



INSTITUTO SUPERIOR
MINERO METALÚRGICO DE MOA
Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

FACULTAD: GEOLOGÍA-MINERÍA

INGENIERÍA DE MINAS

Trabajo de Diploma

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO DE MINAS

TÍTULO: ELECCIÓN DEL MÉTODO DE
ARRANQUE DE LAS ROCAS. OBJETO DE
ESTUDIO: CANTERA YARAYABO.

AUTOR: YOLANDRIS DESPAIGNE REYES

TUTORES: Ms.C: NAISMA HERNÁNDEZ JATIB

Dr.C: YURI ALMAGUER CARMENATE

Moa, 2014
“Año 56 de la Revolución”





TRABAJO DE DIPLOMA

Declaración de autoridad:

Yo, Yorlandris Despaigne Reyes, autor del Trabajo de Diploma: Elección del método de arranque de las rocas. Caso de Estudio: Cantera Yarayabo. Certifico su propiedad intelectual al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Nuñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

Para que así conste firmo la presente a los _____ días del mes de _____ del _____.

Firma del autor

Firma de tutor



TRABAJO DE DIPLOMA

Dedicatoria:

Le dedico esta tesis a mi familia, en especial mi mamá Rosa, mi papa Juan Manuel y mi hermana Rosalia, que me ayudaron haciendo posible la finalizacion de este trabajo.



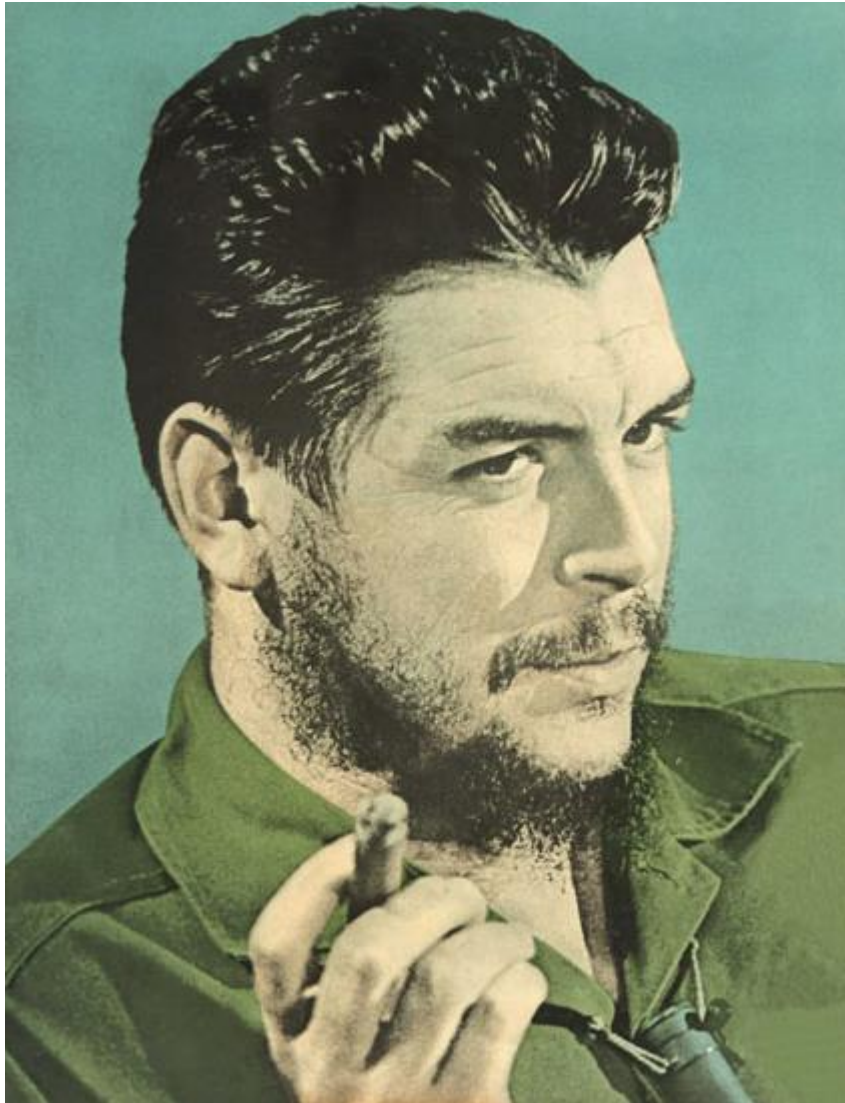
TRABAJO DE DIPLOMA

Agradecimientos:

Tengo muchas personas que agradecerle la culminación de esta tesis, pero fundamentalmente a mis tutores que me brindaron todo el apoyo posible para llegar a la conclusión satisfactoria de este trabajo.



TRABAJO DE DIPLOMA



Pensamiento:

(...) Y sobre todo, sean siempre capaces de sentir en lo más hondo cualquier injusticia cometida contra cualquiera en cualquier parte del mundo. Es la cualidad más linda de un revolucionario.



TRABAJO DE DIPLOMA

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 utiliza 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 por último 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.



TRABAJO DE DIPLOMA

Abstract

In Cuba the extraction of arid he represents one for the construction important mining activity, for the materials volúmeneses that move annually in the exploited stone pits in the country, which have been laboreadas attending to elaborate projects for the purpose. the previous has determined that the rocks's election of the start method accomplish (subj) without an appropriate the main things knowledge factors that have influence in the process, in the present work itself it is utilized a procedure that he splits of the massif's structural characteristics; the determination of the mechanical properties of the rocks and the índices geomecánicos (RQD, RMR) thus I eat, the dominions's definition geomecánicos and finally the rocks's election of the more rational start method. with this procedure's application, he becomes established that the more rational start methods of the rocks I object of study music to utilizing in the deposit: extremely hard scarification and blowing-up.



TRABAJO DE DIPLOMA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA.....	12
I.1. Introducción.....	12
I.2. Factores físicos y mecánicos que afectan el arranque de las rocas	12
I.3. Métodos de arranque en la minería a cielo abierto	13
I.4. Propiedades y clasificación del macizo rocoso	15
I.5. Factores que influyen en la excavabilidad de la roca.....	17
I.6. Clasificaciones de excavabilidad	18
I.6.1. Clasificaciones de los macizos rocosos y la estimación de la excavabilidad	20
I.7. Criterios para definir el método de arranque de la roca	26
I.8. Actualidad y situación del tema en Cuba	29
I.9. Conclusiones	31
CAPÍTULO II CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICO - GEOLOGICAS GENERALES DE LA REGION DE ESTUDIO.....	32
II.1. Características geográficas de la región	32
II.2. Características geológicas de la región	33
II.3. Características geológicas del yacimiento.	34
CAPÍTULO III ELECCION DEL MÉTODO DE ARRANQUE DE LAS ROCAS: CASO DE ESTUDIO YACIMIENTO EL YARAYABO.....	38
III.1. Análisis estructural del macizo rocoso	38
III.2. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas	44
III.3. Análisis de los índices geomecánicos (RQD, RMR)	45
III.4. Determinación de dominios geomecánicos.	51
III.5. Elección del método de arranque.	53
III.6. Analisis económico	56
CONCLUSIONES:.....	58
RECOMENDACIONES:	59
BIBLIOGRAFÍA:	60
ANEXOS	62



INTRODUCCIÓN

Mundialmente la explotación de canteras para la extracción de áridos en la construcción tiene una gran importancia. Nuestro país no queda exento a ello, por tal razón se implementan nuevas medidas para lograr alcanzar un auge en esta industria. En este sentido algunas investigaciones en nuestro país 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. Para llevar a cabo este estudio es de vital importancia prestar especial atención a estos métodos ya que cada uno tiene una forma de empleo y particularidad. En la cantera objeto de estudio se presenta en la actualidad la problemática relacionada con la productividad y ésta en correspondencia con la correcta 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 objeto de estudio: Yarayabo.



TRABAJO DE DIPLOMA

La **situación problemática** relacionada con la temática investigada se caracteriza por la siguiente regularidad:

- La cantera en los últimos años presenta problemas relacionados con la productividad, debido a que no se alcanza la granulometría deseada en la materia prima que llega hasta los trituradores, además de que la misma ha sido laboreada atendiendo a los proyectos elaborados al efecto, lo que conlleva a determinar que la elección del método de arranque de las rocas se realiza sin todo el conocimiento de los principales factores que influyen en este proceso.

Problema

Necesidad de elegir el método de arranque de las rocas más racional para la explotación del yacimiento Yarayabo.

Objeto de estudio

Los métodos de arranque

Campo de acción

El yacimiento: "Yarayabo".

Objetivo general

Elegir el método de arranque de las rocas más racional para la explotación del yacimiento Yarayabo.

Hipótesis

Si se conocen las condiciones de aplicación de los diferentes métodos de arranque, la estructura del macizo, las propiedades físico-mecánicas de las rocas y los índices geomecánicos, entonces es posible elegir el método de arranque de la roca para la explotación del yacimiento Yarayabo.

Objetivos específicos

- Caracterizar los métodos de arranque.
- Caracterizar estructuralmente el macizo;



TRABAJO DE DIPLOMA

- Determinar las propiedades mecánicas de las rocas;
- Determinar los índices geomecánicos (RQD, RMR);
- Definir dominios geomecánicos;
- Proponer el método de arranque de las rocas.



CAPÍTULO I: ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

I.1. Introducción

Este capítulo tiene como objetivo caracterizar el marco teórico que conduce a la elección del método de arranque de la roca, como instrumento para lograr una mejor explotación de las canteras de piedra para áridos. Ofrece además una visión general sobre la temática que presenta la minería a cielo abierto, con énfasis en los yacimientos de materiales para la construcción, así como los enfoques y definiciones que se han tratado en la literatura especializada a nivel nacional e internacional, y su aplicación en las canteras de Cuba.

I.2. Factores físicos y mecánicos que afectan el arranque de las rocas

La literatura señala que se han desarrollado investigaciones que demuestran que existen muchos 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. Pettifer y Fookes (1994) sugirieron que las operaciones de arranque están muy influenciadas por la resistencia de la roca intacta. Müftüoğlu (1983) y Basariret en el. (2000) concluyeron que las características de las rocas, y las dimensiones de la excavación son factores que afectan la fiabilidad. Bozdog (2008) plantea que entre las propiedades del macizo rocoso que participan en la posibilidad de excavabilidad del macizo son: el tipo de roca, grado de alteración, la estructura, la abrasividad, el contenido de humedad y la velocidad de las ondas sísmicas.

La excavación, escarificación y voladura son los tres métodos principales aplicados para la fragmentación de las rocas en las labores a cielo abierto. Existiendo en este sentido dos tipos principales para fragmentar empleados en la excavación, que son el método mecánico y la voladura. (Hadjigeorgiou and Poulin, 1998).

En las canteras, el objetivo principal es fragmentar las rocas de modo tal que sea económicamente factible (Atkinson, 1971). Ha sido una creencia largamente



TRABAJO DE DIPLOMA

sostenida de que escarificar podría ser más económico que la voladura. Sin embargo, el advenimiento de explosivos a bajo costo, tales como nitrato de amonio (ANFO) y otros han reducido considerablemente los costos de voladura. En Cuba, el costo de la voladura depende en gran medida del volumen de rocas a excavar, la sensibilidad del área circundante, la localización y el patrón de voladura a emplear.

I.3. Métodos de arranque en la minería a cielo abierto

La literatura señala que en regiones con condiciones geológicas similares a las que se presentan en Cuba se han realizado investigaciones referidas a la elección del método de arranque de las rocas; entre ellas podemos citar a: Tajul Anuar Jamaluddin and Mogana (2000); Mohd For Mohd Amin and Eddy Tonnizam Mohamad (2003) and Tajul Anuar Jamaluddin and Ismail Yusuf (2003) los que han utilizado la evaluación de los métodos de excavación sobre la base de Pettifer and Fookes (1994).

