

PROCEDIMIENTO PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE ARRANQUE DE LA ROCA EN LAS CANTERAS DE ÁRIDOS

Naisma Hernández Jatib, Yiezenia Rosario Ferrer, Yuri Almaguer Carmenates, José Otaño Noguel

Instituto Superior Minero-Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, Las Coloradas s/n, Moa, Holguín,
E-mail: nhjatib@ismm.edu.cu

RESUMEN

En Cuba la extracción de áridos para la construcción representa una importante actividad minera, por los volúmenes de materiales que se mueven anualmente en las canteras explotadas en el país, las cuales han sido laboreadas atendiendo a proyectos cuya concepción es a base de condiciones específicas de explotación. Lo anterior ha determinado que la elección del método de arranque de las rocas se realice sin un conocimiento apropiado de los principales factores que influyen en el proceso.

En la presente investigación se propone un procedimiento que tiene en cuenta los criterios de excavación más importantes a considerar en la explotación de las canteras, el mismo incluye los factores que inciden en el método de arranque de las rocas como el análisis estructural del macizo donde se determinan las estructuras y formas de yacencia de las mismas, la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el cual se analizan las propiedades físico-mecánicas de las rocas como densidad, porosidad, resistencia a la compresión uniaxial y los índices de calidad como el RQD y RMR; toda la información se integra en un sistema de información geográfica para la delimitación de dominios geomecánicos a partir de los cuales se determinan los métodos más racionales de arranque como escarificación dura, escarificación extremadamente dura o arranque con martillo hidráulico y voladura.

Como conclusiones el procedimiento permite la selección del método de arranque de la roca más racional para la extracción de áridos en las canteras cubanas y se aplica a las condiciones de explotación del yacimiento de áridos El Cacao, ubicado en la provincia Granma.

ABSTRACT

Building materials extraction represents an important activity in Cuban mining. That why, the selection of breaking ground methods, in many projects, is made without analyze the factors that influence this process.

This research proposes a procedure which takes into account the most important criteria of excavation in open pit mines. This procedure includes the factors which affect the breaking ground method like the structural analysis and the geomechanical characterization of the rock mass. The last one analyses the physical and mechanical properties of the rocks such as density, porosity, uniaxial compression resistance and quality rates (RQD and RMR). The information is integrated in a geographic information system to determine the geomechanic domains, which are using to select the most appropriate excavation methods, such as hard ripping, extremely hard ripping, hydraulic breaking or basting.

This procedure allows to select the most rational method of excavation open pit mines of building material in Cuba, and it is applied to mineral deposit “El Cacao” (Granma, Cuba) as case study.

INTRODUCCIÓN

En Cuba la extracción de áridos para la construcción representa una importante actividad minera, por los volúmenes que se mueven cada año en el gran número de canteras explotadas a lo largo de toda la isla, las cuales son laboreadas atendiendo a los proyectos elaborados al efecto, sin embargo, la elección del método de arranque de las rocas se realiza sin todo el conocimiento de los principales factores que influyen en este proceso. La industria extractiva de materiales de construcción ha desarrollado algunas investigaciones relacionadas con el arranque de rocas (P. Alexandre, 2006), pero estas han estado encaminadas al campo de las voladuras, no así al arranque mecánico. Hasta el momento se utilizan las clasificaciones de excavabilidad, inicialmente estudiadas para la minería

subterránea, pero no se consideran integralmente todos los elementos estructurales del macizo rocoso.

La elección del método de arranque de las rocas adecuado para cada macizo es un elemento fundamental en el logro de la eficiencia de la explotación, por ello es también necesario evaluar las condiciones de excavabilidad del macizo.

El estudio relacionado con el tema de los métodos de excavabilidad se realiza desde el pasado siglo, sin embargo, hasta ahora no se ha propuesto un procedimiento que permita determinar el método de arranque de las rocas en las labores a cielo abierto.

El presente trabajo tiene como objetivo proponer un procedimiento que permita la elección del método más racional de arranque de la roca en canteras de materiales de la construcción.

El acápite materiales y métodos describe los antecedentes tomados como referente para el desarrollo de la investigación; en resultados se presenta el procedimiento desarrollado para la elección del método de arranque de la roca y finalmente discusión se refiere a su aplicación a un caso de estudio, el yacimiento El Cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

La excavabilidad, se define como la facilidad que presenta un terreno para ser excavado. Ha sido estudiada por Duncan (1969), Franklin (1971, 1997); Louis (1974); Atkinson (1977), Romana (1981, 1994, 1997); Kirsten (1982); Abdullatif y Crudden, (1983); Scoble y Muftuoglu (1984); Bell (1987); Hadjigeorgiou y Scoble (1988), entre otros que propusieron clasificaciones para la minería subterránea y Noa (2003) que propuso una metodología para la determinación del método de arranque en excavaciones subterráneas.

