

Caracterización geomecánica de los macizos rocosos en minas subterráneas de la región oriental del país

Geomechanics Characteristics of the Mass Rock in Some one of the Eastern Region's Underground Mines of Cuba

Maday Cartaya Pire¹
Roberto Blanco Torrens²

¹ Máster en Geomecánica. Investigadora de la rama de la geomecánica aplicada a obras subterráneas. Departamento de Geología, Facultad de Geología y Minería, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

² Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Departamento de Minería, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

RESUMEN: Comprende un análisis de las características geológicas y geomecánicas de los macizos rocosos en las minas subterráneas Merceditas, Amores y "El Cobre" que explotan yacimientos de cromo y cobre, en la región oriental del país. Este análisis permite definir los modelos geomecánicos que caracterizan en forma representativa el macizo en estas minas.

Se proponen para cada mina subterránea los modelos de interacción macizo-fortificación, factibles a utilizar para el diseño de la fortificación; se recomiendan en cada caso expresiones para el cálculo de la presión actuante en correspondencia con el modelo asumido.

Estos resultados hacen más confiable cualquier evaluación o pronóstico de estabilidad, campo tensional, riesgos, presión minera y otros que se realice, todos de gran importancia para la actividad de proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas.

Palabras claves: Modelos geomecánicos, modelos de interacción macizo-fortificación, geomecánica

ABSTRACT: There is made an analysis of geological and geomechanic characteristics of the mass rock in the underground mines Merceditas, Amores and "El Cobre" which explore chromes and copper's ores, both are sited in the eastern region of the country is made. This analysis allows to define the geomechanic models that in more representative form characterize the massive in these mines.

The feasible models of massive-fortification interaction use for the fortification desing are proposed for each underground mine, and it's recommended in each case are recommended expressions for the calculation of the acting pressure in correspondence with the assumed model.

These results make more reliable any evaluation and stability forecast, tensional field, risks, mining pressure and some others. All these aspects have a great importance for the projection, construction and development of underground works.

Keywords: Geomechanics Models, Models of Massive-Fortification Interaction, Geomechanics.

INTRODUCCIÓN

La demanda de materiales se hace cada vez mayor en el mundo y, por consiguiente, se hace cada vez más necesaria la explotación de los recursos minerales para abastecer el desarrollo tecnológico actual. La extracción de los minerales de las entrañas de la tierra puede realizarse por el modo a cielo abierto o por el subterráneo. La profundidad de yacencia de los cuerpos minerales y la afectación al medio, son los aspectos fundamentales en que se basa la ciencia minera para elegir un modo u otro. Los retos actuales que nos impone la naturaleza para su protección, prevé que en un futuro no muy lejano, la explotación de los yacimientos se realice mayormente por el modo subterráneo.

Al realizar las obras subterráneas, se rompe el estado tensional de equilibrio que existía en el macizo antes de su apertura lo que da lugar a una redistribución de tensiones que incide directamente en el comportamiento de las rocas que circundan las excavaciones.

Constituye un problema para la realización rentable y segura de los trabajos mineros subterráneos, el no conocer las propiedades me-

cánico estructurales del macizo, no poseer un análisis detallado de las características de las rocas y no contar con un estudio de estabilidad del macizo teniendo en cuenta su comportamiento tensional y deformacional.

Aún con el desarrollo que han tenido los estudios geomecánicos en Cuba y el mundo en los últimos veinte años, se continúa analizando el comportamiento de los macizos de forma generalizada y no específicamente como lo requiere el comportamiento variado que presentan las rocas que circundan una obra minera. Actualmente en nuestro país, para el estudio de los campos tenso – deformacionales que surgen en los macizos rocosos y para la evaluación de la presión actuante, elección y diseño de los métodos de sostenimiento de las obras subterráneas, los macizos no son diferenciados según los modelos geomecánico y de interacción macizo-fortificación, lo cual en –muchos casos– produce afectaciones de índole económica o afecta la seguridad de la obra.

La investigación tiene como objetivo esencial caracterizar el macizo rocoso de las minas estudiadas, a partir de lo cual se pueden definir sus formas de pérdidas de estabilidad y sus modelos geomecánicos y de interacción macizo-fortificación lo que permite darle un tratamiento diferenciado durante la realización de diferentes tareas de diseño y construcción. Las minas subterráneas estudiadas son, Merceditas y Amores, en la provincia Holguín y El Cobre, en Santiago de Cuba, que explotan yacimientos de cromo las dos primeras y cobre la tercera. La investigación facilita en forma significativa y hace más confiable cualquier evaluación o pronóstico de estabilidad, campo tensional, presión minera, riesgos y otros aspectos de gran importancia para la actividad de proyecto, construcción y explotación de las obras subterráneas, todo esto implica un aprovechamiento racional de los recursos y la protección del medio.