La elección del método de arranque depende ante todo de las propiedades de las rocas en el macizo, presencia de medios técnicos y exigencias a la calidad de la materia prima. La excavación de las rocas blandas se puede realizar con cualquier equipo de arranque, en este caso la preparación se conjuga con la excavación y se realiza con el mismo equipo. En las rocas duras, se realiza con equipos de mayor fuerza y deben ser preparadas para la excavación por métodos con explosivos. (Rodríguez y Solís, 2004).

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

Arranque mecánico

Tractores con escarificador

Solís *et al.* (2004) plantean que 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



TRABAJO DE DIPLOMA

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;

Excavadoras:

Las excavadoras para el arranque de macizos rocosos sin voladura previa o pre voladura, se utilizan en macizos de muy bajas velocidades sísmicas y con abundantes superficies de estratificación, diaclasas o fracturas y fragilidad del material, con resistencia a la compresión entre 12,5-50 MPa). Solís *et al.* (2004).

Martillos rompedores:

Existen tres tipos de martillos rompedores: neumáticos, eléctricos e hidráulicos, los más comunes son los neumáticos utilizados ampliamente en la industria minera y constructiva y en los últimos años, los hidráulicos, para la fragmentación secundaria y en menor grado, el arranque, fundamentalmente en los trabajos a cielo abierto



TRABAJO DE DIPLOMA

Los parámetros a tener en cuenta para evaluar la facilidad de excavación del macizo son: resistencia de la roca (80-100 MPa), tamaño del bloque, alteración, disposición estructural.

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 realizar 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. L. Jimeno (1990)

I.4. Propiedades y clasificación del macizo rocoso

La masa rocosa está compuesta por bloques de rocas intactas separadas entre sí por discontinuidades como: fallas, hendiduras, fisuras, fracturas, uniones, etc. No obstante su comportamiento está en dependencia de la naturaleza, frecuencia de las discontinuidades y principales propiedades de la roca intacta tales como: Formas de rotura en los taludes rocosos; Clasificaciones geomecánicas; Deformabilidad del macizo rocoso y Resistencia de las discontinuidades.

Muchos sistemas de clasificación de la masa de roca; tienen en cuenta una o más peculiaridades y están descritas como invariante, doble variante, o multivariante, en dependencia de donde estén basadas en, uno, dos o más parámetros (Franklin & Dusseaul, 1989). No obstante, existe un límite práctico para un número de



TRABAJO DE DIPLOMA

variables y de pruebas que se pueden efectuar; se puede llegar a un consenso seleccionando los tipos más relevantes de observaciones, y simplificando los procedimientos para las pruebas, tanto como sea posible.

Bieniawski (1973) Permitió hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un banco que se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones. Consta de un índice de calidad RMR (Rock Mass Rating), independiente de la estructura, y de un factor de corrección expresó que el sistema de clasificación de la masa rocosa se ha desarrollado para los objetivos siguientes:

1. Dividir el macizo en grupo de comportamiento parecido;
2. Proporcionar una buena base para la comprensión de las características del macizo;
3. Facilitar la planeación y el diseño de estructuras en la roca al proporcionar datos cuantitativos que se necesitan para la solución;

Para cumplir con estos requisitos, Bieniawski propuso originalmente que su clasificación geomecánica comprendiera los siguientes parámetros:

1. RQD (índice de calidad de la roca)
2. Grado de meteorización
3. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca inalterada
4. Distancia entre las fisuras y la estratificación
5. Continuidad de las fisuras
6. Infiltración de aguas subterráneas

Bieniawski (1976), modificó su sistema, eliminando el grado de meteorización como parámetro separado, ya que su efecto está tomado en cuenta en la resistencia a la compresión uniaxial e incluyendo la separación y la continuidad de las fisuras en un nuevo parámetro: el estado de las fisuras. Además, eliminó de la lista de parámetros básicos la orientación del rumbo y buzamiento y sus efectos se toman en cuenta con un ajuste a la clasificación después de evaluar los parámetros básicos; los cuales fueron todo el tiempo números negativos.



TRABAJO DE DIPLOMA

Moreno E. (1982), también efectuó algunas observaciones de las clasificaciones de Wickhamet (1974), Bieniawski (1973), Barton et al (1973), establecen lo siguiente:

- Es difícil obtener el índice de calidad al incrementarse la heterogeneidad
- Deben establecerse criterios de clasificación
- Basándose en la experiencia, se deben revisar los criterios de la clasificación para ajustarlos al área de trabajo.

De acuerdo a lo anterior, se puede resumir que la clasificación deberá evolucionar gradualmente a través del número de etapas así como al diseño mismo. Los sistemas de clasificación sufren cambios esenciales cuando los datos obtenidos de la observación, dan lugar a ensayos de laboratorios y mediciones in situ.

Antes de la clasificación del sistema del macizo rocoso y utilizando los parámetros de clasificaciones de las rocas intactas, es importante conocer la fortaleza de la roca intacta propuesta por Stapleton (1968).

1.5. Factores que influyen en la excavabilidad de la roca

De las evidencias anteriores, se puede decir que el rendimiento de la roca, incluyendo la excavación de la misma y la estabilidad de taludes, depende de numerosas propiedades geomecánicas de la roca intacta y macizo rocoso. Las propiedades se determinan con base en las observaciones mineralógicas, pruebas de rebote, las pruebas estándar de resistencia, pruebas de índice de resistencia de la roca, las clasificaciones del macizo rocoso, entre otras.

La excavabilidad de la roca comienza con una revisión del uso de propiedades de las rocas tales como: Índice de carga puntual, Energía específica (Roxborough, 1987), Índice de cortabilidad de la roca (Gehring, 1980), características de las discontinuidades y de los sistemas de clasificación de macizos rocosos. Sin embargo, es importante definir la cortabilidad, ripabilidad y excavabilidad.

Cortabilidad: Facilidad con la que puede ser excavado el macizo rocoso por rozadoras; usadas en la minería continua.



TRABAJO DE DIPLOMA

Ripabilidad: Grado en que el material puede ser arrancado por una cuchilla y trasladado por un tractor.

Excavabilidad: Facilidad que presenta un terreno para ser excavado.

I.6. Clasificaciones de excavabilidad

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 Rafael 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:

- a) 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),
- b) La naturaleza, extensión y orientación de las fracturas.
- c) El tipo de roca (ígneas, sedimentaria o metamórfica), sus características (composición, espesores, yacencia, etc.) y estado de conservación.

Franklin, (1971, 1997) se basa en los valores del espaciamiento entre las grietas (E_g) y los valores de la resistencia a la compresión simple de las rocas (R_c), ver figura 1.



TRABAJO DE DIPLOMA

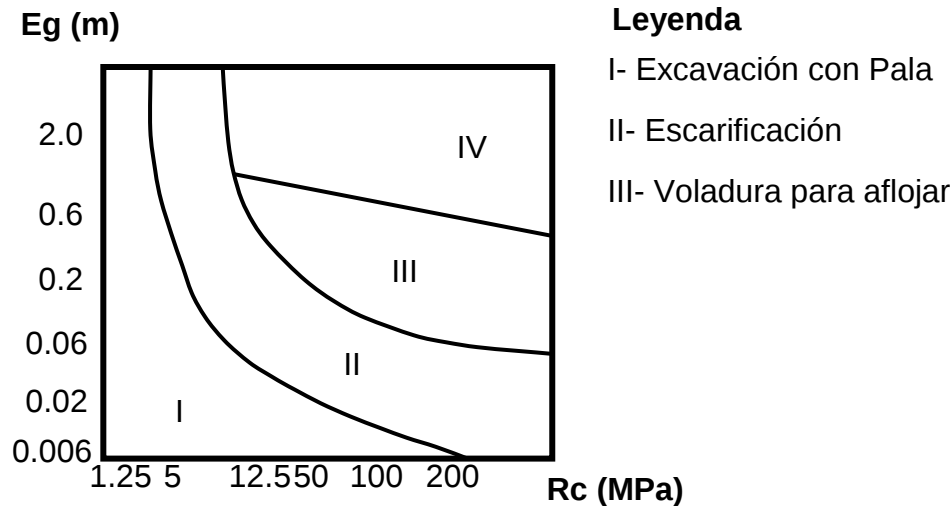


Figura 1. Clasificación propuesta por Franklin (1971, 1997).

Esta clasificación de excavabilidad propuesta por Franklin (1971, 1997) tiene varias limitaciones: no hay una elección del tipo de maquinaria de arranque a utilizar ni de sus capacidades, no se realiza un análisis para valorar la influencia de las grietas en la dirección de ataque de las rocas. Es una clasificación muy conservadora, ya que exige voladura para rocas masivas a partir de una resistencia a la compresión lineal muy baja, en ella se utiliza la resistencia a la compresión de las rocas, cuando lo correcto sería utilizar la resistencia del macizo. (Noa, 2003).

En este caso, el índice de espaciamiento entre grietas es un valor promedio, por lo que su medida es aproximada y requiere que se acompañe de un histograma o se presente a través de intervalos de variación. En esta metodología se proponen cuatro zonas o regiones, de acuerdo con los valores de los parámetros medidos (Figura 1), pero no se especifican los tipos de maquinarias de arranque a utilizar ni sus capacidades (Aduvire, 1992). Consideramos que este es un criterio que debe ser evaluado en la cantera objeto de estudio.

Atkinson (1977) propuso un nomograma en el que aparecen zonas de aplicación para cada tipo de maquinaria utilizada en el arranque de la roca, en función de la resistencia a compresión simple de las rocas. En la referida investigación, de acuerdo con los criterios expuestos por Noa (2003), el autor tiene en cuenta uno de



TRABAJO DE DIPLOMA

los parámetros que más influye en el proceso de arranque de la roca, pero no tuvo en cuenta 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, cuestión que se pretende utilizar como criterio en la presente investigación.

Basándose en la clasificación dada por Louis (1981), Romana (1981) presentó una nueva propuesta, la cual estaba más adaptada a las capacidades tecnológicas de la maquinaria de excavación. Posteriormente Romana (1994) presenta una versión más actualizada de dicha clasificación en función de la calidad del macizo y la resistencia a la compresión de la roca, indicando los intervalos de aplicación de los diferentes métodos de excavación. Consideramos que esta clasificación es indicativa y debe usarse en la fase de estudios previos o anteproyectos de obras.

I.6.1. Clasificaciones de los macizos rocosos y la estimación de la excavabilidad

Los sistemas de clasificación del macizo rocoso también han sido utilizados para la evaluación de la excavabilidad.

Louis en 1974 presentó una clasificación basada en el (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 2).



TRABAJO DE DIPLOMA

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.

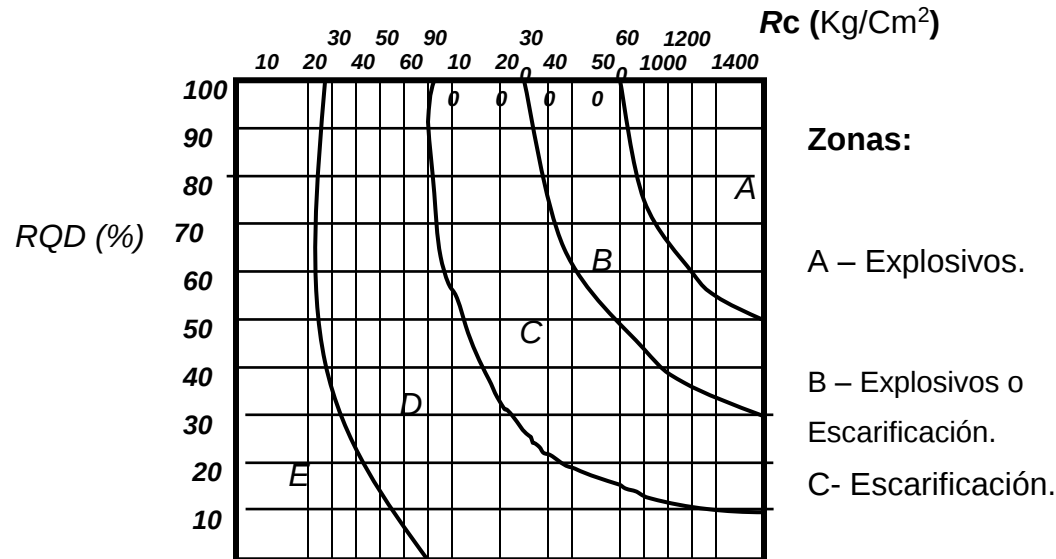


Figura 2. Clasificación propuesta por Louis (1974).

