

Determinación del método de arranque de la roca en la cantera Pilón, Mayarí

Naísma Hernández-Jatib
Yuri Almaguer-Carmenate
Yezenia Rosario-Ferrer
José Otaño-Noguel

Resumen

En Cuba, la explotación de canteras de materiales para la construcción se realiza empíricamente escogiendo los métodos de arranque de las rocas en función de la experiencia práctica de los especialistas. Con el fin de determinar teóricamente el método de arranque para la explotación de la cantera Pilón se aplicó un procedimiento que incluye el análisis estructural del macizo rocoso, la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y los dominios geomecánicos que la conforman; con toda esta información se pudo elegir el método de arranque con ayuda del gráfico de Karpuz. En Pilón se identificaron dos dominios, para los cuales se estableció el método de arranque más adecuado: voladura para el primero y escarificación muy dura para el Segundo

Palabras clave: Explotación de canteras; métodos de arranque; cantera Pilón.

Selecting rock extraction method for the Pilon quarry, Mayari

Abstract

In Cuba, mining of building material quarries is managed empirically. Rock extraction methods to be implemented are selected based on specialist expertise. In order to theoretically determine an adequate extraction method for conducting mining operations in the Pilon mine, a procedure was implemented. This procedure includes rocky massif structural analysis, identification of rock physical-mechanical properties and their geomechanical domains. Based on this information, it was possible to select the extraction method using the Karpuz graph. Two domains were identified in Pilon, according to which the most appropriate rock extraction methods were chosen: blasting for the first one and very hard ripping for the second one.

Keywords: Quarrying; breaking-ground methods; Pilon quarry.

1. INTRODUCCIÓN

En Cuba, la elección del método de arranque durante la explotación de canteras de materiales para la construcción se realiza empíricamente, con base en el conocimiento práctico de los especialistas dedicados a esta labor.

Los principales métodos de excavación empleados son la voladura, la escarificación y la excavación. La literatura sugiere varios métodos para la evaluación de la excavabilidad de la roca, y cada sistema considera un conjunto de parámetros geotécnicos diferentes:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca
- Grado de desgaste y la integridad de la estructura de la roca
- Espaciamiento, orientación, persistencia y discontinuidades
- Abertura, relleno y rugosidad de las discontinuidades.

De estos parámetros se les confiere mayor importancia a la discontinuidad (o fractura), al espaciamiento y a la fuerza intacta de la roca, así como a la orientación y la abertura (o separación) de las discontinuidades; criterios importantes que determinan si las maquinarias pueden penetrar y desplazar los bloques individuales.

Varios métodos han sido desarrollados para la evaluación de la excavabilidad de la masa rocosa. Entre los más conocidos se encuentran:

- Franklin Franklin et al. (1971)
- Weaver (1975)
- Kirsten (1982)
- Scoble & Muftuoglu (1984)
- Pettifer & Fookes (1994)

Estos autores emplean indistintamente diferentes parámetros, como las características del macizo rocoso (espaciamiento entre grietas y resistencia a la compresión simple de las rocas); la erosión y el ajuste para los efectos de la orientación de discontinuidades; la tensión del macizo, el tamaño del bloque, la yacencia de las estructuras geológicas; el grado de alteración y el índice geomecánico RMR.

Pettifer y Fookes (1994) establecen que la excavabilidad de la roca depende de propiedades individuales, del equipamiento para la excavación y del método de laboreo. También establecieron que con la excepción de la tensión de la roca expresada por el índice de carga puntual, las características de discontinuidad definen el tamaño

individual del bloque rocoso que constituye uno de los más importantes parámetros de la ripabilidad de la roca.

En general, las investigaciones desarrolladas con posterioridad al siglo XIX y XX, y que actualmente se llevan a cabo, se basan en la aplicación de uno o varios de los métodos y teorías anteriormente analizadas; aunque se debe destacar la aplicación de métodos computacionales para la modelación y simulación numérica de los procesos de arranque de las rocas por medio de los software profesionales (DiGMapGB-50 versión 6), creados para estos propósitos, y de esta manera trazar nuevos caminos en explotación de canteras de modo eficiente y ecológico. Sin embargo, ninguno de los métodos antes mencionados integra todos los parámetros geotécnicos para determinar el método de arranque más racional en cada macizo rocoso.