Para la realización del presente trabajo se emplea una metodología integral de investigación, que cuenta con un gran volumen de trabajos experimentales (de campo, *in situ* y de laboratorio) y un fuerte trabajo analítico en el desarrollo y fundamentación de los diferentes criterios y metodologías que se emplean. Esta metodología puede ser generalizada para el estudio de cualquier macizo rocoso tanto subterráneo como de superficie.

Breves características geológicas de los yacimientos

La zona de estudio de la mina Merceditas se encuentra enmarcada en el complejo ofiolítico Moa-Baracoa. En Cuba oriental (Cobiella, 1984), está expuesto uno de los más grandes ejemplos en el área del Caribe de estructuras de escamas tectónicas. La tectónica de la región es compleja, en estas como en otras zonas de Cuba se pone de manifiesto la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geodinámicas contrastantes y en diferentes períodos; así el sistema de mantos tectónicos y el intenso plegamiento que caracteriza la estructura geológica de las

secuencias más antiguas que surgieron en un ambiente de compresión máxima, generaron los eventos tectónicos más jóvenes fundamentalmente bajo la acción de esfuerzos de tracción de la corteza terrestre, y desarrollaron fallas que dividieron la zona en una serie de bloques horsticos y grabens, enmarcándose así las estructuras más antiguas. Los movimientos de traslación horizontal que favorecen el emplazamiento de los mantos tectónicos de Cuba oriental fueron de gran magnitud, al menos para las serpentinas que forman la principal unidad tectónica alóctona.

El máximo exponente de la tectónica en la región es la falla regional sublatitudinal Jaragua, relacionada con una zona amplia de fracturación. Las dislocaciones tectónicas postminerales están representadas por zonas de fragmentación y agrietamiento abierto, tanto en las rocas encajantes como en los cuerpos minerales (Rodríguez, 1996; Cotilla, 1998).

Las rocas estudiadas pertenecientes al macizo ofiolítico de la mina Merceditas son: peridotitas, peridotitas serpentinizadas, dunitas, gabros, cromitas.

El yacimiento El Cobre que da asiento a la mina de igual nombre se encuentra ubicado en la zona de articulación del anticlinorio Sierra Maestra y del sinclinorio oriental cubano.

Las litologías más comunes son tobas de diversas granulometrías de composición andesíticas y andesito-dacítica, tobas aglomeradas, lavas, brechas, mantos de lava, de composición andesítica hasta riódacítica, cuerpo subvolcánico y dique de composición media, tufitas e intercalaciones de caliza.

El yacimiento posee condiciones hidrogeológicas complejas. La red fluvial esta representada por los ríos El Cobre, Melgarejo y otros pequeños afluentes que disminuyen considerablemente su caudal en épocas de sequía.

Estructuralmente, el área de trabajo esta relacionada con la zona de desarrollo del arco volcánico del Paleógeno. El yacimiento El Cobre esta ubicado en un nudo de intersección de fallas de diferentes direcciones y edades; a lo largo de él se ubica la falla regional El Cobre que se extiende al este de Gitanilla con dirección latitudinal, atravesando todo el yacimiento. Otro sistema importante son las fallas submeridionales incidentes a la falla El Cobre desde el sur, que tienen un orden secundario y se pueden ubicar como fallas preintraminerales con dirección (55-65)^o bien definidas al norte del yacimiento. El tercer sistema son las fallas transversales o nordeste, que afectan y deforman las estructuras minerales (Barrabí, 1996).

Estudio del agrietamiento

Como parte del estudio geomecánico del macizo rocoso, inicialmente se realizó la observación visual para determinar el estado actual de las excavaciones y el macizo, se realizaron diferentes mediciones *in situ* que permiten obtener una mayor caracterización de su comportamiento mecánico estructural.

Para ello, se hicieron recorridos por las diferentes excavaciones transitables de las minas, fundamentalmente las galerías de exploración GE-3, GE-5, GE-7, GE-12, GE-13, GE-15 y GE-15b, de la mina Merceditas, el socavón principal y la cámara 1 de la mina Amores. La galería principal, la de contorno, la galería del nivel 15 y 30 y la galería de ventilación de la mina El Cobre. (Ver Gráfico 1), con las principales características del agrietamiento en las minas estudiadas (Joao, 1998; Cartaya, 1996; Gutiérrez, 1996).

Características geomecánicas de las rocas

En la década de los años 60, se define una nueva y principal función de la ciencia, de gran importancia en la actualidad: *El pronosticar*. En esta etapa, tiene gran peso la investigación teórica, jugando esta un gran rol en la elección de las direcciones de desarrollo de la ciencia y también en la resolución de diferentes tareas, elaboración de metodologías e interpretaciones de los resultados experimentales obtenidos. Como parte del análisis del comportamiento del macizo fueron determinadas y analizadas las principales propiedades físico-mecánicas y los índices de estabilidad de las rocas en las obras objeto de estudio, (A. Joao, 1998; Cartaya, 1996; Gutiérrez G., 1996) las que se muestran en la Tabla No. 1.