Por su parte, la compañía Caterpillar (1970), Franklin et al. (1971), Weaver (1975), Kirsten (1982), Minty y Kcarns (1983), Scoble & Muftuoglu (1984), Smith (1986), Singh et al. (1987), Ovejero (1987), Karpuz (1990), Hadjigeorgiou y Scoble (1990), Pettifer y Fookes (1994), establecieron clasificaciones de excavabilidad para las labores a cielo abierto.

Duncan (1969) establece que las evaluaciones para determinar la facilidad o dificultad con la cual el macizo rocoso puede ser excavado se basan en:

- El material de la roca que conforma el bloque dentro del macizo (porque la excavación trae consigo la fragmentación y ruptura del material de la roca cuando el volumen del bloque es grande),
- La naturaleza, extensión y orientación de las fracturas, y
- El tipo de roca (ígneas, sedimentarias o metamórficas), sus características (composición, espesores, yacencia, etc.) y estado de conservación.

Louis en 1974 presentó una clasificación basada en el índice de calidad (RQD) propuesto por Deere (1964) y los valores de la resistencia a compresión simple de la roca, a partir de un trabajo realizado para el centro de la villa de Marsella, excavado en calizas urgonianas. Independientemente que se valora el agrietamiento del macizo, no se tiene en cuenta la influencia que tiene la dirección de los principales sistemas de grietas en la dirección de ataque de las rocas y no se realiza un análisis de las capacidades tecnológicas de las maquinarias de excavación, lo que impide en caso de que el método de arranque sea mecánico estimar el campo de aplicación de estas, (figura 1).

Este criterio actualmente no se utiliza a causa del bajo límite asignado a la excavación mecánica, pero en todo caso el concepto en que se basa es correcto.

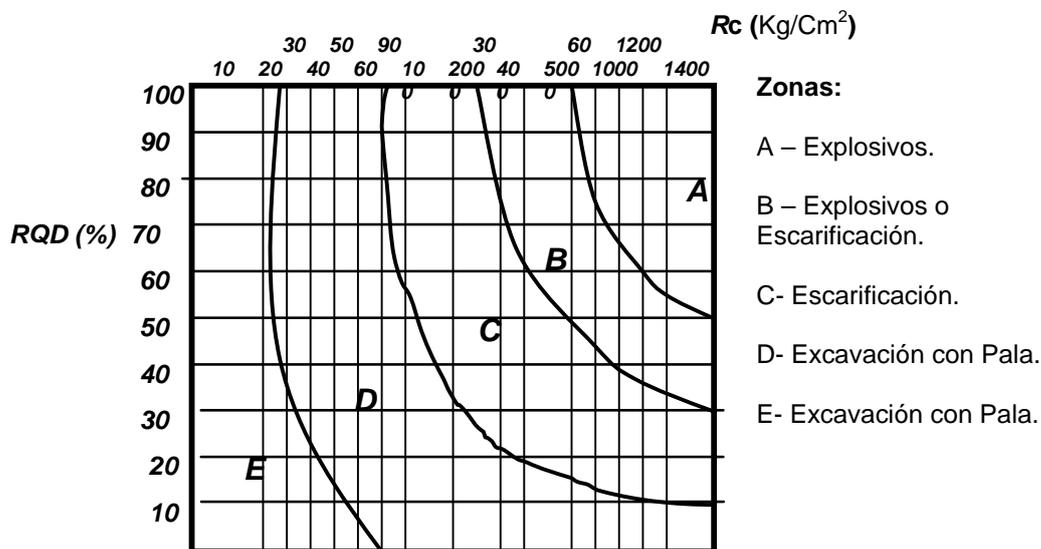


Figura 1. Clasificación propuesta por Louis (1974).

Weaver (1975) utilizando ejemplos de Sudáfrica propuso un gráfico para evaluar la escarificación adaptado desde el sistema RMR (Bieniawski, 1974) utilizado para el diseño de sostenimiento de túneles. Su cambio fundamental fue el reemplazamiento de la designación de calidad de roca (RQD) con la velocidad sísmica, la introducción de la erosión y el ajuste para los efectos de la orientación de discontinuidades en escarificación.