En la cantera de calizas Pílon, objeto de estudio, existen incongruencias entre las características geomecánicas y el método de arranque empleado. Es común en la mayoría de los casos la práctica de imponer un método sin previas investigaciones que, basadas en criterios científicos, permitan la elección racional del mismo. Esto acredita la necesidad de una metodología para seleccionar el método más racional de arranque de la roca.

El presente trabajo tiene como propósito proponer un procedimiento para determinar teóricamente el método de arranque de las rocas. El procedimiento parte del análisis estructural del macizo rocoso, la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y de los dominios geomecánicos que lo conforman, información con la cual es posible elegir el método de arranque a partir del gráfico de Karpuz.

1.1. Características geológicas del yacimiento

Desde el punto de vista regional, el yacimiento de calizas Pílon se enmarca en un contexto geológico de poca complejidad (Nagy 1976), con presencia de formaciones con edades del Oligoceno superior–Mioceno inferior parte baja (Figura 1).

El yacimiento se encuentra en la formación Bitirí y las litologías que lo componen se subdividen en cuatro tipos, diferenciadas por capas: calizas órgano brechosas, calizas organógenas-organodetríticas, calizas estratificadas y serpentinitas. A continuación se describen las mismas:

Capa 1: Caliza organodetrítica de color blanco crema hasta rosado claro, presenta oquedades cársticas de diferentes dimensiones, y

grietas rellenas de óxidos de hierro y de calcita; es masiva, en gran parte con textura brechosa, de resistencia media. Es la variedad más extendida en el yacimiento, ocasionalmente se presenta recristalizada y marmolizada.

