

Elección del método de arranque de las rocas en la cantera Yarayabo*

Yolandris Despaigne Reyes

Carrera: Ingeniería en Minas

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

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 elaborados al efecto. 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 el presente trabajo se utilizó un procedimiento que parte de las características estructurales del macizo, la determinación de las propiedades mecánicas de las rocas y los índices geomecánicos (RQD, RMR), así como la definición de los dominios geomecánicos y la elección del método más racional de arranque de las rocas. Con la aplicación de este procedimiento se establece que los métodos más racionales de arranque de las rocas a utilizar en el yacimiento objeto de estudio son: escarificación extremadamente dura y voladura.

Palabras clave: Arranque de rocas; extracción de minerales; dominios geológicos.

* Trabajo tutorado por la Dra. Naísma Hernández Jatib.

Recibido: 12 abril 2015 / Aceptado: 30 agosto 2015

Rock digging method selection for the Yarayabo quarry

Abstract: The extraction of aggregates in Cuba represents a fundamental mining activity for the construction industry given the volumes of materials moved within a year in the quarries being exploited in the country. These quarries have been exploited according to the project designed for this purpose. This has accordingly resulted in the selection of rock digging methods without proper knowledge of the factors influencing the process. This investigation is carried out applying a procedure based on the structural characteristics of the massif; the identification of the mechanical properties of the rock; the geo-mechanical indexes (RQD, RMR) the definition of the geomechanical domains and the selection of the most rational method. The application of this procedure identifies the most rational rock digging methods to be used in the ore body under investigation; which are as follows: extremely hard scarification and blasting.

Key words: Rock digging; material extraction; geological domains

Introducción

La explotación de canteras para la extracción de áridos en la construcción tiene una gran importancia. En Cuba se implementan nuevas medidas para lograr alcanzar un auge en esta industria. En este sentido algunas investigaciones se han dirigido al análisis de los problemas relacionados con el arranque de las rocas, tanto en la minería subterránea como a cielo abierto, siendo estos aún insuficientes porque no se tiene en cuenta, en la dimensión que se precisa, el grado de complejidad del macizo para la elección del método de arranque adecuado. Es de vital importancia prestar especial atención a estos métodos ya que cada uno tiene una forma de empleo y particularidad.

En la cantera Yarayabo se presentan problemas relacionados con la productividad por la elección del método de arranque de las rocas, ya que las características del macizo no fueron estudiadas para el método utilizado actualmente. Este trabajo está orientado a establecer el método más racional de arranque de las rocas para las condiciones específicas del yacimiento Yarayabo.

Existen factores que afectan el arranque de las rocas, como lo son: el comportamiento del macizo rocoso, la resistencia de la roca, el tamaño y la potencia de las máquinas empleadas, así como los factores económicos.

La excavación, escarificación y voladura son los tres métodos principales aplicados para la fragmentación de las rocas en las labores a cielo abierto. Existen en este sentido dos tipos principales para fragmentar empleados en la excavación, que son el método mecánico y la voladura (Hadjigeorgiou & Scoble, 1990).

Métodos de arranque en la minería a cielo abierto

Para seleccionar un método racional de arranque de la roca se debe tener en cuenta las características geomecánicas del macizo, las que incluyen las propiedades másicas, de resistencia y las características macro y micro estructurales, que juegan un papel determinante en el mecanismo de ruptura del macizo, ya sea por los esfuerzos creados en él por la energía mecánica, la energía hidráulica o por la energía de las explosiones, que resulta la más difundida, aunque en la actualidad la necesidad del empleo de tecnologías limpias ha provocado que en el mundo se introduzca, con gran aceptación, el uso de la energía mecánica (Penehafo, 2014).

A continuación, se describen los métodos de arranque mecánico, y con perforación y voladura:

Arranque mecánico

La profundidad del escarificado está limitada por la potencia del tractor y las características físicas de las formaciones rocosas (resistencia, meteorización, fracturación y la abrasividad). Normalmente la profundidad que se alcanza no es mayor de 1,5 m, en rocas con resistencia entre 80-100 MPa.

La escarificación es favorable cuando:

- Existen fracturas, fallas y planos de discontinuidad;
- no cristalinas y frágiles;
- meteorización;
- grado de estratificación y esquistosidad;
- baja resistencia a la compresión y gran tamaño de grano.

Es desfavorable cuando:

- Existen formaciones masivas y homogéneas;
- origen cristalino y fragilidad;
- sin discontinuidades;
- de grano fino y agente de cementación sólido.

Arranque con perforación y voladura

Para la perforación y voladura se requiere tener en cuenta las características del macizo tales como: agrietamiento (abertura, espaciamiento, distancia entre grietas y relleno), propiedades físico-mecánicas como: resistencia a la compresión y tracción, densidad, masa volumétrica, velocidad de las ondas longitudinales y transversales, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.

Para la perforación se requiere de características esenciales como: la fortaleza (función de resistencia a la compresión), dureza, abrasividad y el agrietamiento. En la elección de la sustancia explosiva a emplear se deben tener en cuenta las posibilidades reales de suministro, el precio del explosivo, el diámetro de carga, las características de las rocas, el volumen de roca a volar y la presencia de agua (López, 2000).

Criterios para definir el método de arranque de la roca

El establecimiento de los criterios para la selección de la tecnología de arranque de las rocas es un proceso extremadamente importante para la efectividad de la explotación de las canteras, ya que este asegura, como eslabón primario, la materia prima que será entregada a los eslabones conexos. Estos criterios deben considerar de forma integral los aspectos técnicos, económicos, organizativos, ergonómicos, de salud y seguridad industrial, así como los inherentes a la protección del medio ambiente y la sustentabilidad de la explotación (Penehafo, 2014).

