

Cálculo de la productividad real del yacimiento Sierra Anafe

Lilianni Romero Almenares

lralmenares@minas.ismm.edu.cu

Universidad de Moa

Resumen: Se calculó la productividad real del yacimiento Sierra Anafe, ubicado en la parte central de la Sierra Mesa de Anafe para el período 2021-2026. El mismo debe cumplir las exigencias establecidas y servir de base para la continuidad de los trabajos ya que tiene un aporte económico útil al país. Se partió de la base de datos validada, adquirida, esta contiene información necesaria para la ejecución del proyecto. La base topográfica usada fue llevada a formato ASCII y exportada a Gemcom. Para el cálculo del factor de seguridad a la falla por deslizamiento se usaron los métodos de Fellenius y Taylor. Se obtiene la productividad del yacimiento para los próximos tres años determinándose 11 8097,86 m³ para el primer año, 88 774,86 m³ para el segundo y 157 009,18 m³ para el tercer año.

Palabras claves: Explotación de yacimientos; minería a cielo abierto; productividad de las canteras; procesos tecnológicos; materiales de construcción.

Trabajo tutorado por el Dr. C. Roberto Watson Quesada; la M. Sc. Ana Caridad Ches Viera y el M. Sc. Iván Mústelier Castellanos.

Recibido: 3 marzo 2021/ Aceptado: 20 noviembre 2021.

Calculation of the real productivity of the Sierra Anafe field

Abstract: The real productivity of the Sierra Anafe field, located in the central part of the Sierra Mesa de Anafe, was calculated for the period 2021-2026. It must meet the established requirements and serve as a basis for the continuity of the work since it has a useful economic contribution to the country. It was started from the validated, acquired database, which contains information necessary for the execution of the project. The topographic base used was converted to ASCII format and exported to Gemcom. The Fellenius and Taylor methods were used to calculate the safety factor for slip failure. The productivity of the field is obtained for the next three years, determining 118 097,86 for the first year, 88 774,86 for the second, and 157 009,18 for the third year.

Key words: Exploitation of deposits; opencast mining; quarry productivity; technological processes; construction materials.

Introducción

La industria de materiales para la construcción es una de las ramas más importantes para el desarrollo socio económico de Cuba, sobre todo en la etapa actual de actualización del modelo económico del país.

Las canteras de materiales de la construcción en Cuba han sido explotadas atendiendo a proyectos, en los que se describe de manera muy somera el diseño del método de apertura. Debido a la gran demanda de materiales, el yacimiento Sierra Anafe se encarga de suministrar parte de la materia prima utilizada en las construcciones para su ejecución en tiempo y con la calidad requerida.

El yacimiento Sierra Anafe se explota desde el año 1950, en 6 canteras abiertas, de las cuales 2, Domingo Fernández y La Cruz se mantienen actualmente en explotación. Este yacimiento, por su importancia económica y social, ha sido objeto de diversas investigaciones (Gordon & Mann, 1997). Batista *et al.*, (2015) realizaron una valoración del potencial de las rocas y minerales industriales en Cuba incluyendo los de Sierra Anafe por sus yacimientos de áridos (piedra y arena) mientras que López *et al.*, (2015) realizaron la caracterización medioambiental de Sierra Anafe analizando las características de la cantera.

Salas (2015) desarrolla el proyecto de explotación de la ampliación norte del yacimiento Sierra Anafe con el objetivo de continuar la explotación de las reservas. Analiza las condiciones técnico-mineras de explotación del yacimiento donde explica las condiciones favorables para su explotación, se observó que las rocas calizas afloran a la superficie y solamente en algunos sectores se recubren de suelo o capa vegetal de poca potencia y rocas arcillosa.

Por la importancia del yacimiento el objetivo de este trabajo consiste en establecer la productividad real y calcular el desarrollo minero en el período 2021-2026 del yacimiento Sierra Anafe.

Materiales y métodos

La investigación se clasifica como de tipo básica-aplicada, al presentar una importancia práctica inmediata. Al mismo tiempo es explicativa, pues enriquece los conocimientos necesarios para un proyecto de explotación.

Se partió de la base de datos validada, adquirida, esta contiene información necesaria para la ejecución del proyecto, consta con la información de 149 pozos.

Debido a la necesidad de trabajar con longitudes de muestras regularizadas, se generan intervalos de muestreo de 5,0 m de longitud. Los variogramas en 3D fueron calculados sobre la base de los compósitos con ayuda del software Gemcom.

El Kriging ordinario fue utilizado para interpolar el % de pérdida del modelo matemático evaluando la predictibilidad de la estimación, efectuando su validación cruzada a partir de las muestras, esta indica un buen nivel de predictibilidad de leyes para el plan de estimación diseñado.

Una vez que se confeccionó el modelo 3D del cuerpo mineral, los modelos de leyes y de densidad; se estimaron los recursos geológicos. El nivel de integración usado para el estimado del volumen es de 5,25 agujas por cada bloque (25 m x 25 m x 5 m), estas agujas en dirección vertical.

La base topográfica usada fue llevada a formato ASCII y exportada a Gemcom.