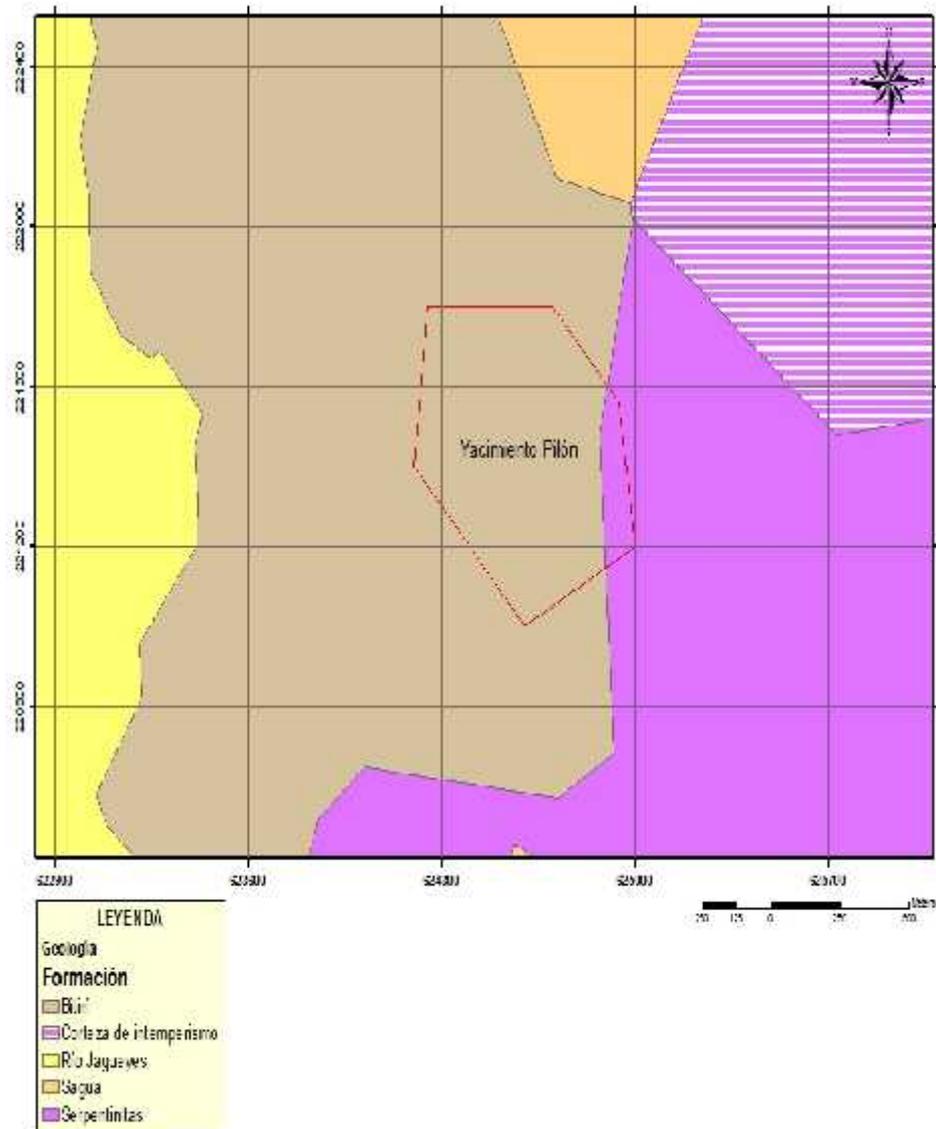


Figura 1. Mapa geológico regional del área.

La resistencia a la compresión de las calizas de esta capa, a pesar de tener variaciones, en determinados casos, cuando disminuye mucho el valor, es debido a la rotura de la muestra por planos de agrietamiento durante el proceso de ensayo, por lo que consideramos que, en general, presenta buenas condiciones para el uso que está concebida.

Capa 2: Caliza organógena de color blanco rosáceo, con manchas amarillentas, presenta abundantes restos fósiles de corales, conchas de bivalvos, etc.; se observa muy porosa, con abundantes oquedades

cársticas, es generalmente masiva, de resistencia baja. En algunos intervalos se alterna con una caliza margosa, al parecer, estratificada.

Capa 3: Caliza estratificada de color blanco crema, presenta tonalidades amarillentas; son rocas de resistencia media, compactas, de grano fino, en los planos de estratificación a veces se observa un material arcilloso carbonatado de color gris verdoso. Constituye la secuencia inferior del corte estratigráfico del yacimiento.

Los fenómenos físico geológicos presentes en el área de interés son:

- Intemperismo: Se presenta muy extendido, como resultado de la meteorización se forman los suelos finos de colores blancos y rojizos.
- Carso: Su manifestación es extensa tanto superficial como subterránea. Es evidente el gran desarrollo que presenta el carso (Figura 2) en profundidad. Las oquedades cársticas de diferentes dimensiones dan paso a macroestructuras de 10,50 m a 17,70 m; además, en varias zonas del yacimiento son visibles cavernas de grandes dimensiones



Figura 2. Cavernas desarrolladas en las calizas del yacimiento Pilón.

1.2. Tectónica

Hacia la zona este del yacimiento estas rocas contactan tectónicamente con un cuerpo de serpentinitas, las características del contacto denotan este origen, pues existe una zona de intensa brechosidad y agrietamiento en ambas litologías (Figura 3). El ángulo de inclinación del contacto está en el entorno de los 30°.



Figura 3. Contacto entre las calizas de la Fm. Bitirí (encima) y las serpentinitas (debajo), ambas fuertemente tectonizadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la cantera Pilón se aplicó un procedimiento que organiza en cinco pasos la elección del método de arranque, partiendo de la integración de los métodos gráficos de Pettifer & Fookes y de Karpuz. Los cinco pasos son:

1. Análisis estructural del macizo;
2. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas;
3. Análisis de los índices geomecánicos (RQD, RMR);
4. Determinación de dominios geomecánicos;
5. Elección del método de arranque.

2.1. Análisis estructural del macizo rocoso

Para el análisis estructural del macizo se consideraron todas las estructuras geológicas que constituyan discontinuidades como: grietas, fallas, estratificación, foliación secundaria, entre otras, y se establecieron los elementos de yacencia (definidos por su buzamiento y dirección de buzamiento) y otros parámetros como abertura, espaciamento, continuidad, tamaño del bloque natural, rugosidad, carácter de la pared y relleno y presencia de agua.