En los trabajos de perforación y voladura tiene un gran significado la correcta valoración de la anisotropía, la resistencia, el clivaje, el agrietamiento, así como la estratificación del macizo, ya que la fragmentación de las rocas con explosivos ocurre siempre por las superficies de debilitamiento (Noa, 2006).

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 (2006), 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, la caracterización geomecánica del macizo, la determinación del grado de bloquicidad del macizo y la 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.

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, 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.

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 establecer 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 solo en las labores subterráneas, y que también se consideren las características mecánico-estructurales del macizo de rocas y sus propiedades físicas.

Elección del método de arranque de las rocas en el yacimiento Yarayabo

El yacimiento Yarayabo se encuentra ubicado en la sub-región Llanura del Cauto en el municipio de Palma Soriano, provincia de Santiago de Cuba. La cantera se localiza a 6 km al sur de la ciudad de Palma Soriano, siendo el centro administrativo más importante de la zona; además, está enlazada por la carretera central que limita el flanco oeste del yacimiento.

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 rocas se utiliza el procedimiento propuesto por Hernández *et al.* (2014) para la elección del método de arranque de las rocas en las canteras de áridos, el cual consta de los siguientes pasos:

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

El yacimiento fue subdividido en tres zonas, lo cual permitió una mejor identificación de las mismas.

Tabla 1. Caracterización del agrietamiento del el yacimiento en la Zona I

No. de punto	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Espaciamiento (m)	Relleno
1	170	90	2,1-0,9	Arcilla
	238	65	-	Arcilla
	245	80	-	Arcilla
	325	81	-	Arcilla
	55	89	-	Arcilla
	315	75	-	Arcilla
	50	89	-	Arcilla
	355	90	-	Arcilla
	63	85	-	Arcilla
	142	87	-	Arcilla

Las Figuras 1 y 2 muestran los diagramas de contorno y roseta de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas.

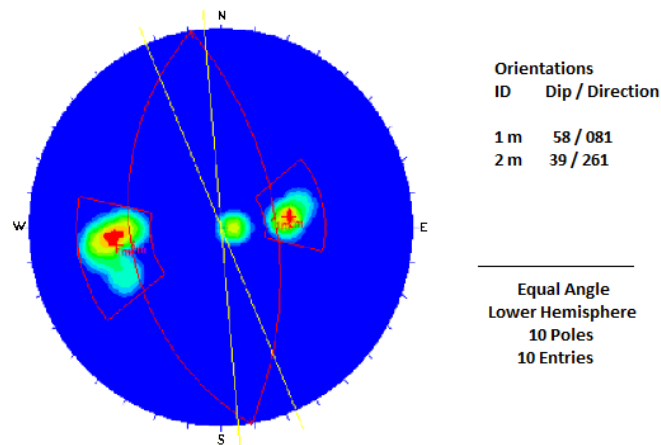


Figura 1. Diagrama de contorno y planos de agrietamiento de la Zona I del yacimiento Yarayabo.

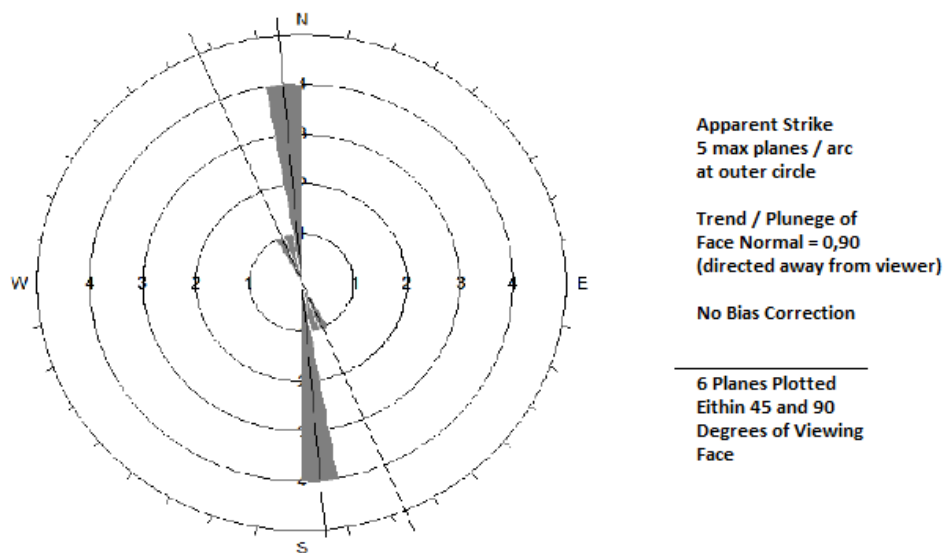


Figura 2. Diagrama de rosetas del agrietamiento en la Zona I del yacimiento Yarayabo.

Tabla 2. Caracterización del agrietamiento en el yacimiento

No. de familia	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Espaciamiento (m)	Relleno
1	58	81	2,1-0,9	Arcilla
2	39	261	2,1-0,9	Arcilla

Zona I: El procesamiento permitió determinar dos familias de discontinuidades en el macizo, las cuales se pueden observar en los diagramas de contorno, planos y rosetas (Figuras 1 y 2). Las direcciones que predominan son: familia 1: 58/081 y familia 2: 39/261. La familia 1 tiene un buzamiento alto, superior a 45°, con una dirección de buzamiento predominando hacia el NE-E. la familia 2 cuenta con un buzamiento menos inclinado inferior a 45° y con una dirección de buzamiento hacia el SO-O, representando una superficie de fracturación con un rumbo predominante N 10° E.