Romana Ruiz (1981,1994) se basa en los valores del (RQD) propuesto por Deere (1964) y los valores de la resistencia a compresión simple de las rocas (Rc) en Mpa, así como en una clasificación de los terrenos respecto a la excavabilidad mecánica en túneles (ver figura 2 y tabla I). Procede de la propuesta dada por Louis (1974) y está más adaptada a las capacidades tecnológicas de las maquinarias de excavación, independientemente de esto esta clasificación tiene varios inconvenientes, los que impiden en determinado grado su empleo, para establecer por sí sola el método de arranque de la roca. Se considera que es indicativa por lo que debe usarse con prudencia y solamente en la fase de estudios previos o anteproyectos de obras (Noa, 2006).

Al igual que otras clasificaciones, ésta propone utilizar los valores de la resistencia a compresión lineal de las rocas y no tiene en cuenta la dirección de ataque de la roca respecto a la orientación de manifestación de las diaclasas.

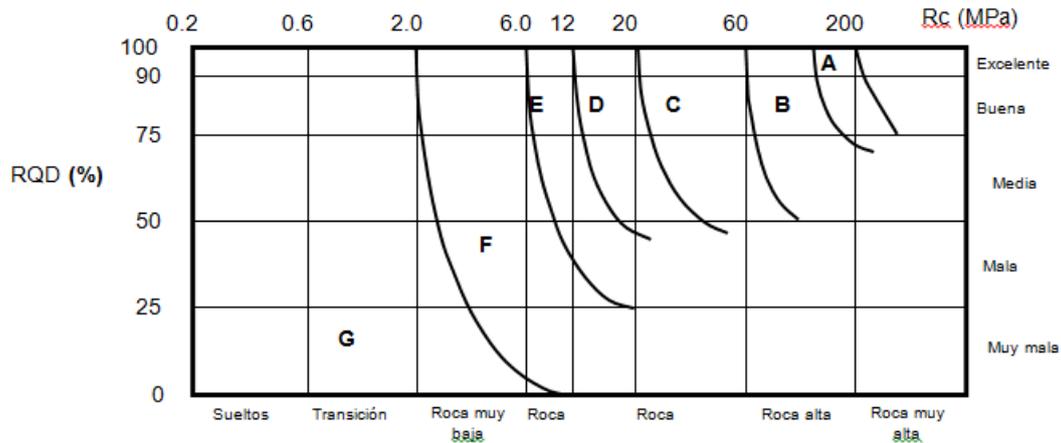


Figura 2. Clasificación propuesta por Romana Ruiz (1981,1994).

Tabla I. Clasificación de los terrenos respecto a la excavabilidad (Romana, 1994).

Zona	Topo		Rozadora			Martillo	Pala
	Fn >25 tn	Fn < 25 tn	P > 80 tn	50-80 tn	< 50 tn		
A	Posible ?	-	-	-	-	-	-
B	Adecuado	Posible ?	Posible ?	-	-	-	-
C	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	-	-	-
D	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Posible	Posible ?	-
E	Posible	Posible	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Posible	Posible ?
F	-	-	-	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Posible
G	-	-	-	-	Posible	Posible ?	Adecuado

Aunque numerosos métodos están disponibles para predecir la excavabilidad, ningún método en particular es universalmente aceptado por falta de apreciación de casos de estudios previos o dificultades en la determinación de los parámetros de entrada, así como limitaciones de aplicabilidad a un entorno geológico específico. La existencia de un sistema que supere las deficiencias mencionadas sería una herramienta de utilidad para la elección del equipamiento disponible.

Criterios para definir el método de arranque de la roca

Las propiedades físico mecánicas tienen una gran importancia en la elección del método de arranque de las rocas, ya que de acuerdo con su dureza se determina cuando una máquina puede o no laborear una roca sin un mullido previo.

Para elegir el método de arranque de las rocas durante el laboreo de excavaciones subterráneas horizontales de pequeña y mediana sección en Cuba oriental, estudiados por Noa (2003) se tuvo en cuenta un sistema de indicaciones metodológicas, que posibilitan con su empleo lograr su correcta elección, las cuales se fundamentan en: el Análisis de las características ingeniero- técnicas de la obra; Caracterización geomecánica del macizo; Determinación del grado de bloquicidad del macizo y Evaluación de la estabilidad del macizo. Agrupando estas por su orden, se evalúan diferentes factores como: forma, dimensiones, profundidad de la excavación, tamaño de los bloques; génesis, afloramientos, elementos de yacencia; así como, la correspondiente valoración hidrogeológica; propiedades como: resistencia del macizo, abrasividad, dureza, porosidad, presencia de agua en rocas, entre otras.