2.2. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas

Como propiedad física se consideró la porosidad. Se realizaron ensayos de compresión simple en muestras regulares que satisfacen las exigencias normativas, con relación a la longitud y el ancho (50 mm x 50 mm), para determinar el índice de resistencia a la compresión, mediante la expresión:

$$[\tau]_c = 4 \frac{K_F K_E P}{fd^2}, \quad MPa \quad (1)$$

Donde:

K_F - efecto de fricción

K_E - efecto de escala

2.3. Determinación de los índices geomecánicos

Se determinaron los índices RQD (calidad de la roca) de Deere (1967) y el RMR (calidad del macizo). El índice RQD se determinó por la expresión:

$$RQD = 115 - 3.3J_v \quad (2)$$

$$J_v = \sum 1/S_i \quad (3)$$

($RQD \geq 100$)

S_i : espaciamiento medio entre juntas (m)

Se clasificó el macizo a partir de la propuesta de Deere (1967), actualizada por Bieniawski (1976).

Para obtener el RMR se tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

- Del análisis estructural:
 - a) Espaciamiento
 - b) Condiciones de la junta
 - c) Orientación
- De la resistencia de la roca
 - a) Carga puntual
 - b) Compresión simple
- RQD
- Presencia de aguas subterráneas.

Para la determinación de este índice se utilizó la base de datos de pozos del yacimiento, las descripciones de campo, los resultados de los ensayos mecánicos y el procesamiento del agrietamiento.

2.4. Determinación de los dominios geomecánicos

El procedimiento partió de la integración de los elementos geológicos y geomecánicos en un modelo general (mapa) generado en ArcGIS 9.3

que permitió delimitar los dominios de primer y de segundo orden, de acuerdo con las franjas protectoras de las cuencas hidrográficas y el límite de la concesión del yacimiento.

Los elementos utilizados fueron los siguientes:

1. Geológicos: aportan las características básicas del yacimiento que condicionan el tipo de materia prima a extraer.
 - a) Mapa litológico del yacimiento. Se delimitan las litologías de acuerdo con el mapa geológico detallado y se clasifican de acuerdo con la calidad requerida, desde el punto de vista tecnológico;
 - b) Mapa tectónico: Se realiza el estudio detallado de la estructura del yacimiento teniendo en cuenta el agrietamiento y las estructuras de primer orden (fallas). Se parte del mapa geológico de área y se deben confirmar las fallas por medio de reconocimiento de campo y estudios morfológicos;
 - c) Mapa de pendientes del terreno: Se obtiene el mapa topográfico de yacimiento y se utiliza como criterio de confirmación de fallas por delimitación de zonas de pendientes altas y abruptas;
2. Geomecánicos: determinan las propiedades físicas y mecánicas y evalúan la calidad de las rocas mediante la clasificación geomecánica de Bieniowski (1979) y el macizo rocoso en el yacimiento.
3. Elementos espaciales: se utilizan para delimitar espacialmente los dominios, excluyendo la infraestructura de la cantera y las zonas de protección ambiental;
 - a) Límite de la concesión del yacimiento: Se obtiene a partir de los límites definidos por la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM);
 - b) Límite de las franjas protectoras de cauces fluviales: Se obtiene a través de la Norma cubana NC-23 (1999) Franjas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales, donde se establecen los límites de las franjas de protección de los cursos fluviales de acuerdo a su orden;
 - c) Viales: Es necesario delimitar el área ocupada por los viales a través de los cuales se transporta la materia prima para no incluirlos en los dominios;

- d) Planta de beneficio: Se debe excluir de los dominios y se utiliza el plano topográfico del yacimiento.

