



Diseño del sistema de explotación para yeso del área minera “Manuel Salvador Vega”, código 690344, ubicada en la Parroquia Malacatos, Cantón y Provincia de Loja

Design of the exploitation system for gypsum from the "Manuel Salvador Vega" mining area, code 690344, located in the Malacatos Parish, Canton and Province of Loja

Projeto do sistema de exploração de gesso da área mineira "Manuel Salvador Vega", código 690344, localizada na Freguesia de Malacatos, Cantão e Província de Loja

David Francisco González Zumba ^I
david.gonzalez@unl.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-6895-8942>

Fabian Ricardo Ojeda Pardo ^{III}
fabian.ojeda@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3192-5084>

Goering Octavio Zambrano Cárdenas ^V
goering.zambrano@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0090-0864>

Hernán Luis Castillo García ^{II}
hernan.castillogarcia@unl.edu.ec
<https://orcid.org/000-0002-5706-0132>

Jimmy Stalin Paladines ^{IV}
stalin.paladines@unl.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5956-0465>

Alex Danilo Merizalde Salas ^{VI}
a.merizalde19@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0090-0864>

Correspondencia: david.gonzalez@unl.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de marzo de 2023 * **Aceptado:** 12 de abril de 2023 * **Publicado:** 13 de mayo de 2023

- I. Egresado de la Universidad Nacional de Loja, Ecuador
- II. Ingeniero de minas, Docente de la carrera de Minas, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- III. Ingeniero en Minas, Máster en Metalurgia, Docente de la carrera de Minas, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Ingeniero de minas, Docente de la carrera de Minas, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- V. Ingeniero en Agroindustrias, Docente de las carreras: Ingeniería en Zootecnia y Ambiental, Escuela Politécnica Superior de Chimborazo Ecuador.
- VI. Ingeniero Mecánico, Docente de la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Industrial, “Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros”, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo se ha desarrollado con el fin de diseñar el sistema de explotación para yeso del área minera "Manuel Salvador Vega" ubicada en la parroquia Malacatos. La investigación parte de la observación al desarrollar las actividades de exploración, explotación, sin una valoración del yacimiento, de manera artesanal y sin una planificación de labores mineras, lo cual genera una incertidumbre de rentabilidad. El planteamiento del sistema de explotación se desarrolló en función de las características del yacimiento (geológicas, estructurales y propiedades físico-mecánicas de los materiales que componen al yacimiento). Este estudio inicio con el levantamiento topográfico del área minera, posterior a ello se desarrolló la geología local del yacimiento, mediante el levantamiento y descripción de afloramientos y calicatas. Determinando dos estratos de Yeso de interés económico Y1 (20m potencia) y Y2 (12m de potencia) sobre los cuales se centró todo el desarrollo de esta investigación y con ello se logró obtener los volúmenes y con ello el tonelaje de estéril y mineral a extraer siendo 37430.925 Ton de reservas probadas y 29803.2 Ton de probables, para estéril un total de 91714,5 Ton.

Palabras Clave: Diseño; Reservas; Geología; Parámetros Mineros.

Abstract

The present work has been developed in order to design the exploitation system for gypsum in the "Manuel Salvador Vega" mining area located in the Malacatos parish. The investigation starts from the observation when developing the activities of exploration, exploitation, without a valuation of the deposit, in an artisanal way and without a planning of mining works, which generates an uncertainty of profitability. The exploitation system approach was developed based on the characteristics of the deposit (geological, structural and physical-mechanical properties of the materials that make up the deposit). This study began with the topographical survey of the mining area, after which the local geology of the deposit was developed, through the survey and description of outcrops and pits. Determining two strata of Gypsum of economic interest Y1 (20m power) and Y2 (12m power) on which the entire development of this research was focused and with this it was possible to obtain the volumes and with it the tonnage of waste and mineral to be extracted. being 37430.925 tons of proven reserves and 29803.2 tons of probable, for sterile a total of 91714.5 tons.

Keywords: Design; Bookings; Geology; Mining Parameters.

Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de projetar o sistema de exploração de gesso na área mineira "Manuel Salvador Vega" localizada na freguesia de Malacatos. A investigação parte da observação ao desenvolver as atividades de prospecção, lavra, sem valorização da jazida, de forma artesanal e sem planejamento de trabalhos mineiros, o que gera uma incerteza de rentabilidade. A abordagem do sistema de exploração foi desenvolvida com base nas características do depósito (propriedades geológicas, estruturais e físico-mecânicas dos materiais que compõem o depósito). Este estudo iniciou-se com o levantamento topográfico da área mineira, após o que se desenvolveu a geologia local da jazida, através do levantamento e descrição de afloramentos e cavas. Determinando dois estratos de Gesso de interesse econômico Y1 (potência 20m) e Y2 (potência 12m) sobre os quais se concentrou todo o desenvolvimento desta pesquisa e com isso foi possível obter os volumes e com isso a tonelagem de rejeitos e minerais a serem sendo 37430,925 toneladas de reservas comprovadas e 29803,2 toneladas de prováveis, para estéreis um total de 91714,5 toneladas.

Palavras-chave: Projeto; Reservas; Geologia; Parâmetros de Mineração.

Introducción

Actualmente en Ecuador la minería ha venido evolucionando, con el pasar de los días, en ámbitos de creación de entidades reguladoras, leyes, que hacen que el desarrollo de estas actividades vaya tomando una mayor responsabilidad social y ambiental al momento de extraer recursos minerales. Por ende, el diseño de sistemas de explotación es uno de los procesos más importantes dentro de la actividad minera debido a que nos permite tonelajes de mineral y estéril, forma final del minado vida útil y rentabilidad.

La importancia de diseñar sistemas de explotación de acuerdo a las características del yacimiento a explotar, como es el caso del área minera “Manuel salvador Vega” mismo que se desarrolla artesanalmente sin parámetros técnico mineros acordes para el desarrollo de actividades mineras, es por ello que existe la necesidad de diseñar un sistema que brinde seguridad y mayor rentabilidad económica.

Esta investigación tiene el objetivo de aportar a esa exploración de minerales de interés económico en el país, para tratar de contribuir a un cambio en la matriz productiva del país y con ello su desarrollo económico, esto de manera general y de manera local aportara con la información

necesaria para que el titular minero desarrolle una correcta extracción de mineral de yeso lo que conllevara a tener mayor rentabilidad.

El alcance general de esta investigación es plantear una solución viable para disminuir la incertidumbre de explotación, sintetizando en tiempo las actividades que se desarrollan en el área minera, desde la prospección geológica, diseño y explotación del yacimiento, de esta manera ayudar a la toma de decisiones por parte del titular minero en torno al ámbito financiero.

Objetivos

- Diseñar el sistema de explotación para yeso del área minera “Manuel Salvador Vega” código 690344, ubicada en la parroquia Malacatos, cantón y provincia de Loja.
- Realizar la caracterización geológica sobre la base topográfica del área de estudio.
- Describir las actividades actuales que se desarrollan dentro del área de explotación.
- Determinar las reservas minerales de yeso y calidad del mismo.
- Plantear un sistema de explotación acorde a las características del yacimiento, con el fin de mejorar el aprovechamiento de yeso.

Metodología

La metodología se la realizó con base en los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación, y se describe secuencialmente el orden de los pasos que se ejecutó para alcanzar dichos objetivos:

“Realizar la caracterización geológica sobre la base topográfica del área de estudio.”

Trabajo de Campo: Para el cumplimiento de este objetivo se inició con la recopilación de información topográfica y geológica de fuentes secundarias, entre los principales documentos guía utilizados se encuentran: “PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARROQUIA MALACATOS 2015-2019”, carta geológica de “Gonzanama” a escala 1:100000, elaborada por el Instituto Nacional de Investigación del Ecuador en el año 2017, y “Léxico Estratigráfico de las Cuencas sedimentarias miocénicas del sur del Ecuador” elaborado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador año 2020.