Para el cálculo del factor de seguridad a la falla por deslizamiento se usaron los métodos de Fellenius y Taylor.

Características geográficas y económicas de la región

El yacimiento Sierra Anafe se encuentra en la parte central de la Sierra Mesa de Anafe, limita al norte con el camino que corre de E-W con el Carmelo hasta Noroña, al Sur con la carretera central. El yacimiento se encuentra dividido en dos sectores La Cruz y Domingo Fernández.

Recursos base para el proyecto de explotación

Como recurso base se tomaron los resultados de la estimación de los recursos geológicos por categoría para el sector La Cruz dentro del área de la concesión minera los que fueron aprobados por la Oficina Nacional de Recursos Minerales (2009).

Tabla 1. Balance de recursos y reservas minerales por categoría en el sector La Cruz

| Categoría | Volumen | Marca |
|--------------|-----------------|------------|
| | mm ³ | % |
| Medido | 1 056,263 | 400 |
| Indicado | 640,335 | 400 |
| Inferido | 1 504,705 | 400 |
| Total | 3 201,30 | 400 |

Condiciones minero-técnicas del yacimiento

La morfología del terreno se representa en un macizo de caliza, teniendo pendientes leves, excepto en los lugares de explotación. La vegetación, característica de los mogotes, abarca el 30 %. No se ha detectado agua subterránea ni en los pozos perforados, ni en las canteras donde se lleva a cabo la explotación.

El porcentaje de carcificación y el grado de agrietamiento de las rocas en el sector La Cruz es mucho menor que en el sector Domingo Fernández, la cantidad de arcilla presente en la cavernas rellenas del sector La Cruz y la tectónica es, en general, menos intensa que en el sector Domingo Fernández.

Los límites de materia prima y su correspondiente elevación desde el punto de vista tecnológico tienen las siguientes características:

- Potencia de rocas de destape: no más de 4 m por laboreo
- Potencia mínima de la capa útil: 5 m por laboreo
- Relación destape–potencia útil: 1:5

La capacidad teórica de las plantas del sector Domingo Fernández es de 300 mm³/año y las del sector La Cruz 350 mm³/año.

La extracción de materia útil se realiza a través de cielo abierto mediante el avance de frentes de cantera (Figura 1).



Figura 1. Foto panorámica del sector La Cruz.

Estado actual de las labores mineras en el yacimiento

El yacimiento se encuentra en explotación en su totalidad. Cuenta con una red de caminos bien definidos, la existencia de agua solo es visible en los meses de lluvia intensa. La extracción de los recursos se limita solo al sector La Cruz y el mismo se encuentra en fase de agotamiento.

Capacidad anual de producción y vida útil

Según estado de balance de recursos y reservas minerales por categoría de Medidos + Indicados + Inferidos dentro de la concepción minera aprobada alcanzan valores de 3 201,30 mm³. Para el cálculo de la vida útil de la cantera se tomó el volumen de las reservas probadas + probables (1 696,598 mm³) existentes entre el diseño final de la cantera y la topografía actualizada.

El tiempo de vida útil de la cantera se determina por la fórmula:

$$Tvu = \frac{P}{Pc}; t$$

Donde:

P: Reservas de material útil en la zona de explotación; m³

Pc: Productividad anual de la cantera; m³

$$Tvu = \frac{1696.598}{193.333} \approx 9 \text{ Años}$$

La vida útil del yacimiento hasta la etapa investigada es de 9 años.

Método de apertura

Los factores fundamentales que influyen en la apertura son el número y el volumen de las excavaciones y los gastos para su laboreo y equipamiento, el tiempo de apertura de los diferentes horizontes, el plazo de construcción, la distancia de transportación y los gastos para este proceso productivo, entre otros.

Tala y desbroce

En periodo que se evalúa no existe tala ni desbroce, esta área ya ha sido limpiada y se prepara la explotación.

Método de selección del emplazamiento de las escombreras

El sector La Cruz mantiene una escombrera de tipo vertido libre desde el camión, el material de mucha arcilla es depositado en la escombrera y la roca sobremedida se recupera haciendo función del precibado (Figura 2).

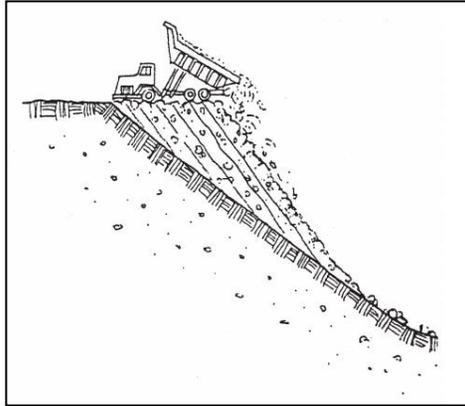


Figura 2. Vertido libre desde el camión.

Tecnología del laboreo de escombreras con bulldozers

Las labores de escombreción se realizarán con bulldozers y se transportará el estéril con camiones. Los trabajos de escombreción solo incluye la descarga de las rocas en el talud.