2.5. Elección del método de arranque

Para la elección del método de arranque se parte de los dominios del yacimiento, caracterizados por condiciones geológicas y geomecánicas que permiten la aplicación del procedimiento planteado por Karpuz (2004), quien propone un gráfico de excavabilidad con nuevas subdivisiones para los límites de operación de varias categorías de excavaciones de rocas. Basarir (2008), basado en este gráfico, propone un sistema de clasificación de excavaciones en función de la energía específica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis estructural del macizo rocoso

El yacimiento se caracteriza por la presencia de varias estructuras primarias y secundarias. Las primarias representadas por los estratos de las rocas carbonatadas con yacencias horizontal o sub-horizontales, con un ligero buzamiento hacia el sureste; los elementos de yaciencia son $118^{\circ}/06^{\circ}$.

Las secundarias están representadas por tres familias de grietas (Tabla 1), que se caracterizan por ser de buzamientos altos, superiores a 45° , como es el caso de la familia 2, y verticales o sub-verticales como el caso de las familias 1 y 3 (Figura 4). La intercepción de estas familias con las superficies de los estratos le confiere una estructura en bloques al yacimiento, su tamaño está condicionado al espaciamiento de las grietas y la potencia de las capas. En relación a los rumbos de las estructuras hay predominio de direcciones norte-sur (Figura 5).

Tabla 1. Yaciencia de estructuras en el yacimiento

Estructura	Familia de grieta	Buzamiento	Acimut de buzamiento
Estratos	...	06	118
Grietas	1	85	068
Grietas	2	59	086
Grietas	3	90	193

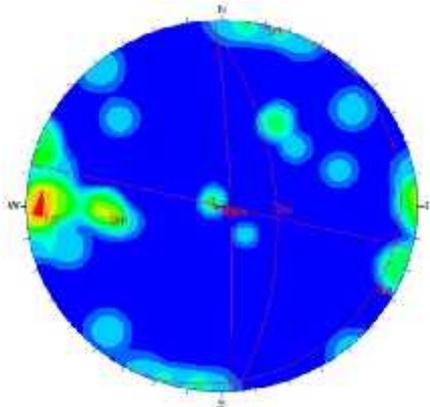


Figura 4. Diagrama de contorno y planos del agrietamiento.

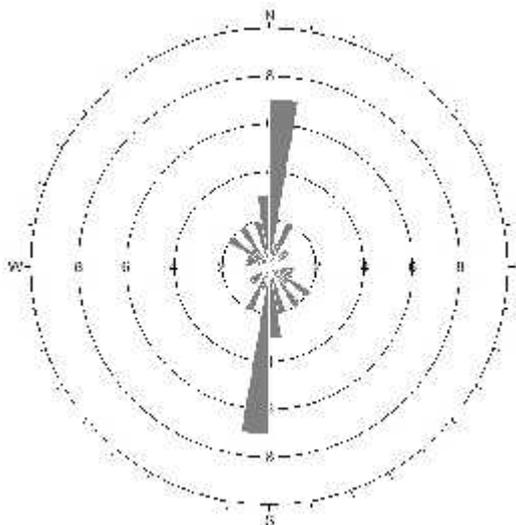


Figura 5. Diagrama de rosetas del agrietamiento.

3.2. Propiedades físico-mecánicas de las rocas

Porosidad

Se tomaron los valores reportados en el informe geológico del yacimiento.

Resistencia a la compresión simple

Los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión simple se correspondieron con los reportados en los informes técnicos de la Empresa de Materiales de la Construcción, relacionados con las propiedades de las rocas en el yacimiento objeto de estudio. La resistencia a la compresión simple y la porosidad se comportan como ilustra la Figura 6.

