

## Explotación minera en el Sector III del yacimiento Los Guaos

**Annelis Leyva Quiala**

[aqleyva@minas.ismm.edu.cu](mailto:aqleyva@minas.ismm.edu.cu)

Especialidad: Ingeniería en Minas

Universidad de Moa (Cuba).

**Resumen:** Se diseñó el sistema de explotación del yacimiento Los Guaos: Sector III, que constituye la fuente principal para la producción de áridos de la Empresa de Materiales de la Construcción de Santiago de Cuba. La metodología utilizada parte de un estudio detallado del yacimiento, teniendo en cuenta las características hidrogeológicas, la tectónica y propiedades físico-mecánicas del mineral, así como las reservas con las que cuenta el yacimiento. Se realizó la selección y fundamentación del método de explotación utilizado, el cálculo de la productividad del equipamiento existente en la empresa, así como de los parámetros de explotación. Se establece como método el sistema de explotación con profundización longitudinal con dos bordes.

**Palabras clave:** explotación minera; porfirita; materiales de la construcción.

## Mining exploitation in Sector III from Los Guaos deposit

**Abstract:** The exploitation system, Sector III of Los Guaos deposit which is the main source for aggregate production of the Construction Materials Company of Santiago de Cuba was designed. The methodology used on it is based on a detailed study of such deposit, taking into account the physics-mechanical properties, hydrogeological, and tectonics characteristics of the ore, as well as the deposit reserves. The selection and foundation of the exploitation method used, the calculation of the productivity of the existing equipment in the company, as well as the operating parameters were also considered.

**Keywords:** Mining; porphyrite; construction materials.

## Introducción

El yacimiento de porfirita Los Guaos es una explotación minera a cielo abierto, se encuentra ubicado 5 km al oeste de la ciudad de Santiago de Cuba. El área está en explotación desde enero de 1978 hasta la actualidad, cuyas plantas constituyen las principales abastecedoras de áridos en la provincia de Santiago de Cuba (Parra, 2004).

El área del yacimiento forma parte del flanco del anticlinorium Sierra Maestra el cual se extiende a lo largo de 200 km con dirección sub-latitudinal con cierta desviación hacia el suroeste. En la región afloran las rocas de la formación "El Cobre", la que se encuentra dividida en tres miembros: Miembro Caney, Miembro Hongolosongo y Miembro Yarayabo (Montes de Oca, 2012).

El yacimiento está formado por un cuerpo sub-volcánico de composición media a ácida, representado por porfirita andesítica-dacítica y dacítica, con forma alargada con dirección NE-SW. Las edades de estas rocas se ubican entre Paleoceno-Eoceno Medio parte baja. El material que se extrae en la cantera es la porfirita, que es de color gris-verdosa, compacta, maciza en muchas partes con visible agrietamiento natural (Montes de Oca & Ulloa, 2013).

La roca porfirita que se extrae del yacimiento Los Guaos constituye la fuente principal para la producción de áridos de la Empresa de Materiales de la Construcción de Santiago de Cuba, donde se produce: macadam, piedra de hormigón, gravilla, granito, polvo y arena; estos áridos representan el 80 % de la producción de la provincia.

La cantera Los Guaos lleva 35 años activa. Sus plantas constituyen las principales abastecedoras de áridos en la provincia de Santiago de Cuba (Montero, Otaño & Guerrero, 2016). Está dividida en tres sectores: Guaos I, Guaos II y Guaos III. Debido a la explotación continua y la falta de preparación minera las reservas listas de los sectores Guaos I y Guaos II están en total agotamiento, lo que trae consigo la disminución de los niveles de producción de áridos en la provincia, así como la entrega de rajón para la obra de ampliación del puerto de Santiago de Cuba. Se hace necesario entonces el diseño de la explotación minera del yacimiento Los Guaos: Sector III, para lograr la producción de áridos para materiales de la construcción en el quinquenio 2018-2023.