Tecnología de los trabajos

La tecnología y mecanización de los trabajos se basa en los principios de la continuidad, simultaneidad e independencia de los procesos, el aseguramiento de la mínima distancia de transportación de la masa minera, la disminución del número y volumen de los trabajos auxiliares, el mínimo de gastos y el máximo de ingresos.

Preparación de las rocas para la extracción

La voladura a realizar será de remoción del macizo y debe tener una granulometría óptima para garantizar una alta productividad de los equipos.

Los trabajos de excavación-carga

La estructura de mecanización compleja será de carácter discreto, debido a que los equipos que realizan el proceso son de acción cíclica en todo el flujo.

Secuencia de ataque o frente de explotación

Dentro del método convencional de explotación por banqueo descendente se encuentran tres direcciones de ataque:

- Explotación longitudinal (paralela al rumbo)
- Explotación transversal (normal al rumbo)
- Explotaciones diagonales o mixtas (en ángulo con el)

Se iniciará en las cotas superiores del yacimiento y progresando de techo a muro del paquete de masa mineralizada. Una vez que el banco haya avanzado hasta el límite del banco, avanzaremos de minería transversal garantizando la explotación total del banco. Se iniciará el arranque del segundo banco a una cota inferior, progresando igualmente así sucesivamente hasta llegar al fondo proyectado (Figura 3).

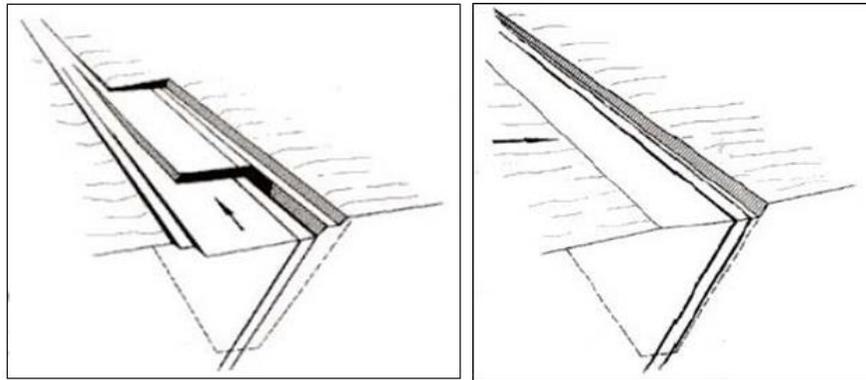


Figura 3. Explotación transversal (a) y longitudinal (b) con frente rectilíneo.

Arranque

Como el sector La Cruz se encuentra en explotación, los estimados de volúmenes de arranque alcanzan un 15 %.

Arranque directo: El volumen a arrancar de forma directa es 87 696,02 m³, esto corresponde al 15 % de 584 640,13m³ masa minera calculada. Todo el arranque directo es en material estéril.

Arranque 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, resultando el pasaporte de perforación y voladuras.

La actividad de carga del mineral y el estéril, se ejecutará con el uso de cargador.

Transportación del mineral y del estéril

La transportación se realizará usando camiones de 11 m³ 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, etc.

La distancia promedio de transportación hacia la planta es de 1,2 km y a las escombreras de 0,6 km.

Diseño de la cantera

El diseño final representa la envolvente mayor que maximiza el beneficio operacional instantáneo de un yacimiento posible a explotar a cielo abierto. Es un estado geométrico de la cantera que muestra al yacimiento luego de su total explotación (Figura 4).

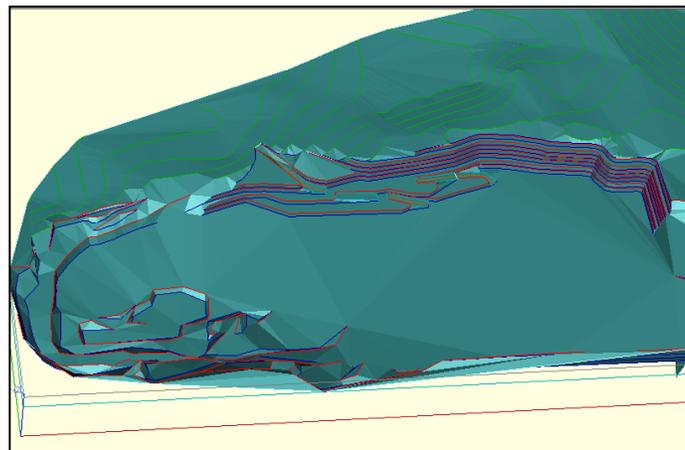


Figura 4. Vista 3D del diseño final.

Diseño final operativo para 3 años de minería de la cantera

Sobre la base del equipamiento, concesión minera, cuerpo mineral y propiedades físico mecánicas de las rocas, se realizó el diseño final operativo de la cantera, teniendo en cuenta los parámetros minero-técnicos para el desarrollo eficaz de la misma.

La profundidad final es hasta la cota + 200 m, resultando la profundidad óptima acorde con los objetos de obra superficiales, como la plataforma de descarga, el camino principal de acceso, otros.

Parámetros de diseño

Los parámetros constructivos básicos del diseño de cantera a desarrollar, son:

Bancos o escalones: La extracción del cuerpo mineral se realizará con bancos 10,0 m de altura.