Para el trabajo de campo se procedió a realizar el levantamiento topográfico mismo que se lo llevo a cabo mediante un dron modelo Phantom 4 Pro v2 y GPS diferencial Trimble R8 RTK. Para el

levantamiento topográfico se hizo uso de la técnica de Fotogrametría. En cuanto a la Geología se procedió a hacer el levantamiento e información en campo mediante fichas de descripción de afloramientos, y fichas de descripción de calicatas, tomando en cuenta datos estructurales de afloramientos y características litológicas.

Trabajo de Gabinete: La información con el dron Phantom 4 Pro v2 y GPS diferencial Trimble R8 RTK, se procesó y exportó al programa “Agisoft Metashape” para ordenar los datos obtenidos y generar la ortofoto del área de estudio posterior a ello generar las curvas de nivel, en este caso se las realizó a cada metro (1 m.) a las curvas secundarias y (5m) para las principales, posteriormente se exportó al programa ArcMap, donde se culminó la realización del mapa topográfico.

Para la construcción del Mapa Geológico se hizo uso del programa ArcMap donde se delimito las litologías, estructuras, tramados y demás datos geológicos. Las columnas estratigráficas se realizaron en el programa Strater 5.

“Describir las actividades actuales que se desarrollan dentro del área de explotación”

Trabajo de Campo: Se procedió a recopilar información mediante fichas de descripción de actividades, y encuestas realizadas al titular minero con el fin de obtener la información necesaria para determinar el ritmo de producción actual.

Trabajo de Gabinete: Para describir las actividades realizadas en el área minera se las desgloso por etapas (Desbroce, Explotación, Beneficio) y procedió a detallar lo que realizan en cada una de ellas, en cuanto a uso de equipos, personal, maquinaria, esta información se representó mediante un esquema de las actividades.

Con la información levantada en campo, se elaboró los resultados de las actividades mineras actuales, mediante Software AutoCAD, se confecciono los equipos usados para la extracción del mineral de yeso, al igual que el esquema de las actividades que se desarrollan en el área minera, con el propósito de tener datos cuantitativos de la producción actual.

Ritmo de Producción Actual y Costes de Producción

Los cálculos respectivos sobre ritmos de producción y costes de producción se efectuarán de acuerdo a los establecido por Alejandro y Mora (1993):

Producción Mensual

$$PM=PA12 \text{ meses}$$

$$PM = \frac{Ton}{12 \text{ meses}}$$

Producción Diaria

$$PD = PM \cdot 15 \text{ dias}$$

$$PD = \frac{Ton}{15 \text{ dias}}$$

Producción Mineral por Hora

$$PH = \frac{PD}{8h}$$

Producción de Estéril por Hora

$$PEsteril = PH * Ki$$

Ki: coeficiente industrial (o medio) de Destape

Ki: V_e / V_m : $Ki = 2.8$

Donde:

V_e = Volumen de Estéril.

V_m = Volumen de mineral.

Producción de Estéril Mensual

$$PEsteril = \text{esteril } m^3/\text{mes} * 2.8$$

Ingresos

$$I = Pa * Pmine.$$

Donde:

- Pa: producción mensual
- Pmine: precio de venta de mineral por tonelada (120\$/Ton)

Egresos

$$Ea = \text{Costes de Produccion}$$

“Determinar las reservas minerales de yeso y la calidad del mismo”

Trabajo de Gabinete: Para el cálculo de reservas minerales del área minera se empleó el método de perfiles mismo que se puede emplear siempre y cuando las características del yacimiento lo permitan, de esta forma la construcción de los cortes geológicos del yacimiento se los realizo de manera perpendicular a al rumbo de las capas que componen al yacimiento.

La sucesión de cálculo de reservas para este caso fue el siguiente:

- Delimitación del área general para construcción de perfiles.
- Dibujo de perfiles, para el área anteriormente delimitada.
- Dibujo de los bloques 1 y 2 de acuerdo a su rumbo.
- Cálculo de áreas de cada uno de los perfiles construidos.
- Cálculo de volúmenes de cada una de las áreas.
- Estimación de reservas presentes en los bloques 1 y 2.