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.

Selby (1980) propuso la clasificación Rock Mass Strength (RMS) con el objetivo de entender los elementos de las masas rocosas que les proporcionan resistencia a los procesos de meteorización y erosión y que fuera universalmente aplicable para establecer una base común de medición.

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 (R_c) en MPa, así como en una clasificación de los terrenos respecto a la excavabilidad mecánica en túneles (ver figura 3 y tabla 1). Procede de la propuesta dada por



TRABAJO DE DIPLOMA

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.

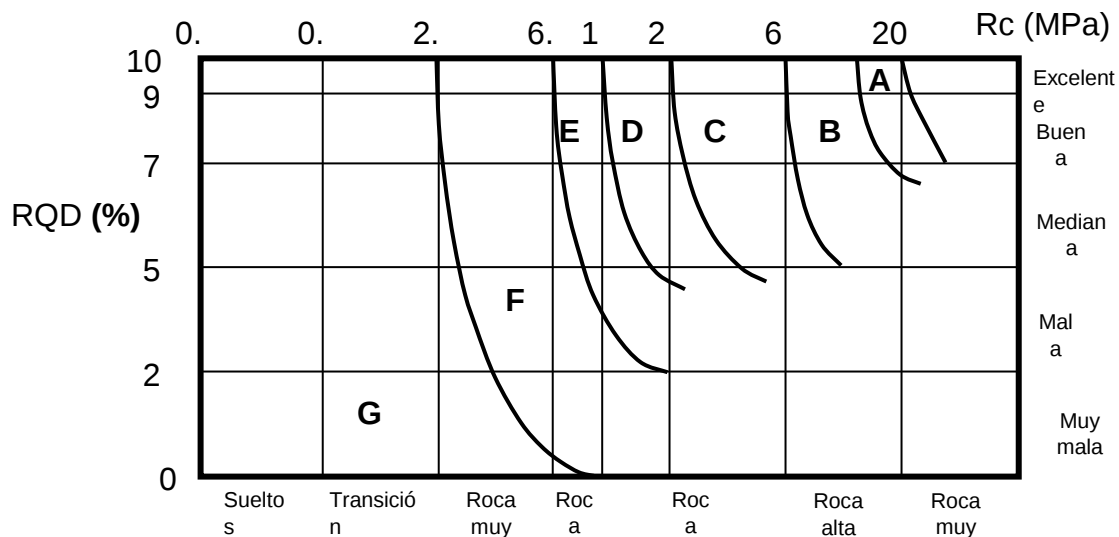


Figura 3. Clasificación propuesta por Romana Ruiz (1981,1994).

Tabla 1. 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	-	-	-



TRABAJO DE DIPLOMA

D	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Posible	Posible?	-
E	Posible	Posible	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Posible	Posible?
F	-	-	-	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Posible
G	-	-	-	-	Posible	Posible?	Adecuado

Romana (1994) propone un sistema de clasificación para la excavación de los macizos rocosos basado en el siguiente índice:

$$N = M_s \frac{RQD}{J_n} * J_s * \frac{J_r}{J_a}$$

donde:

M_s : Resistencia a compresión de las rocas (MPa)

RQD : Rock Quality Designation (%)

J_n, J_r : Parámetros del sistema de clasificación Q de Barton

J_s : Valor de la disposición relativa de los bloques inclinados según la dirección de arranque. Para material intacto $J_s = 1,0$

J_a : Factor de alteración de la junta

Según el índice de excavabilidad N obtenido por la ecuación anterior se evalúa la facilidad al arranque mediante escarificado de la siguiente forma:

- Fácilmente ripable.....($1 < N < 10$)
- Escarificado duro.....($10 < N < 1.000$)
- Escarificado muy duro.....($100 < N < 1.000$)
- Escarificado extremadamente duro/voladura.....($1.000 < N < 10.000$)
- Voladura..... ($N > 10.000$)



TRABAJO DE DIPLOMA

Kirsten (1982) propuso un sistema para la evaluación de la excavabilidad en términos de las características del macizo rocoso tales como la tensión del macizo, tamaño del bloque, orientación relativa de la estructura geológica, tensión de la pared de la junta. Su sistema de clasificación se basa en las propiedades ingenieriles desde suelos débiles hasta la roca más dura. Kirsten (1982) formuló el índice de excavabilidad (n) que es determinado por medio del uso graduado de varios sistemas de clasificación para la evaluación de la escarificación de la roca.

La clasificación de excavabilidad propuesta por Kirsten tiene también algunas limitaciones, que se relacionan con el comportamiento geoestructural del macizo y que no le permiten determinar cuál es método más adecuado de arranque; no se valora grado de humedad de las rocas el que afecta considerablemente las características de resistencia del macizo, no se tiene en cuenta la estratificación del macizo, la bloquicidad ni el grado de deterioro de las rocas, siendo estos los elementos que mayor influencia tienen en el comportamiento geo – estructural y por consiguiente en el proceso de arranque, tampoco se realiza un análisis que permita definir el tipo de maquinaria a emplear en caso de que el arranque se realice con métodos mecánicos, lo que teniendo en cuenta las características geoestructurales del macizo es muy evidente.

Abdullatif y Crudden (1983) recomiendan la utilización de los valores del índice RMR propuesto por Bieniawski (1976) y los valores del índice Q propuesto por Barton (1974), ver figura 4.



TRABAJO DE DIPLOMA

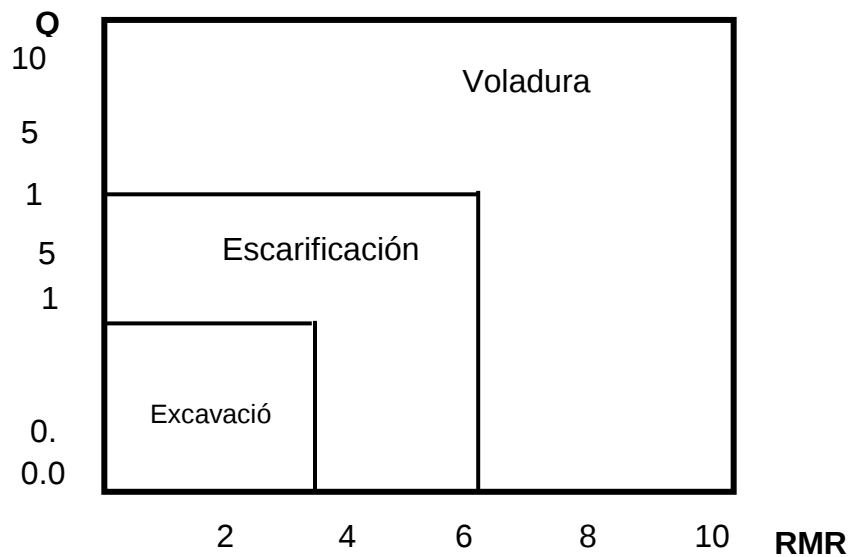


Figura 4. Clasificación propuesta por Abdullatif y Crudden (1983).

Abdullatif y Crudden (1983) también observaron un salto en el valor de Q; a partir de 0,14 los macizos eran excavables, y a partir de 1,05 debían ser escarificados. Este hecho puede ser debido a la mala adecuación del sistema de clasificación Q a las operaciones de arranque.

Una de las limitaciones que ha tenido este método, es que no se tiene en cuenta la dirección de laboreo de las excavaciones con respecto a la dirección de las diaclasas y que en el caso de rocas fuertes no se realiza ninguna propuesta del tipo de maquinarias a emplear (Noa, 2003), criterios con los cuales coincide la autora teniendo en cuenta que esta propuesta fue realizada para excavaciones subterránea. En este caso, aunque es importante la orientación en que se desarrollan los principales sistemas de debilitamiento estructural en relación a la dirección de desarrollo de los frentes de arranque, el espacio en que se desarrolla la investigación es menos confinado.

Minty y Kerans (1983) modificaron el sistema de Waver para las condiciones australianas. El índice de factores geológicos (GFR) incorporó nuevos índices numéricos y reintrodujo factores para las condiciones de las aguas subterráneas y



TRABAJO DE DIPLOMA

para la rugosidad superficial de las discontinuidades que fueron incluidos en el sistema original RMR. Ellos multiplicaron el índice GFR, por la velocidad de las ondas sísmicas y graficaron el producto contra el tamaño del tractor con el objetivo de determinar si el escarificado sería satisfactorio o marginal. La velocidad de las ondas sísmicas está muy relacionada a los otros parámetros incluidos en este sistema y Smith (1986) utilizó casos de estudio de Estados Unidos y sugirió que podía ser omitida.

Hoek y Karzulovic (2000) utilizaron los datos del estudio de Abdullatif y Cruden (1983) para estimar el GSI, para este índice y la tensión de los macizos rocosos sugirieron un rango de GSI para diferentes métodos de excavación. Ellos propusieron que los macizos rocosos pueden ser excavados con valores GSI hasta 40 y valores de tensiones del macizo de alrededor de 1 MPa, mientras que pueden ser escarificados para valores de GSI de alrededor de 60 y valores de tensión del macizo alrededor de 10 MPa. La voladura sería el único método efectivo de excavación que exhiben valores de GSI mayores que 60 y tensiones del macizo mayores que 15 MPa.

I.7. 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.

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, 2003).

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



TRABAJO DE DIPLOMA

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 2), 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.



TRABAJO DE DIPLOMA

Tabla 2. Parámetros geotécnicos considerados para varios sistemas de excavabilidad.

E.Met.i.ón de los métodos	Importancia relativa de cada parámetro (I)								
	Veloc. Sism.	Rc	Resist. de carga puntual	Dureza de la roca	Abrasividad/erosión	Discont/tamaño del bloque	Discont/persistencia	Separación de las discont	Orientación de las discont
Caterpillar (1970)	****								
Franklin et al. (1971)			****			****			
Weaver (1975)	****			**	**	****	*	*	***
Kirsten -1982		****				****	*		*
Minty y Kearns (1983)	****		**		**	***	*	*	**
Scoble & Muftuoglu (1984)		**			**	****			
Smith (1986)		**			**	****	*	*	***
Singh et al. (1987)	***		**		**	****			
Ovejero (1987)	*								
Karpuz (1990)		***		**	**	****			
Hadji Georgiou 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 cómo 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.

I.8. Actualidad y situación del tema en Cuba

Los materiales de construcción constituyen un importante renglón en el desarrollo de la economía de nuestro país. Antes del triunfo de la Revolución esta industria era muy pobre. La producción de áridos, no superaba los 2 millones de m³, lo que frenaba su desarrollo desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, y por consiguiente, ejercía gran influencia en el desarrollo tecnológico y en el grado de modernización de los medios técnicos empleados para su obtención, determinantes en el proceso económico productivo que se iniciaba (Deschapells, 2009).