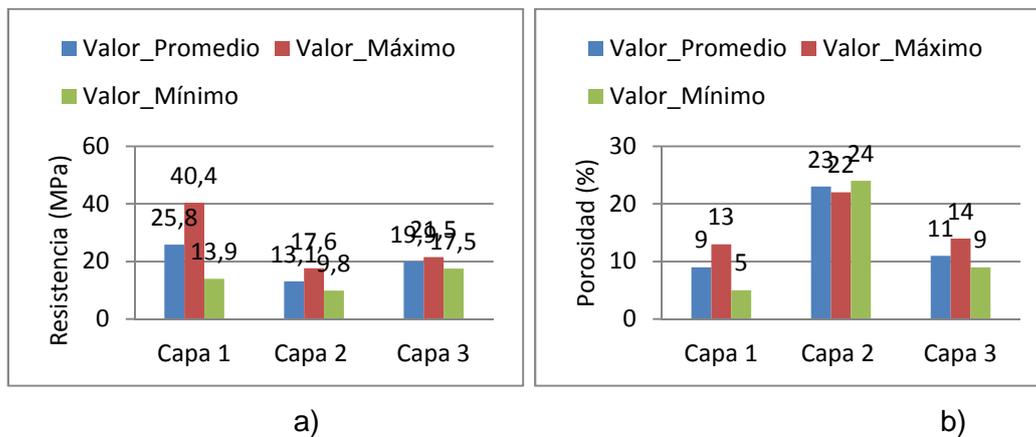


Figura 6. Comportamiento de propiedades por capas: a) resistencia a la compresión; b) porosidad.

En la figura se observa que la capa 1 presenta los mayores valores de resistencia (40,4 MPa), comportamiento condicionado por las características inherentes del tipo de roca con estratificación masiva, con capas de potencia superiores a un metro y compuesta por fragmentos angulosos de rocas carbonatadas y serpentinitas cementadas con material carbonatado fino. La intensidad de agrietamiento de la roca es baja, con espaciamiento superior a 50 cm, lo que representa un índice de discontinuidad (J_v) muy bajo (4 grietas/m³) y los menores valores de porosidad, debido a la poca cantidad de discontinuidades primarias (estratos) y secundarias (grietas).

Las capas 2 y 3 con valores máximos de 17,6 MPa y 21,5 MPa respectivamente, son las de menores resistencias. Esto se debe a su estructura ya que son rocas que yacen en forma de estratos finos y medios con espesores inferiores a 30 cm; además, están afectadas por dislocaciones tectónicas como grietas y fallas que condicionan bloques pequeños y por procesos cársticos, condicionando una porosidad mayor que la capa 1. Es de resaltar el comportamiento de esta propiedad en la capa 2, que manifiesta valores máximos de 24 %, corroborado con la presencia de cavernas en los frentes de explotación.

3.3. Índices geomecánicos (RQD, RMR)

$$RQD = 115 - 3.3 * 5.3$$

$$RQD = 97.3$$

A este resultado le corresponde la valoración (rango) entre 90-100 %. Como este índice forma parte de la clasificación del RMR, su valor es 20.

3.4. Clasificación RMR de Bieniawski

Se obtuvieron dos valores de calidad para el yacimiento. De los 24 pozos analizados, 15 reportaron buena calidad, en calizas organógenas brechosas, con valores de RMR de 66 y los restantes 9 pozos revelaron valores de RMR de 37, calificando las calizas organodetríticas estratificadas como de mala calidad geomecánica. Este comportamiento se debe tanto a la variabilidad espacial de la resistencia como a la intensidad del agrietamiento.

3.5. Dominios geomecánicos y método de arranque

El procesamiento de la información geomecánica, así como las características litológicas y la distribución espacial de las discontinuidades permitieron obtener los dominios geomecánicos, definidos como sectores o áreas con semejante comportamiento de las características geomecánicas del macizo rocoso. Se delimitaron dos dominios, los cuales se muestran en la Figura 7 y se describen a continuación:

- Dominio I

Ubicación: al norte y este del yacimiento

Área: 269 775 m²

Propiedades de las rocas: La resistencia media a la compresión es de 25,8 MPa, porosidad de 9 %, absorción de 1,7, y el peso específico de los sólidos de 26,6 kN/cm³.

- Dominio II

Ubicación: al sureste del yacimiento

Área: 167 341 m²

Propiedades de las rocas: La resistencia media a la compresión es de 16,5 MPa, porosidad de 17 %, absorción de 3,45, y el peso específico de los sólidos de 26,75 kN/cm³.