Bermas de seguridad: La berma de seguridad se estima como la tercera parte de la altura del banco. Para 10,0 m de altura de banco se estima una berma de 3 m, para usar el valor mínimo recomendado de minería que facilite el acceso de los medios mecánicos para el mantenimiento.

Método gráfico para el cálculo de taludes

En ordenadas se encuentra el ángulo de fricción interna del suelo expresado en grados o en su tangente correspondiente y en el rango de 0 a 45°. En abscisas se ha colocado la expresión adimensional:

$$\frac{c}{\gamma \cdot H}$$

Donde:

γ : densidad natural del suelo en T/m³; 3,4

c: cohesión en T/m²

H: Altura del corte en m

El ábaco contiene una familia de curvas que corresponden a diferentes inclinaciones b del talud del corte, variando de 10° en 10° para el rango de b = 10° a b = 90°. Para valores intermedios resulta fácil interpolar linealmente.

Para determinar el factor de seguridad al deslizamiento, se coloca en el ábaco el punto A, que corresponde al problema en cuestión y que tiene las coordenadas $(c/\gamma \cdot H)$, $\tan \phi$

Este punto se une con el origen O, obteniendo la recta OA. Esta recta o su prolongación, corta a la curva b correspondiente a la inclinación del talud en el punto B; por lo que nuestro ángulo de talud estable es de 82 %.

Altura y talud del banco para el diseño final de la cantera

Se tomó una altura de los bancos de 5,0 m con un ángulo de inclinación de 82° para esto se calculó la máxima altura estable.

Determinación de la máxima altura estable con un ángulo de 82°.

$$H_{\max} = \frac{2C \operatorname{sen} \alpha \cos \rho}{\gamma \operatorname{sen}^2 \left(\frac{90 - \rho}{2} \right)}$$

Donde:

C: Cohesión de la caliza dura 12,31 – 39,05 MPa;

A: Ángulo de inclinación del banco 82°

ρ : Ángulo de fricción interna de la caliza, roca de caja, oscila entre 11,80°-34,20°.

γ : Peso volumétrico 2,4 t/m³

Se evaluó la máxima altura permisible para cada uno de los 5 casos posibles (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados para determinar la altura para los casos posibles

| C-Cohesión de la roca (MPa) | Ángulo de inclinación del banco (grados) | ρ -Ángulo de fricción interna | γ -Peso volumétrico (T/m ³) | Hmax (m) |
|-----------------------------|--|------------------------------------|--|----------|
| 12,61 | 82 | 11,8 | 2,36 | 32,77 |
| 12,61 | | 34,2 | 2,36 | 57,49 |
| 39,05 | | 11,8 | 2,36 | 101,50 |
| 39,05 | | 34,2 | 2,36 | 178,02 |
| 38,40 | | 10,38 | 3,70 | 61,70 |

Como se observan las máximas alturas permisibles para cada uno de los casos posibles es mayor que la altura que se escogió para los bancos que es de 5 metros.

Determinación del factor de seguridad de los taludes

$$F_s = \frac{\tan \varphi \times \delta s + C}{T}$$

Donde:

T: tensión tangencial

Ángulo de fricción interna $\varphi = 34,2^\circ$

Peso volumétrico promedio de las serpentinas (rocas de caja) $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$

Altura del escalón H: 10 metros

Cohesión C: 39,50 Pa

Determinamos la tensión normal

$$\sigma_s = \tan \varphi W \cos \theta / (H / \sin \theta) + c$$

Donde: W- $\gamma H^2 / (2 \tan \theta)$

Se sustituye lo anterior en $F_s = (\tan \phi \sigma + c)/T$ obteniendo $F_s = 2,09$ por lo que los bancos con estos parámetros son estables.

Determinación de los ángulos de talud minero de la cantera

Se midieron los ángulos de talud para el borde activo e inactivo de la cantera determinándose:

- Ángulo del talud minero de la cantera en el borde activo: 83,0°
- Ángulo del talud minero de la cantera en el borde inactivo: 67,8°

Parámetros del sistema de explotación:

- Altura del banco: 10,00 m
- Ángulo de inclinación del talud: 83,0°
- Ancho de las bermas de seguridad: 3 m
- Ángulo del talud minero de la cantera en el borde inactivo: 67,8°

Parámetros principales de la cantera

La profundidad de la cantera es de 45,0 m desde la cota inicial + 235 m hasta la final +200 m. Las dimensiones máximas aproximadas para la cantera son 209 m de longitud (por el rumbo) y 537 m de ancho (perpendicular al rumbo).

Las dimensiones de la cantera por el fondo fueron determinadas en base al equipamiento a utilizar. Se obtuvieron para el fondo 435 m de ancho y 155 m de largo.

Estrategia minera de profundización de la cantera

La cantera se conformará entre las cotas +235 m y + 200 m, implicando una profundidad de explotación máxima de unos 45 m.

El 15 % del arranque del mineral y estéril se realizará de manera directa, el 85 % se realizará por el método de perforación y voladura. El mineral se transportará a la planta de trituración y el estéril se transportará hacia la escombrera establecida.