Principales formas de pérdidas de estabilidad

Pérdida de estabilidad por desprendimientos

La pérdida de estabilidad del macizo por el desprendimiento, a causa de su propio peso de una zona fracturada es característico de los macizos rocosos afectados (estratificados, agrietados, con planos de clivaje y otros). El mecanismo por el que se produce esta pérdida de estabilidad es bastante simple de explicar: El peso de la roca que yace sobre la excavación es mayor que la resistencia al cortante de la roca, por lo que la roca se separa del macizo y cae.

Pérdida de estabilidad por desplazamiento, deformación y destrucción de la roca en el contorno de la excavación

En este caso la pérdida de estabilidad se produce cuando las tensiones actuantes en el contorno de las excavaciones sobrepasan el valor de la resistencia de la roca. O sea, la condición de estabilidad del macizo, en el caso más general, viene dado por la siguiente expresión:

$$\sigma - R_c \leq 0;$$

donde σ , son las tensiones actuantes y R_c la resistencia a compresión de la roca.

Pérdida de estabilidad por desplazamiento de la roca sin su destrucción

Aquí el macizo se considera como un medio elástico-plástico homogéneo en el que se van a producir desplazamientos y deformaciones significativas en la roca

del contorno de la excavación, sin su destrucción. En este caso, a una profundidad (H) de la excavación mayor que la límite (H_e), o sea, $H > H_e$, alrededor de la excavación se forma una zona de deformaciones plásticas sin la destrucción de la roca. La profundidad límite H_e se puede determinar a partir de la condición de equilibrio límite dada por un medio elástico homogéneo:

$$\sigma_1 = \sigma_c + \beta \cdot \sigma_3$$

Donde:

β - Coeficiente igual a:

$$\frac{1 + \operatorname{sen} \rho}{1 - \operatorname{sen} \rho};$$

De la condición de la magnitud de las tensiones s_r y s_0 en el contorno se conoce que $s_r = 0$ y $s_0 = 2g H$, también se conoce que para un estado tensional lineal

$$s = 0 \text{ y } \sigma_c = \frac{2k \cos \rho}{1 - \operatorname{sen} \rho}$$

por lo que se obtiene que:

$$H_e = \frac{\sigma_c}{2\gamma} = \frac{k \cos \rho}{\gamma(1 - \operatorname{sen} \rho)}.$$

Donde

- σ_1 - tensiones máximas.
- σ_3 - tensiones mínimas.
- σ_c - resistencia a la compresión simple.
- ρ - ángulo de fricción interna de las rocas.
- γ - masa volumétrica de las rocas.
- K - cohesión de las rocas.

Modelos geomecánicos

A partir del análisis de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, del estado en que se encuentra el macizo rocoso y de sus características mecánico-estructurales se establecen los siguientes modelos geomecánicos para caracterizar el macizo. (Blanco, 1995; Blanco, 1998; Cartaya, 1996). Ver gráfico 2.

Modelo elástico. Está presente esporádicamente en sectores sanos del macizo donde se ha producido poca afectación por el intemperismo y la fracturación o agrietamiento no es significativo. Es característico un estado de anisotropía, siendo lo más representativo para estos casos la anisotropía transversal.

Modelo elástico-plástico. Se presenta en situaciones muy parecidas a la del caso anterior, en zonas poco intemperizadas y en sectores donde el agrietamiento no sea significativo. Este modelo elástico-plástico se caracteriza por que se presentan dos tipos de deformaciones en el macizo, la elástica y la plástica. Según este modelo hasta un determinado límite, dado por las condiciones de estado límite $\sigma_1 = \sigma_c + \beta \sigma_3$ se producen solo deformaciones elásticas y, al sobrepasar las tensiones, ese valor las plásticas.

TABLA 1. Principales características geomecánicas de las rocas estudiadas en las diferentes minas (Cartaya, 1996).

Obras	Rocas	Rc. Mpa		γ kg/cm³		f	RQD	Q	RSR	S
		Valor medi o	Coef. Var.	Valor medi o	Coef. Var.					
Mina Merceditas	Peridotita serpentizada	60.5	0,06	2,46	0,72	6.0	94.5	2.30	70.40	-
	Peridotita	73.9	0,13	2,47	0,41	8.0	92.32	2.24	67.28	-
	Dunita	72.9	0,10	2,60	0,77	8.0	87.15	0.90	55.16	-
	Cromita	67.7	0,29	3,75	0,63	7.0	84.50	1.08	48.60	-
Mina El Cobre	Tobas de diferentes granulometrías	67.9	0,04	2,51	0,61	7.0	90.5	15.54	-	16.8
	Porfiritas Andesíticas	25.4	0,15	2,58	3,46	2.0	95.33	30.94	-	13.8
Mina Amores	Cromita	67.9	0,03	3,84	0,01	7.0	94.6	2.25	89.0	-
	Peridotita	73.9	0,03	2,56	0,02	8.0	88.24	2.51	68.33	-
	Dunita	73.0	0,04	2,65	0,02	7.0	84.00	2.23	64.00	-