Basado en el gráfico de Karpuz (1990) y utilizando la base de datos que contiene valores de resistencia a la compresión (MPa), espacio entre las discontinuidades, peso volumétrico, porosidad, absorción, entre otros, se realiza la evaluación del yacimiento Pílon, con vista a la correcta elección del método de arranque de la roca. En la Figura 8 se muestra el gráfico de excavabilidad, en el que se representa el área a que pertenecen las rocas, a partir de la combinación del índice resistencia a la compresión simple (MPa) y el de discontinuidad (m). Según el gráfico, las rocas se agrupan atendiendo a la fortaleza de su

estructura en extremadamente fuertes, y según el índice de espaciamento, en muy grandes para el dominio geomecánico I y en pequeños para el dominio II. Esta ubicación dentro del gráfico permite definir el método de arranque por voladura para el primer dominio y el método de escarificación muy dura para el segundo.

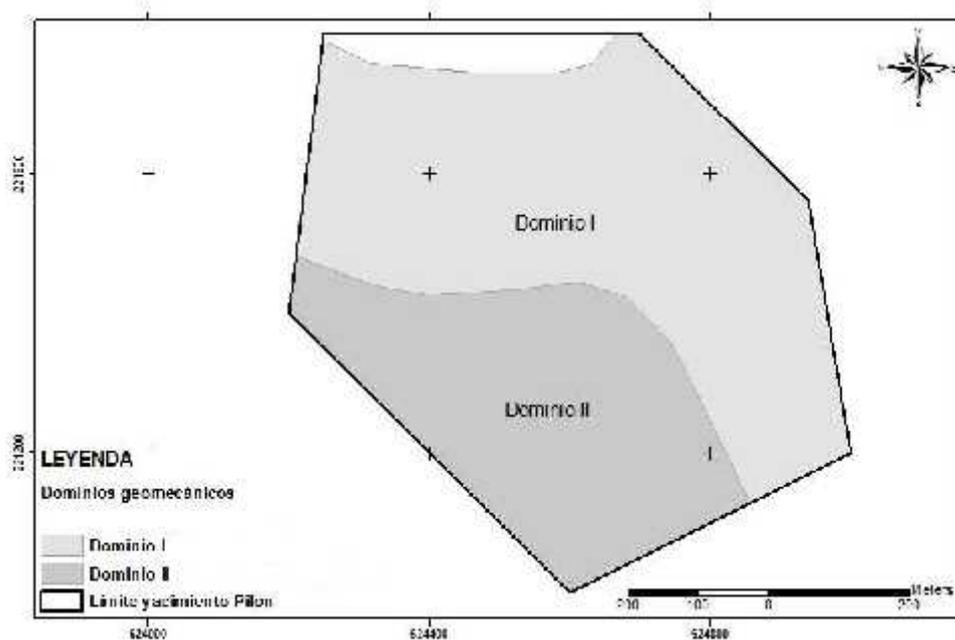


Figura 7. Dominios geomecánicos en el yacimiento Pilón.