Método y sistema de explotación

Dadas las características y condiciones que se presentan en el yacimiento, sobre todo su cercanía a la superficie (afloramientos en parte) el yacimiento Sierra Anafe debe ser explotado por el método a cielo abierto.

El sistema de explotación define el orden de formación de la zona de trabajo en la cantera en tiempo y espacio, y se caracteriza por el desarrollo armónico de los trabajos mineros en los escalones, forma de los frentes y dirección de desplazamiento.

Se empleó el sistema con profundización por bancos o escalones de 10 m de altura, los cuales se dispondrán en dirección longitudinal con respecto al campo de la cantera. Los bancos se conectarán a través de la rampa de acceso.

Se obtuvo el modelo del yacimiento con sus características litológicas y estructurales, que permitieron optimizar la geometría del final de la cantera y establecer la planificación de las labores, el control, la previsión de la calidad del mineral y la factibilidad de la inversión.

Posterior a las labores de desbroce, se realiza la trinchera de apertura y la de corte para cada nivel. La diferencia de cota entre cada uno de los niveles será de 3 m, hasta llegar a la cota +190,00, límite proyectado de la cantera. Se ha condicionado que la apertura de los horizontes inferiores se realice mediante trincheras exteriores, con la particularidad de estar dirigido a distribuir las dimensiones de la trinchera de apertura.

Se eligió el sistema de explotación de tipo cantera tradicional óptimo para las condiciones de los límites de la concesión.

Tabla 3. Parámetros mineros

| | | |
|---------------|--------------------------------|------------|
| Masa minera | m ³ | 584 640,13 |
| Recursos | m ³ | 532 358,81 |
| Estéril | m ³ | 51 984,82 |
| Coef. destape | m ³ /m ³ | 0,1 |

Pérdidas y pesaje de mineral. Estimación de las reservas

Se denomina reserva a la parte o totalidad del recurso mineral medido o indicado que puede ser extraído con utilidad económica considerando las pérdidas y dilución. El cálculo incluye la altura de los bancos, equipamiento y diseño de extracción. El yacimiento Sierra Anafe pertenece a la estructura de yacimientos con recursos de materia prima para materiales de la construcción, por lo que la dilución no es representativa en el cálculo de reservas. Los valores de pérdida por extracción según el cliente plasma en la información de partida es de un 0,2 %.

Tabla 4. Balance aprobado de recursos y reservas minerales por categoría en el sector La Cruz

| Categoría | Volumen (mm ³) | Marca(%) |
|-----------|----------------------------|----------|
| Medido | 1 056,263 | 400 |
| Indicado | 640,335 | 400 |
| Inferido | 1 504,705 | 400 |
| Total | 3 201,30 | 400 |

Tabla 5. Reservas a extraer en el período aplicando conceptos de pérdida

| Categoría | Volumen (m ³) | Marca(%) |
|--------------------|---------------------------|----------|
| Reservas Probadas | 313 761,27 | 400 |
| Reservas Probables | 218 597,54 | 400 |
| Total | 532 358,81 | 400 |

Teniendo en cuenta el análisis realizado y el escenario base para la ejecución del proyecto, se prevé operar con los volúmenes de producción durante la vida de la concesión aprobada para el yacimiento Sierra Anafe que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Reservas por niveles y volúmenes de producción durante la vida de la concesión aprobada para el yacimiento Sierra Anafe

| Plan | Masa minera (m ³) | Reservas totales (m ³) | Reservas probadas (m ³) | Reservas probables (m ³) | Estéril (m ³) | Coficiente de destape | Capa vegeta (m ³) | Marca | Planta (Km) | Escombrera (Km) |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------|-------------|-----------------|
| Desarrollo minero | 11 430,89 | 10 341,35 | 774,66 | 9 566,69 | 1089,54 | 0,10535789 | 0 | 400 | 1,5 | 0,5 |
| Trim I | 57 925,89 | 57 222,89 | 48 597,36 | 8 625,54 | 703,00 | 0 | 0 | 583 | 1,0 | 0,6 |
| Trim II | 50 089,59 | 50 089,59 | 17 385,96 | 32 703,63 | 0,00 | 0 | 0 | 600 | 1,0 | 0,6 |
| Trim III | 50 091,25 | 5 0091,25 | 25 433,26 | 24 657,99 | 0,00 | 0,0263579 | 0 | 600 | 1,2 | 0,6 |
| Trim IV | 51 411,55 | 50 091,25 | 24 657,99 | 25 433,26 | 1 320,30 | 0,02227066 | 0 | 600 | 1,2 | 0,6 |
| Año 2 | 203 260,34 | 202 144,78 | 87 659,29 | 114 485,49 | 1 115,57 | 0,23624858 | 0 | 451 | 1,0 | 0,6 |
| Año 3 | 160 134,12 | 112 377,70 | 109 252,76 | 3 124,94 | 47 756,42 | 0,46259021 | 0 | 560 | 1,0 | 0,6 |
| Total | 584 343,63 | 532 358,81 | 313 761,27 | 218 597,54 | 51 984,82 | 0,12457789 | 0 | 529 | | |

Plan calendario de extracción

El plan calendario establece la estrategia general y específica en que se realizará la extracción del material útil y el material de destape. En el proyecto se evalúan 3 años de explotación. La planificación se realiza sobre la base de las reservas y su correspondiente marca.

