando una carga de trotil equivalente a la de TEN) en el contacto carga mármol para que a la distancia $r = R \cdot R_c$ del centro de la carga, la tensión en el frente de la onda extinguiéndose según la ecuación (10) sea igual a σ_f , es decir, la tensión en la pared del barreno al explotar con espacio de agua.

Entonces

$$\sigma_f = \sigma_{max} \frac{1}{R^{1,08}}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_f (R)^{1,08}$$

y la ecuación para calcular $\sigma_r = f(r)$ tendrá la forma:

$$\sigma_r = \sigma_f (R)^{1,08} \quad (11)$$

donde:

$$\bar{R} = \frac{R}{R_c}$$

r - distancia del punto del macizo considerado al centro de la carga.

El cálculo de las tensiones tangenciales se realizó por la ecuación

$$\sigma_t = (1 - 2b^2) \sigma_r \quad (12)$$

$$b = \frac{c_t}{c_o}$$

que corresponde a un medio elástico-lineal [5,6].

El cálculo de las tensiones σ_r por la ecuación (11) y σ_t por la ecuación (12) a distintas distancias del centro del barreno para los distintos diámetros estudiados se dan en la Tabla 1.

Si las cargas en los barrenos contiguos se explotan al unísono, las ondas de ambas cargas se encuentran en el centro de la distancia entre barrenos, formándose una zona donde las tensiones son producto de la interacción de ambas ondas.

Las coordenadas de los puntos con valores mínimos de las tensiones se determinan por la ecuación:

$$1 + e^{-\frac{2r_* - D}{c_o Q}} = \frac{r_x}{D - r_*} \quad (13)$$

donde: r_* - distancia del eje de la carga hasta el punto con mínimo valor de la tensión

D - distancia entre ejes de las cargas

Q - constante de tiempo de la caída exponencial de la presión en la onda

$$Q = \frac{R^{0,43} \cdot R_c^{0,57}}{827}$$

Los valores de las coordenadas de los puntos de mínima tensión para los distintos diámetros y distancias entre cargas investigadas se recogen en la Tabla 2.

Según los datos de las Tablas 1 y 2 se construyeron los gráficos de las tensiones tangenciales máximas entre los barrenos (Figuras 2 y 3), teniendo en cuenta que entre los puntos con coordenadas r_* y $D - r_*$ la tensión sería la suma de la acción de ambas ondas y en el centro ($r = \frac{D}{2}$).

$$\sigma_{tmax} = 2 \sigma_t \left(\frac{D}{2} \right)$$

En los gráficos con líneas de punto se señalan los límites de resistencia estático y dinámico del mármol, donde se observa que las tensiones superan el límite de resistencia estático en todos los puntos entre cargas, en todos los casos estudiados, mientras que el límite de resistencia a tracción dinámico es menor sólo en un radio del eje de la carga que disminuye al aumentar la distancia entre ejes.