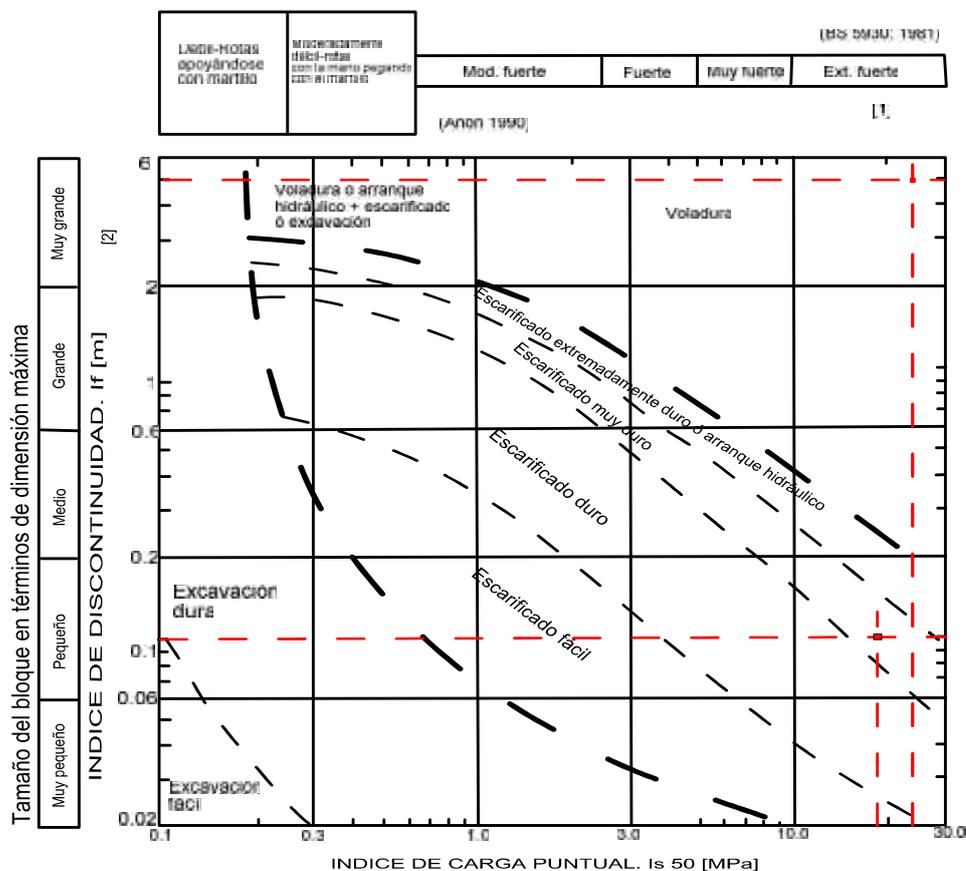


Figura 8. Método gráfico de excavabilidad de la roca. Gráfico de Karpuz (1990).

4. CONCLUSIONES

- El procedimiento aplicado para elegir el método de arranque de las rocas en la cantera Pilón puede ser aplicado en cualquier cantera de materiales para la construcción.
- Se estableció para el yacimiento Pilón la existencia de dos dominios geomecánicos y el método de arranque a utilizar en cada uno: voladura para el dominio I y escarificación muy dura para el dominio II.

5. REFERENCIAS

- BASARIR, H.; KARPUZ, C. & TUTLUOGLU, L. 2008: Specific energy based rippability classification system for coal measure rock. *Journal of Terramechanics* 45(1-2): 51-62.
- BIENIAWSKI, Z. T. 1979: Tunnel design by rock mass classifications, Tech. Rep. GL-799-19. U.S. Corp of Eng. WES Vicksburg MS, p. 128-130.
- DEERE, D. U. 1967: Engineering classification and index properties for intact rock. Universidad de Illinois. [Informe Técnico]. No. AFWL-TR-65-116.

- FRANKLIN, J. A.; BROCH, E. & WALTON, G. 1971: Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy 80A, 1–9.
- KARPUZ, C. 1990: A Classification System for Excavation of Surface Coal Measures. Mining Science and Technology 11: 157–163.
- KARPUZ, A. B. 2004: Rippability Classification System for Marls in Lignite mines. Journal of Engineering Geology 74(3-4): 303-318.
- KIRSTEN, H. A. D. 1982: A classification system for excavation in natural materials. Civil Engineer in South Africa 24: 293-308.
- NAGY, E. 1976: Mapa topográfico de escala 1:50,000 del I.C.G.C Hoja Baire 4976-IV. ONRM, Cuba.
- NC-23. 1999: Franjas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales. Cuba, 9 p.
- PETTIFER, G. S.; FOOKES, P. G. 1994: A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. Quarterly J. Geol. Soc. London 27: 145 –164.
- SCOBLE, M. J. & MUFTUOGLU, Y. V. 1984: Derivation of a diggability index for surface mine equipment selection. Mining Science Technological 1: 305–322.
- WEAVER, J. M. 1975: Geological Factors Significant in the Assessment of Rippability. Civil Engineering in South Africa 17: 313–316.

Naísma Hernández-Jatib nhjatib@ismm.edu.cu

Máster en Minería

Profesor Auxiliar

Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.

Yuri Almaguer-Carmenate yalmaguer@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas

Profesor Auxiliar

Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.

Yiezenia Rosario-Ferrer jessie@ismm.edu.cu

Doctora en Ciencias Informáticas

Profesor Titular

Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.

José Otaño-Noguel joseot@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas

Profesor Titular

Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.