En la actualidad esta industria realiza un conjunto de inversiones tendentes a aumentar la elaboración de los productos necesario para mantener el ritmo de construcción con el país. Por esta razón se construyen y se amplían canteras, areneras, fábricas de cementos, bloques, cabillas, cerámica y otros materiales complementarios. Esto ha conllevado en los últimos tiempos que el proceso de excavación en las canteras de materiales de construcción alcance un desarrollo considerable principalmente en el arranque de las rocas. En relación con esta problemática y conforme al acelerado auge que se está alcanzando a nivel mundial en este aspecto; en Cuba se hace necesario un perfeccionamiento en el proceso de elección del método de arranque de la roca y en lograr que el mismo tenga la posibilidad de una fácil adecuación a las condiciones concretas de cada macizo rocoso (Cardentey *et al*, 2001).

Varios investigadores recomiendan dar seguimiento a esta temática por la importancia que reviste y no limitarse a clasificar las rocas por una simple



metodología; sino por experimentos y ensayos de laboratorio (Barton, 1972; Deer, 1972). Sin embargo, resulta evidente la necesidad de profundizar en los aspectos relacionados con la temática objeto de estudio de la presente investigación; no sólo por la importancia de la diferenciación, sino también para adecuar las investigaciones futuras de forma tal que resuelva las dificultades que impiden establecer modelos analíticos del comportamiento de un determinado macizo con un mínimo de idealización.

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. En este sentido Corpas (2000) realiza un estudio geomecánico de los macizos rocosos mediante la aplicación de la proyección estereográfica, para la aplicación consecuente de estos métodos en los macizos rocosos agrietados, la cual puede servir de base para la elección del método de arranque aunque este no fue su objetivo.

Entre las investigaciones más interesantes en esta temática se destaca la realizada por Neves (2002) tuvo como objetivo llevar a cabo el estudio geomecánico del macizo de la cantera Miguel Raposo en la provincia Guantánamo, el cual sirvió de base para perfeccionar el pasaporte de voladuras existente. Noa (2003) en su tesis doctoral estableció 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. Por su parte Alexandre P (2006) propuso una metodología para el diseño de los patrones de voladura que considera las propiedades de las rocas, las características mecánico estructurales del macizo, las propiedades de las sustancias explosivas y la acción de la explosión de éstas sobre el macizo, que permite reducir la salida de pedazos grandes, pero no considera la acción de las cargas compactas en la cercanía inmediata de estas y la salida de fracciones finas. Por otro lado Joe (2007) hace un estudio para determinar la influencia de la construcción de las cargas de sustancias explosivas sobre el estado tensional del macizo y los parámetros de la explosión



en las canteras de áridos para controlar la salida de pedazos sobre medidos y de finos.

Conclusiones

Existen estudios a nivel internacional relacionados con la excavabilidad y los factores a tener en cuenta para el arranque de las rocas en la minería subterránea y en menor grado en la minería a cielo abierto y obras civiles. En Cuba existe la necesidad de establecer estudios del macizo que permitan seleccionar el método más racional de arranque de las rocas para la explotación satisfactoria de la cantera de áridos.



CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICA - GEOLOGICAS GENERALES DE LA REGION DE ESTUDIO.

II.1. Características geográficas de la región

El yacimiento “Yarayabo” se encuentra ubicado en la Sub-región Llanura del Cauto en el municipio Palma Soriano, provincia Santiago de Cuba. La zona del mismo está comprendida en el mapa topográfico de escala 1:50,000 del I.C.G.C Hoja Santiago de Cuba 5076 III - IV.

Las coordenadas en el sistema Lambert del yacimiento son:

X = 588 981

Y = 166 753

Tabla 2.1.1. Coordenadas de la concesión minera.

Puntos	Norte	Este
1	588700	166100
2	588700	166700
3	589700	166700
4	589700	166500
5	589100	166100
6	588701	166100

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.



Relieve

El yacimiento presenta un relieve formado por colinas de gradientes suaves que alcanzan alturas entre 200 y 300 m; localizándose las alturas máximas hacia la parte sur y disminuyendo gradualmente en la parte norte. El nivel freático en el yacimiento está asociado al contacto entre las calizas y aglomerados volcánicos, con un acuífero que presenta poco caudal las áreas montañosas en las que está enclavada el yacimiento pertenecen al mayor grupo montañoso de Cuba.

Yarayabo se clasifica como un yacimiento de pendientes suaves, en rasgos generales (según E. Nagy et al., (1976)) el esquema estratigráfico de la región se presenta de la manera siguiente (ver figura 2).

II.2. Características geológicas de la región

La región está ubicada entre las siguientes formaciones estratigráficas:

1. Formación Puerto Boniato
2. Grupo el Cobre
3. Formación San Luis

Fm. Puerto Boniato: Alternancia de calizas organodetríticasaporcelanadas, algáceas y margas, con intercalaciones de sílice negro- parduzco.

Gr. El Cobre: Constituida por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno- sedimentarias en distintas correlaciones y combinaciones alternantes, muy variables, tanto en sentido vertical como lateral. Las transiciones entre ellas a veces son bruscas y otras graduales y en muchos casos es prácticamente imposible establecer delimitaciones entre ellas. Las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidacítica y dacítica, raramente riolítica, riodacítica y basáltica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno- sedimentario cuerpos hipabisales y diques de diversa composición. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas.



Fm. San Luis: Representada por areniscas polimícticas, aleurolitas, margas, arcillas calizas arcillosas, organodetríticas, arenosas y conglomerados polimícticos. Se encuentra bien estratificada. Hacia arriba en el corte se observa un aumento de la cantidad del material clástico. Se encuentra cortada por diques y cuerpos de basalto. Sus depósitos aparecen ligeramente plegados. Predominan las areniscas de color gris, gris parduzco y pardo (intemperizadas), las calizas aparecen en distintos niveles. Son laminares, margosas de color blanco y se hallan por lo general en la parte basal de la formación. Edad Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior y su ambiente de sedimentación ocurrió en aguas profundas, finalizando la sedimentación de los depósitos en aguas de mediana a poca profundidad.

La región se caracteriza por una secuencia regresiva de sedimentos del Cretácico Superior hasta Cuaternario pasando por el Eoceno Medio -Superior, Oligoceno Inferior - Medio y Cuaternario. (Fm. Cobre) ocupa la parte sur de la región y aflora hacia el centro este, por encima y discordantemente yacen las calizas del Eoceno medio (Fm. PB₀) ocupando una franja que se sumerge debajo de las margas calizas y areniscas del Fm. San Luis que ocupa la parte central de la región con dirección NO-SE y el Oligoceno que ocupa el extremo noroeste, con areniscas de grano fino a medio con lentes de conglomerados y estratificación cruzada. Ocupando esta misma posición estratigráfica se encuentra la Fm. Camarones compuesta fundamentalmente por conglomerados con clastos redondeados y subredondeados a los que se asocia una arenisca de grano grueso, y los clastos de los conglomerados lo conforman fragmentos de lavas, rocas piroclásticas de grano fino, muchas veces silicificadas y de diferentes tipos de calizas, todas similares en textura y composición a las rocas de la formación Charco Redondo y Puerto Boniato, predominando los clastos de las rocas vulcanógenas y piroclásticas.

II.3. Características geológicas del yacimiento

En el yacimiento de calizas Yarayabo, donde se ubica la cantera de igual nombre (ver anexo Figura 1), aparecen formaciones vulcanógenas de edad Eoceno Medio, representadas por las Fm. Puerto Boniato, El Cobre y San Luis del complejo de

cuencas superpuestas del arco volcánico Paleógeno, sobre las cuales yacen calizas fragmentarias órgano-detríticas y calizas pelito mórficas abundantes en SiO_3 en forma de nódulos, con intercalaciones de sílice negro-parduzco.

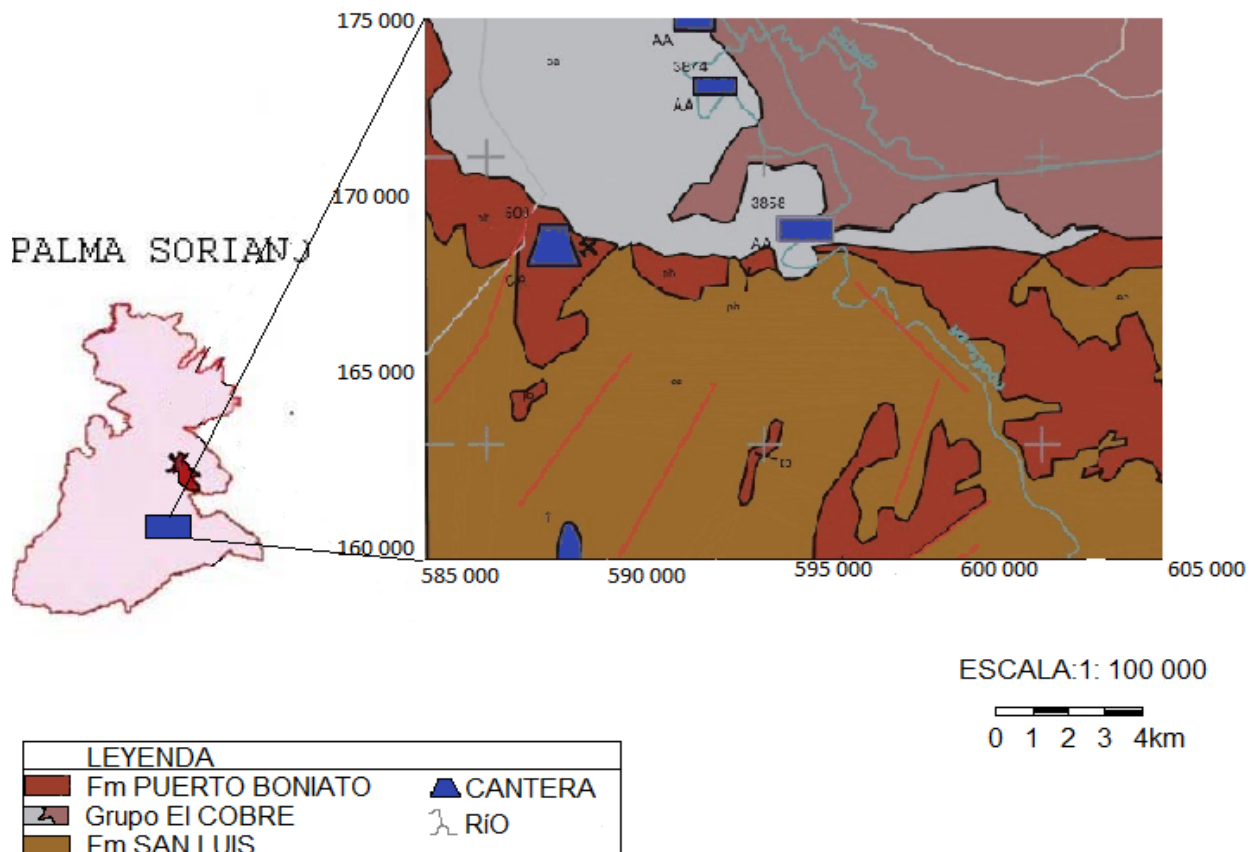


Figura 2.3.1: Ubicación geográfica y geológica del área.

Las calizas que componen el yacimiento están divididas en dos tipos litológicos fundamentales:

1. Calizas silíceas
2. Calizas fragmentarias.

Las calizas silíceas y las calizas fragmentarias, ambas presentan abundancia de microfósiles. Las primeras se presentan de color crema o gris, sin predominar ningún color sobre otro, es típico en la textura la presencia de sílice amorfa (pedernal) en forma de nódulos de variados tamaños. Se presenta en estratos o capas generalmente de 0.5 a 1m de espesor y aunque ese rango predomina, se



destaca además su presencia en capas de hasta 5m. Pueden encontrarse grietas de carácter subvertical generalmente cerradas y rellenas con mineralización, diseminada en dendritas y óxidos ferrosos, los rellenos se encuentran ocupados con material terrígeno, predominando el de composición vulcanógena sedimentaria sobre el carbonatado, son muy compactas y duras en su gran mayoría pelito mórfica.

En otro orden la caliza fragmentaria es de color gris a crema, y su apariencia es compacta y dura, presentándose en capas estratificadas de diferentes espesores. El término de (caliza fragmentaria) se utiliza para la roca calcárea que en su estructura presenta fragmentos pequeños (menores de 5 mm) de otras rocas, y el % de fragmentos es menor en la composición de la roca.

Las rocas encajante del yacimiento están compuestas por tobas litoclásticas de grano medio generalmente de colores verde grisáceo a verde y aglomerado de grano medio a grueso. Estas rocas constituyen intercalaciones de 50 cm. hasta 4 m. Otro tipo de intercalaciones presentes son las areniscas de origen tobáceo de grano medio a fino, de colores gris amarillado hasta verdosas, bastante deleznales.

El yacimiento posee la típica textura granular por la presencia de abundantes fragmentos de rocas piroclásticas de pequeño y mediano tamaño, la matriz es generalmente calcárea conformada por micro cristales y cristales pequeños formados en el proceso de diagénesis de la roca. Estos cristales se encuentran rodeando los fragmentos de rocas anteriormente descritos, las rocas piroclásticas de composición andesítica son basáltica de colores oscuros.

Se presenta en superficie y profundidad, como un macizo muy homogéneo, con una potencia variable de 10,95 a 109,85 m, encontrándose las mayores potencias en el centro del mismo y las menores hacia los laterales, con buzamiento de 10-12° en dirección suroeste y condiciones hidrogeológicas favorables. El nivel de las aguas subterráneas se encuentra entre las grietas de las rocas, condicionado a la experiencia de la explotación anterior y por debajo del límite inferior de las reservas calculadas (35 479.726 m³).



Tectónica

En el yacimiento existen elementos estructurales poco desarrollados y frecuentes, limitándose a representar un pliegue anticlinal post sedimentario ; al SE, este pliegue es un fenómeno local con rumbo norte sur y una amplitud de 20 m, generalmente las capas buzcan hacia el NO con ángulos variables semejante a un flanco de un anticlinal de carácter regional, existiendo grietas de disimiles magnitudes cuyo rumbo está claramente definido al igual que su buzamiento y se encuentran en ocasiones rellenas fundamentalmente de un material tobáceo.

El yacimiento está separado por una zona en la cual existe gran acumulación de materia arcillosa con fragmentos de roca y que constituye un límite natural dividiendo el macizo en dos zonas. La complejidad del yacimiento está dada por su estructura geológica y por la gran cantidad de intercalaciones y de rellenos inter estratos de material terrógeno tobáceo.



CAPÍTULO III: ELECCION DEL MÉTODO DE ARRANQUE DE LAS ROCAS: CASO DE ESTUDIO YACIMIENTO YARAYABO

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 (2012) 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.

III.1. Análisis estructural del macizo rocoso

El Yacimiento fue subdividido en tres zonas. Como se muestra en la (Plano del Yacimiento Yarayabo). (Ver Figura.1. Anexo:1) lo cual permitió una mejor identificación de las mismas.

Tabla 3.1. 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



De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas, se pueden observar en las figuras (3.1 y 3.2) que muestran los diagramas de contorno y roseta.

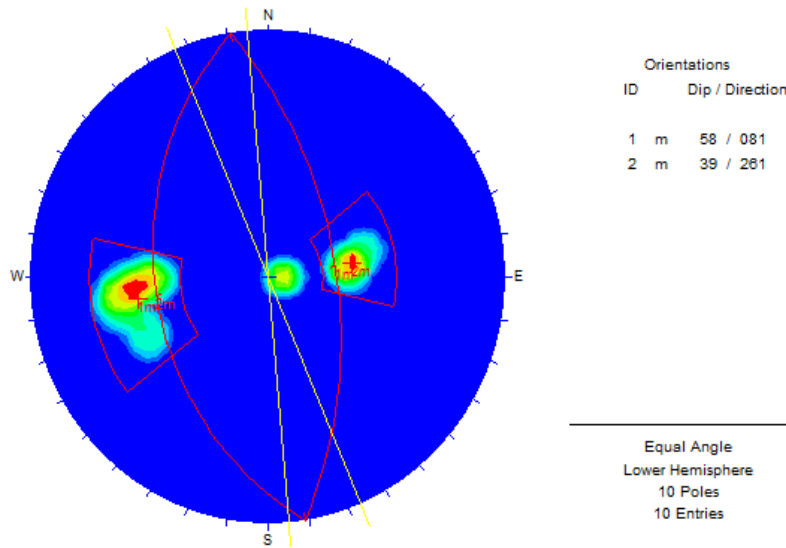


Figura 3.1. Diagrama de contorno y planos de agrietamiento de la Zona I del Yacimiento Yarayabo

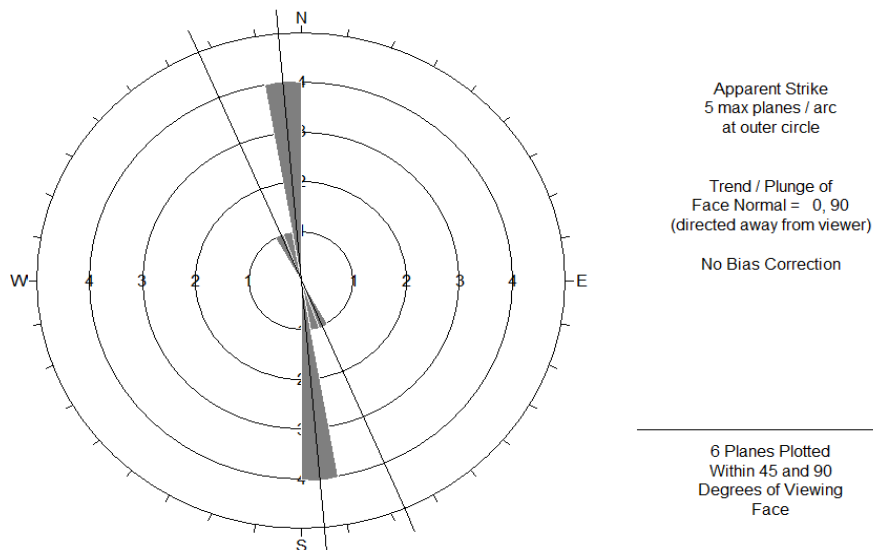


Figura 3.2. Diagrama de rosetas del agrietamiento en la Zona I del yacimiento Yarayabo.



Tabla 3.2. 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 3.1 y 3.2). Las direcciones que predominan son Familia 1: 58/081 y Familia 2: 39/261; la familia 1 tiene un buzamiento alto ya que es superior que 45 grados, con una dirección de buzamiento predominando hacia el NE-E. Por otra parte 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 3.3. Caracterización del agrietamiento del el 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 pueden observar en las figuras (3.3 y 3.4) que muestran los diagramas de contorno y roseta.

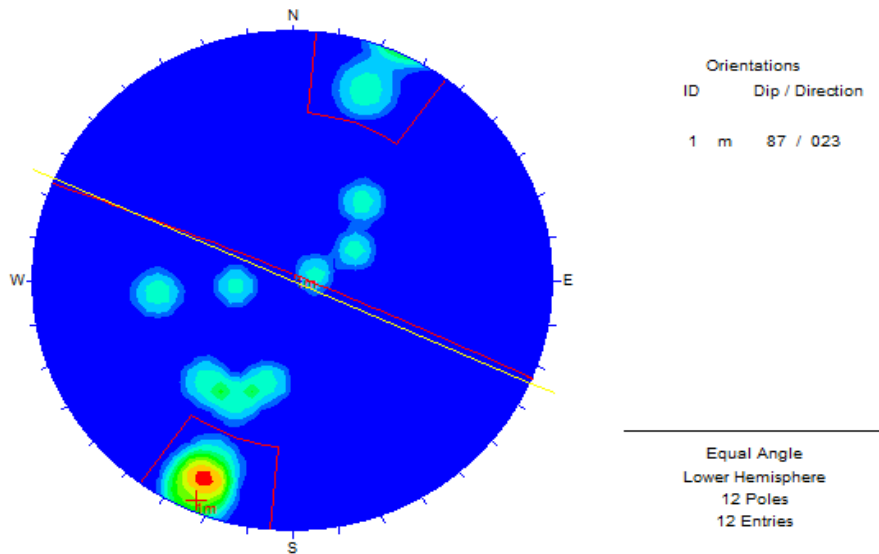


Figura 3.3. Diagrama de contorno y planos de agrietamiento de la Zona II del Yacimiento Yarayabo

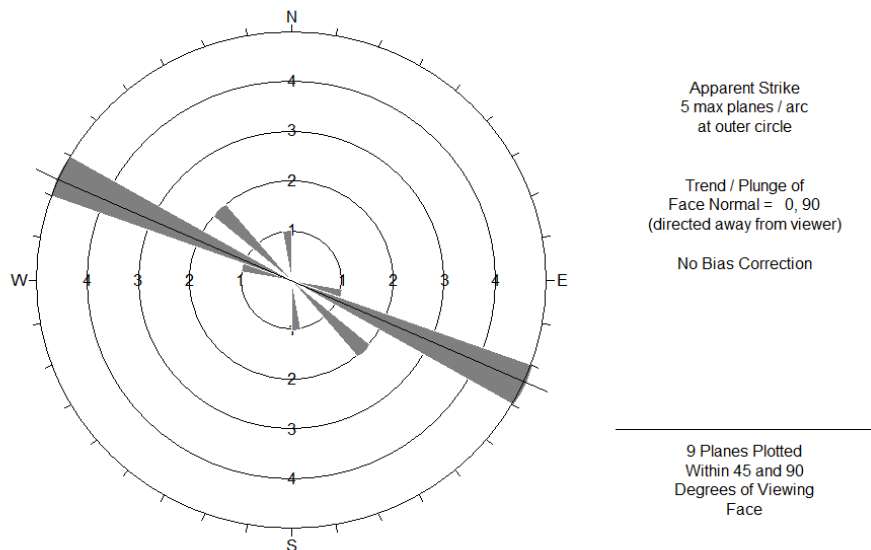


Figura 3.4. Diagrama de rosetas del agrietamiento en la Zona II del yacimiento Yarayabo.