Tabla 3. Caracterización del agrietamiento del yacimiento en la Zona II

No. de punto	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Espaciamiento (m)	Relleno
2	83	25	1,9-2,1	Arcilla
	77	23	—	Arcilla
	330	62	—	Arcilla
	102	20	—	Arcilla
	25	85	1,9-2,1	Arcilla
	85	23	—	Arcilla
	55	85	—	Arcilla
	350	72	—	Arcilla
	45	14	—	Arcilla
	315	40	—	Arcilla
	55	25	—	Arcilla
	55	40	—	Arcilla

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas se muestran los diagramas de contorno y roseta en las Figuras 3 y 4.

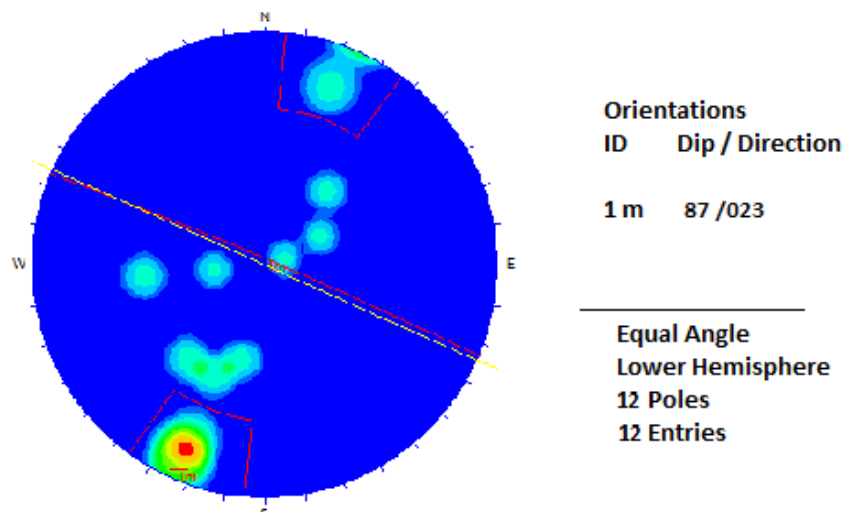


Figura 3. Diagrama de contorno y planos de agrietamiento de la Zona II del yacimiento Yarayabo.

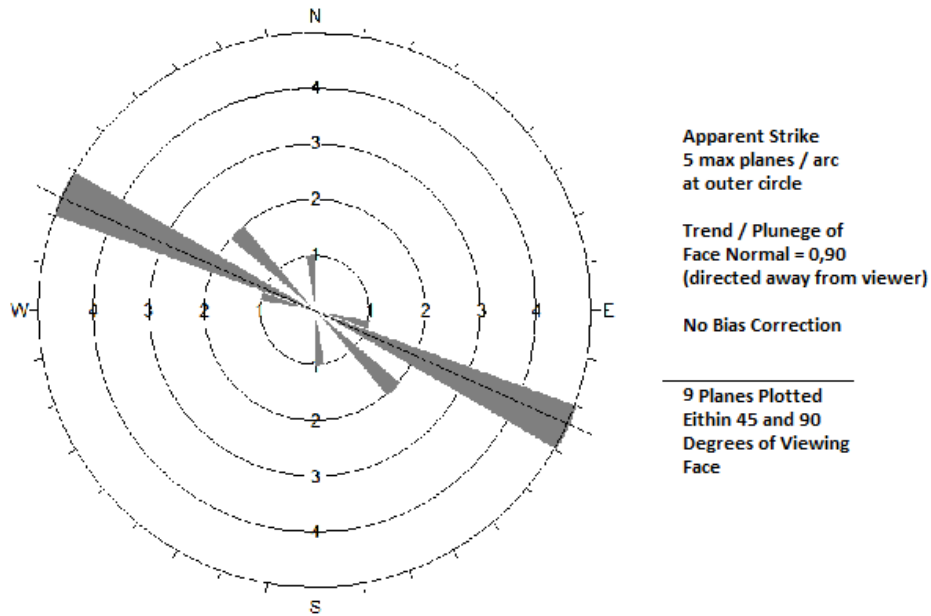


Figura 4. Diagrama de rosetas del agrietamiento en la Zona II del yacimiento Yarayabo.

Tabla 4. Caracterización del agrietamiento en la Zona II

No. familia	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Espaciamiento (m)	Relleno
1	87	23	1,9-2,1	Arcilla

Zona II: El procesamiento permitió determinar una familia de discontinuidades en el macizo, la cual se puede observar en los diagramas de contorno, planos y rosetas (Figuras 3 y 4). La dirección que predomina en la familia es: familia 1: 87/23; esta familia tiene un buzamiento alto casi perpendicular, con una dirección de buzamiento NE-N, con un rumbo N70° O.

Tabla 5. Caracterización del agrietamiento del yacimiento en la Zona III

No. de punto	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Espaciamiento (m)	Relleno
3	8	70	2,3-1,2	Arcilla
	350	55	-	Arcilla
	35	85	-	Arcilla
	20	90	-	Arcilla
	125	84	-	Arcilla
	100	87	-	Arcilla
	105	70	-	Arcilla
	75	15	-	Arcilla
	65	87	-	Arcilla
25	78	-	Arcilla	

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas se pueden observar las Figuras 5 y 6 que muestran los diagramas de contorno y roseta.