Modelo rígido-plástico. En este caso las deformaciones plásticas son mucho mayor que las elásticas y estas últimas se pueden despreciar. Este modelo en el macizo estudiado está presente en diferentes situaciones, donde se forman zonas de rocas destruidas que actúan sobre la excavación. El modelo puede producirse directamente (formación de una zona o bóveda de roca destruida) al variarse el campo tensional o con el transcurso del tiempo como un desarrollo excesivo de las deformaciones plásticas de un modelo elástico plástico.

Para este modelo es válida la condición de estado límite dada por Coulomb-Mohr:

$$\tau = \sigma_n \tan \phi + C$$

Modelos discretos. Se presentan diversas variantes de estos modelos, pero lo más común es la presencia de sectores de bloques de formas más o menos regular que yacen con alguna inclinación respecto al sector de la excavación. También en ocasiones se presenta la acción de bloques acunados que tienden a deslizarse hacia la excavación.

Modelos de interacción macizo-fortificación

A continuación se pasa a un breve análisis de los *modelos de interacción macizo-fortificación*. En cada caso se da por lo menos una expresión para el cálculo de la presión en las rocas acorde a la caracterización que se hace del proceso. (Blanco, 1993; Blanco, 1998; Cartaya, 1996; Hoek. y Brown, 1980). (Ver gráfico 3.)

Modelo elástico de interacción macizo-fortificación

Se recomienda utilizar para el análisis de la presión actuante sobre excavaciones horizontales situadas a una profundidad (H) tal que se cumpla que $H \gg R_L$. Donde R_L es el radio de laboreo de la excavación y el campo tensional inicial esté caracterizado por las expresiones.

$$\sigma_z^0 = \gamma * H \qquad \sigma_y^0 = \lambda * \gamma * H$$

Donde.

H – profundidad a que está la excavación.

Como fórmula de cálculo de la presión en las rocas, se propone la siguiente expresión:

$$P = \alpha_0 \gamma . H \left(\frac{1+\lambda}{2} \right) A - \alpha_0 \gamma . H \left(\frac{1-\lambda}{2} \right) B \cos 2\theta$$

Donde.

θ - ángulo en coordenadas polares, que determina el punto del contorno de la excavación que se analiza (se mide a partir de la ordenada hacia la izquierda).

λ - coeficiente de empuje lateral, se puede determinar por la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{\mu}{1 - \mu}$$

α_0 - coeficiente que tiene en cuenta el atraso con que instala la fortificación respecto al frente. Puede determinarse por la relación

$$\alpha_0 = 1 - \frac{U_i}{U_f}$$

α_0 - coeficiente que tiene en cuenta el atraso con que instala la fortificación respecto al frente. Puede determinarse por la relación.

$$\alpha_0 = 1 \frac{U_i}{U_f}$$

Donde.

U_i - desplazamiento inicial que sufre el macizo hasta el momento en que se instala la fortificación.

U_f - desplazamiento total que sufre el macizo.

Modelo rígido-plástico de interacción macizo fortificación

Las investigaciones realizadas a partir de métodos matemáticos más exactos de la teoría de la plasticidad y de los estados límites, y la experiencia práctica han permitido corroborar lo correcto del principio expuesto según este modelo de interacción. Los resultados obtenidos muestran que el volumen de roca fracturada o destruida no depende de la profundidad de la excavación, sino de las características de resistencia de las rocas y de los parámetros geométricos de la zona de deformación destrucción.

La forma en que se produce la carga sobre la fortificación, según este modelo, puede ser muy variada, siendo representativas las siguientes:

- Por la presión (peso) que produce una zona de rocas destruidas.
- Por la presión que produce una columna de rocas.
- Por la presión debido al peso de las rocas contenido en la bóveda de destrucción.

a) Por la presión que produce una zona de rocas destruidas. Se puede usar para el cálculo de la presión la siguiente expresión.

$$P = \frac{\gamma \cdot R(1 - \operatorname{sen} \rho)}{3 \operatorname{sen} \rho - 1} \left[1 - \left(\frac{R}{R1} \right)^{\frac{3 \operatorname{sen} \rho - 1}{1 - \operatorname{sen} \rho}} \right] - K \left[1 - \left(\frac{R}{R1} \right)^{\frac{3 \operatorname{sen} \rho - 1}{1 - \operatorname{sen} \rho}} \right] \cot \rho$$

para el caso de rocas desligadas $K \approx 0$, p será:

$$P = \frac{\gamma R(1 - \operatorname{sen} \rho)}{3 \operatorname{sen} \rho - 1} \left[1 - \left(\frac{R}{R1} \right)^{\frac{3 \operatorname{sen} \rho - 1}{1 - \operatorname{sen} \rho}} \right]$$

b) Por la presión que produce una columna de rocas.

$$P = \frac{\gamma \cdot a - K}{\lambda \cdot \operatorname{tg} \rho} \left[1 - \frac{1}{e^{\lambda \operatorname{tg} \rho} \frac{H}{a}} \right]$$

Donde:

R - radio de la excavación.