Del análisis se puede sintetizar que los sistemas han sido propuestos tanto para la evaluación general de la excavabilidad en operaciones específicas como el escarificado, así como, para aplicaciones

particulares en la explotación a cielo abierto. Cada sistema considera un conjunto diferente de parámetros geotécnicos (tabla II), pero la mayoría incluye factores para la tensión de la roca intacta y el grado de fracturación del macizo rocoso. La velocidad de las ondas sísmicas, que depende de la tensión de la roca, la densidad, la intensidad de fracturación y la erosión, ha sido ampliamente utilizada desde 1960 y es un factor importante en varios de los sistemas.

Tabla II. Parámetros geotécnicos considerados para varios sistemas de excavabilidad.

Evaluación de los métodos	Importancia relativa de cada parámetro (I)								
	Veloc. Sísm.	Rc	Resist. de carga puntual	Dureza de la roca	Abrasividad/erosión	Discontin./ tamaño del bloque	Discontin./persistencia	Separación de las discontin.	Orientación de las discontin.
Caterpillar (1970)	****								
Franklin et al. (1971)			****			****			
Weaver (1975)	****			**	**	****	*	*	***
Kirsten (1982)		*** *				****	*		*
Minty y Kcarns (1983)	****		**		**	***	*	*	**
Scoble & Muftuoglu (1984)		**			**	****			
Smith (1986)		**			**	****	*	*	***
Singh et al. (1987)	***		**		**	****			
Ovejero (1987)	*								
Karpuz (1990)		***		**	**	****			
Hadjigeorgiou y Scoble (1990)			***		*	****			*
Pettifer y Fookes (1994)			****			****			**

Como se puede observar existen diferentes clasificaciones de excavabilidad unas referidas a las excavaciones subterráneas, y otras a obras civiles y explotaciones a cielo abierto, propuestas por los diferentes autores en las últimas décadas, en prácticamente todas se plantea determinar como propiedad básica la resistencia a la compresión y a partir de ella se determinan los demás parámetros. Ninguna integra todos los parámetros sino que lo hacen de manera aislada como es el caso de las discontinuidades presentes en los macizos rocosos, aspecto de gran influencia en el proceso de excavación, ya que en las rocas duras, más que un corte de estas, se realiza un arranque aprovechando los planos de debilitamiento estructural o las diaclasas abiertas. Estos aspectos alcanzan su mayor efecto cuando se realiza el arranque en las canteras, criterio que se ha venido utilizando sólo en las labores subterráneas, y que también se consideren las características mecánico-estructurales del macizo de rocas, y sus propiedades físicas.

En general las investigaciones que se desarrollaron 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 creados para estos propósitos y de esta manera trazar nuevos caminos en la extracción de minerales útiles que sugiere la explotación de la roca eficiente y ecológica.

RESULTADOS

A partir de los conocimientos acumulados y de las investigaciones realizadas por diferentes autores en el campo de la mecánica de rocas y el proceso de arranque de las mismas, se propone el procedimiento para la elección del método de excavabilidad que cuenta con las siguientes etapas:

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

Análisis estructural del macizo rocoso.

Para el análisis estructural del macizo se consideran todas las estructuras geológicas que constituyan discontinuidades como: grietas, fallas, estratificación, foliación secundaria entre otras y se establecen los siguientes parámetros:

- Elemento de yacencia: Definida por su dirección de buzamiento y buzamiento.
- Otros parámetros de las estructuras: abertura, espaciamiento, continuidad, tamaño del bloque natural, rugosidad, carácter de la pared y relleno, presencia de agua.

Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

Ensayo de Compresión Simple. Se determina en muestras cilíndricas de 50 mm de diámetro y 50 mm de altura, o en muestras cúbicas de 50 x 50 x 50 mm; para el cálculo de este índice se emplea la expresión siguiente:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad [1]$$

Donde:

F_c - fuerza aplicada

A - área de aplicación

Análisis de los índices geomecánicos.

Índice de calidad de la roca RQD (Deere, 1967). El índice RQD se determina con la siguiente expresión:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

$$J_v = \sum 1/S_i$$

[2]

$$(RQD \geq 100)$$

S_i ; espaciamiento medio entre juntas (m)

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

Índice de calidad RMR (Bieniawski, 1979): se definen sus características describiendo los siguientes parámetros:

Del análisis estructural se tienen en cuenta:

- Espaciamiento
- Condiciones de la junta
- Orientación
- Resistencia de la roca
- Carga puntual
- Compresión simple
- RQD
- Aguas subterráneas
-

Determinación de dominios geomecánicos.