Determinación de Calidad de Yeso: La composición química de yeso fue obtenida mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX), la mineralogía del yeso se determinó mediante Difracción de Rayos.

“Plantear un sistema de explotación acorde a las condiciones del yacimiento, con el fin de mejorar el aprovechamiento de Yeso.”

Antes del diseño se establecerá el sistema de explotación de acuerdo a las características que presente el yacimiento, y con ello establecer ventajas y desventajas de los subsistemas de explotación de minería a cielo abierto.

Para la determinación de parámetros mineros y los cálculos respectivos, se realizarán de acuerdo a los mencionado por Noguel y Recio (2001) en su libro Trabajos a Cielo Abierto. De igual manera algunos de los parámetros técnico mineros se los hará según lo establece (Galán, 2018):

▪ **Profundidad De La Cantera**

Este parámetro se define como la diferencia entre la cota máxima y la cota mínima de explotación identificada durante el levantamiento topográfico.

$$\text{Profundidad de la cantera} = C_{\text{máx}} - C_{\text{mín}}$$

▪ **Altura De Banco:**

En las condiciones de la cantera se determinará la altura de los bancos en función de la maquinaria a utilizarse, este parámetro se determina calculando mediante la siguiente fórmula:

$$h = 0,9 (Ab)$$

Donde:

Ab: alcance del brazo, y será utilizado viendo el catálogo de la maquinaria a utilizarse.

▪ **Número De Bancos**

Para determinar el número de bancos que deberán conformarse para la profundidad del depósito, se utilizará la siguiente relación:

$$N^{\circ} \text{ Bancos} = \frac{\text{Profundidad de la cantera}}{\text{Altura del banco}}$$

Ancho De Vía

Se calcula en función del número de carriles, con la siguiente expresión:

$$A = AC * (0.5 + 1.5n)$$

Donde:

- A = Ancho de la vía.
- AC = Ancho del vehículo.
- n = Número de carriles.

▪ **Ancho De La Berma De Seguridad**

Se calcula en función de la altura del banco, mediante la expresión:

$$B = \frac{h}{3}$$

Donde:

- B = Ancho de la berma
- h = Altura del banco de trabajo

▪ **Ancho De La Plataforma De Trabajo**

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T = C + A + B$$

Donde:

- T = Ancho de la plataforma de trabajo
- C = Espacio de maniobra de la pala cargadora (1.5 veces su longitud)
- A = Ancho de la vía.
- B = Berma de seguridad

Ángulo De Talud De Banco

Se lo calcula de acuerdo al coeficiente de Protodyakonov el cual depende de la resistencia a la compresión simple de la roca.

$$\phi = \tan^{-1}(f)$$

Donde:

$$f = \text{Coeficiente de Protodyakonov} = \frac{RSC (MPa)}{10}$$

Tabla 1. Clasificación de las Rocas Según Protodyakonov

| Clasificación De Las Rocas Según Protodyakonov | | | | |
|--|-----------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|
| Categoría | Grado de resistencia de la roca | Rocas | Coefficiente de resistencia "P" | Ángulo de resistencia interna "B" |
| I | Rocas resistente en alto grado | Cuarzitas y Basaltos resistentes, compactos y viscosos. De dureza exclusiva en relación con otras rocas. Rocas granitoides muy resistentes. | 20 | 80 07 |
| II | Rocas muy resistentes | Pórfido cuarcífero, esquistos silíceos. Cuarzitas menos resistentes. Las areniscas y calizas más resistentes Granito (compacto y rocas graníticas. | 15 | 86 11 |
| III | Rocas resistentes | Areniscas y Calizas muy resistentes. Filones de cuarzo mineral. Conglomerados resistentes. Minerales ferrosos muy resistentes | 10 | 84 18 |
| III a | Ídem | Calizas (resistentes). Granito no resistente. Areniscas resistentes. Mármol resistente, dolomita. Piritas | 8 | 82 53 |
| IV | Rocas suficientemente resistentes | Arenisca común. Minerales de hierro | 6 | 80 32 |
| IV a | Ídem | Esquistos arenosos, areniscas esquistosas. | 5 | 78 41 |
| V | Rocas de resistencia media | Esquistos arcillosos resistentes. Areniscas y calizas no resistentes, conglomerados suaves. | 4 | 75 58 |
| V a | Ídem | Diferentes esquistos (no resistentes). Margas compactas | 3 | 71 34 |
| VI | Rocas suficientemente suaves | Esquistos suaves. Calizas, cretas, sal gema, yeso muy suave. Suelos congelados, antracita. Margas corrientes. Areniscas desmenuzadas, guijos cementados, suelos pedregosos. | 2 | 63 26 |
| VI a | Ídem | Suelos cascajosos. Esquistos destrozados, arcillas y ripios | 1.5 | 63 23 |