### **Diseño del sistema de explotación del yacimiento Los Guaos: Sector III**

El Sector Guaos III se encuentra explorado por redes de perforación 3x3 m, las cuales se han empleado para el estudio de sus reservas y características geológicas.

Presenta un relieve montañoso, posee las cotas más altas con valores de 231 m sobre el nivel del mar y las cotas mínimas son de 50 m, con poca complejidad para su explotación desde el punto de vista estructural; la potencia promedio del mineral es de 10 m. Las condiciones minero-técnicas del yacimiento son favorables para el laboreo de esta zona, el drenaje debe realizarse de forma natural.

Dadas las características y condiciones que se presentan en el yacimiento objeto de estudio se determina que el método utilizado es a cielo abierto.

Según el orden de los trabajos en profundidad se emplea el sistema con frente de arranque. Los principales elementos del sistema de explotación son: escalones de trabajo, trincheras de apertura, plazoletas de trabajo, zanjas de preparación, escombrera, etc. Los parámetros de cada uno de estos elementos son tratados en acápite incluidos en el proyecto y dependen del tipo de equipamiento y, a su vez, influyen en la efectividad del trabajo de estos.

El método de explotación debe satisfacer las características del yacimiento y orientarse bajo los criterios geomecánicos del macizo, seleccionando el método que garantice la explotación segura, racional y económicamente rentable para el proyecto.

En el yacimiento se aplica el método a cielo abierto por lo que no difiere al que se debe utilizar en el sector que se evalúa, siendo aplicado el sistema por frente de arranque. Se considera, además, la potencia del mineral y las características del equipamiento disponible así como la pendiente del terreno y el desplazamiento de los frentes de trabajo.

El traslado de la roca se realiza a escombreras interiores, que se construyeron en espacios minados. Para cargar el material se efectúa una previa fragmentación con explosivos, tanto en el material de destape como el que se procesa y se traslada con la ayuda del transporte automotor; la carga de las rocas se hace a nivel.

La geología del yacimiento expone las condiciones de yacencia del cuerpo mineral y describe las características que condicionan la explotación por el método a cielo abierto.

### **Parámetros fundamentales del sistema de explotación**

Los elementos principales de la explotación se determinaron de acuerdo a las normas de proyección tecnológicas y a las reglas de seguridad durante la explotación de los yacimientos de mineral útil a cielo abierto.

Altura del escalón de extracción: la altura del escalón se elige teniendo en cuenta las propiedades físico-mecánicas de las rocas, las condiciones de apertura de los horizontes de trabajo, los parámetros funcionales de los equipos de carga y de las reglas de seguridad. La altura considerada para los escalones es de 10 m de altura.

Ángulo de talud: el ángulo del talud de los escalones de trabajo se determina a partir del carácter de la estratificación y el grado de agrietamiento. Atendiendo a las normas de proyección tecnológicas, las porfiritas que conforman el yacimiento tienen un ángulo de talud de trabajo de 70°.

Ancho de la plazoleta de trabajo (B):

$$B=b+v+s+X+A= 21,92 \approx 22\text{m}$$

Donde:

b: berma de seguridad entre el borde del talud y la vía

v: ancho de la vía

X: difusión de las rocas explosionadas

A: ancho de la banda explosionada

s: distancia de seguridad entre montón de rocas explosionadas y la vía de transporte.

Difusión de las rocas explosionadas (X)

$$X = 2 \left[ K_e \cdot \frac{H}{h} - 1 \right] A = 8,22$$

Donde:

$K_e$ : coeficiente de esponjamiento (1,5)

H: altura del escalón.

Altura máxima del montón de rocas explosionadas ( $h$ )

$$h = (0,8-0,9) H = 8\text{m}$$

El ancho de la trinchera de corte está en correspondencia con el ancho normal de la plazoleta de trabajo. Para este sector la trinchera de corte tiene un ancho de 22 m.

### **Fundamentación del sistema de laboreo y sus características generales**

El sistema de laboreo es el orden establecido para realizar los trabajos preparatorios, de destape y de arranque, de manera que aseguren una extracción segura, económica, y lo más completa posible de las reservas, teniendo en cuenta las medidas de protección del medio ambiente.