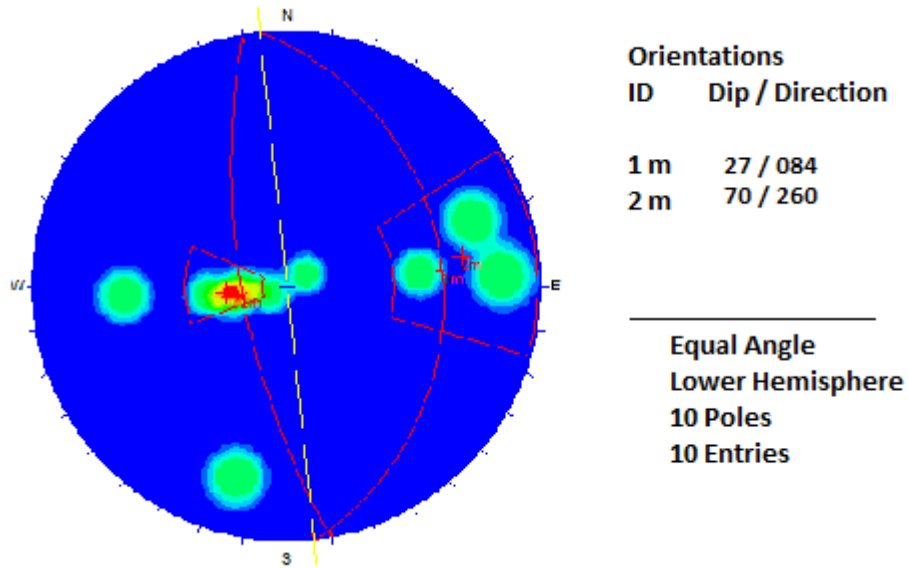


Figura 5. Diagrama de contorno y planos de agrietamiento de la Zona III del yacimiento Yarayabo.

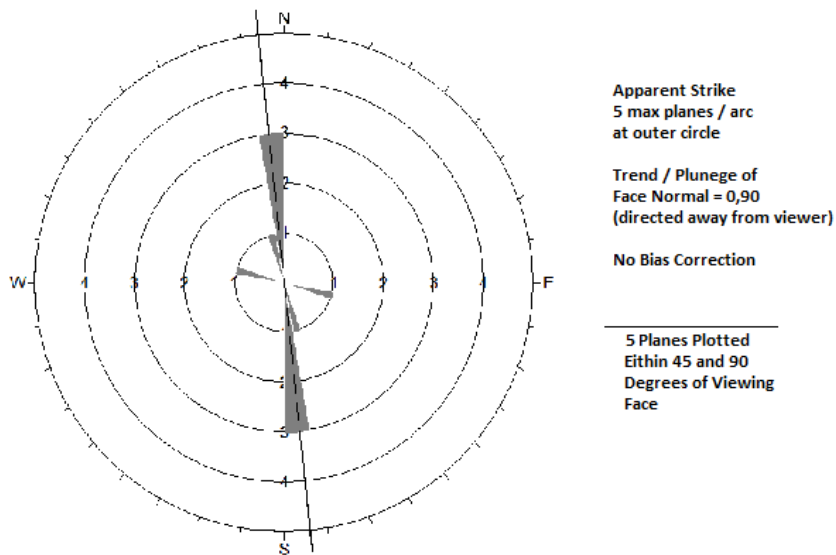


Figura 6. Diagrama de rosetas del agrietamiento en la Zona III del yacimiento Yarayabo.

Tabla 6. Caracterización del agrietamiento en la Zona III

No. familia	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Espaciamiento (m)	Relleno
1	27	84	2,3-1,2	Arcilla
2	70	260	2,3-1,2	Arcilla

Zona III: El procesamiento permitió determinar dos familias de discontinuidades en el macizo, las cual se pueden observar en los diagramas de contorno, planos y rosetas (Figuras 5 y 6). Las direcciones que predominan en las familias son: familia 1: 27/84 y

la familia 2: 70/260. La primera familia tiene un buzamiento bajo, con una dirección de buzamiento NE-E representando una superficie de fracturación con un rumbo predominante N10° E. Por otra parte, la segunda familia tiene un buzamiento alto con una dirección de buzamiento SO-O.

Determinación de las propiedades mecánicas de las rocas

La Tabla 7 representa las propiedades físico-mecánicas de las muestras tomadas en cada pozo. Los valores de las propiedades físicas que se relacionan fueron tomados del proyecto de explotación del yacimiento.

Tabla 7. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas

No. Pozo	X	Y	Z	R.C	Abs.	PV.	Pv Sat.	Pv Se.	Coef T.
MF-1	588935	166487	277,4	36,2	0,77	2,61	2,61	2,57	12,5
MF-2	588915	166460	283,4	28,7	0,88	2,16	2,16	2,11	11,8
MF-3	588951,5	166342	302	36,5	1,08	2,61	2,61	2,56	11,3
MF-4	588987	166303	301,4	42,6	1,33	2,62	2,62	2,57	11,9
MC-5	588964	166516	278,5	32	2,21	2,58	2,58	2,51	9,9
MC-6	589011	166317	298	38,7	1,45	2,61	2,61	2,57	10,4
MC-7	589036	166305	295,3	41,3	1,45	2,63	2,63	2,58	10,9
MC-8	589090	166286	283	45	1,15	2,66	2,66	2,62	9,7
MC-9	589080	166260	292,6	38,2	1,49	2,63	2,63	2,58	9,6
MF-10	589044	166247	300	32,4	1,55	2,61	2,61	2,56	9,6
PA-2	589055,2	166307,5	295,6	53,25	0,79	2,59	2,61	2,57	12,5
PA-3	588999,1	166337,8	299,6	23,3	1,7	2,59	2,16	2,11	11,3
PA-4	588940,7	166374,2	299,1	49,86	18,91	2,46	2,62	2,56	11,9
PA-9	588985,4	166461	284,6	32,3	1,35	2,53	2,61	2,57	9,9
PE-310	588962,4	166415,1	290,2	52,2	1,56	2,51	2,63	2,57	10,4
PE-324	588945,5	166420,1	281,1	70	1,24	2,59	2,16	2,58	9,7
PE-325	588984,9	166439,3	288,5	82,25	1,67	2,76	2,63	2,58	9,6
PE-326	588899,2	166403,8	295,9	88,9	0,94	2,54	2,61	2,56	9,6