Volumen del Mineral

Es el volumen de mineral a explotarse una vez realizado el cálculo de reservas. El volumen calculado como reservas probadas y probables es de:

Volumen Mineral: B1+B2

Volumen Mineral: m³

Volumen de Estéril

Es el volumen a despejarse para poder permitir la explotación de yeso, este volumen se lo ha calculado mediante los perfiles realizados para el cálculo de reservas, este volumen será retirado por retroexcavadora según se requiera.

VTE= m³

Coefficiente de Destape

Este coeficiente se determina mediante la relación entre el estéril y el mineral.

Cd: Ve/Vm

Producción de la Cantera

La producción de la cantera se estableció tomando como la base la actual producción mensual del área minera, y la demanda que tiene del yeso, de ello se plantea:

- **Producción Diaria:** Ton
- **Producción Mensual:** Ton
- **Producción Anual:** Ton

Tiempo de Duración de la Cantera

Viene dada por la siguiente formula:

$$T = \frac{Q * n}{P}$$

Donde:

- T: Tiempo de duración de la cantera
- Q: reservas probadas + probables
- n: Peso volumétrico del mineral
- P: producción anual

Régimen de Trabajo

El régimen de trabajo de la cantera se lo establece de acuerdo a las fases mineras que se desarrollan.

Personal de Trabajo

El personal de trabajo será el acorde a cada una de las actividades mineras que se desarrollen,

Proceso de carguío y transporte

Este proceso estará en función del volumen de material explotado.

Costos Económicos

Tabla 2. Costos por Etapas de Operación

| Operación | Coste Total | Coste por tonelada de Mineral |
|--------------|-------------|-------------------------------|
| Destape | | |
| Herramientas | | |
| Extracción | | |
| TOTAL | | |

$$Costo_{ton\ mineral} = \frac{Costo\ Total}{Ton.\ Año}$$

Fuente: (El Autor, 2022)

Ingresos

Se determino al multiplicar la producción anual por el precio de venta por tonelada de mineral este ingreso será de forma anual.

$$I = Pa * P_{mine}$$

Donde:

- Pa: producción anual
- P_{mine}: precio de venta de mineral por tonelada

$$I = Pa * P_{mine}$$

Egresos

Se determino mediante el producto de producción mineral anual por el coste de operación.

$$Ea = Pa * Co$$

Donde:

- **Pa:** Producción Anual
- **Co:** Coste de Tonelada al Año

Rentabilidad

$$Re = Ingresos - Egresos$$

Resultados

- **Datos generales**

Tabla 3 Datos generales

| DATOS GENERALES DE LA CONCESIÓN | | |
|---------------------------------|-----|------------------------|
| Nombre del Área: | del | “Manuel Salvador Vega” |
| Código: | | 690344 |

| | |
|--|-------------------------------------|
| Representante legal: | Sr. Manuel Salvador Vega |
| Superficie Concesionada: | 1 hectáreas Mineras |
| Dirección actualizada del área minera: | Malacatos (San José de Ceibopamba). |