Tabla. 3.4. 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 3.3 y 3.4). 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. 3.5. Caracterización del agrietamiento del el 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 en las (figuras 3.5 y 3.6) que muestran los diagramas de contorno y roseta

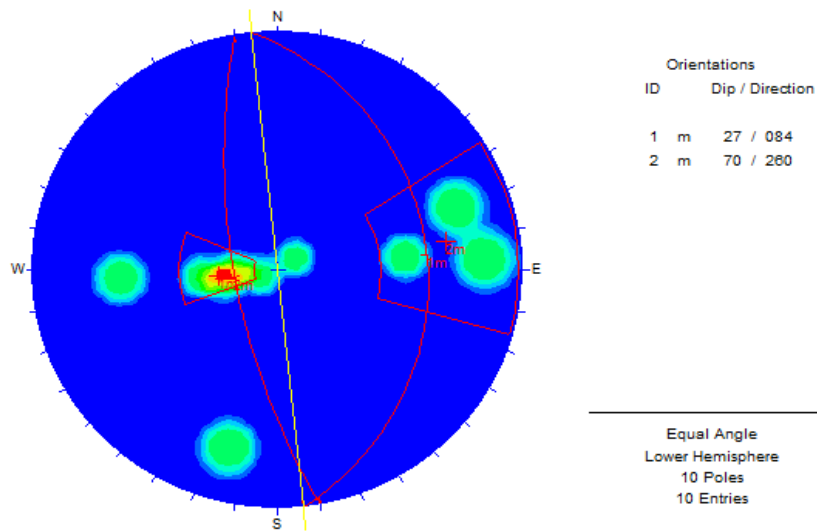


Figura 3.5. Diagrama de contorno y planos de agrietamiento de la Zona III del Yacimiento Yarayabo

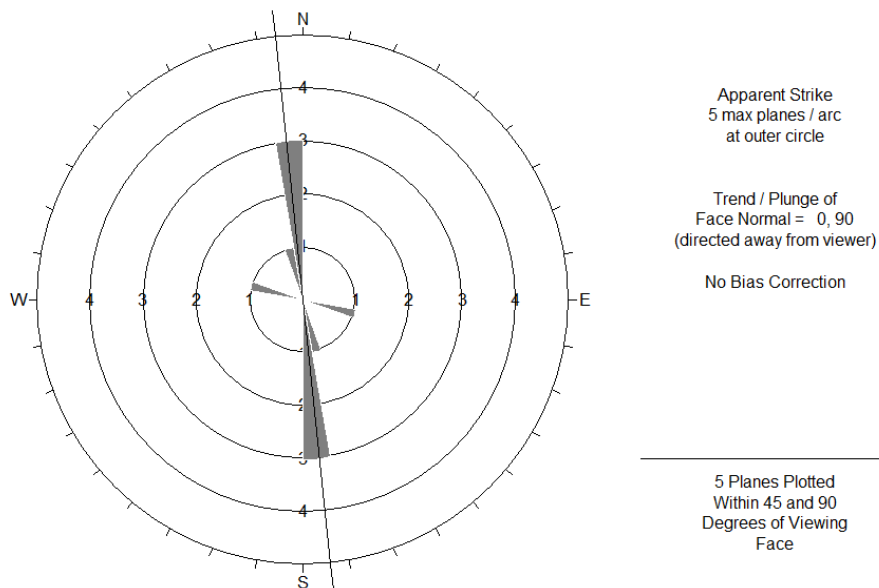


Figura 3.6. Diagrama de rosetas del agrietamiento en la Zona III del yacimiento Yarayabo.



Tabla 3.6. 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 3.5 y 3.6). La 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.

III.2. Determinación de las propiedades mecánicas de las rocas

La tabla que se muestra a continuación representa las propiedades físico-mecánicas de las muestras tomadas en cada pozo.

Observación: Los valores de las propiedades físicas que se relacionan en la tabla 3.7, fueron tomados del proyecto de explotación del yacimiento.

Tabla 3.7. 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 3.8. Promedio de resistencia a la compresión (RC) por y espaciamiento entre grietas por Zonas.

Zona	Promedio RC. por Zonas	Espaciamiento/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, la zona 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. Basándonos en la Tabla 1. Bieniawski (1979), Ver anexo (2).

III.3. Análisis de los índices geomecánicos (RQD, RMR)



Zona I

$$RQD=115-3.3 \times J_v$$

Donde:

J_v : Promedio de grietas en $1m^2$. Cuando este valor no excede 4.5 es decir $J_v < 4.5$ entonces

La clasificación del RQD es Muy buena.

$$RQD=115-3.3 \times 0.66$$

$$RQD > 90$$

Cálculo del RMR:

Para el cálculo del RMR se tuvo en cuenta los parámetros descritos en la Tabla 2. Bieniawski (1979). Anexo (3)

RMR:

Se describen 5 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 obtenemos que:

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

$$RMR=76$$

Zona II

$$RQD= J_v = 0.5$$

$$RMR= 84$$

Zona III

$$RQD= J_v = 0.58$$



RMR= 80

Clasificación RMR de Bieniawski (1979).

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, como se muestra en la Tabla 3. Bieniawski (1979). Este comportamiento se debe tanto a la variabilidad espacial de la resistencia como a la intensidad del agrietamiento. Anexo (4).

Clasificación RQD Deere et al (1963).

Como se muestra en la tabla 4. Los resultados obtenidos en las tres zonas corresponden a la valoración de rango > 90 (Deere et al 1963) en la que se clasifica estas rocas como Muy Buenas. Anexo 5.

Tabla 3.9. 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.

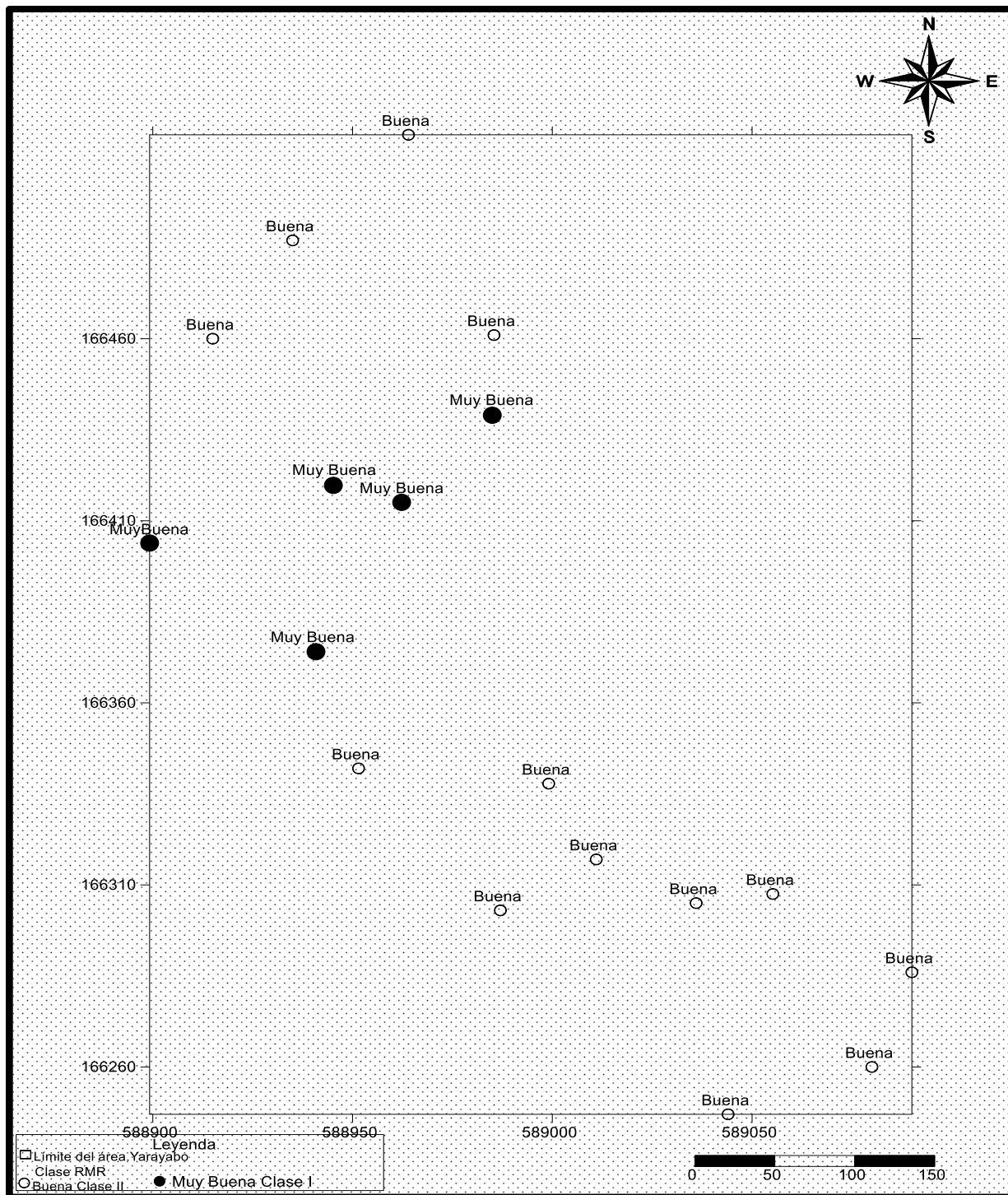


Figura 3.7. Clasificación de la roca según RMR.

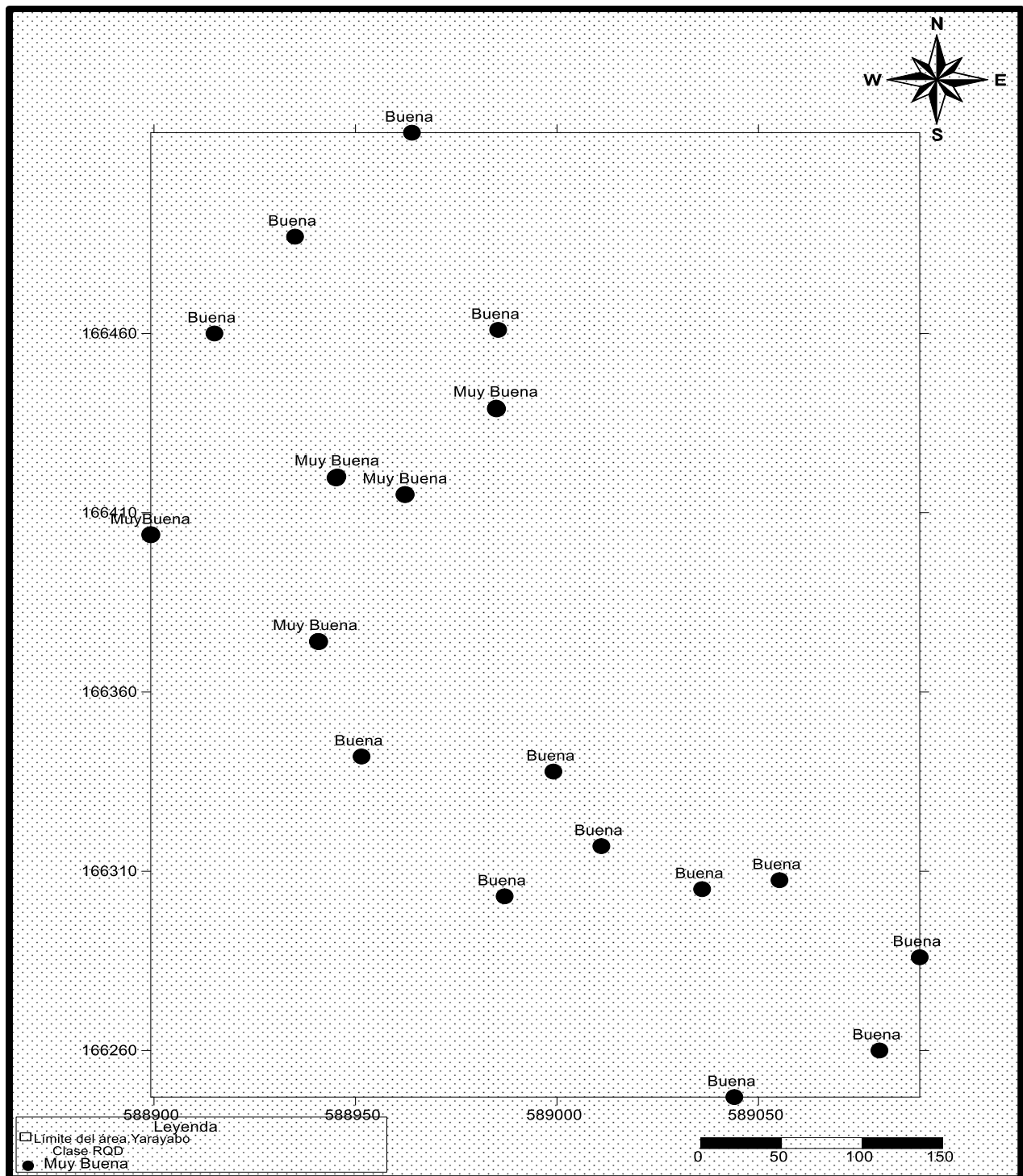


Figura 3.8. Clasificación de la roca según RQD.



III.4. 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 los que se muestran en la (Figura 3.9) y se describen a continuación:

Dominio I:

Ubicación: Sur del yacimiento.

Área: $24\,952,5\,m^2$

Propiedades de las rocas: La resistencia a la compresión en esta área esta entre 23.3 y 53.25 MPa, peso volumétrico está entre 2.59 y $2.66\,g/cm^3$ y la absorción varía de 1.0 a 2.0

Dominio II:

Ubicación: Centro del yacimiento.

Área: $24\,969,2\,m^2$

Propiedades de las rocas: La resistencia a la compresión en esta área esta entre 49.86 y 88 MPa, peso volumétrico está entre 2.46 y $2,76\,g/cm^3$ y la absorción varía de 1,34 a 2.92

Dominio III:

Ubicación: Norte del yacimiento.

Área: $8\,381.21\,m^2$

Propiedades de las rocas: La resistencia a la compresión en esta área esta entre 28.7 y 32 MPa, peso volumétrico está entre 2.16 y $2.61\,g/cm^3$ y la absorción varía de 1.87 a 2.0



La siguiente figura representa la división del yacimiento por dominios geomecánicos.

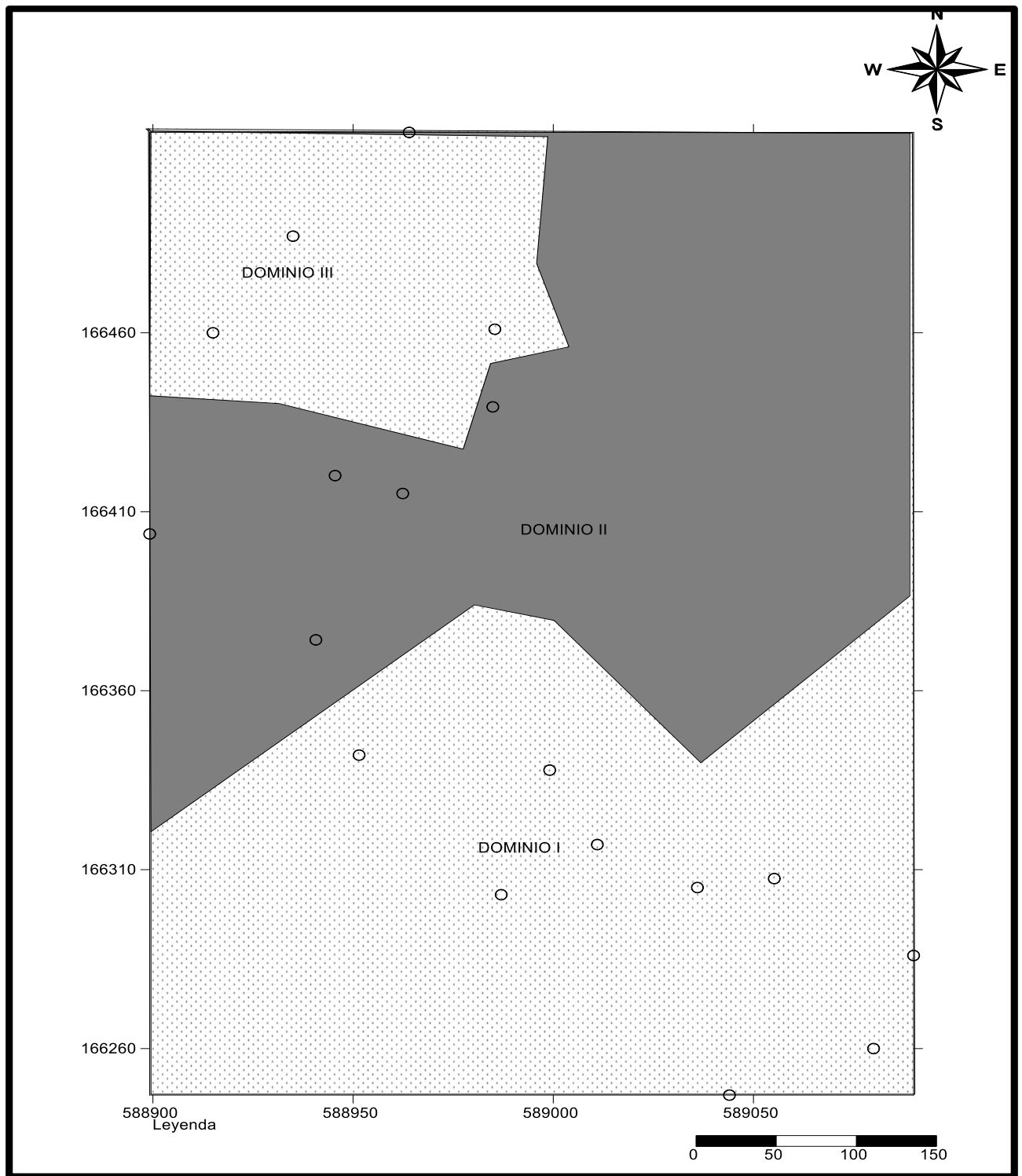


Figura 3.9. Dominios Geomecánicos para el yacimiento Yarayabo.



III.5. 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. En la Figura (3.6.1) se muestra el gráfico de excavabilidad del yacimiento “Yarayabo”, en el que 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 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:

- I. En la división del yacimiento que pertenece al Dominio I con una clasificación de las rocas de moderadamente duras, ya que cuenta con un valor promedio de resistencia a la compresión de 39,2 MPa y 1.5 m de espaciamiento entre las grietas se obtiene: Método de Escarificación Extremadamente Dura.
- II. Dominio II, con un promedio de resistencias de las rocas 68.64 MPa y espaciamiento entre grietas de 2.0 m: Método de Perforación y Voladura;
- III. Dominio III, con un promedio de resistencias de 39.4 MPa y espaciamiento entre grietas de 1.7 m: Método de Perforación y Voladura;

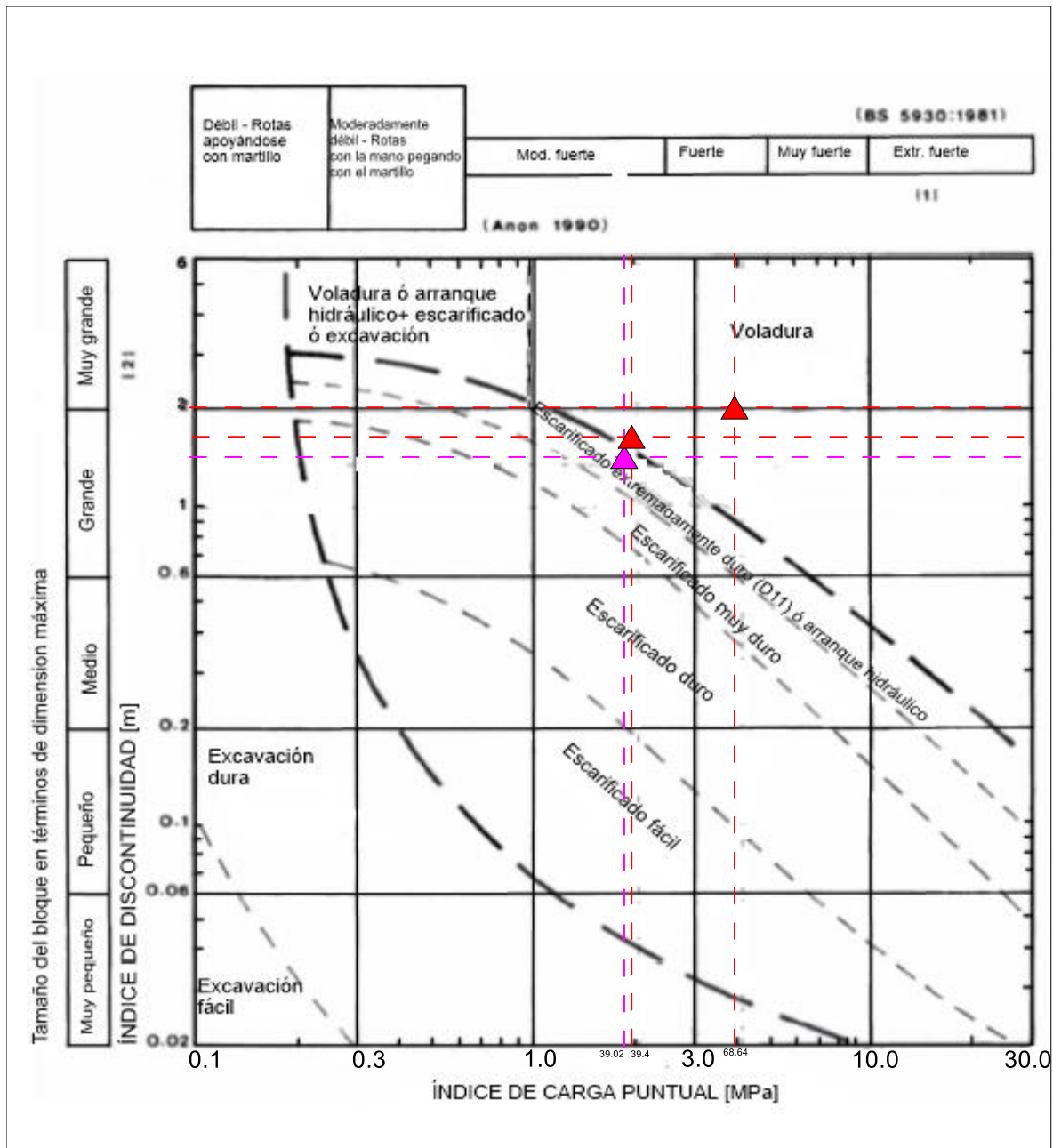


Figura 3.10. Gráfico de excavabilidad de la roca (Karpuz, 1990)

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.