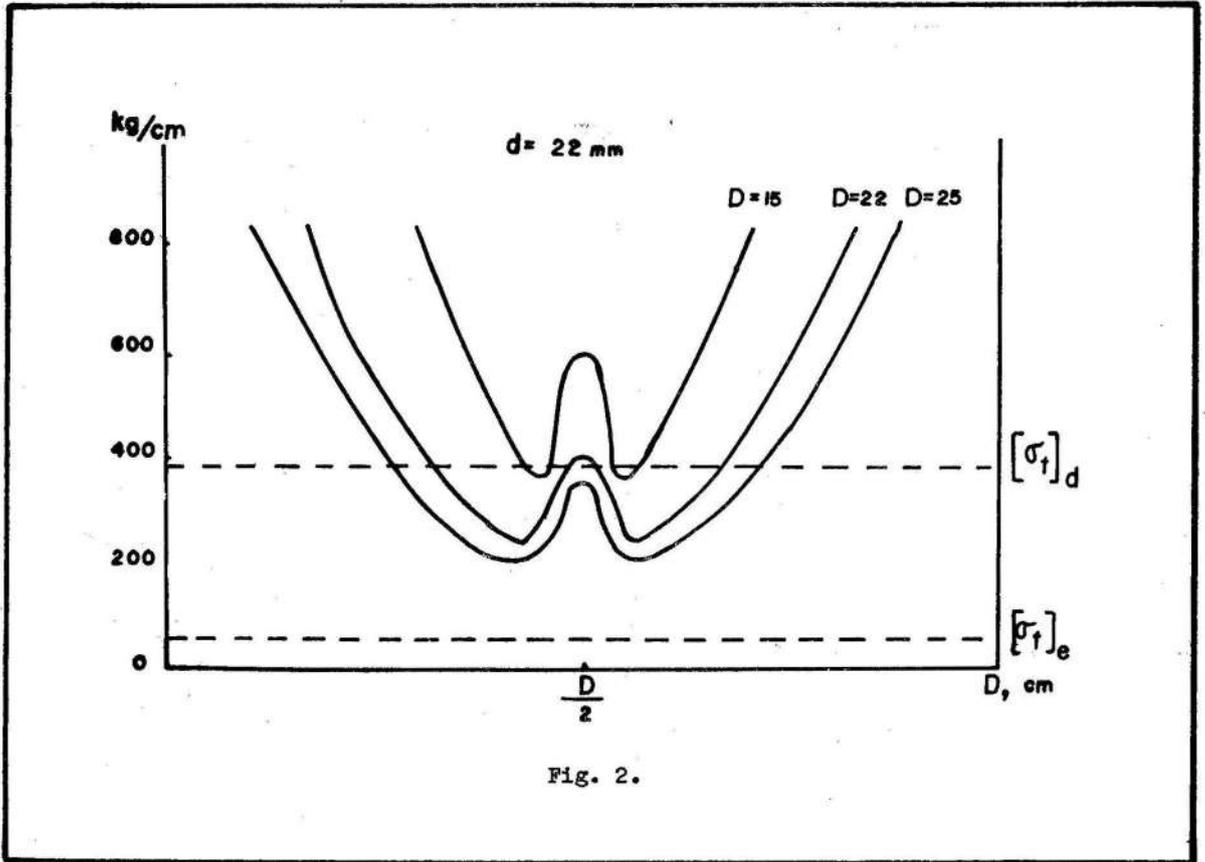


Fig. 2.

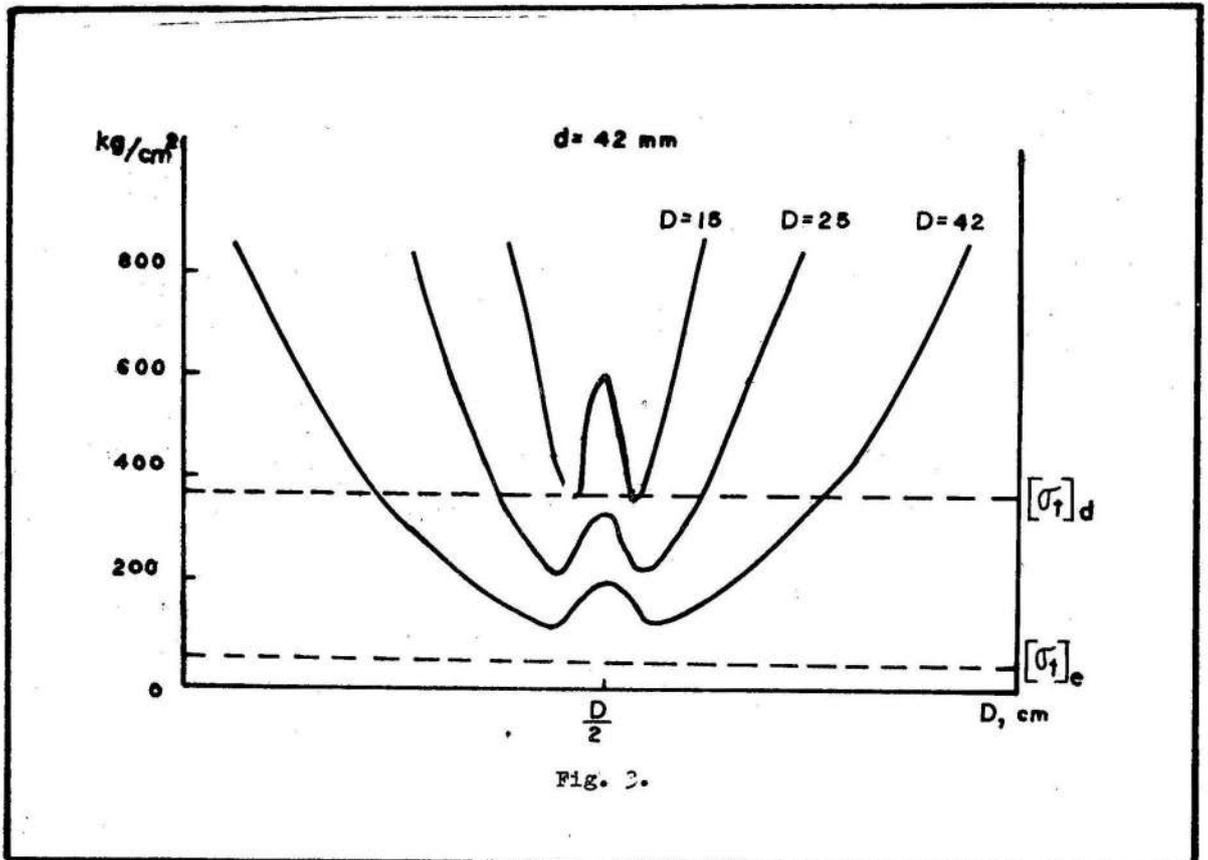


Fig. 3.

TABLA 1. Valores de σ_r y σ_t por la línea de colocación de las cargas a distintas distancias del centro del barreno.

d = 22 mm														
r, cm	3	5	6,3	7,5	9,5	10	10,9	11	12,5	15	18	20	22	25
σ_r , kg/cm ²	1 998	1 147	894	740	573	542	494	489	426	350	287	256	231	201
σ_t , kg/cm ²	823	473	368	305	236	223	204	201	176	144	118	105	95	83

d = 32 mm														
r	3	5	6,2	7,5	10	10,8	12,5	14	15	16	20	25	30	32
σ_r	1 976	1 134	897	732	536	493	421	372	346	323	254	199	164	153
σ_t	814	467	369	301	221	203	173	153	143	133	104	82	68	63

d = 36 mm														
r	3	5	6,2	7,5	10	10,7	12,5	15	15,8	18	20	25	30	36
σ_r	1 965	1 128	892	727	533	496	419	344	325	282	252	198	163	134
σ_t	810	465	368	300	220	204	173	142	134	116	104	82	67	55

d = 42 mm														
r	3	5	6,1	7,5	10	10,6	12,5	15	18,6	20	21	25	30	42
σ_r	1 961	1 126	907	726	532	499	418	343	272	252	239	198	162	113
σ_t	808	464	374	299	219	206	172	141	112	104	98	82	67	47

TABLA 2. Valor de las coordenadas de los puntos de mínima tensión.

Diámetro d, mm	Distancia entre cargas D, cm	V_* , cm	$D - r_*$, cm
22	15	8,7	6,3
	22	12,5	9,5
	25	14,1	10,9
32	15	8,8	6,2
	25	14,2	10,8
	32	18,0	14,0
36	15	8,8	6,2
	25	14,3	10,7
	36	20,2	15,8
42	15	8,9	6,1
	25	14,4	10,6
	42	23,4	18,6

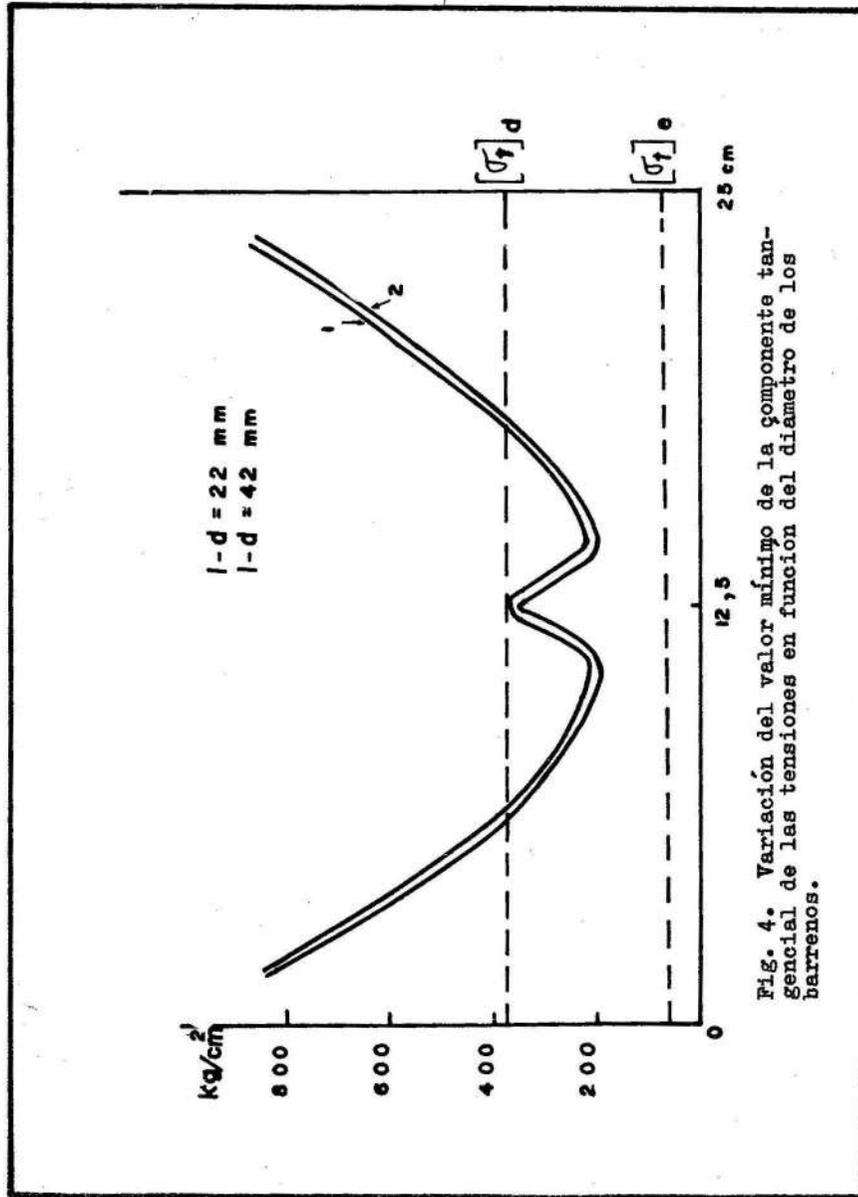


Fig. 4. Variación del valor mínimo de la componente tangencial de las tensiones en función del diámetro de los barrenos.

De los valores de la Tabla 1 se desprende que el diámetro prácticamente no ejerce influencia sobre los valores mínimos de las tensiones tangenciales (Figura 4), mientras que al aumentar la distancia entre barrenos disminuyen los valores mínimos de las tensiones tangenciales (Figura 5).

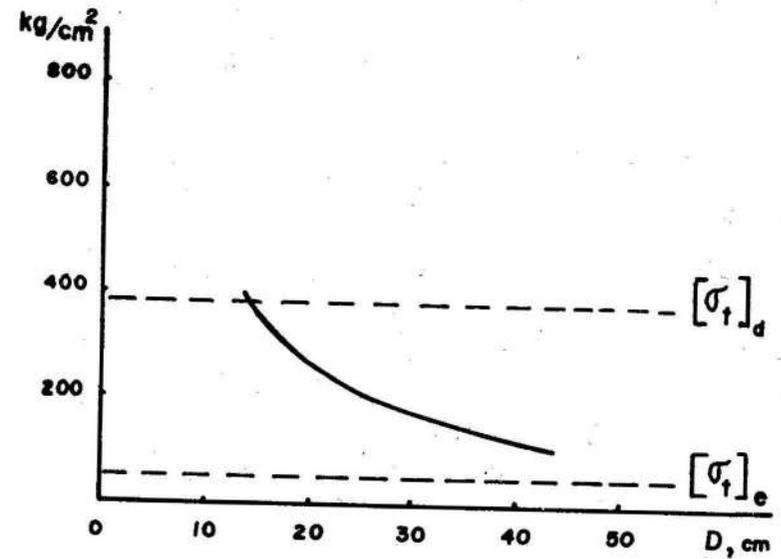


Fig. 5. Variación del valor mínimo de la componente tangencial de las tensiones en función de la distancia entre barrenos.

Los restantes parámetros de las ondas de tensión se dan en la Tabla 3.

TABLA 3.

r, cm	15		20		25		30		36	
	22	42	22	42	22	42	22	42	22	42
d, mm	22	42	22	42	22	42	22	42	22	42
τ , μs	36	60	40	70	45	80	50	90	55	102
λ , cm	21	35	24	41	27	47	30	53	32	60
τ_H , μs	7,7	7,7	9,0	9,0	10,4	10,4	11,9	11,9	13,5	13,5
$v_{max}(r)$, cm/s	220	216	161	158,8	126,6	124,8	104	102	85,7	83,8
$w \cdot 10^{-3}$, cm	0,85	0,83	0,72	0,71	0,66	0,65	0,62	0,61	0,58	0,57

La duración de la fase de compresión

$$\tau = \tau_0 + nr, \text{ microsegundos [6]}$$

$$\tau = 22 + 0,92 r, \text{ para } d = 22 \text{ mm}$$

$$\tau = 30 = 2r, \text{ para } d = 42 \text{ mm}$$

La longitud de la fase de compresión:

$$l = c_0 \tau$$

La velocidad de desplazamiento:

$$v_{max} = \frac{\sigma_{max}(r)}{\rho_0 c_0}$$

El desplazamiento:

$$w = \frac{v_{max}}{2} \tau_H$$

$\tau_H = R_0 (2,25 + 0,032 \bar{r})$ tiempo de crecimiento de las tensiones hasta el máximo, microsegundos.

Según la longitud de la fase positiva de la onda se puede afirmar que para distancias entre los barrenos de 15 a 42 cm en el momento del encuentro de las ondas de los barrenos contiguos, el macizo se encuentra en estado de compresión, ya que la fase negativa se atrasa del frente de la onda una distancia superior a la distancia entre cargas.

TENSIONES PRODUCIDAS POR LA PRESION RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS DE LA EXPLOSION DE LA MECHA DETONANTE EN EL BARRENO CON AGUA

Para calcular la presión de los productos de la explosión hay que determinar el volumen límite de líquido abarcado por ellos [1].

El esquema real de situación de la carga en el barreno se da en la Figura 6 a.

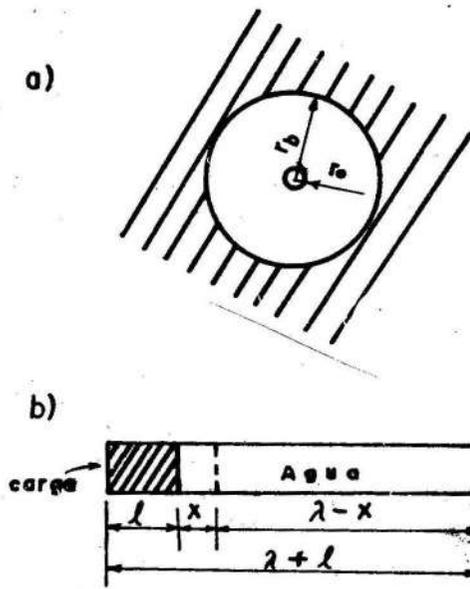


Fig. 6.

Densidad de la carga = 1,6 g/cm³
 Densidad del agua = 1 g/cm³
 $r_o = 1,5$ mm; $r_b = 11; 16; 18; 21$ mm
 $S_c = 0,07$ cm²; $S_a = 3,73; 7,91; 10,1; 13,78$ cm²

Separando dos secciones horizontales de un tramo de barreno de altura 1 cm y representándolo en forma de rectángulo con volumen equivalente (Figura 6 b), el volumen de la carga $V_c = 0,07$ cm³ y del agua $V_a = 3,73; 7,91; 10,1$ y 13,78 cm³.

Si se supone la presencia a la izquierda de la carga de una barrera rígida, la condición de formación de la presión residual en un volumen cerrado será similar a la real en la Figura 6 a. La ecuación de estado de los productos de la explosión tendrá la forma:

$$p = A_o \rho_e^K$$

y la ecuación de estado del agua:

$$p = A(\rho_1^H - \rho_o^N)$$

donde: ρ_e - densidad de los productos de la explosión

ρ_1 - densidad final del agua

A_o y A - constantes de compresibilidad de los productos de la explosión y el agua, respectivamente.