El sistema de laboreo es con transporte automotor rígido, por bancos de 10 m hasta el nivel +180 m, se utilizan retroexcavadoras de 3,5 m<sup>3</sup> para la carga hasta los camiones de carga, efectuando el arranque mediante el empleo de sustancias explosivas. Además, se ejecuta el arrastre y almacenamiento de la masa minera utilizando un buldócer para facilitar los trabajos de carga del material.

En dependencia del desarrollo general de los trabajos, con respecto al campo de cantera, el sistema de laboreo a utilizar será longitudinal, donde el frente de arranque se desplaza paralelo al eje largo del campo de cantera (en la dirección del rumbo). Este sistema de laboreo puede ser unilateral o bilateral, donde se avanza en profundidad por uno o los dos lados. Atendiendo al análisis de toda la información en el yacimiento se emplea el sistema de laboreo con profundización longitudinal con dos bordes, realizando las labores en la dirección este-oeste y de norte a sur.

### **Esquema tecnológico**

El esquema tecnológico de los trabajos mineros representa el orden y la secuencia de ejecución de dichos trabajos. Teniendo en cuenta las condiciones técnico-mineras del laboreo del sector Guaos III debe aplicarse el esquema tecnológico de transporte y ejecución de los trabajos mineros con procesos cíclicos de carga y del mineral útil, así como, traslado de las rocas de destape a las escombreras interiores.

Para la explotación del mineral útil se adoptan los trabajos de perforación y voladura con máquinas perforadoras. La carga se hace con dos retroexcavadora XCMG-XE-700 con capacidad de carga en la cuchara de 3,5 m<sup>3</sup>; el transporte hasta la planta se comete por los camiones de volteo Howo Volvo de 25 m<sup>3</sup> de capacidad. El buldócer Shantuy SD-32 se encarga del acarreo y reapile del material cuando sea necesario, así

como la separación de los pedazos de rocas sobre dimensionadas para luego ser sometida a la fragmentación secundaria con un martillo rompedor, contratado a la Empresa de Servicios Minero Geológico (EXPLOMAT). Las alturas del frente de trabajo son de 10 m, respectivamente, con un ángulo del talud de 70°.

### Capacidad de la vida útil de la cantera

El volumen de mineral a extraer en la cantera está determinado por el plan anual previsto por la empresa, este plan se cumple teniendo en cuenta la demanda de los productos en el mercado y las capacidades de todo el equipamiento técnico (Tabla 1).

Tabla 1. Plan anual del volumen de mineral a extraer en la cantera

Piedra Triturada	Cantidad
Piedra Triturada Gravilla	57 200 m <sup>3</sup>
Piedra Triturada Granito	30 800 m <sup>3</sup>
Base Pétreo	3 000 m <sup>3</sup>
Arena Artificial	22 000 m <sup>3</sup>
Total	110 000 m <sup>3</sup>

Volumen de material útil in situ a extraer en un año ( $V_m$ )

$$V_m = \frac{Q_p}{K_a \times K_1 \times K_e} = 93\,742 \text{ m}^3/\text{año}$$

Donde:

$Q_p$ : productividad anual de la planta: 164 600 m<sup>3</sup>/año

$K_a$ : coeficiente de aprovechamiento de la planta: 0,85

$K_1$ : coeficiente que tiene en cuenta las pérdidas de materia prima por concepto de transportación y pérdidas en la planta: 0,995.

Tiempo de explotación del sector ( $T_{exp}$ )

$$T_{exp} = \frac{V_{est}}{V_{tm}} = \frac{475\,880}{93\,742} = 5 \text{ años}$$

Donde:

$V_{est}$ : volumen estimado de recursos del área

$V_{tm}$ : volumen total de material útil in situ a extraer en un año.

Equipamiento técnico existente

La cantera objeto de estudio dispone de máquinas de extracción, de transporte y de carga y transporte. El parque de máquinas está constituido por equipos que realizan las distintas etapas de las actividades mineras (Tabla 2).