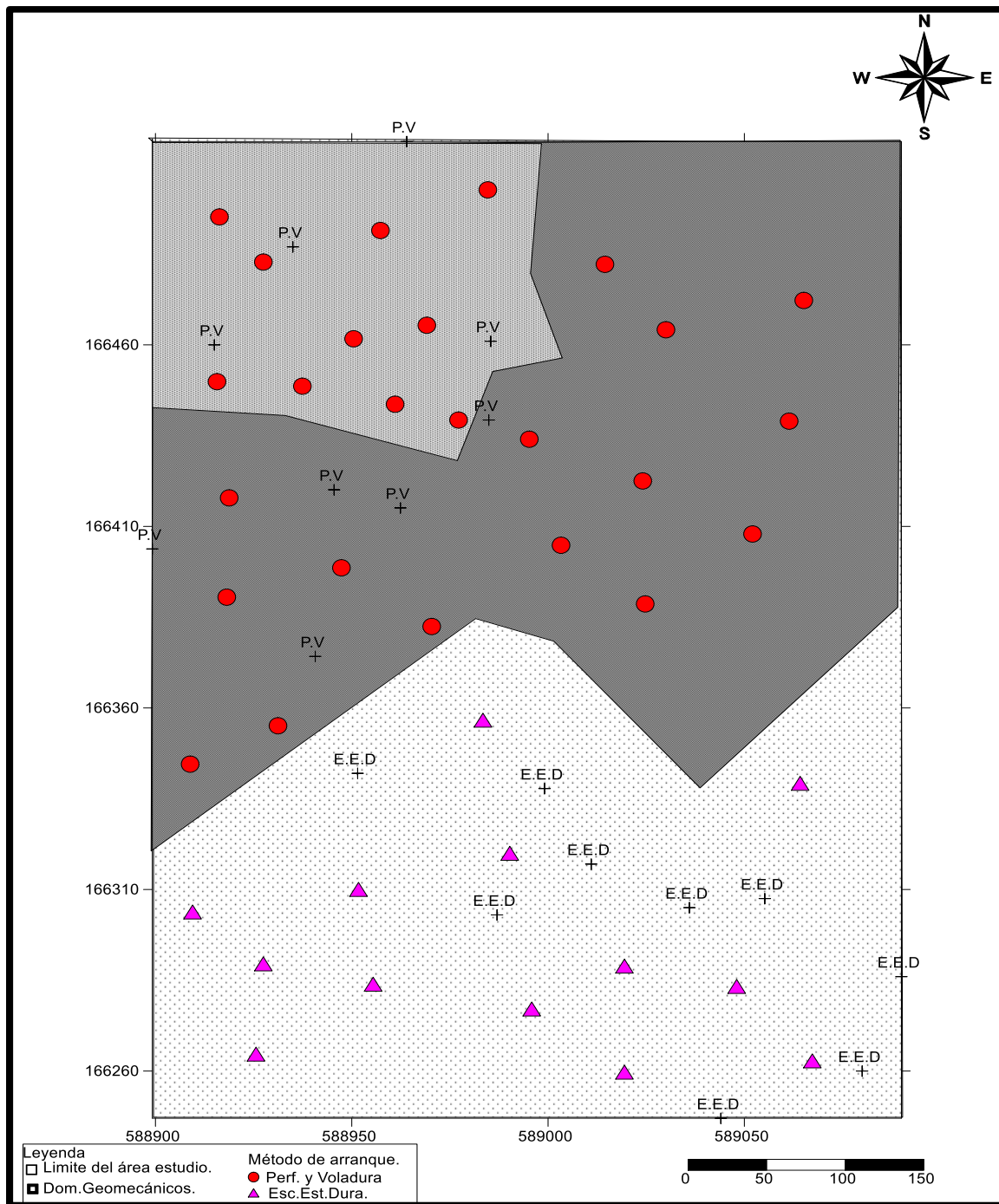


Figura 3.11. Excavabilidad de la Roca a partir de los Dominios Geomecánicos.



III.6. Análisis Económico

El precio de la perforación y voladura está en el rango de 2.60 pesos/m³ en comparación con el precio de la fragmentación de rocas sobre dimensionadas con valor de 3.22 pesos/m³. El método que se utiliza actualmente en la cantera es arranque con perforación y voladura. En este sentido de los resultados obtenidos en este trabajo y descritos anteriormente para cada zona, se conoce que el yacimiento tiene un sector que puede ser laboreado de forma mecánica; pero teniendo en cuenta que actualmente en la cantera no se cuenta con el equipamiento necesario que permita la realización de estas labores con efectividad se llegó a la conclusión de utilizar perforación y voladura en todo el yacimiento, y en aquel sector en el que se requiere el arranque mecánico y apoyados en los resultados obtenidos en los diagramas de contorno en los que se muestran las direcciones de buzamiento de las capas de deslizamiento se propone se ajuste el pasaporte de perforación de manera tal que se obtenga la granulometría deseada.

Las tablas que se muestran a continuación resaltan los gastos en los que incurre actualmente la cantera por concepto de gastos en explosivos.

Tabla 3.10. Gastos anuales por conceptos de Explosivos.

Elemento de costo	Gastos Totales (\$)
Gasto de Explosivos	27 623.00

Tabla 3.11. Gastos anuales por conceptos de Explosivos.

Elemento de costo	Gastos Totales (m)	Valor (\$)
Perforación Prim.	4430	17 941.50
Perforación Secun.	7800	5 939.70
Total	-	23 881.20



Tomando en cuenta lo que se expone en las tablas anteriores. Cuando se realice el ajuste del pasaporte de voladura en la zona especificada, el gasto por concepto de explosivos disminuirá. Por causa del aumento de la red de perforación y disminución de la cantidad de explosivo.



CONCLUSIONES

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



RECOMENDACIONES

Se propone se realice un estudio más detallado de la geología del yacimiento para tener una valoración más acertada de la estructura del macizo en el yacimiento Yarayabo.



BIBLIOGRAFÍA:

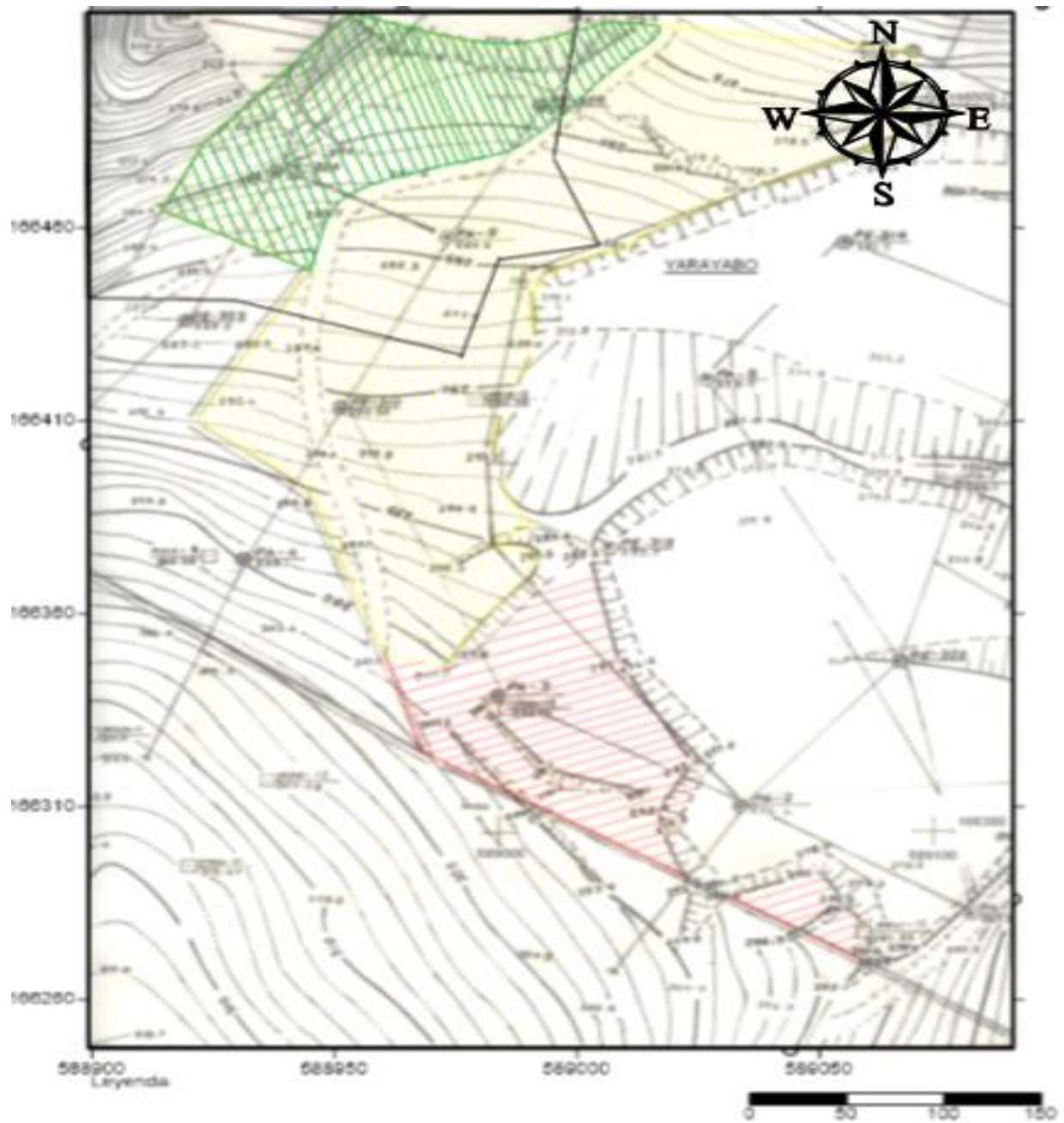
1. Aduvire & López Jimeno (1992). Arranque y Ripado de macizos rocosos.
2. Barton (1972). A model study or rock Joint deformation. International Journal of rock Mechanic Geomechanics Abstracts. Vol. 9, No. 5, Septiembre. 1972.
3. Basarir & Karpuz (2004) A Rippability Classification System for Marls in Lignite mines. Journal of Engineering Geology, (Vol. 74) Issues 3 - 4: 303 -318.
4. Bieniawski, (1976). Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for Rock Engineering, Proc. of the Symp., (Edited by Bieniawski Z.T.) 1, 97 - 106. Cape Town, Balkema.
5. Cardentey (2001). Estado “del arte” en las producciones de áridos en Cuba y propuesta del método para implantar sistemas de calidad en estos procesos. Primeras Jornadas Iberoamericanas sobre “Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción”. Programa CYTED. Madrid.
6. Fernández (2009). Yacimiento El Cacao, primer eslabón de la cadena constructiva en Granma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Tesina del diplomado Explotación de yacimientos de materiales de construcción] 50 p.
7. Joe Seidu A. (2007). Influencia de la construcción de cargas de sustancias explosivas sobre el estado tensional del macizo y los parámetros de la explosión en las canteras de áridos. Tesis Doctoral. ISMMM.
8. Karpuz (1990). A Classification System for Excavation of Surface Coal Measures, Mining Science and Technology, No. 11, pp. 157 - 163
9. Kirsten (1982). A Classification System for Excavation in Natural Materials. The Civil Engineer in South Africa, 24, 293 - 308.
10. Lily PA (1986). An Empirical Method of Assessing Rock Mass Blastability, In: Davidson (Ed). Large Open Pit Mining Conference, Ausimm, Victoria, pp. 89-92.
11. López Jimeno, E. *et al.* : Manual de perforación y voladuras de rocas. Instituto Tecnológico Geominero de España. Serie: tecnología y seguridad minera, Madrid, 1994.



12. López Jimeno, E. *et al.* : Manual de perforación y voladuras de rocas. Instituto Tecnológico Geominero de España. Serie: tecnología y seguridad minera, Madrid, 2000.
13. 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.
14. Neves (2002). Caracterización geomecánica del macizo en el yacimiento la Inagua. Tesis de Maestría. ISMMM.
15. Ovejero (1987). Laboreo de Cantera y Graveras de Áridos: arranque directo y carga. España.



ANEXOS



Anexo: 1.Figura.1 Plano del Yacimiento Yarayabo.



Anexo: 2.Tabla 1 .Clasificación en base a 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

Anexo: 3.Tabla 2. Clasificación de los parámetros y sus valores. Bieniawski (1979)

N ^o	Parámetros.		Rango de valores.						
1	Resistencia de la roca matriz.	Ensayo de carga puntual	>10MPa	4 - 10 MPa	2 -4 MPa	1-2 MPa	compresión simple (MPa)		
		C. Simple	>250MPa	100-250MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 5MPa
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD.		>90 %	75 a 90 %	50 a 75 %	25 a 50 %	< 25 %		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento entre grietas.		> 2m	0,6 - 2 m	0,2 a 0,6m	0,06 a 0,2m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las diaclasas.		Muy rugosas discontinuas, sin separaciones, bordes duros.	Ligeramente rugosa. Abertura < 1mm. bordes duros	Ligeramente rugosa, Abertura < 1mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno <5mm o abiertas 1 -5 mm. Diaclasa continua	Relleno blando >5mm, aberturas >5mm. diaclasa continua		
	Valoración		25	25	20	10	0		
5	Agua freática	Caudal de agua.	Nulo	< 10 l/min.	10 - 25 l/min	25 - 125 l/min	>125 l/min		
		Relación: entre presión de agua tensión principal mayor	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		12	10	7	4	0		



Anexo: 4. Tabla 3. 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



Anexo: 5. Tabla 4. En función del R.Q.D se establece la clasificación de las rocas. (Deere et al 1963).

RQD	TIPO DE ROCA
> 90	Muy buena
75 – 90	Buena
50 – 75	Media
25 – 50	Mala
0 – 25	Muy mala