Fuente El autor

- **Situación geográfica**

Tabla 4 ubicación

| | |
|------------|------------------------|
| Provincia: | Loja |
| Cantón: | Loja |
| Parroquia: | Malacatos |
| Sector: | San José de Ceibopamba |

Fuente El autor

- **Coordenadas Área Minera**

Tabla 5 Coordenadas área minera

| PUNTOS | PSAD56 | |
|--------|--------|---------|
| | X | Y |
| 1 | 689641 | 9536027 |
| 2 | 689741 | 9535027 |
| 3 | 689741 | 9535927 |
| 4 | 689641 | 9535927 |

Fuente El autor



Figura 1 Límites concesión minera

Fuente El autor

- **Acceso**

El acceso hacia el área de investigación se lo puede efectuar por diferentes medios.

Por vía aérea: desde Quito o Guayaquil hasta el aeropuerto “Camilo Ponce Enrique” del cantón Catamayo perteneciente a la provincia de Loja; y de ahí hasta la ciudad de Loja por una vía terrestre de primer orden.

Por vía terrestre: mediante vía terrestre desde Quito tomando la vía Panamericana, de igual manera se puede acceder, desde Guayaquil pasando por Machala hasta llegar a Loja. El acceso se lo realiza por el sur de la provincia de Loja tomando la vía Loja-Malacatos (asfaltada 32km); consecutivamente se toma el tramo vial de Malacatos- Catamayo (vía intervalles), con un recorrido de 6 Km.

- **Topografía**

El área minera “Manuel Salvador Vega” tiene un área total de 1 hectáreas, se caracteriza por poseer una topografía irregular la cual comprende cotas de elevación que van desde los 1640 msnm hasta los 1755 msnm.

Topografía superficial:

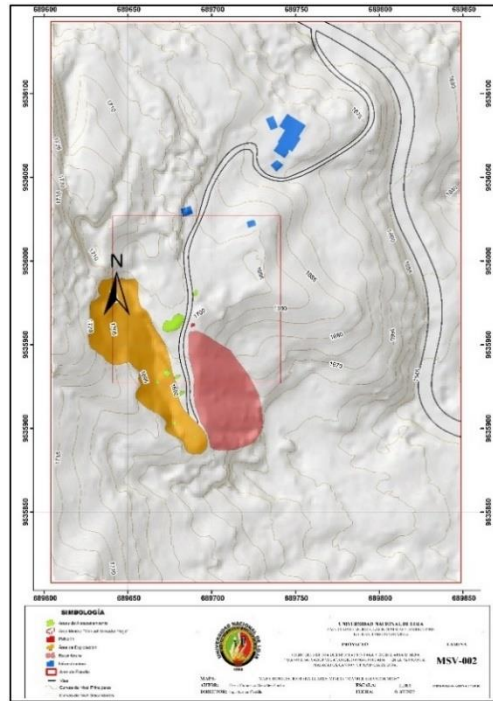


Figura 2 Mapa levantamiento topografía superficial área minera “Manuel Salvador Vega”

Fuente El autor

Pendientes

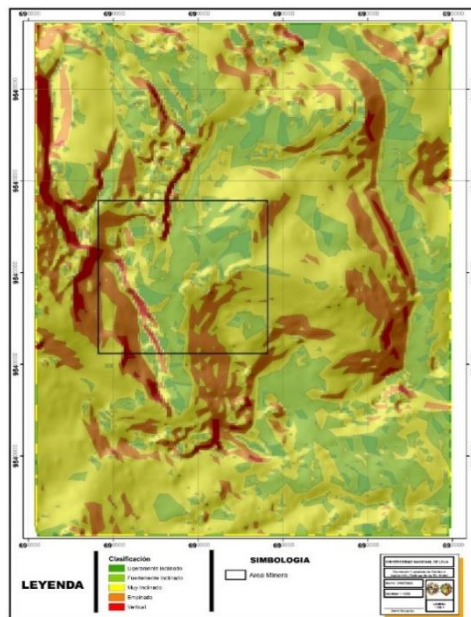


Figura 3 Mapa de Pendientes para Area Minera “Manuel Salvador Vega”

Fuente El autor

Según los resultados obtenidos del mapa de pendientes, las elevaciones de mayor cota corresponden lomeríos ubicados en la zona nor oeste y sur-oeste, mientras que la cota más baja se ubica en la zona sur-este y pertenecen a zonas de pequeñas elevaciones y se observan terrenos más planos los cuales son usados para zonas de cultivos y asentamientos humanos. Las pendientes que comprenden al área minera corresponden a las categorías de media (12-25%) y fuerte (40-70%).

- **Geología**

Geología Regional: La zona de estudio se encuentra influenciada por la **Frm. Santo Domingo** que se divide en dos miembros; **Miembro Yeso** de litología lutitas, areniscas y microconglomerados, con capas de yeso y nódulos lutíticos y carbonatados con envolturas de yeso fibroso, **Miembro Carbón** posee una repetición de estratos de lutitas negras, limolitas e intervalos menores de areniscas. También se reconoce las **Formaciones San José** la cual se representa por intercalaciones de arcosas, limolitas, grawacas feldespáticas, brechas volcánicas con matriz litarenítica e intercalaciones de areniscas y conglomerado, y **Frm. San Francisco** secuencia de areniscas y limos marrones o gris-azulados, interrumpidos por cuerpos canaliformes formados por litarenitas y sublitarenitas de aporte metamórfico.

Geología Local: Alrededor del Area Minera se identificó dos Formaciones la **Santo Domingo y San José**, de predominancia rocas sedimentarias como areniscas, lutitas, limolitas, se identificó el miembro Yeso y Carbón de la **Frm Santo Domingo**. La acumulación de niveles de yeso favorecidas por la entrada de lenguas marinas lagos en condiciones evaporíticas, no totalmente definidas; serían restringidos debido a la morfología preexistente y a las barras arenosas. Durante este ciclo de sedimentación, se depositaron: lutitas, areniscas y microconglomerados: lutitas carbonosas y areniscas como lutitas, tobas areniscas y niveles de yeso, en el que la actividad volcánica no cesó; lo que demuestra la presencia de niveles de tobas. La mineralización de yeso se representa por vetillas de yeso que van desde los 0.5 a 5cm y con vetas que van desde los 5cm a varios metros. Se evidencia una clara intercalación de facies rocosas sedimentarias duras con otras más blandas en forma de FLYSCH.

Mapa geológico para el Area Minera

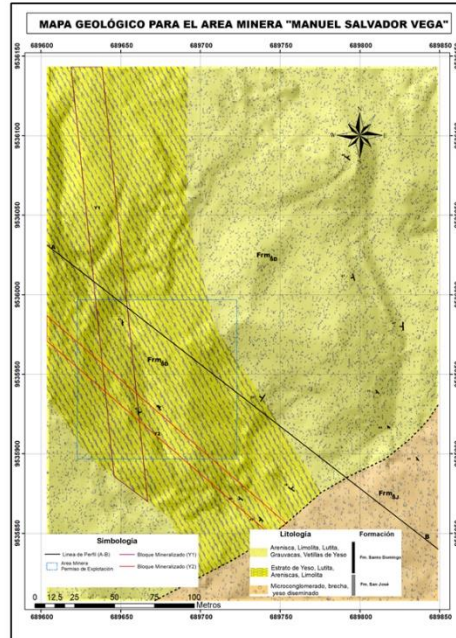


Figura 4 Mapa geológico área Minera “Manuel Salvador Vega”

Fuente El autor

- **Geología Estructural**

De manera regional el área de estudio se encuentra influenciada por la Falla Picota con una dirección NW–SE y buzamiento al noreste que ha controlado el levantamiento de las secuencias sedimentarias. Regionalmente se tiene la falla inversa San Agustín, con dirección NE–SW y buzamiento vertical, al nororiente de la cuenca se encuentra la falla inversa El Tambo, con dirección variable entre N–S y ENE–WSW y buzamiento entre este y noroeste, al occidente la falla inversa Solanda se presenta segmentada con direcciones entre N–S y NW–SE y buzamiento hacia el oeste. Localmente se identificó estructuras sedimentarias como pliegues, pero predominan pliegues, sinclinales, sinclinales tumbados.