Tabla 8. Promedio de resistencia a la compresión (RC) por zonas y espaciamento entre grietas

Zona	Promedio RC. por zonas	Espaciamento/grietas (m)
I	39,2 MPa	1,5
II	68,64 MPa	2,0
III	39,4 MPa	1,7

Como se muestra en la tabla anterior, las zonas I, II y III presentan valores de resistencia a la compresión promedio de 39,2; 68,64; 39,4 MPa; estos valores se encuentran para las zonas I y III en el rango de 25-50 MPa, describiéndose como rocas moderadamente dura, y la zona II en el rango de 50-100 MPa, lo cual describe una roca dura (Tabla 9).

Tabla 9. Clasificación con base en la resistencia de la roca (Bieniawski, 1979)

Resistencia a la compresión (MPa)	Descripción
1-5	Muy Blanda
5-25	Blanda
25-50	Moderadamente dura
50-100	Dura
100-250	Muy dura
>250	Extremadamente dura

Análisis de los índices geomecánicos (RQD, RMR)

Zona I

$$RQD=115-3,3 \times Jv$$

Donde:

Jv : Promedio de grietas en $1m^2$. Cuando este valor no excede 4,5; es decir, $Jv < 4,5$

entonces:

La clasificación del RQD es muy buena.

$$RQD=115-3,3 \times 0,66$$

$$RQD > 90$$

Cálculo del RMR:

Se describen cinco parámetros seleccionados para definir sus características:

1. Resistencia de la roca matriz
2. RQD
3. Espaciamiento entre grietas
4. Estado de las diaclasas
5. Agua freática

Luego de la suma de todos estos factores se obtiene que:

$$RMR= 4+20+15+25+12$$

$$RMR=76$$

Zona II

$$RQD= Jv=0,5$$

$$RMR= 84$$

Zona III

$$RQD= Jv=0,58$$

$$RMR= 80$$

Clasificación RMR de Bieniawski (1976)

Se obtienen tres valores de calidad para el yacimiento. En el análisis de las zonas I y III reportaron buena calidad, con valor de RMR de 76 y 80. Por otra parte, el análisis realizado a la zona III reveló valores de RMR de 84, calificándola como rocas de muy buena calidad geomecánica (Tabla 10). Este comportamiento se debe tanto a la variabilidad espacial de la resistencia como a la intensidad del agrietamiento.

Tabla 10. Clasificación RMR según Bieniawski (1979)

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Valoración	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Clasificación RQD Deer, Howie & Zussman (1972)

Los resultados obtenidos en las tres zonas corresponden a la valoración de rango > 90 (Deer, Howie & Zussman 1972) en la que se clasifica estas rocas como muy buenas.

Tabla 11. Clasificación según los resultados de los estudios índices geomecánicos (RQD, RMR)

No. Pozo	RQD	RMR	Clasf.RQD	Clasf.RMR
MF-1	>90	80	Muy buena	Buena
MF-2	>90	80	Muy buena	Buena
MF-3	>90	76	Muy buena	Buena
MF-4	>90	76	Muy buena	Buena
MC-5	>90	80	Muy buena	Buena
MC-6	>90	76	Muy buena	Buena
MC-7	>90	76	Muy buena	Buena
MC-8	>90	76	Muy buena	Buena
MC-9	>90	76	Muy buena	Buena
MF-10	>90	76	Muy buena	Buena
PA-2	>90	76	Muy buena	Buena
PA-3	>90	76	Muy buena	Buena
PA-4	>90	84	Muy buena	Muy buena
PA-9	>90	80	Muy buena	Buena
PE-310	>90	84	Muy buena	Muy buena
PE-324	>90	84	Muy buena	Muy buena
PE-325	>90	84	Muy buena	Muy buena
PE-326	>90	84	Muy buena	Muy buena

Las figuras que se muestran a continuación describen la calidad geomecánica de las rocas en el área de estudio.

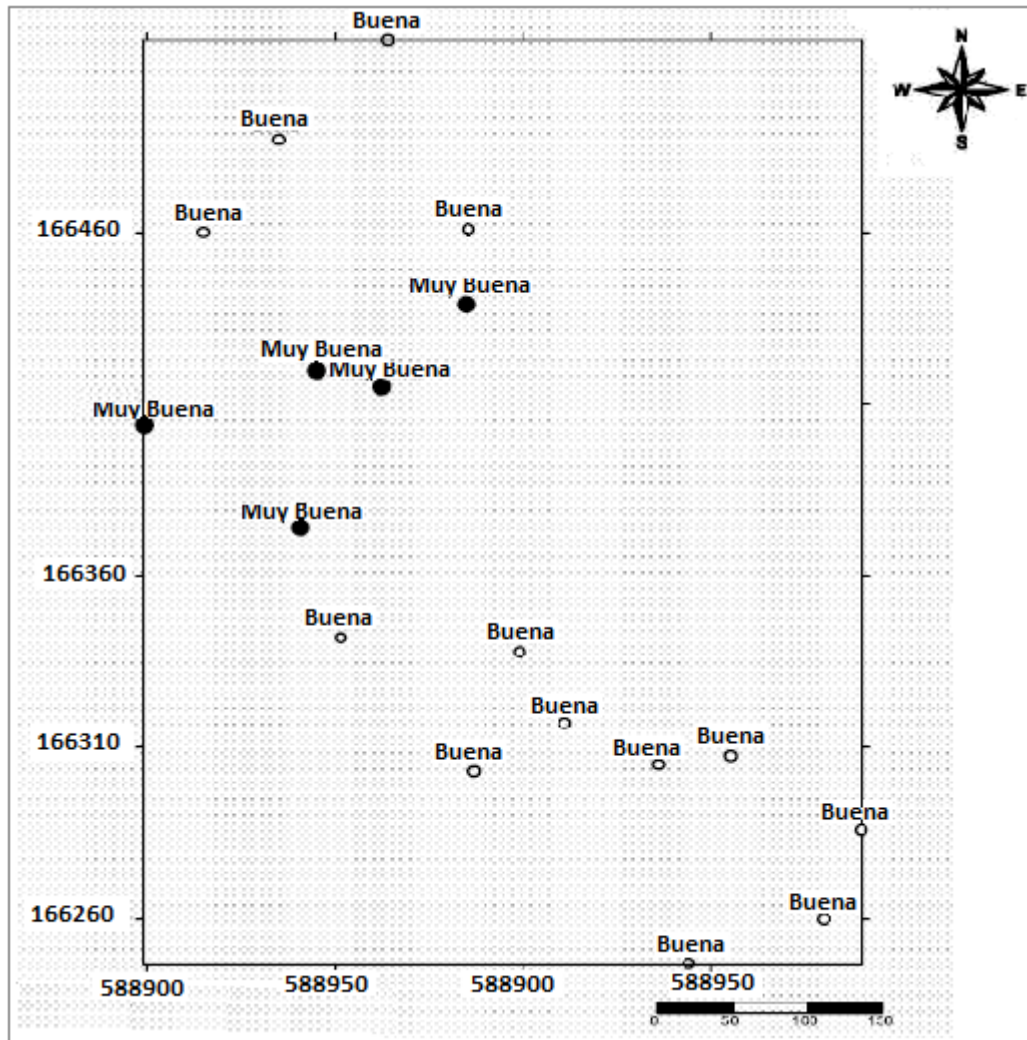


Figura 7. Clasificación de la roca según RMR.

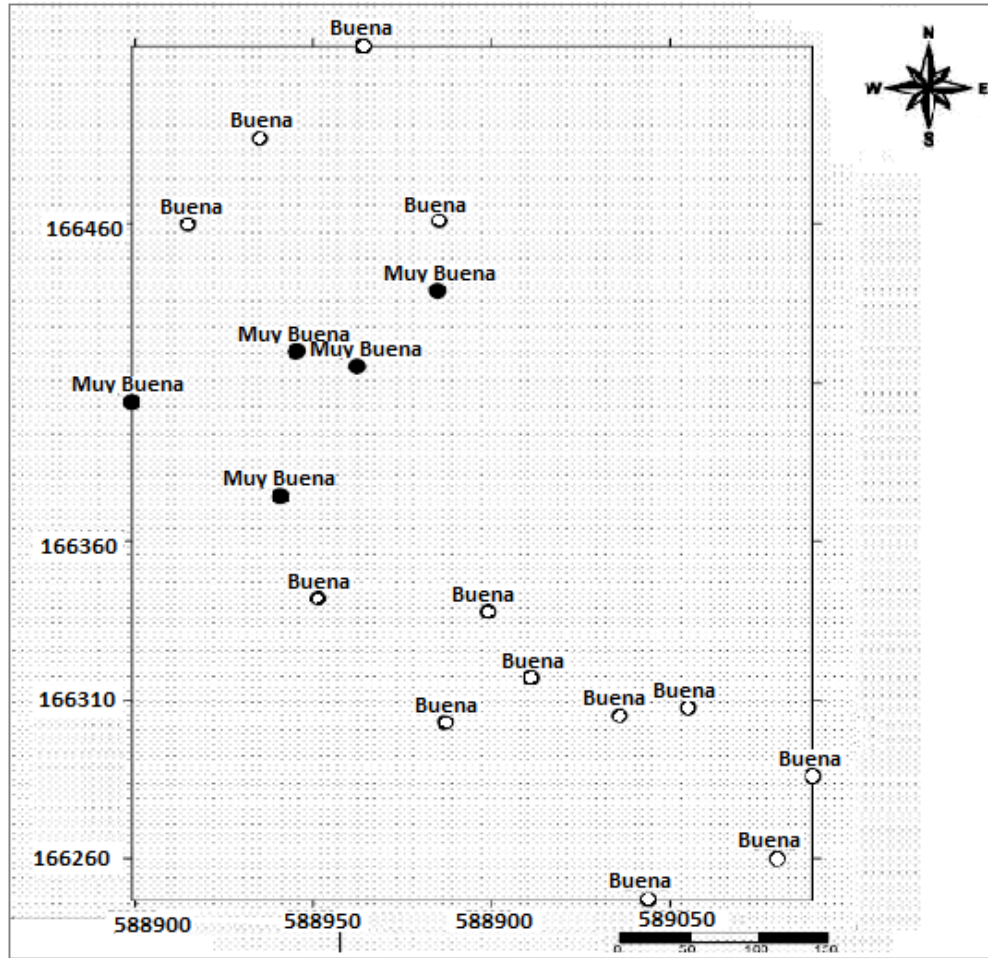


Figura 8. Clasificación de la roca según RQD.

Determinación de dominios geomecánicos

El procesamiento de la información geomecánica, así como las propiedades físico-mecánicas de la roca y la distribución espacial de las discontinuidades, permitieron obtener los dominios geomecánicos definidos como zonas o áreas de semejante comportamiento de las características geomecánicas del macizo rocoso. En este sentido se delimitaron tres dominios que se muestran en la Figura 9.

Dominio I:

Ubicación: Sur del yacimiento.

Área: 24 952,5 m²

Propiedades de las rocas: Resistencia a la compresión entre 23,3 MPa y 53,25 MPa, peso volumétrico entre 2,59 gcm³ y 2,66 gcm³, la absorción varía de 1,0 a 2,0.

Dominio II:

Ubicación: Centro del yacimiento.

Área: 24 969,2 m²

Propiedades de las rocas: Resistencia a la compresión entre 49,86 MPa y 88 MPa, peso volumétrico entre 2,46 gcm³/ y 2,76gcm³/, la absorción varía de 1,34 a 2,92

Dominio III:

Ubicación: Norte del yacimiento.

Área: 8 381,21 m²

Propiedades de las rocas: Resistencia a la compresión entre 28,7 MPa y 32 MPa, peso volumétrico entre 2,16 gcm³/ y 2,61gcm³/, la absorción varía de 1,87 a 2,0.

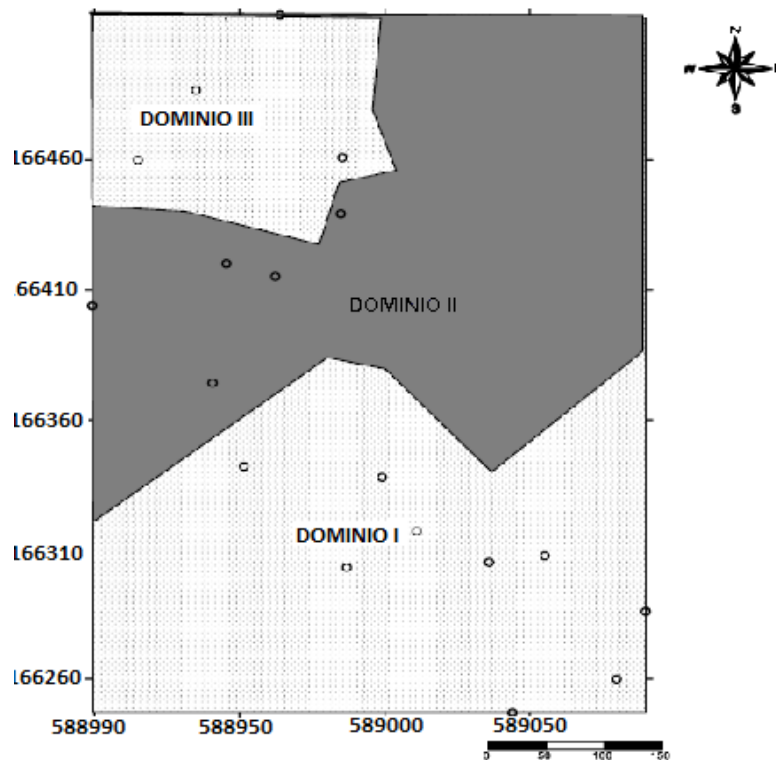


Figura 9. Dominios geomecánicos para el yacimiento Yarayabo.

Elección del método de arranque

Basado en la delimitación espacial de los dominios geomecánicos del yacimiento se aplica el gráfico de Karpuz (1990), utilizando una base de datos que contiene principalmente valores de resistencia a la compresión (MPa) y espaciamiento de las discontinuidades, obteniéndose así para el yacimiento Yarayabo el método más racional de arranque de las rocas.

La Figura 10 muestra el gráfico de excavabilidad del yacimiento Yarayabo. En él se representa el área a que pertenecen las rocas, a partir de la combinación del índice de resistencia a la compresión simple (MPa) y el índice de discontinuidad (m). Según el gráfico las rocas se agrupan, de acuerdo a la fortaleza de su estructura, en moderadamente fuertes y fuertes, y de acuerdo al índice de espaciamento, como grande, según el tamaño de bloque. Esta ubicación permite definir como métodos de arranque:

I. En la división del yacimiento que pertenece al Dominio I, con una clasificación de las rocas de moderadamente duras, pues cuenta con un valor promedio de resistencia a la compresión de 39,2 MPa y 1,5 m de espaciamento entre las grietas, se obtiene: método de escarificación extremadamente dura.

II. Dominio II, con un promedio de resistencias de las rocas de 68,64 MPa y espaciamento entre grietas de 2,0 m: método de perforación y voladura.

III. Dominio III, con un promedio de resistencias de 39,4 MPa y espaciamento entre grietas de 1,7 m: método de perforación y voladura.

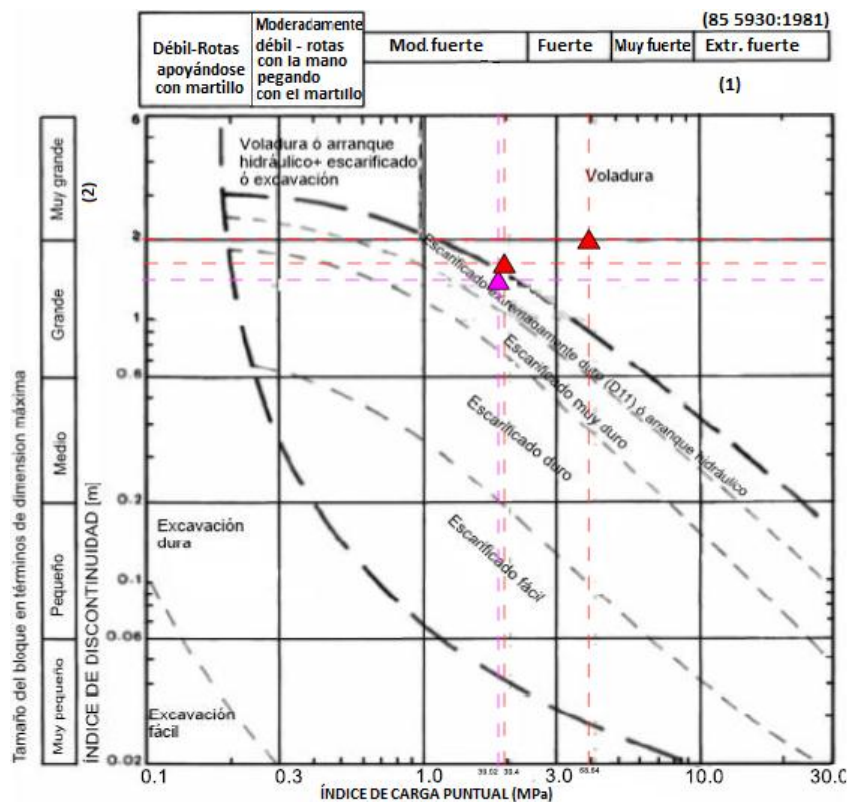


Figura 10. Gráfico de excavabilidad de la roca (Karpuz, 1990).

A partir de estos resultados en la figura que se muestra a continuación podemos observar el método de arranque que se obtuvo en cada dominio.

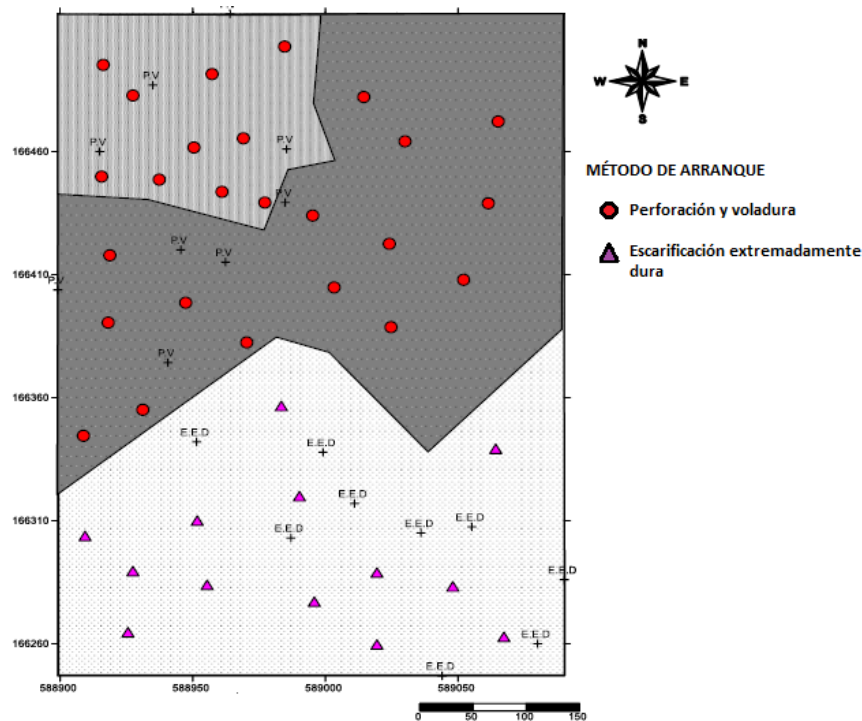


Figura 11. Excavabilidad de la roca a partir de los dominios geomecánicos.

Conclusiones

A partir de la evaluación de los métodos de arranque, la caracterización estructural del macizo, la determinación de las propiedades mecánicas de las rocas y la identificación de los índices geomecánicos (RQD, RMR) se pudo definir que los métodos de arranque más racionales a utilizar en el yacimiento Yarayabo son: escarificación extremadamente dura y arranque con voladura.

Referencias bibliográficas

- BIENIAWSKI, Z.T. 1976: Exploration for rock engineering: proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering. Johannesburg, 1-5 November (Vol. 1). AA Balkema.
- BIENIAWSKI, Z. 1979: *Geomechanics classification of rock masses and its application to tunnelling. Proc. II. Tnt.* Vol II. En: Congress for Rock Mechanic. ISMR.

DEER, W.; HOWIE, R. & ZUSSMAN, J. 1972: Chain silicates. In: Longmann Scientific y Technical (Ed.): Rock-forming minerals, 2nd edition, England, 170-176.

HADJIGEORGIOU, J. & SCOBLE, M. 1990: Ground Characterization for assessment of ease of excavation. In *Proceedings of international seminar on mine planning and equipment selection*. Calgary, Canadá, p. 323-331.

HERNÁNDEZ, N; ROSARIO, Y.; ALMAGUER, Y. & OTAÑO, J. 2014: Árbol de excavabilidad para elegir método de arranque en canteras de áridos de la construcción: yacimiento El Cacao. *Minería y Geología* 3(3): 67-84.

KARPUZ 1990: A Classification System for Excavation of Surface Coal Measures. *Mining Science and Technology* 11: 157-163.

LÓPEZ, E. 2000: *Manual de perforación y voladuras de rocas*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Serie: tecnología y seguridad minera, Madrid.

NOA, R. 2006: 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. *Minería y Geología* 22(4).

PENEHAFO, H. 2014: Problemática socioambiental asociada a los métodos de arranque de la roca en las canteras de materiales de la construcción. *Ciencia & Futuro* 4(2): 1-11.