Volúmenes de producción de la cantera

Los volúmenes de producción de la cantera se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Resumen de los volúmenes de producción (estado in-situ) planificados

| Plan | Masa minera (m ³) | Reservas totales (m ³) | Reservas probadas (m ³) | Reservas probables (m ³) | Estéril (m ³) |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Desarrollo minero | 11 727,39 | 10 341,35 | 774,66 | 9 566,69 | 1 089,54 |
| Trim I | 57 925,89 | 57 222,89 | 48 597,36 | 8 625,54 | 703,00 |

| | | | | | |
|-----------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Trim II | 50 089,59 | 50 089,59 | 17 385,96 | 32 703,63 | 0,00 |
| Trim III | 50 091,25 | 50 091,25 | 25 433,26 | 24 657,99 | 0,00 |
| Trim IV | 51 411,55 | 50 091,25 | 24 657,99 | 25 433,26 | 1 320,30 |
| Año 2 | 260,34 | 202 144,78 | 87 659,29 | 114 485,49 | 1 115,57 |
| Año 3 | 134,12 | 112 377,70 | 109 252,76 | 3 124,94 | 47 756,42 |
| TOTAL | 640,13 | 532 358,81 | 313 761,27 | 218 597,54 | 519 84,82 |

Como estrategia de minado se desarrollarán 4 bancos de explotación (tres de explotación de 10 m y uno de 5 m) y uno de desarrollo minero. Los bancos de explotación son el +200 m, +210 m, +220 m, +230 m, y de desarrollo el +235,0 m.

Plan extracción de desarrollo minero

Los trabajos mineros se planifican en todo el área del límite de los recursos medidos, el desarrollo minero, en el nivel superior, coincidiendo con el área de planificada en el nivel +230,0 m, con una potencia promedio entre 3 a 4 m.

Tabla 8. Volúmenes de desarrollo minero

| Periodo | Banco | Masa minera | Reservas totales | Reservas probadas | Reservas probables | Estéril | Coficiente de destape |
|--------------------------|-------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| | | m ³ | m ³ | m ³ | m ³ | m ³ | |
| Desbroce | +235 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| Destape | | 11 430,89 | 10 341,35 | 774,66 | 9 566,69 | 1 089,54 | 12,3 |
| Desarrollo minero | | 11 430,89 | 10 341,35 | 774,66 | 9 566,69 | 1 089,54 | 12,3 |

Plan de extracción de minería

Secuencia de minado: Para la ejecución del proyecto de explotación se entregó por parte de la Empresa de Canteras la topografía actualizada en 2D en formato digital (*.dwg), se descontaron los polígonos planificados para el mes de diciembre y se elaboró una topografía actualizada en 3D, contando con datos reales del yacimiento como: localización de los pozos, límite de la concesión, caminos, y otros objetos.

Año I de minería: La extracción se planea ejecutarla en los cuatro trimestres del año, en tres áreas de explotación dentro del área de los recursos medidos ubicadas al norte-noroeste.

Primer trimestre: Se considera la extracción de las reservas en el polígono +200 m y +230 m. Los volúmenes de reservas probadas que se encuentran en el polígono del nivel +200 m alcanzan valores de 57 222,89 m³ con un valor de escombro de 703 m³. El drenaje se garantizará manteniendo 0,1 % de inclinación en el piso con dirección suroeste garantizando la continua explotación de los recursos en estos niveles.

Segundo trimestre: Alcanza valores de reservas probadas de 50 089,59 m³. La extracción se limita a los niveles +230 m y +220 m. El frente de arranque tendrá dirección este. Se deberá respetar la construcción de la berma de seguridad, los acceso y la inclinación de un 0,01 % para lograr la evacuación de las aguas.

Tercer trimestre: En esta etapa los trabajos aun tendrán relevancia en el nivel +220 m con un total de 50 091,25 m³ de reservas probadas, 25 433,26 m³ de reservas probables y 24 657,99 m³ de estéril. Siguiendo el eje de la rampa maestra se profundizará hasta el nivel +210 m, se deberá respetar la confección de la berma de seguridad. En este nivel es posible el acarreo de las rocas producto de la voladura a los niveles inferiores para su posterior carga y traslado a planta. El avance será en dirección este. Las condiciones para el desagüe será como en los trimestres anteriores.

Cuarto trimestre: Al igual que los trimestres anteriores la extracción se limita a un nivel, +210m, los volúmenes de extracción son de 51 411,55 m³. El frente de avance será en dirección este y las condiciones de desagüe igual a los trimestres anteriores.

Año 2: Considera la explotación de los bancos +210m y parte del nivel +200 m, comprende un volumen de 91 520,45 m³ de reservas en el nivel +210 m y 110 624,32 m³ de reservas en el nivel +200 m. Se deberán conservar las bermas de seguridad.