El procedimiento parte de la integración de los mapas de factores geológicos y geomecánicos, para obtener un modelo general que permite la delimitación de primer orden de los dominios y la delimitación de segundo orden se realiza de acuerdo a las franjas protectoras de las cuencas hidrográficas y el límite de la concesión del yacimiento.

Los factores a utilizados son los siguientes:

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 al mapa geológico detallado y se clasifican de acuerdo a la calidad requerida desde el punto de vista tecnológico;
- b) Mapa tectónico: Se debe realizar 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 del mapa topográfico de yacimiento y se utiliza como criterio de confirmación de fallas por delimitación de zonas de altas pendientes y abruptas;

2- Geomecánicos: Caracterizan las condiciones físicas, mecánicas y calidad geomecánica de las rocas y el macizo rocoso en el yacimiento.

Factores 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 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 de topográfico del yacimiento.

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 *et. al.* (1990), quienes propusieron un gráfico de excavabilidad con nuevas subdivisiones para los límites de operación de varias categorías de excavaciones de rocas.

DISCUSIÓN

Para validar el procedimiento propuesto, este fue utilizado para la selección del método de arranque de la roca del yacimiento El Cacao de la provincia Granma.

Análisis estructural del macizo rocoso.

El procesamiento permitió determinar tres familias de discontinuidades en el macizo, las cuales se pueden observar en los diagramas de contorno, planos y rosetas (tabla I) y (Figuras 3 y 4). Las direcciones que predominan son Familia 1: 83/303, Familia 2: 78/244 y Familia 3: 09/042; las familias 1 y 2 son de buzamiento alto, superiores a 70 grados, mientras que la familia 3 es de buzamiento subhorizontal, representado la yacencia de los estratos de las rocas carbonatadas.

El espaciado característico para las familias 1, 2 y 3 son: 0,85, 1,43 y 0,59 respectivamente, clasificadas como moderadamente espaciadas la 1 y la 3 y espaciada la familia 2.

Las aberturas que predominan en la familia número 1, 2 y 3 son: 1,09, 1,53 y 0,04 respectivamente, clasificadas como moderadamente abiertas la 1 y 2 y cerrada la familia 3.

De acuerdo con los resultados obtenidos se determinó que las grietas no presentan signos de humedad ni filtración de agua a través de sus superficies.

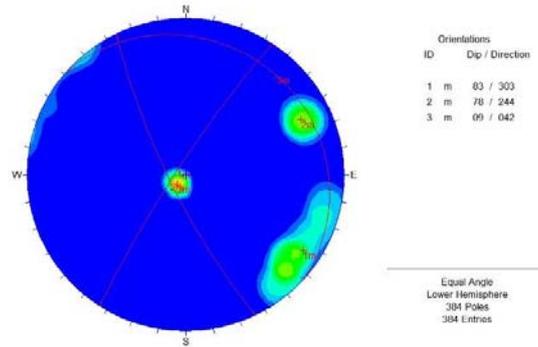


Figura 3. Diagrama de contorno y planos del agrietamiento en el yacimiento El Cacao.

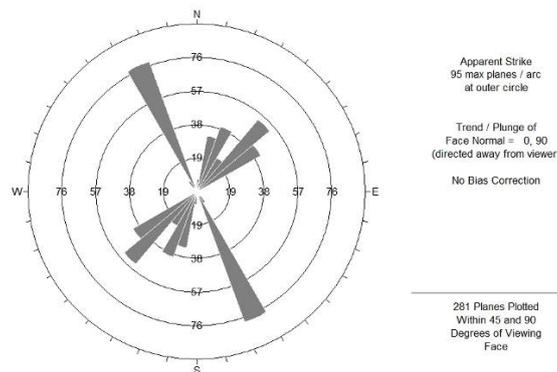


Figura 4. Diagrama de rosetas del agrietamiento en el yacimiento El Cacao.

Tabla III. Caracterización del agrietamiento en el yacimiento.

No. De familia	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Abertura (mm)	Espaciamiento (m)	Relleno
1	83	303	1,09	0,85	Arcilla
2	78	244	1,53	1,43	Arcilla
3	09	042	0,04	0,59	Arcilla

Análisis de las propiedades de las rocas

Resistencia a la compresión simple. Una vez realizado los ensayos, se procedió a calcular la resistencia a la compresión para muestras regulares, a partir de la ecuación 1, cuyos valores oscilan entre los rangos ofrecidos anteriormente por los informes de la empresa, los cuales se muestran gráficamente en la figura 5, y la figura 6 muestra la ubicación de los sectores en el yacimiento.