$R1$ - radio límite de la zona de destrucción.

a - semiancho de la excavación.

Para el caso en que el valor de profundidad aumente, la presión actuante tiende hacia una magnitud constante

$$P = \frac{\gamma \cdot a - K}{\lambda \operatorname{tg} \rho};$$

para el caso de rocas desligadas $K \approx 0$ se obtiene:

$$P = \frac{\gamma \cdot a}{\lambda \cdot \operatorname{tg} \rho}$$

c) Por la presión debido al peso de las rocas contenido en la de destrucción.

Aquí lo más conocido es la hipótesis de Protodiákonov, donde la presión actuante para 1 m de excavación es: $P = 4/3 g (a^2/f)$ y la presión promedio en un metro de techo es: $P = 2/3 \cdot (g a / f)$.

A partir de los estudios hechos para las condiciones de estos macizo rocoso, se propone para el cálculo de la presión, la fórmula de Protodiákonov, afectada por un coeficiente h , o sea:

$$P = 0.33 h g (f^2 / f)$$

Este parámetro (h) se obtuvo midiendo las zonas de derrumbe en un gran número de excavaciones, para diferentes fortalezas de las rocas. (Blanco, y Rodríguez, 1988).

Modelo elástico-plástico de interacción macizo fortificación

Se presenta cuando las deformaciones plásticas —que ocurren en las partes del macizo rocoso que rodean la excavación— se manifiestan sin una variación visible de las propiedades de la roca, o sea, sin destrucción. En este caso, a diferencia del rígido plástico, la parte del macizo rocoso situada fuera de los límites de la zona de deformaciones plásticas interviene también en el proceso de carga a la fortificación.

Este modelo fue estudiado por primera vez por R. Fenner en el año 1938. Él estudió el macizo considerando que solo tenía fricción interna (sin cohesión) para el cálculo de la carga sobre la fortificación. En este caso Fenner propuso la expresión:

$$P = \gamma \cdot H(1 - \operatorname{sen} \rho) \left(\frac{R}{R1} \right)^{\frac{2 \operatorname{sen} \rho}{1 - \operatorname{sen} \rho}}$$

del análisis de esta expresión se puede obtener el valor máximo de resistencia que debe tener la fortificación para evitar la formación de la zona de deformaciones plásticas, o sea, se analiza $R = R1$ y se obtienen que.

$$P = \gamma \cdot H(1 - \operatorname{sen} \rho) - k \cos \rho.$$

Estudiando el carácter de distribución de las tensiones que se producen alrededor de las excavaciones, según este modelo de interacción se ve que en comparación con un modelo elástico, en el cual las máximas tensiones tangenciales se producen en el contorno, aquí estas tienen lugar en la frontera de la zona de deformaciones plásticas.

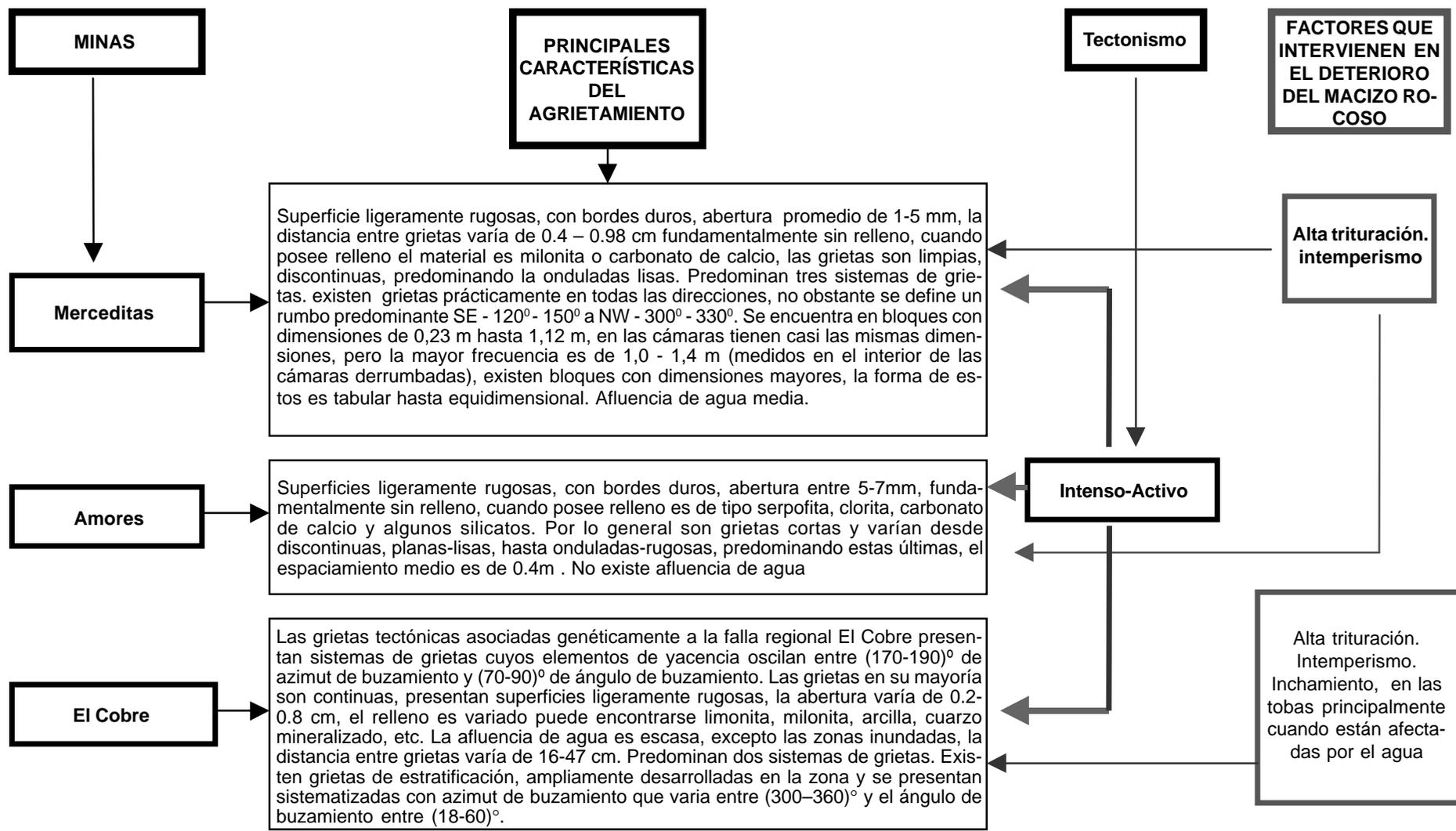


GRÁFICO 1. Principales características del agrietamiento en las minas estudiadas (Cartaya, 1996).

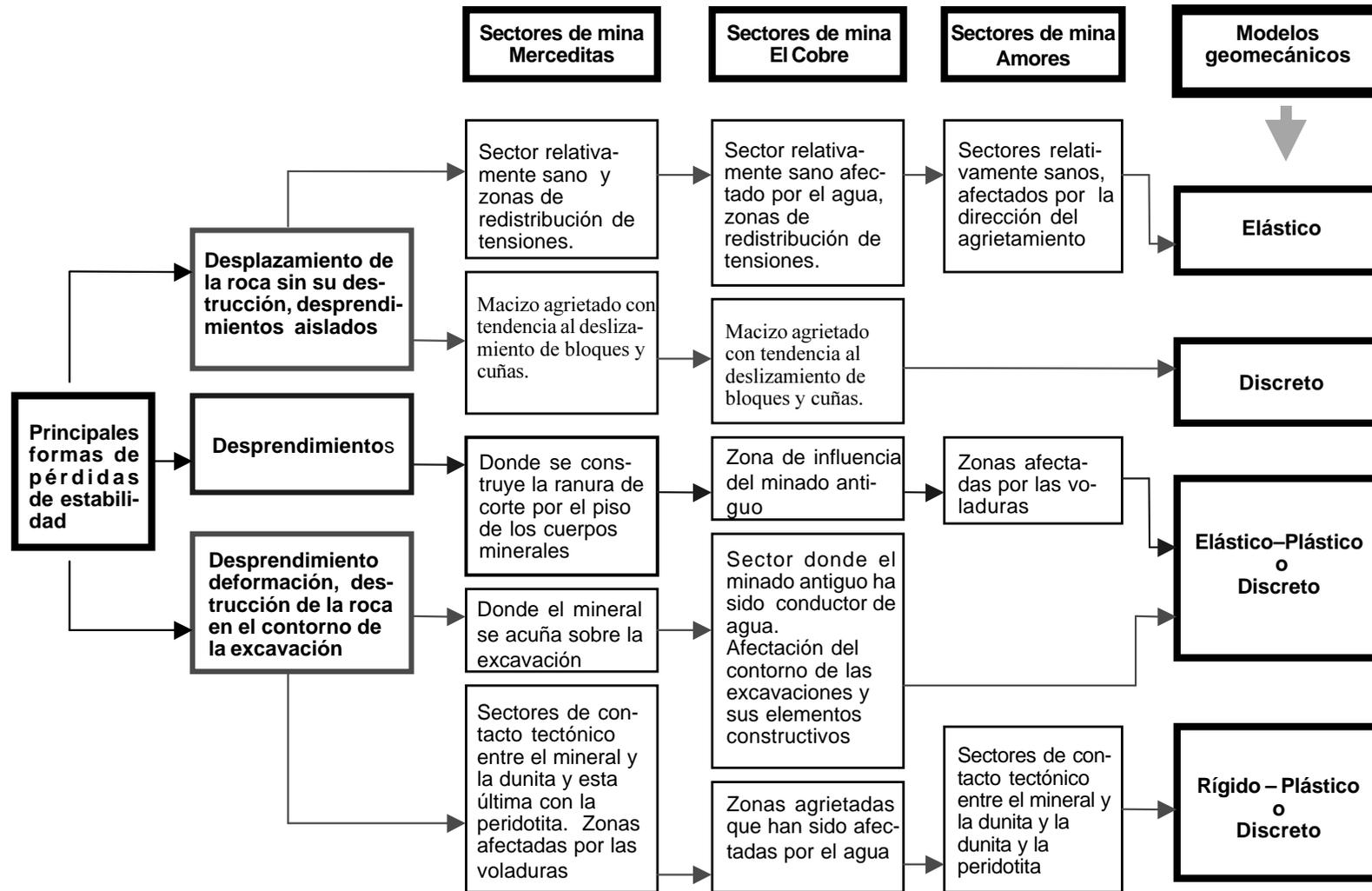


GRÁFICO 2. Modelos geomecánicos por sectores del macizo en las minas estudiadas (Cartaya, 1996).