Año 3: Comprende la extracción de las reservas del nivel +200 del extremo norte en su totalidad, una vez terminada la explotación en este nivel se agotan las reservas técnicamente explotable 112 377,69 m³. Se deberán de conservar las bermas de seguridad y los accesos a los distintos niveles.

Trabajos de perforación y de voladuras

Teniendo en cuenta las propiedades físico mecánicas de las rocas a arrancar (dureza, homogeneidad, agrietamiento, etc.) y la granulometría en la fragmentación requerida se realizará el cálculo del pasaporte de perforación y voladuras para las etapas planificadas. Las labores de perforación serán realizadas por un tercero, la Empresa de Servicios Geólogo-Minera (EXPLOMAT) con sus equipos y personal calificado y las labores de voladura la realizara el personal de Canteras.

La selección de las sustancias explosivas (S.E) y los medios de explosión (M.E) forman una parte importante del diseño de la voladura y por consiguiente de los resultados a obtener. Para su selección se debe tener en cuenta el precio de los explosivos, diámetro de la carga, características de la roca, volumen de roca a volar, presencia de agua y el clima de la zona.

Partiendo de la metodología establecida se determinaron los parámetros para el pasaporte del yacimiento teniendo en cuenta altura del banco 10 metros y los periodos de lluvia o seca se trabajara con los equipos con que cuenta Explomat (Tabla 9).

Tabla 9. Características técnicas de los equipos:

| Equipo de perforación: Rock 460 PC | Compresor: XAHS - 416 |
|---|---------------------------------|
| Diámetro de perforación: 115 mm | Firma: Atlas Copco |
| Diámetro de perforación: 85 mm | |
| Productividad: 14,5 m/h | Capacidad: 16 m ³ /h |
| Longitud del martillo: 1 m | Año: 2005 |
| Longitud de las barrenas: 3 m | Estado técnico: Bueno |
| Firma: Atlas Copco | Consumo Diesel: 30-35 lts/h |
| Año: 2005 | |
| Estado técnico: Bueno | |

En caso de que la perforación sea con 115 mm el diámetro de la carga será de 85 mm y en el caso que sea 85 mm la perforación, la carga será de 65 mm.

Metodología

Línea de menor resistencia

$$W = 53 * K_a * d * \sqrt{\frac{\Delta e}{\gamma}}$$

Donde:

d: diámetro real del taladro; 115 mm

γ roca: densidad de la roca; 2,650 t/m³

K_a : coeficiente de agrietamiento del macizo de rocas, entre 1,0-1,2

Coeficiente de la capacidad de Trabajo: $e = \frac{C.T.Empleada}{C.T.Patrón}$

C.T.: Capacidad de Trabajo S.E. Patrón, Amonita GJB =360 cm³.

C.T.: Capacidad de Trabajo S.E. Empleada, Senatel Magnafrac =480 cm³

Densidad de carga: $\Delta = \frac{Volumen\ de\ la\ S.E.\ Empleada}{Volumen\ del\ Taladro}$

La densidad real de carga se determina por la relación entre el diámetro del taladro y el diámetro de la carga explosivo dentro de este.

$$\Delta = \frac{d_c}{d_T}$$

Distancia entre filas

$$a = m * W$$

Donde:

m: coeficiente de aproximación, entre 0,9-1,1

Distancia entre taladros de una fila

$$b = W$$

Número de filas

$$Nf = \frac{A}{a} + 1$$

A: ancho del bloque de trabajo en el banco

Número de taladros por filas

$$Ntf = \frac{B}{b} + 1$$

Donde:

B: longitud del bloque de trabajo en el banco

El frente de trabajo en el banco será en bloques de 12 x 48 metros según la dirección que se especifique para cada frente o relaciones similares de forma tal que la longitud del bloque a perforar sea 3 veces mayor que su ancho.

Longitud de sobreperforación

$$Ls = Ks * d$$

Donde:

Ks: *coeficiente* de sobreperforación oscila entre 10-15 el diámetro de perforación.

Longitud de relleno

$$Lr = \geq 0.75 * W$$

Distribución y cálculo de las cargas por filas

$$Lc = Lt - Lr$$

Donde:

Lt: longitud total del taladro

Lc: longitud de carga del taladro

Volumen desprendido por metro de taladro

$$V_{mt} = H * a * W / Lt$$

Volumen desprendido por un taladro

$$V_{mt} = Lt * V_{mt}$$

Magnitud de carga

$$Q = q_e * W * a * h$$

Donde:

qe: gasto específico de S.E se toma de tabla o el real obtenido en la cantera (0,63 gasto planificado según cliente)

La magnitud de carga en el fondo para este yacimiento por experiencia en la operación es el 20 % de la carga total de un taladro y el 80 % es de carga de columna.