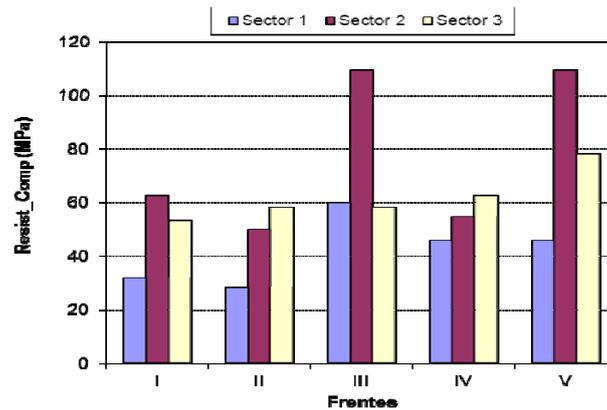


Figura 5. Comportamiento de la resistencia a la compresión por sectores en cada uno de los frentes.

Como se muestra en la figura 5 el sector I presenta menores valores de resistencia, con promedio de 42.44 MPa, esto se debe fundamentalmente a que las rocas tienen mayor porosidad, condicionado por la aparición de abundantes grietas en su cercanía a sistemas de fallas con dirección NE y NO que se interceptan en las cercanías del sector.

En el sector II las rocas manifiestan mayor resistencia debido a que esta área está más alejada de las fallas presentes, de manera que la intensidad del agrietamiento y porosidad de las rocas es menor.

En el sector III las rocas tienen una resistencia promedio de 62.08 MPa.

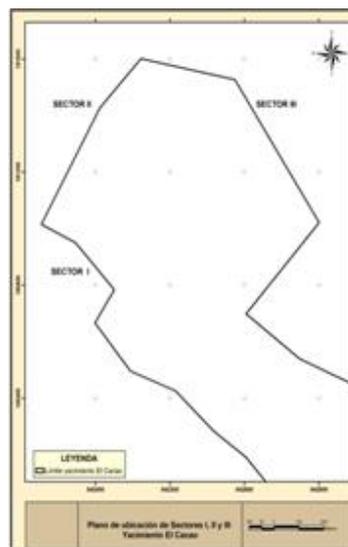


Figura 6. Plano de ubicación de los sectores para el estudio de las propiedades resistentes de las rocas.

Análisis de los índices geomecánicos

Para la aplicación 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, de manera que los resultados se brindan por pozos para mostrar la distribución espacial de la calidad geomecánica en el yacimiento.

Según la clasificación de Bieniawski se obtuvo valores de calidad que varían entre 7 y 65, clasificando el macizo entre media y muy mala. Del análisis de todos los pozos realizados en el yacimiento se determina que las clases buenas representan el 2,63%, las medias el 21,05%, malas el 42,10% y muy mala el 34,21%, lo que indica el predominio de clases malas.

En relación a la distribución espacial de la calidad geomecánica, se observa regularidad, ubicándose los valores de calidad media hacia el noroeste, formando una franja alargada alejada de las fallas del sector; en la parte central del yacimiento se manifiestan los valores de muy mala calidad asociados a zonas de intercepción de fallas y la disposición desfavorable de las familias de grietas con relación a los frentes de explotación, mientras que hacia el este del yacimiento están las calidades medias y/o malas asociadas a cercanías de fallas locales e intensidad de agrietamiento.

Determinación de los dominios geomecánicos.

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. En este sentido se delimitaron dos dominios los que muestran en la figura 7 y se describen a continuación:

Dominio 1.

Ubicación: Se ubica al noroeste del yacimiento.

Área: ocupando un área de 551 106,78 m²

Propiedades de las rocas: La resistencia a la compresión de las rocas varía entre 28 y 49 MPa, la porosidad entre 2,5 y 4,2 %, la absorción entre 0,53 y 0,56, el peso volumétrico entre 2,64 y 2,65 g/cm³, la potencia de las rocas 2,6 y 49,6; y las intercalaciones es de 18991230.

Dominio 2.

Ubicación: Está compuesto por varios subdominios ubicados en los límites del yacimiento bordeando la concesión minera

Área: ocupando un área total de 140 321,38 m².

Propiedades de las rocas: La resistencia a la compresión de las rocas varía entre 50 y 80 MPa, la porosidad entre 2,7 y 3,0 %, la absorción entre 0,51 y 0,58 % y el peso volumétrico entre 2,66 y 2,80 g/cm³ la potencia de las rocas 2,5 y 18,5; y las intercalaciones es de 18991230.