Tabla 2. Equipos utilizados en la cantera

Descripción	Tipo	Marca	Modelo	Capacidad	Cantidad
Desbroce y acarreo	Bulldócer	Shantuy	SD-32	-	1
Carga	Retroexcavadora	XCMG-XE	700	3,5m <sup>3</sup>	2
Equipo de transporte	Camión	CFC Howo	Volvo	25m <sup>3</sup>	4

El Bulldozer Shantuy SD-32 tiene una altura máxima de descarga de 5 m, una distancia de descarga de 0,3 m, la longitud máxima 8 m, la altura máxima 6 m, el radio de giro 10 m, la capacidad de la cuchara 3 m<sup>3</sup>.

El camión modelo HOWO tiene una capacidad de carga 25 m<sup>3</sup>, un ancho 2,64 m, la longitud de 8,1 m y el radio de giro 12 m. La disponibilidad mecánica es de 70 % y la velocidad del camión cargado de 30 km/h.

### Trinchera de corte

Esta excavación se desarrolla a partir de la trinchera de apertura y tiene como finalidad crear un frente inicial de trabajo en el nivel aperturado. Esta excavación es horizontal, pero debe construirse con una pequeña inclinación para el drenaje natural.

Teniendo en cuenta su ubicación respecto al campo de cantera y al cuerpo mineral la trinchera de corte será interior y de flanco.

Características principales de la trinchera:

- Longitud (L): 100 m
- Ancho por el piso (b): 28 m
- Ángulo del talud (x): 70°
- Pendiente por el piso: 2 %
- Profundidad (H): 10 m
- Ancho por la superficie:  $B_{máx} = b + 2H \cot x$ .

La confección de la trinchera de acceso se realiza en dos etapas fundamentales: los primeros 20 m se laborean con la utilización de bulldócer, hasta que se alcance una altura práctica para emplear perforación y voladura con el equipamiento con que cuenta la unidad; después de esta primera etapa se laborean con fragmentación de rocas con explosivos.

Línea de menor resistencia (W)

$$W = 53 \times K_t \times D_c \sqrt{\frac{\Delta \times e}{\gamma}} = 2,27 \text{ m}$$



Donde:

$K_t$ : coeficiente de agrietamiento de macizo de rocas

$D_c$ : diámetro del barreno (m)

$\Delta$ : densidad de carga ( $t/m^3$ )

e: coeficiente que tiene en cuenta la capacidad de trabajo de la sustancia explosiva

x: peso volumétrico de la roca ( $t/m^3$ ).

Distancia entre taladros y filas

$$a = b = 0,9 * W \quad a = b = 2,04 \text{ m}$$

Número de taladros en una fila ( $N_t$ )

$$N_t = \frac{B_{trinchera}}{a} + 1 = 14,21 \approx 14 \text{ taladros}$$

Distancia real entre taladros ( $S_t$ )

$$S_t = \frac{B_{trinchera}}{N_t - 1} + 1 = 2,04 \text{ m}$$

Distancia real entre taladros ( $L_s$ )

$$L_s = (10-15) * d_c = 0,85 \text{ m}$$

Longitud de los taladros

Taladros verticales

$$L = H + L_s = 10,85 \text{ m}$$

Taladros inclinados

$$L = \frac{H + L_s}{\text{sen}75^\circ} = 11,23 \text{ m}$$

Magnitud de carga

$$Q = q * \alpha * H * W$$

La carga para tres metros de altura es de 7,64 kg

Donde:

q: gasto específico de sustancia explosiva

H: altura de la trinchera.

## Transportación del mineral y del estéril

Esta actividad es parte de los trabajos mineros en el yacimiento, consiste en el traslado del mineral hasta la planta de recepción y trituración o hasta depósitos interiores y el estéril para las escombreras. Estos trabajos se hacen con el fin de mantener reservas considerables en las proximidades de la planta y homogenizar el mineral. La operación debe garantizar la producción del volumen de mineral, lo que comprende múltiples actividades relacionadas con el aseguramiento de los equipos: productividad, mantenimiento de los caminos y otros. Además, se debe lograr que el mineral suministrado a la planta reúna, de forma permanente, la calidad requerida.