Consumo específico de proyecto

$$q_c = \frac{Q}{V_t}$$

El volumen arrancado por voladura se calcula:

$$V_{vol} = V_t * C_t, m^3/vol$$

$$V_t = Lt * V_{mt}, m^3/tal$$

$$V_{mt} = H * a * w / Lt, m^3/m$$

$$C_t = N_f * N_{tf}, u$$

Donde:

Vvol: Volumen por voladura

Vmt: Volumen desprendido por metro de taladro; m³/m

Vt: Volumen desprendido por un taladro; m³/tal

Ct: Cantidad de taladros

Nf: Número de filas

Ntf: Número de taladros en una fila

Para garantizar los volúmenes de producción se requerirán entre 2 y 3 voladuras por semana. La tabla 10 muestra la cantidad de metros de perforación y la cantidad de voladuras a ejecutarse en el desarrollo minero en el año I.

Tabla 10. Desarrollo minero en el primer año

| Parámetros | U/M | Valor |
|-----------------------|----------------|--------------|
| Volumen de material | m ³ | 1 864,2 |
| Metros de perforación | m | 160 |
| Cantidad de voladuras | U | 2 |
| Cantidad de taladros | U | 14 |

La tabla 11 muestra la cantidad de metros de perforación calculada a partir de la perforación específica y cantidad de voladuras por período a partir del volumen desprendido por un taladro y la cantidad de taladros por periodo, a ejecutarse en el arranque de material útil.

Tabla 11. Cálculo de productividad del yacimiento para tres años

| Extracción material útil | U/M | | | |
|---------------------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Parámetros | | Año I | Año II | Año III |
| Volumen de material | m ³ | 118 097,86 | 88 774,86 | 157 009,18 |
| Metros de perforación | m | 10 129 | 7 614 | 13 466 |
| Cantidad de voladuras | U | 22 | 16 | 29 |
| Cantidad de taladros | U | 908 | 683 | 1 208 |

Esquema de iniciación

La iniciación comenzará por el primer barreno, y con retardo de 25 s continuarán los taladros 2, 3 y 4, al conectar la primera fila con la segunda mediante el conector de superficie Exel Conectadet 42 ms, continuará el barreno 9 y así alternadamente continuará la primera fila con la segunda fila pero con 4 barrenos de adelanto.

Caminos mineros y drenaje

La red de caminos está definida, no es necesario hacer caminos mineros.

El área donde se ubica el yacimiento se caracteriza por acuíferos de baja acuosidad. Según los reconocimientos y estadística de la región no existe un manto friático capaz de afectar las reservas por esta condición.

Es necesario ejecutar controles topográficos en zonas donde se llegue o se esté próximo al piso del diseño de cada horizonte, posterior a realizarse voladuras con el

objetivo de evitar desniveles donde se puedan producir depósitos de agua en frentes de trabajo que impidan un buen desarrollo del avance de la minería.

Suministro de energía eléctrica y agua

El suministro eléctrico será mediante la red nacional, el suministro de agua se garantizará desde el acueducto que abastece al poblado.

Equipamiento para la extracción, carga y transporte del material útil

El establecimiento productivo cuenta con el siguiente equipamiento minero:

- Un Bulldozer marca Shantui, modelo SD- 23
- Un cargador marca Volvo y modelo L-180E, sobre neumáticos con capacidad de 4,1 m³ en la cuchara.
- Cinco camiones, dos de marca Belaz modelo 7540 y tres de marca KpAZ, con capacidad de carga de 17 m³ y 8 m³ respectivamente.

Extracción, carga y transporte del material

En todos los niveles de explotación la pendiente de las rampas de acceso será del 12 %, por lo que los trabajos del cargador se concentrarán en las labores de preparación y apertura de dichos niveles de acuerdo a la planificación realizada.

Conclusiones

Se determinó el desarrollo minero del yacimiento Sierra Anafe, para el período 2021-2026.

Se realizó la caracterización geológica y minero técnica del yacimiento.

Se obtuvo la productividad del yacimiento para los próximos tres años determinándose 118 097,86 m³ para el primer año, 88 774,86 m³ para el segundo y 157 009,18 m³ para el tercer año.

Referencias bibliográficas

- BATISTA, R.; MILLAR, Y.; HERNÁNDEZ, Y.; ORTEGA, Y. & VALDÉS, R. 2015. Valoración del potencial de las rocas y minerales industriales para el desarrollo municipal de la provincia Artemisa. *Geoinformativa* 9(1): 21-33.
- GORDON, M. & MANN, P. 1997. *Cenozoic tectonic history of the North America-Caribbean plate boundary zone in western Cuba. Journal of Geophysical Research* V(L)102: 10 055-10 082.
- LÓPEZ, J.; JAIMEZ, E.; GUERRA, M.; ESCANDÓN, C.; SÁENZ, Y. & BORREGO, N. 2015. Caracterización medioambiental de 12 canteras en explotación para materiales de construcción ubicadas en las provincias de La Habana Artemisa y Mayabeque. *Ciencias de la Tierra y el Espacio* 16(1): 40-52.
- OFICINA NACIONAL DE RECURSOS MINERALES (ONRM). 2009. *Resolución N° 385. Clasificación de los Recursos y Reservas y el Banco Nacional de Recursos y Reservas (BNRR)*.
- SALAS, R. 2015. Proyecto de explotación de la ampliación norte del yacimiento Cantera Blanca en Bauta. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa.