

Índice de extinción de las tensiones al detonar cargas explosivas en el macizo gnéisico de la mina Catoca

Tension extinction coefficient when detonating explosives in gneissic massif from Catoca mine

Nunes Philipe^{1*}, José A Otaño-Noguel², Roberto L. Watson-Quesada²

¹Universidad Lueji A. Nkonde, Angola.

²Universidad de Moa, Cuba.

*Autor para la correspondencia: nfifa2005@yahoo.com.br

Resumen

El propósito del estudio fue determinar en el modelo del estado tensional del macizo de rocas gnéisicas de la mina Catoca, los valores efectivos del índice de extinción de las tensiones al detonar cargas, con la finalidad de obtener el pasaporte de voladuras para las sustancias explosivas HEF-100 y RIOGEL KUPULA-S. Se empleó la metodología propuesta por Pedro Alexandre para la cantera El Cacao (Cuba) basada en el modelo de extinción de las tensiones de Borovikov y Vaniaguin. Los valores analíticos obtenidos de los radios de agrietamiento y descostramiento y la línea de menor resistencia, a partir de valores entre 1,35 y 1,5 del índice de extinción, son aceptables en un rango probable para el cálculo experimental del pasaporte de voladuras en el macizo de rocas para las condiciones minero-técnicas en que se realizan los trabajos de voladura en la mina Catoca.

Palabras clave: índice de extinción; estado tensional; cargas explosivas; voladuras de rocas; macizo gnéisico; mina Catoca.

Abstract

The purpose of the study was to determine the effective values for tensions extinction coefficient when charges are detonated in the tension state model at massif of gneissic rocks from Catoca mine, in order to obtain the blasting passport for HEF-100 and RIOGEL KUPULA-S explosive substances. The methodology proposed by Pedro Alexandre for the El Cacao quarry (Cuba)

was used based on Borovikov and Vaniagin's tensions extinction coefficient model. The analytical values obtained from spall and cracking radius and less resistance line from values between 1.35 and 1.5 of the extinction coefficient, are acceptable in a probable range for the experimental calculation of blasting passport in the rock massif for mining-technical conditions in which blasting works are carried out at Catoca mine.

Keywords: extinction coefficient; tension condition; blasting charges; rock blasting; gneissic massif; Catoca mine.

1. INTRODUCCIÓN

La explotación de la mina Catoca inició en el año 1997 con el método de arranque directo con excavadoras. A partir del año 2002 se inicia la explotación en la cota +960 para extraer un área compuesta por gneises, para lo cual era necesario el uso de voladuras, al dejar de ser viable el arranque directo. Sin embargo, en el diseño de los patrones de voladura no se consideró en toda su complejidad la esencia física de la acción de la explosión en el macizo de rocas, lo que ha ocasionado desde entonces la obtención de un 12,45% a un 13,8% de fragmentos con dimensiones superiores a las admisibles en los eslabones subsiguientes de la cadena tecnológica (Figura 1), precisándose por ello de un gran volumen de trabajos para la fragmentación secundaria, los cuales traen aparejado numerosos inconvenientes y el encarecimiento de las labores.



Figura 1. Fragmentos sobredimensionados.

Con el objetivo de disminuir el porcentaje de salida de fragmentos con sobremedidas se decidió utilizar, para el cálculo de los patrones de voladura, el principio de la acción de la explosión en el macizo según la metodología elaborada por Pedro Alexandre (2006), a partir del modelo de extinción de las tensiones de Borovikov y Vaniaguin (1995). Esta metodología fue aplicada al macizo de rocas calizas del yacimiento El Cacao en la provincia Granma (Cuba); en ese caso se obtuvo un valor del índice de extinción igual a 1,08 que al ser aplicado al macizo de rocas gnéisicas de Catoca no arrojó resultados satisfactorios de los radios de agrietamiento y descostramiento para las sustancias explosivas RIOGEL KUPULA-S y HEF-100 (Tabla 1). El presente trabajo se enfocó en encontrar el valor efectivo del índice de extinción de las tensiones a utilizar en el modelo del estado tensional del macizo gnéisico de Catoca para los explosivos antes referidos.

Tabla 1. Radios de agrietamiento y descostramiento obtenidos en mina Catoca con el modelo propuesto por Pedro Alexandre et al (2006)

Sustancia explosiva	Radio de agrietamiento R_g , m	Radio de descostramiento R_d, m
RIOGEL KUPULA - S	11,92	99,09
HEF - 100	9,69	84,59

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para analizar el estado tensional de las rocas alrededor de la cámara de carga se precisa de la modelación matemática de las tensiones que se producen en tres zonas: la cercana, la mediana y la lejana. La sobrepresión en el frente de las ondas de choque obedece a la ley de semejanza (Sadovky 1945; Staniukovich 1975; Sedov 1976) y su magnitud depende solamente de la distancia relativa desde el frente hasta el centro de la carga, la energía específica de la explosión y la presión del aire. Para modelar las tensiones se utilizó la expresión (1):

$$\sigma_{max} \frac{P_r}{r^n} \quad (1)$$

Donde:

σ_{max} - Tensión en el frente de la onda, Pa.

P_r - Presión refractada a la roca en la pared de la cámara de carga, Pa.

r - distancia relativa del centro de la carga al frente de la onda.

n - índice de extinción de las tensiones

Sadovsky (1945) plantea valores del índice de extinción de las tensiones $n=2$ para distancias cercanas y $n=1,5$ para las lejanas; Shemiakin (2006) asigna valores $n=1,5$ en la zona de trituración y $n= \sigma_{rmax} = \frac{Pr}{(r)^2 \frac{\mu}{1-\mu}}$ (donde μ - coeficiente de Poisson de la roca en la zona de agrietamiento).

Borovikov y Vaniagin (1974, 1985, 1995) inicialmente plantean el valor de $n=1,08$ y posteriormente especifican valores para cada una de las tres zonas: $n=1,4$ para la zona cercana; $n=1,1$ para la zona mediana y $n=1,5$ para la zona lejana. Sargentón (2008) considera que esta propuesta se ajusta más a la práctica.

Para la investigación del estado tensional en el macizo de rocas gnéicas en la mina Catoca y el posterior diseño de los patrones de voladura se utilizaron cargas compuestas de las dos sustancias explosivas utilizadas en la mina: las emulsiones HEF-100 como carga de columna y el RIOGEL KUPULA-S como carga de fondo, y como propiedades del macizo gnéico se tomaron las determinadas en una investigación previa (Nunes et al. 2018).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron las curvas de extinción de las tensiones para índices de extinción entre 1,1 y 1,6 y con ellas los radios de agrietamiento y descostramiento y las líneas de menor resistencia analíticas para el macizo de rocas gnéicas. Con estos valores se diseñaron los patrones de voladura para comprobar experimentalmente en la mina Catoca el rango de valores del índice de extinción de las tensiones adecuados para ese macizo de rocas en las condiciones de la explosión allí existentes.

Se muestran las curvas de extinción de las tensiones radiales y tangenciales que cortan la línea que representa el límite de resistencia a tracción dinámico (Figura 2) característico de las rocas gnéicas para los valores de los índices de extinción (n) entre 1,1 y 1,6 para los cuales se obtuvieron los valores de R_g y R_d en los puntos de intersección.

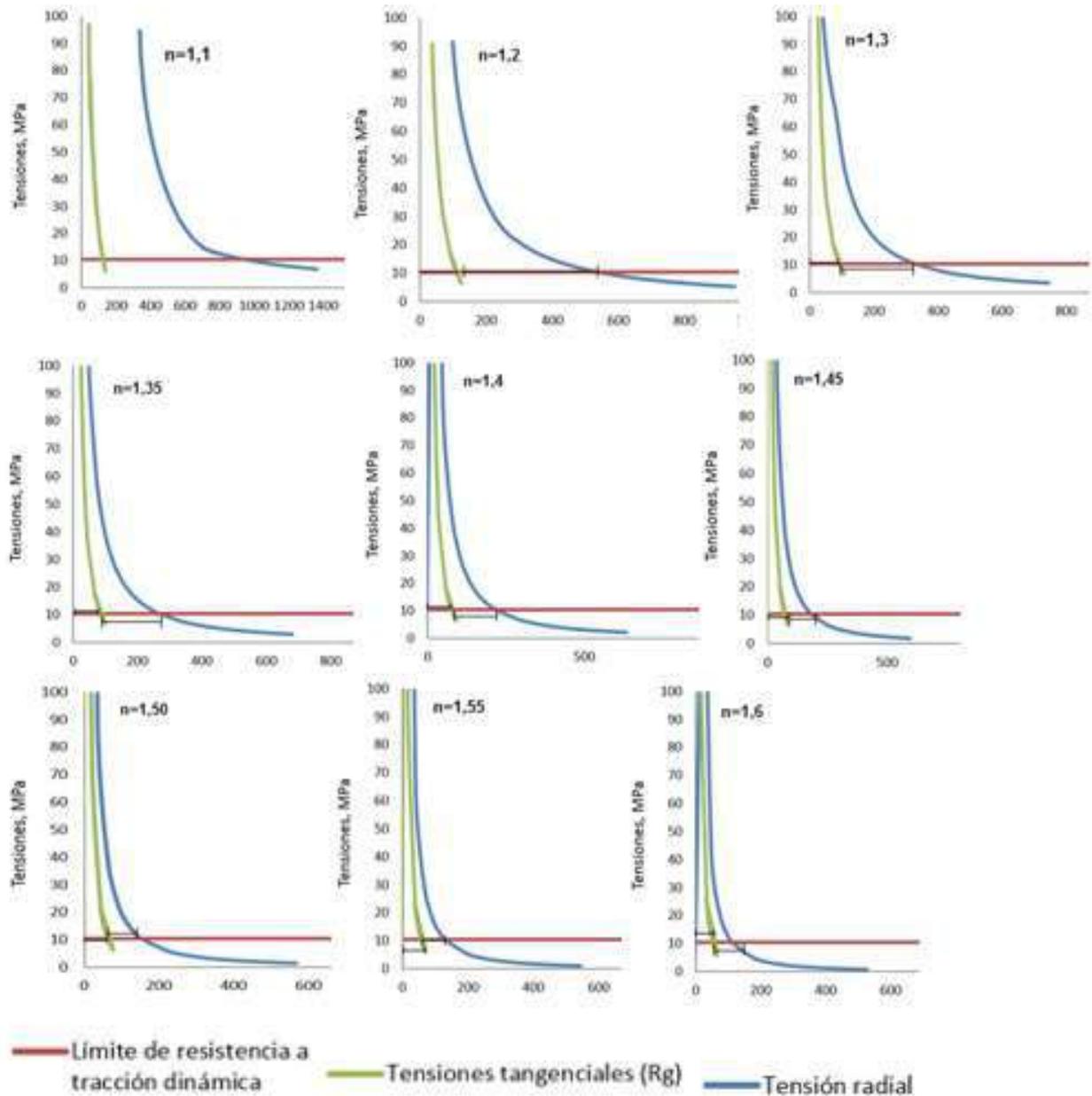


Figura 2. Curvas de extinción de las tensiones.

La Tabla 2 recoge los valores obtenidos de los radios de agrietamiento (Rg) y descostramiento (Rd), así como de la línea de menor resistencia (Wmax y W) para todos los índices de extinción en el rango evaluado desde 1,1 hasta 1,6. Los índices con mejor resultado se ubican entre los valores 1,35 y 1,50 los cuales son coherentes con los obtenidos en la práctica mundial y están en un rango probable para el macizo de rocas gnéisicas y para las condiciones en que se realizan los trabajos en la mina Catoca.

Tabla 2. Valores de los radios de agrietamiento (Rg), descostramiento (Rd) y la línea de menor resistencia obtenidos para el macizo de la mina Catoca

Índice de extinción (n)	Radios (m)				Línea de menor resistencia (m)	
	Rg	Rg	Rd	Rd	W _{max}	W
1,1	121,9	9,41	752,09	58,35	33,88	17,85
1,2	108,82	8,45	442,37	34,32	21,39	11,44
1,3	92,47	7,18	247	19,16	13,17	7,05
1,35	83,58	6,49	187,9	14,58	10,54	5,64
1,40	76,88	5,97	141	10,94	8,45	4,45
1,45	69,67	5,41	117,5	9,12	7,26	3,86
1,50	63,23	4,91	93,24	7,23	6,07	3,19
1,55	57,82	4,49	75,51	5,85	5,17	2,76
1,6	52,03	4,04	62,33	4,84	4,44	2,37

Los valores obtenidos se corresponden con los rangos propuestos por Sadovsky (1945), Borovikov y Vaniaguin (1995) y Shemiakin (2006) por lo que pueden ser aplicados con fiabilidad. Con los valores resaltados en negritas en la Tabla 2 se diseñaron los correspondientes patrones de voladura para la determinación experimental (Tabla 3) en la mina Catoca, en los que se parte de utilizar la máxima capacidad de carga de cada taladro, estableciendo la magnitud del relleno necesario; se determina la línea de menor resistencia y la distancia entre cargas en la fila, así como la longitud de sobreperforación a partir de los radios de agrietamiento y descostramiento (Otaño 2014).

Tabla 3. Patrones de voladura para la determinación experimental del índice de extinción de las tensiones en la mina Catoca

Índice de extinción (n)	Línea de menor resistencia m	Distancia entre cargas m	Longitud de relleno M	Longitud de sobreperforación m
1,35	5,64	3,16	0,71	0,968
1,40	4,45	2,84	0,59	1,467
1,45	3,86	2,84	0,508	0,91
1,5	3,19	3,42	0,434	0,57

4. CONCLUSIONES

- Se establece que los índices de extinción de las tensiones efectivos para el cálculo experimental del pasaporte de voladuras con las

sustancias explosivas RIOGEL KUPULA-S y HEF-100 se encuentran en un rango de 1,35 a 1,5 para las condiciones de explotación del macizo gnéisico de la mina Catoca.

5. REFERENCIAS

- Borovikov, V.A. y Vaniagin, I.F. 1974: *Física de la fragmentación explosiva*. Instituto de Minas de Leningrado, Leningrado.
- Borovikov, V.A. y Vaniagin, I.F. 1985: *Técnica y tecnología de los trabajos con explosivos*. Leningrado.
- Borovikov, V.A. y Vaniagin, I.F. 1995: *Modelling the effects of blasting on rock breakage*. Rotterdam. A.A. Balkema.
- Nunes, P.; Otaño, J. y Watson, R. 2018: Evaluación físico-mecánica y estructural del macizo de mina Catoca para el diseño de voladura. *Minería y Geología*, 34(1): 80-91.
- Gogoliev, V.M. y otros. 1965: *Acerca de la zona cercana a la explosión de una carga concentrada*, Editorial Elim, Frunze.
- Otaño Noguel, A. J. 2014: *Fragmentación de rocas con explosivos*, Editorial Félix Varela, La Habana.
- Pedro Alexandre, A. M. 2006: *Metodología para el diseño de las voladuras en las canteras de áridos*. Tesis Doctoral. ISMM.
- Sadovsky, M.A. 1945: *Investigaciones experimentales de la acción mecánica de la onda de choque de la explosión*. Moscú. Editorial A.C. URSS.
- Sargentón, G. 2008: *Criterios para el diseño de voladuras en el laboreo de excavaciones subterráneas*. Tesis Doctoral. ISMM.
- Sedov, L.I. 1976: *Mecánica del medio continuo*. Tomo 1. Moscú. Nauka.
- Shemiakin, E.I. 2006: Tecnología y seguridad de los trabajos de voladura. MVK de Voladura. (Voladura, ISSN 0372-7009;ejemplar 96/53).
- Staniukovich, K.P. 1971: *Movimientos no estacionarios del medio continuo*. Moscú. Nauka.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

NP: Análisis de las condiciones de aplicación de la investigación, experimentó y determinó las propiedades de las rocas en el macizo rocoso de gnéisico. Obtuvo los datos relacionados de las voladuras en la mina Catoca. Determinó las curvas de extinción de las tensiones y elaboró el material primario para el artículo. JAON: Propuso el análisis teórico metodológico, participó

en la idea central de la investigación, revisión de los resultados y del manuscrito en su versión final. RLWQ: Concepción teórico metodológica de la investigación, elaboración de los resultados; elaboración, revisión y corrección del artículo.

ORCID

NP, <https://orcid.org/0000-0002-1437-0972>

JAON, <https://orcid.org/0000-0002-3586-113X>

RLWQ, <https://orcid.org/0000-0001-9599-2310>

Recibido: 08/09/2020

Aceptado: 03/03/2021