Para $D = 8000$ m/s, $\rho = 1,6$ g/cm³ y $K = 3$.

$$P_H = \frac{D^2}{2g(K+1)} = 1,28 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

La longitud de la sección de expansión de los gases "x" y el correspondiente volumen de agua comprimido en estado de equilibrio se determina de la relación $\frac{\lambda}{l}$ por la ecuación:

$$\frac{n}{2\alpha^2(K+1)} \cdot \frac{\rho_D^2}{\rho_a c_a^2} = \left(1 + \frac{\lambda}{l}\right)^K \left[\left(\frac{\lambda}{l - \frac{\lambda}{l}}\right)^n - 1 \right]$$

donde C_a - velocidad del sonido en el agua cm/s

α - coeficiente de corrección de la velocidad del sonido en el agua a altas presiones.

Considerando que la presión en el barreno es relativamente no alta tomamos $\alpha = 1$ y el índice de la isentrópica $n = 4/3$.

Sustituyendo $\frac{\lambda}{l} = \frac{v_a}{v_c}$ tenemos:

$$\left(1 + \frac{v_a}{v_c}\right)^3 \left[\left(\frac{\frac{v_a}{v_c}}{\frac{v_a}{v_c} - \frac{v_a}{v_c}}\right)^{4/3} - 1 \right] = 7,585$$

y resolviendo esta ecuación por el método de las aproximaciones sucesivas da los valores de $\frac{\lambda}{l}$ siguientes:

- para 22 mm - 3,37
- " 32 mm - 4,25
- " 36 mm - 4,575
- " 42 mm - 5,01

que corresponden a la compresión del agua a 1,35; 1,19; 1,14 y 1,07 mm, respectivamente.

La presión equilibrada la determinamos por la ecuación (1):

$$F = F_H \left(\frac{1}{1 + X}\right)^K$$

Para $F_H = 1,28 \cdot 10^5$ kg/cm², F es igual a 1 528; 885; 739 y 590 kg/cm², respectivamente.

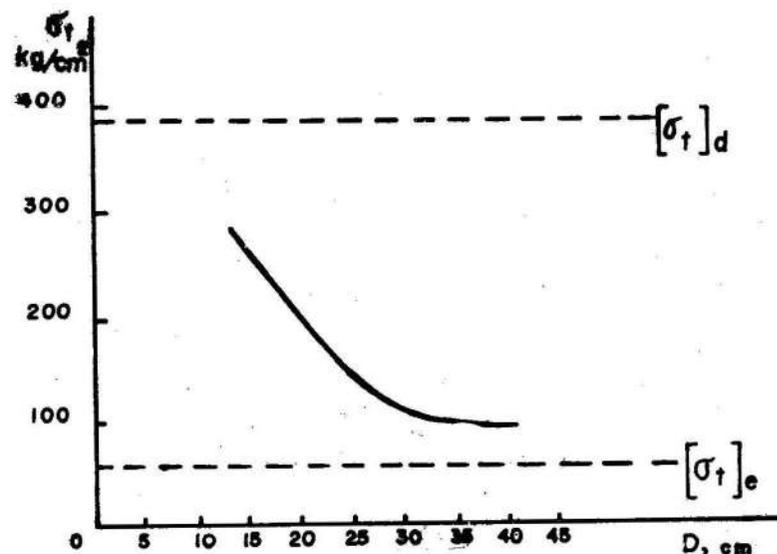


Fig. 7. Influencia de la distancia entre barrenos sobre la tensión estática provocada por los productos de la explosión en la línea de carga.

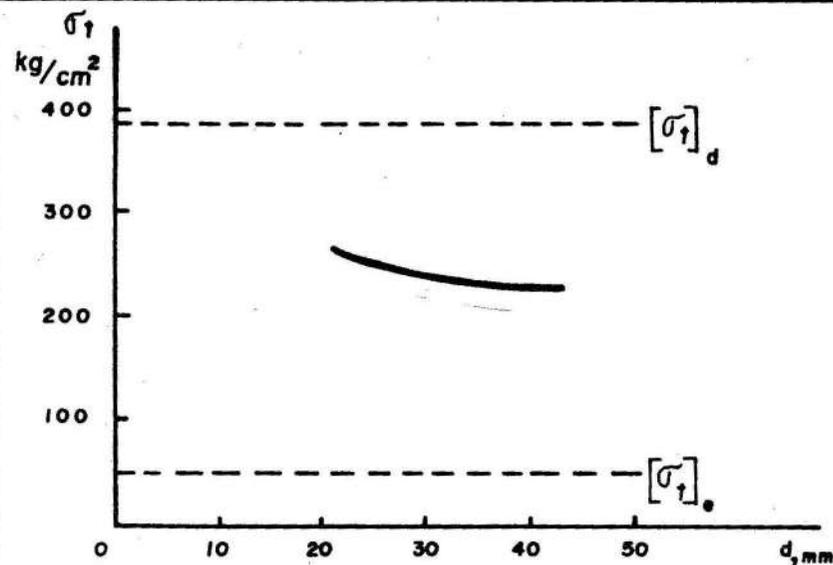


Fig. 8. Influencia del diámetro de los barrenos sobre la tensión estática provocada por los productos de la explosión en la línea de cargas.

Como el cálculo se realizó para las condiciones de un espacio cerrado no deformable, en las condiciones reales a causa del flujo de los productos de la explosión y el agua del barreno y la deformación del medio, la presión disminuirá.

Suponiendo que $P_{est} = \frac{F}{2}$, las tensiones provocadas por la presión en la superficie que pasa por el eje de los barrenos será:

$$\sigma_t = \frac{2Frb}{D - 2rb}$$

que para los distintos casos analizados da los valores que se reflejan en la Tabla 4.

TABLA 4. Valor de las tensiones provocadas por la presión estática de los productos de la explosión en la superficie que pasa por el eje de los barrenos, kg/cm^2 .

$\frac{D}{d, \text{ mm}}$	15	25	32	36	42
22	262,6	147,4	112,8	99,5	84,5
32	240	130	98,3	86,3	73
36	233,4	124,3	93,7	82,1	69,3
42	229,4	119,1	89,1	77,9	65,5

En todos los casos la magnitud de las tensiones estáticas es superior al límite de resistencia del mármol a la tracción estática.

La dependencia de estas tensiones del diámetro de los barrenos y la distancia entre cargas se dan en las Figuras 7 y 8.

REFERENCIAS

1. BAUM, F.A., K.P. Štaniukovich y B.I. Shexter: Física de la explosión (en ruso), Ed. Fizmatgiz, 1959.
2. BOROVNIKOV, V.A. y J.F. Vaniagin: Física de la fragmentación explosiva (en ruso), Ed. del IML, Leningrado, 1974.

3. JRISTOPOROV, B.D. y E.A. Shirokova: Parámetros de las ondas de choque en las explosiones subacuáticas de cargas de barrenos (en ruso), PMTF no. 5, 1962.
4. BOROVIKOV, V.A., Y.M. Misnik, S.I. Moiseiev y V.V. Sichov: "Sobre el cálculo de los parámetros de las ondas de tensión en la explosión de cargas con espacios radiales de aire y agua". Colección Trabajos de Construcción de Minas y Explosivos (en ruso), Ira. ed., Tula, 1973.
5. XANUKAEV, A.N.: Procesos físicos en el arranque de rocas con explosivos (en ruso), Ed. Nedra, 1974.
6. LURSMANASHVILLI, G.S.: "Investigación de los métodos de fragmentación de las rocas" en Investigaciones en el campo de nuevos materiales de construcción y máquinas (en ruso), Ed. Stroiizdat, 1973.

SOBRE EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA MEDIANTE LA RACIONALIZACION DEL SERVICIO ENERGETICO DE EMPRESAS DE PRODUCCION

RESUMEN

En el trabajo se analizan las posibilidades de economía de energía eléctrica y la elevación de las potencias instaladas a través de la elevación del factor de potencia en empresas de producción, así como sobre la racionalización de la carga de los equipos de fuerza.

Se muestran resultados obtenidos al analizar esta situación en el servicio energético de la fábrica "Comandante Pedro Soto Alba" en Moa y la "Comandante Manuel Fajardo Rivero" en Manzanillo, representantes, respectivamente, de empresas consumidoras grandes y medias.

Аннотация

В работе анализируются возможности экономии электрической энергии и повышение использования установленных производственных мощностей посредством увеличения фактора мощности — производственных предприятий и рационализации загрузки силового оборудования.

Демонстрируются результаты, полученные при анализе этой ситуации энергетической службы фабрики "Педро Сото Альба" г. Моа и "Мануэль Фахардо" в Мансанилье, представляющих собой соответственно потребителей и средства — мощные и небольшие.