La transportación del mineral y el estéril constituye un esquema cíclico que se realiza usando camiones de volteo de 25 m<sup>3</sup> de capacidad. El transporte automotor tiene como ventaja, respecto a otros sistemas, su maniobrabilidad, flexibilidad y, en distintas condiciones climáticas, capacidad de vencer grandes pendientes, entre otras.

Es importante la organización del trabajo para que haya fiabilidad en esta labor debido a que la efectividad de otros equipos depende de ella y son muchas las características que influyen en su fiabilidad.

Las labores de desbroce se ejecutan de forma manual con el uso de motosierras y machetes por la poca vegetación existente en el área y la complejidad del yacimiento para llegar a la cota + 210; todo el material extraído irá directamente a la planta de procesamiento.

## Cálculo de la productividad de los equipos de transporte en los trabajos de desbroce

Tiempo de recorrido del camión cargado ( $T_{rec}$ )

$$T_{rec} = \frac{60 \times D_{prc}}{V_{prcv}} = 11,2 \text{ min}$$

Donde:

$D_{prc}$ : distancia de recorrido del camión hasta la escombrera: 2,8 km

$V_{prcv}$ : velocidad promedio de recorrido del camión cargado: 15 km/h.

Tiempo de recorrido del camión vacío ( $T_{rev}$ )

$$T_{rev} = \frac{60 \times D_{prc}}{V_{prcv}} = 11,2 \text{ min}$$

Tiempo de carga del camión ( $T_c$ )

$$T_c = \frac{T_{cc} \times N_c}{60} = 5,25 \text{ min}$$

Donde:

$N_c$ : cantidad de cucharas para llenar el camión: 7

$T_{cc}$ : tiempo de ciclo del cargador: 45 s.

Tiempo de ciclo

$$T_c = T_{mc} + T_c + T_{rc} + T_{md} + T_d + T_{rev} = 28,17 \text{ min}$$

Donde:

$T_d$ : tiempo de descarga: 0,25 min

$T_{md}$ : tiempo de maniobra para la descarga: 1 min

$T_{mc}$ : tiempo de maniobra de carga: 1 min.

### Productividad horaria ( $Q_h$ )

$$Q_h = \frac{60 \times C_{cc}}{K_e \times T_{cc}} = 35,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

$C_{cc}$ : capacidad de carga del camión: 25 m<sup>3</sup>

Productividad por turno (diaria) ( $Q_t$ )

$$Q_t = Q_h \times K_{ll} \times T_t = 255 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

$K_{ll}$ : coeficiente de llenado: 0,9

$T_t$ : tiempo de un turno de trabajo

Productividad anual

$$Q_a = N_a \times Q_t = 71\,400 \text{ m}^3/\text{año}$$

Donde:

$N_a$ : días laborables al año (280)

Cantidad de días para el traslado del estéril con 4 camiones ( $N_c$ )

$$N_c = \frac{V_{mt}}{Q_t} = 4 \text{ días}$$

### **Labores de extracción del mineral útil**

Alcanzado el nivel de material útil en toda el área se comienza la extracción, que comienza en la cota +210 y finaliza en la cota +180 en este diseño.

En el yacimiento se efectúa el arranque con explosivos, donde el material se carga por una retroexcavadora a los camiones HOWO, que posteriormente lo trasladan hacia la planta de beneficio ubicada al sur oeste de la cantera.

### **Destape y escombreo**

Consiste en el corte o arranque, carga y traslado de la corteza superior (escombros) del cuerpo mineral que, por su bajo contenido de roca porfirítica, no resulta factible enviarlo al proceso en la actualidad; este se deposita en las escombreras de mineral.