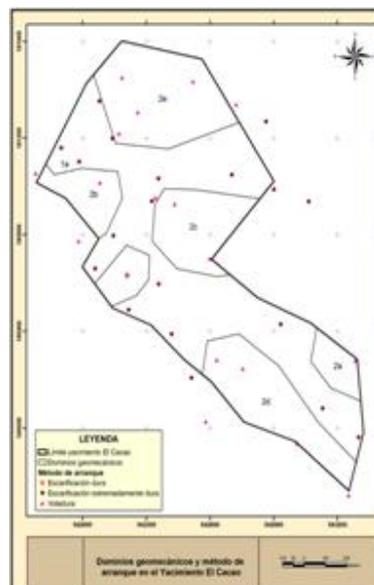


Figura 7. Plano de dominios geomecánicos y método de arranque en el yacimiento "El cacao".

Elección del método de arranque

Basado en la delimitación espacial de los dominios geomecánicos del yacimiento se aplica el gráfico de Karpuz (1990), utilizando la base de datos que contiene valores de resistencia a la compresión (MPa), espaciamiento de las discontinuidades, peso volumétrico, porosidad, absorción, y se obtiene para el yacimiento “El Cacao”, la elección del método más racional de arranque de la roca. (Figura 8). En la figura 7 se muestra el gráfico de excavabilidad del yacimiento “El Cacao”, 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 índice de discontinuidad (m). Según el gráfico las rocas se agrupan según la fortaleza de su estructura en moderadamente fuertes y fuertes, y de acuerdo al índice de espaciamiento se agrupa como grande, según el tamaño de bloque. Esta ubicación permite definir como métodos de arranque:

Para las rocas que pertenecen a las clasificadas como fuertes, con resistencia a la compresión mayor de 3,0 MPa: método de voladura;

1. Para las rocas fuertes, con resistencias entre 2,5 y 3,0 MPa: método de escarificación extremadamente duro o arranque hidráulico;
2. Para las rocas moderadamente fuertes, con resistencias entre 2,0 y 2,5 MPa: método de escarificación muy dura.

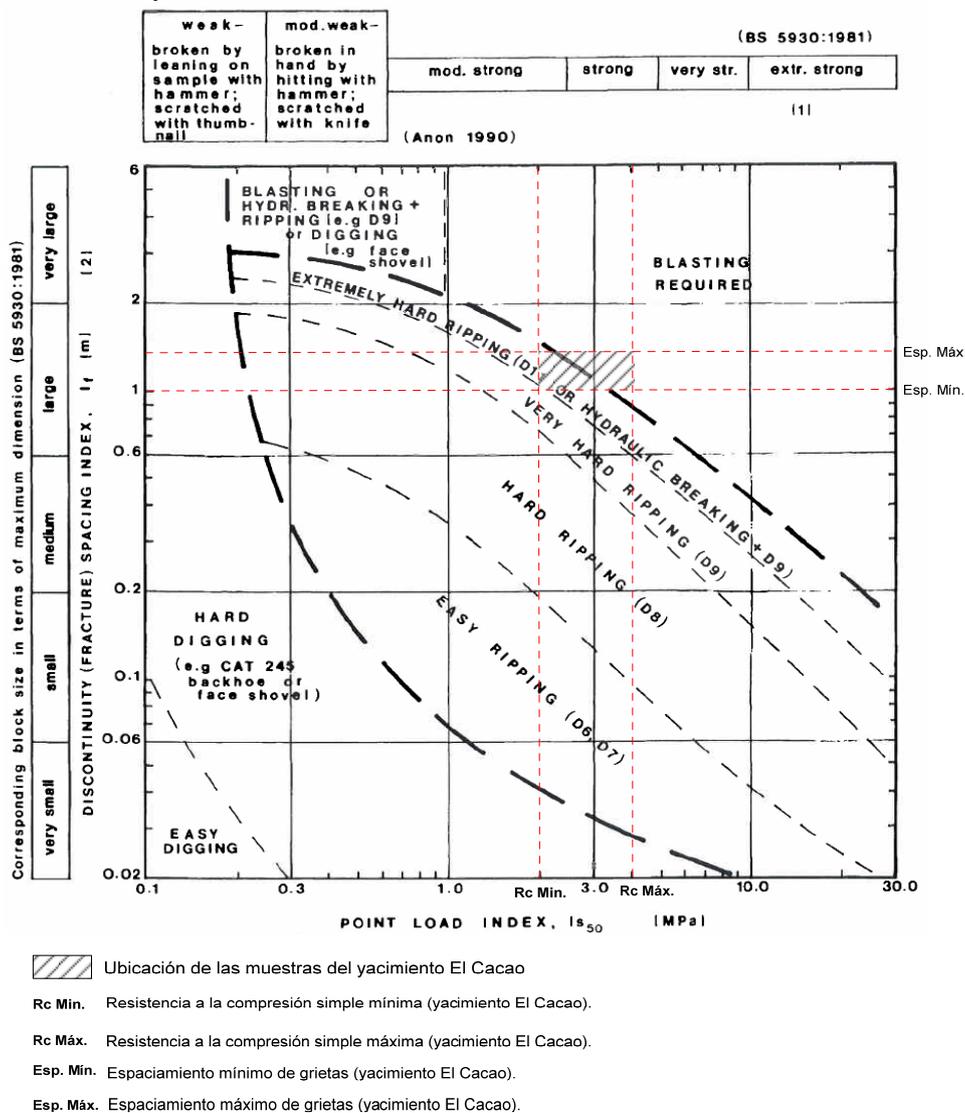


Figura 8. Método gráfico de excavabilidad de la roca

CONCLUSIONES

- El análisis de las condiciones de excavabilidad de los macizos rocosos y sus propiedades geomecánicas, permitió establecer el procedimiento para la elección del método de arranque de la roca más racional para la explotación de yacimientos de materiales de la construcción.
- La aplicación del procedimiento en el yacimiento El Cacao, a partir del análisis estructural del macizo, las propiedades físico-mecánicas y el establecimiento de los dominios geomecánicos, permitieron definir que los métodos más racionales de arranque a utilizar son: escarificación dura, escarificación extremadamente dura o arranque con martillo hidráulico y voladura.

BIBLIOGRAFÍA

- Atkinson (1971). Selection of Open Pit Excavating and Loading Equipment, Transaction Institute of Mining and Metallurgy – Section A, pp. A101 – A129.
- Abdullatif & Cruden (1983). The relationship between rock mass quality and ease of excavation. Bull of the International Association of Engineering Geology, No. 28, 183-187.
- Bieniawski, (1974). Estimating the strength of rock materials. J. African Inst. Min. Met., March, pp.312-320.
- Caterpillar (1970). Caterpillar Performance Handbook Edition (38th ed). Peoria, Illinois, USA: CAT publication, Caterpillar Inc
- Deere (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology, 1(1), pp. 17-22.
- Franklin (1971). Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Mining and Metallurgy, BOA, 1-9.
- Hadjigeorgiou & Scoble (1988) Ground characterization for assessment of ease of excavation. Mine Planning and Equipment Selection. Eds. Singhal & Vavra, Proceedings of the 4th International Symposium 011, Calgary. Balkema, Rotterdam, pp. 323 – 331.
- Karpuz (1990). A Classification System for Excavation of Surface Coal Measures, Mining Science and Technology, No. 11, pp. 157 – 163.
- Kirsten (1982). A classification system for excavation in natural materials. The Civil Engineer in South Africa, 24, 293-308.
- Louis, C., (1974) Reconnaissance par sondages dans les roches. Annales d'Institute. Du Batiment et des travaux publics. No 319.
- Minty & Kerans (1983). Rock mass Workability, Collected Case Studies in Engineering Geology, Hydrogeology and Environmental Geology, Editors Knight, Special Publication Geological Society of Australia, No 11, pp. 59 – 81.
- Noa R. (2003). Indicaciones metodológicas para la elección del método de arranque de las rocas durante el laboreo de excavaciones subterráneas horizontales de pequeña y mediana sección en cuba oriental. Tesis Doctoral. ISMMM.
- Ovejero (1987). Laboreo de Canteras y Graveras de Áridos: arranque directo y carga. España.
- Pettifer G. S. and Fookes P. G., (1994), A Revision of the Graphical Method for Assessing the Excavatability of Rock, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 27, pp. 145 – 164.
- P, Alexandre (2006). Metodología para el diseño de las voladuras en canteras de áridos. Tesis Doctoral, ISMMANJ.
- Romana M. (1981): New adjustment rating for application of the Bieniawski classification to slopes. Proc. Int. Symp. Rock Mechanics Mining Civ. Works. ISRM, Zacatecas, Mexico, pp. 59-63.
- Romana, Ruiz. M., (1994) Clasificación de macizos rocosos para la excavación mecánica de túneles. Revista INGEPRES, No 18.
- Scoble & Mufruglu (1984). Derivation of a diggability index for surface mine equipment selection. Mining Science and Technology, I, 305-322.
- Singh et al. (1987). Development of new rippability index for coal measures excavation. Proceedings 28th US Symp. On Rock Mechanics, Tuscon, 935-943.
- Weaver, J. M. (1975), Geological Factors Significant in the Assessment of Rippability, Civil Engineering in South Africa, Vol -17, pp. 313 – 316.