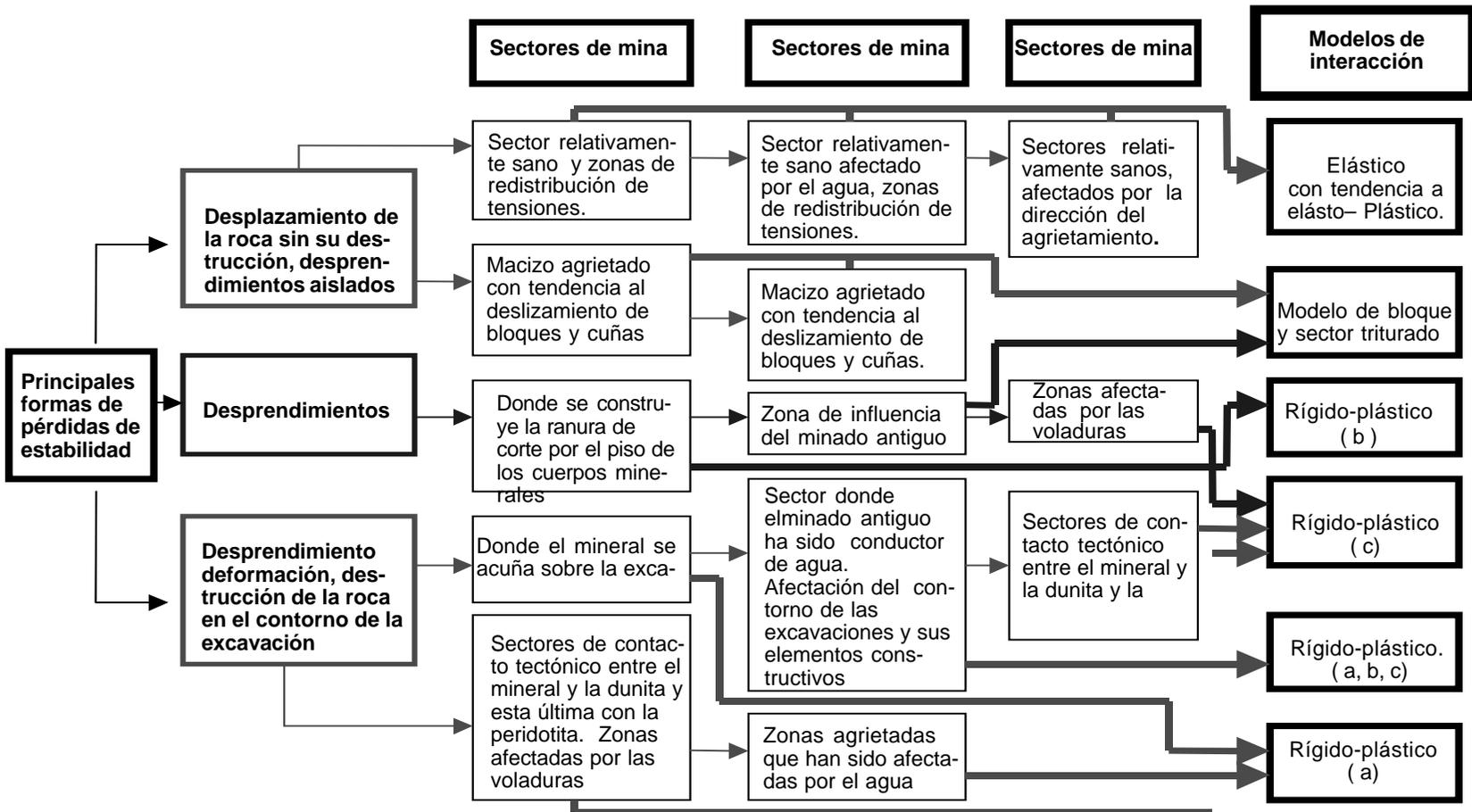


GRÁFICO 3. Modelos de interacción macizo-fortificación por sectores del macizo en las minas estudiadas (Cartaya, 1996).

Si se considerase un cuerpo idealmente plástico, o sea, no existe fricción interna y por ende $\rho = 0$, se debe cumplir la condición: $\sigma_\theta - \sigma_r = 2k$ y la presión en este caso se puede calcular por la expresión:

$$P = \gamma \cdot H - k \left(1 + 2 \log \frac{Rl}{R} \right)$$

Modelo de bloque y sector triturado

Para macizos agrietados con la formación de capas de rocas regulares o irregulares por el techo de la excavación, se considera que la zona de destrucción no es simétrica respecto al techo.

Se recomienda para el cálculo de la presión la siguiente expresión.

$$Q = \frac{L + L1}{2} b \max \delta$$

donde: L1 – magnitud del ancho estable del techo para las condiciones dadas.

$$L1 = \xi \sqrt{\frac{0.04 \sigma_c a_i}{\eta \gamma \cos \alpha}}$$

Donde:

δ - ángulo entre la superficie de debilitamiento y el plano de bloquitud.

ξ - coeficiente de escurrimiento de la deformación.

σ_c - límite de resistencia a compresión lineal.

α - ángulo de buzamiento del sistema de grietas (superficie de debilitamiento preponderante).

η - coeficiente de seguridad, (2 - 4).

Cuando el agrietamiento es caótico (desordenado), se forma en el techo y en ocasiones en los hastiales una zona de roca fracturada. Para el cálculo de la presión actuante se hace por el esquema de carga a partir del peso de la roca contenida en la zona de destrucción, puede ser empleada la siguiente expresión:

$$P = \frac{4}{3} ab\gamma$$

CONCLUSIONES

- Se realiza la caracterización geomecánica del macizo estudiado por sectores de excavación.

- Del estudio integral detallado efectuado en los macizos se determinaron las principales formas de pérdidas de estabilidad, su principio de acción y las causas que las provocan.
- Se proponen los modelos geomecánicos y modelos de interacción macizo-fortificación teniendo en cuenta el comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso por sectores de excavación estudiados.
- Es posible, mediante la clasificación de los macizos rocosos en modelos geomecánicos y modelos de interacción macizo-fortificación, dar a cada sector del macizo un tratamiento diferenciado, tanto en el estudio tenso-deformacional, como de evaluación de la presión minera.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRABÍ, A.: Informe geológico, Mina El Cobre, Santiago de Cuba, 1996.
- ANDRÉ, JOAO PEDRO: "Caracterización mecánico estructural del macizo rocoso de la mina subterránea El Cobre, Santiago de Cuba," Trabajo de diploma, 1998, ISMM, Moa.
- BLANCO, T. R.: *Estudio de la estabilidad y la presión minera en las excavaciones subterráneas*, Unión Nacional de Loja, Ecuador, 1993.
- BLANCO, T. R. y E. RODRÍGUEZ: "Características de formación de rocas destruidas en el techo de las excavaciones", en *Minería y Geología*, no 2, Moa, 1988.
- BLANCO, T. R.: *Elementos de mecánica de los macizos rocosos*, Ed. "Félix Varela", La Habana, 1998.
- BLANCO, T.: "Modelos matemáticos para el estudio de los macizos rocosos", Informe al X Forum de Ciencia y Técnica, Moa, 1995.
- CARTAYA PIRE, M.: "Caracterización geomecánica de los macizos rocosos", Tesis de maestría, 1996, ISMM, Moa.
- COTILLA RODRÍGUEZ, M.; O. BANKWITZ y otros: "Cinemática neotectónica de Cuba oriental", en *Rev. Soc. Geológica de España*, 11 (1 - 2) pp. 33-42, 1998.
- G. RODRÍGUEZ: *Informe Geológico*, Mina Merceditas, Cuba, 1996.
- GUTIÉRREZ, G. L.: "Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de las minas Merceditas y Amores", Trabajo de diploma, ISMM, 1996.
- HOEK, E. y E.T. BROWN: *Underground Excavations in Rock*, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980, p. 527.