Teniendo en cuenta la situación actual de la cantera después del comienzo de su explotación la parte superior del yacimiento ya se encuentra destapada y se extrae mineral útil.

El destape es una de las operaciones más importantes dentro de todas las que se realizan con el objetivo de extraer el mineral, genera gastos cuantiosos y es de vital importancia, pues mediante este se conforma la plataforma de trabajo y es donde se prepara definitivamente todo el sector donde se cometen los trabajos mineros.

Productividad de los trabajos de destape

$$Q_{\text{destape}} = 1,5 * Q_{\text{extracción}} = 488 \text{m}^3/\text{turnos}$$

Donde:

$Q_{\text{destape}}$ : productividad de los trabajos de destape

$Q_{\text{extracción}}$ : productividad de la extracción del material.

### **Trabajos de arranque, carga y transporte**

Estos trabajos contemplan la excavación y carga (traslado y descarga) en medios de transporte de la masa minera; la excavación de las rocas se efectúa con retroexcavadora. En los trabajos a cielo abierto es conocido el término de "estructura de mecanización compleja", la cual es un conjunto de máquinas y mecanismos desde el frente de minería hasta la escombrera, incluyendo el transporte, que aseguran el

cumplimiento de los índices planificados en los trabajos de extracción y destape. La máquina base en esta estructura es la de excavación-carga.

Arranque: Considerando fundamentalmente las características físico-mecánicas de las rocas del yacimiento y conociendo que su parte superior está más alterada, el arranque para la extracción de material se hace con arranque directo y con explosivos. Para hacer el arranque con el uso de explosivos se calculan (por método automatizado) los parámetros necesarios para los trabajos de perforación y voladuras, obteniendo como resultado el pasaporte de este.

Carga: La actividad de carga, tanto en el mineral como en el estéril, se ejecuta con el uso de retroexcavadora.

Transporte: El transporte del mineral y el estéril se realiza usando camiones rígidos de 25 m<sup>3</sup> de capacidad, lo cual constituye un esquema cíclico.

Distancias promedio de transportación hacia la planta y las escombreras:

- Distancia máxima a la planta (km): 3,0 km
- Distancia a las escombreras (km): 2,8 km.

### **Cálculo de la productividad de los equipos de carga**

Cálculo de la retroexcavadora XCMG-XE 700

Productividad horaria ( $Q_h$ )

$$Q_h = \frac{3,600 \times C_c \times K_{II} \times K_u}{K_e \times T_c} = 143 \text{ m}^3/h$$

Donde:

$K_u$ : coeficiente de utilización del cargador: 0,85

$C_c$ : capacidad de la cuchara: 3,5 m<sup>3</sup>

$T_c$ : tiempo de ciclo: 45 s.

Cálculo del tiempo de ciclo

$$T_c = T_1 + T_2 + T_3 + T_v + T_m = 45 \text{ s}$$

Donde:

$T_1$ : tiempo de llenado de la cuchara: 14 s

$T_2$ : tiempo de movimiento cargado: 10 s

$T_3$ : tiempo de movimiento vacío: 6 s

$T_v$ : tiempo de descarga de la cuchara: 7s

$T_m$ : tiempo de maniobra: 8 s.

Productividad por turno (diaria)

$$Q_t = Q_h \times T_t = 1\,144 \text{ m}^3/\text{t}$$

Productividad anual

$$Q_a = N_a \times Q_t = 320\,320 \text{ m}^3/\text{año}$$

Cantidad de días necesarios para la carga del material

$$N_c = \frac{V_m}{Q_t} = 413 \text{ días}$$

### **Cálculo de la productividad de los equipos de transporte**

Cálculo del camión HOWO

Tiempo de recorrido del camión cargado

$$T_{rcc} = \frac{60 \times D_{prc}}{V_{prcc}} = 12 \text{ min}$$

Donde:

$D_{prc}$ : distancia de recorrido del camión hasta la planta: 3,0 km

$V_{prcc}$ : velocidad promedio de recorrido del camión cargado: 15 km/h

Tiempo de recorrido del camión vacío

$$T_{rcv} = \frac{60 \times D_{prc}}{V_{prcv}} = 7,2 \text{ min}$$

Donde:

$V_{prcv}$ : velocidad promedio de recorrido del camión vacío: 25 km/h

Tiempo de carga del camión

$$T_c = \frac{T_{cc} \times N_c}{60} = 5,25 \text{ min}$$

Tiempo de ciclo

$$T_{cc} = T_{mc} + T_c + T_{rcc} + T_{md} + T_d + T_{rev} = 29,45 \text{ min}$$

Donde:

$T_{rv}$ : tiempo de recorrido vacío: 7,2 min

$T_{rc}$ : tiempo de recorrido cargado: 12 min

Productividad horaria

$$Q_h = \frac{60 \times C_{cc}}{K_e \times T_{cc}} = 40 \text{ m}^3/h$$

Productividad por turno (diaria)

$$Q_t = Q_h \times K_{II} \times T_t = 288 \text{ m}^3/t$$

Productividad anual

$$Q_a = N_a \times Q_t = 108\,640 \text{ m}^3/\text{año}$$

Cantidad de días para el traslado del mineral con cuatro camiones

$$N_c = \frac{V_m}{Q_t} = 41 \text{ días}$$

Método de selección del emplazamiento de las escombreras

La elección del área de ubicación de la escombrera persigue objetivos como son:

- Minimizar los costos de transporte y vertido.
- Alcanzar la integración y la restauración de la estructura en el entorno.
- Garantizar el drenaje.
- Minimizar el área afectada.
- Minimizar la alteración sobre hábitats y especies protegidas y otras.

El material estéril extraído durante las labores de apertura y explotación del yacimiento se almacenan en la escombrera. Las escombreras serán situadas dentro de los límites del área correspondientes a la cantera, en las zonas en las que ya se extrajo todas las reservas de mineral que existían.

### **Pasaporte de perforación y voladura para la explotación**

El frente de trabajo en el banco será en bloques de 30 m x 27 m x 10 m según la dirección que se especifique para cada frente o relaciones similares. Para la realización del pasaporte de perforación y voladura del bloque hay que tener en cuenta la productividad de los camiones con respecto al volumen de mineral a extraer, asegurando la cantidad de días de explotación en el bloque para las labores de perforación.

Línea de menor resistencia por el piso (W)

$$W = 53 \times K_t \times D_c \sqrt{\frac{\Delta \times e}{\gamma}} = 3,39 \text{ m}$$

Donde:

$D_c$ : diámetro de los barrenos: 0,115 m

$\Delta$ : densidad de carga: 0,98 g/cm<sup>3</sup>

$\gamma$  : masa volumétrica de la roca: 2,55 g/cm<sup>3</sup>

e: coeficiente de la capacidad de trabajo: 1.

Distancia entre barrenos en la fila (a)

$$a = M \times W = 3,39 \text{ m}$$

Donde:

M: coeficiente de aproximación de las cargas: 1

Distancia entre filas de barrenos (b)

$$B = 0,85 \times a = 2,88 \text{ m}$$

Número de filas

$$N_f = \frac{B}{b} + 1 = 10,37 \approx 10 \text{ filas}$$

Donde:

B: ancho del bloque por el fondo: 27 m

Reajuste de la distancia entre filas

$$b_r = \frac{B}{N_f - 1} = 3,0 \text{ m}$$

Números de barrenos en una fila

$$N_{ff} = \frac{M_a}{a} + 1 = 9,84 \approx 10 \text{ barrenos}$$

Donde:

$M_a$ : cantidad de metros de avance para barrenos: 30 m

Reajuste de la distancia entre barrenos en la fila ( $a_r$ )

$$a_r = \frac{M_a}{N_{ff} - 1} = 3,33 \text{ m}$$



Longitud de sobreperforación

$$L = 0,2 \times W = 0,68 \text{ m}$$

Longitud mínima de relleno

$$L_r = 0,75 \times W = 2,54 \text{ m}$$

Magnitud de la carga de los barrenos

$$Q = q \times a_r \times W \times H_b = 41,76 \text{ kg}$$

Donde:

$H_b$ : altura del banco: 10 m

Longitud de los barrenos

$$L = H_b + L = 10,68 \text{ m}$$

### **Cálculo de los parámetros de los equipos de perforación**

Para la perforación de los barrenos se utiliza el equipo perforador Atlas Copco Rock 460PC. El cálculo de los parámetros del equipo perforador es de vital importancia para la planificación de la cantidad necesaria a utilizar durante la barrenación de los diferentes bloques, permitiendo así una eficiente organización de los trabajos en la cantera.

#### **Rock 460 PC**

#### **Productividad anual en metros ( $Q_a$ )**

$$Q_a = Q_p \times N_t \times T_t \times N_a = 3\,3600 \text{ m/año}$$

Donde:

$Q_p$ : productividad de perforación: 15 m/h

$N_t$ : cantidad de turnos: 1

Cantidad necesaria de equipos perforadores ( $N_p$ )

$$N_p = \frac{V_{mt}}{Q_a} = 3 \text{ perforadas}$$

Donde:

$V_{mt}$ : volumen total de material in situ: 93 742 m<sup>3</sup>.

## **Compresores necesarios para el suministro de aire comprimido para los equipos de perforación**

Para garantizar el aire comprimido que consumen los equipos perforadores se usa el compresor Atlas Copco Xahs 416, el cual garantiza una productividad de 25 m<sup>3</sup>/h, del cual se necesitan dos compresores.

## **Trabajos auxiliares**

Los trabajos auxiliares o de apoyo son el resto de las actividades que garantizan la calidad, eficiencia y desarrollo en el tiempo requerido de los procesos principales que se estén llevando a cabo.

### Plan calendario de minería

En el primer año de explotación las labores se desarrollan en dos semestres.

En el primer semestre los trabajos mineros comienzan en la cota +210 en el oeste del yacimiento, conduciendo a la planta un total de 66 719 m<sup>3</sup> de material y para el segundo semestre los trabajos se desarrollan en la cota +200, trasladando 27 023 m<sup>3</sup>.

Segundo año de explotación: Los trabajos se desarrollan en la cota +200 (parte oeste), moviendo 39 799 m<sup>3</sup> de material y posteriormente se minan en la parte este del yacimiento en la cota +210, moviendo 27 938 m<sup>3</sup>.

Tercer año de explotación: Se continúan los trabajos de arranque en la cota +210 por la parte este del yacimiento y luego se traslada a la cota +200 este.

Cuarto año de explotación: Los trabajos de arranque se desarrollan en la cota +200 este del yacimiento y luego se pasa a la cota +190.

Quinto año de explotación: Se continúan los trabajos mineros en la cota +190 y después se traslada a la cota +180, extrayendo de esta 67 000 m<sup>3</sup> y dejando listo los otros 67 000 m<sup>3</sup> para los próximos cinco años.

## Conclusiones

Se analizan las características ingeniero-geológica del yacimiento, así como las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

Se realiza el cálculo de los parámetros del sistema de explotación y se determina que el método empleado es el sistema de explotación con profundización longitudinal con dos bordes.

## Referencias bibliográficas

- PARRA, J. 2004. *Estudio del impacto ambiental en el yacimiento Los Guaos*. Ulloa Carcasses, M. (tutor). Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- MONTERO, J.; OTAÑO, J. & GUERRERO, D. 2016. Procedimiento para el cierre de canteras de materiales para la construcción en Cuba. *Minería y Geología* 32(1): 106-120.
- MONTES DE OCA, A. 2012. Estudio del impacto ambiental y medidas de rehabilitación en la cantera "Los Guaos". *DELOS Revista Desarrollo Local Sostenible* 5(13): 1-14.
- MONTES DE OCA, A. & ULLOA, M. 2013. Recuperación de áreas dañadas por la minería en la Cantera Los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba. *Luna Azul* 37: 74-88.