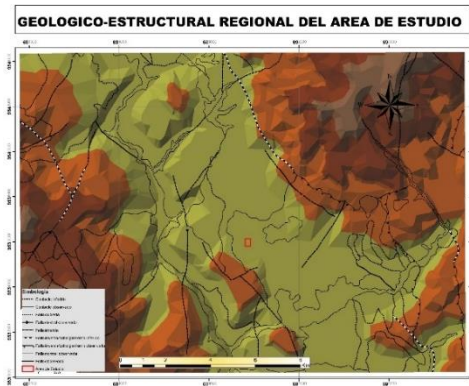


Figura 5 Mapa geológico estructural regional

Fuente El autor

- **Descripción de Actividades**

Actualmente los trabajos de explotación se realizan en forma artesanal existiendo una trinchera de grandes dimensiones que se encuentra en forma paralela al rumbo del cuerpo mineral. Dispone de una vía de acceso a la trinchera y el material estéril es sacado hacia el exterior y depositado al costado de la misma. Los trabajos que se han realizado para extraer el mineral, han dejado taludes con un ángulo mayor al ángulo de estabilidad natural, generando gran riesgo de posibles deslizamientos debido al bajo grado de compactibilidad del material de sobrecarga.

Arranque de Mineral: En la fase de explotación o extracción de mineral, así como de carga y transporte no se emplea maquinaria industrial de ninguna clase, que asegure un proceso efectivo en estas etapas antes mencionadas. Para este caso se emplean equipos pequeños como: carretillas, retroexcavadora, barretas, palas que sirve para la extracción, carga y transporte del mineral y estéril.

Carga y Transporte de Mineral: Para el cargado de mineral se utiliza palas y la mano del hombre ubicándolo en las carretillas; luego es transportado el mineral en estas carretillas, por tablones que permiten el deslizamiento hacia los camiones de transporte, donde se realiza el cargado último del mineral para el transporte hacia los lugares donde son requeridos el mineral. Las carretillas son cargadas en el frente de arranque y se traslada hasta sitios preestablecidos con distancias que van de 10 a 20 metros hasta donde llegan los camiones de los transportistas intermediarios

Almacenamiento de Mineral: El almacenamiento del mineral de yeso, se lo realiza en cúmulos cercanos al área de explotación aprovechando la pendiente para realizar la carga.

Beneficio (Calcinación de Yeso): Para la calcinación del yeso se realiza posterior a la extracción del mismo, luego de los 15 días de labores de extracción se procede a la calcinación que toma unos 10 días laborales, una vez hecha la calcinación se procede a la molienda del mineral, esto con el fin de obtener yeso molido para ser comercializado en la ciudad de Cuenca para fines de construcción y abonos.



Figura 6 Diagrama de Actividades Mineras Desarrolladas en el área minera “Manuel Salvador Vega”

Fuente: El Autor

- **Ritmo de Producción Actual**

Para el cálculo de la producción actual se cuenta con los siguientes datos:

- Producción cada 15 días: 8 Ton
- Producción proyectada anualmente (PA): 8Ton * 12 meses: 96 Ton
- Capacidad de carga de cada carretilla: 0.053 Ton
- Densidad del Yeso: 2.3 t/m³

Producción Mensual

$$PM = \frac{96 \text{ Ton}}{12 \text{ meses}}$$

$$PM = 8 \text{ Ton/mes}$$

$$PM = 3.4 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Producción de Estéril

$$PEsteril = 3.4 \text{ m}^3/\text{mes} * 2.8$$

$$PEsteril = 9.52 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$PEsteril = 22.4 \text{ Ton/mes}$$

Coste de Producción

Tabla 6 Resumen Costos de Producción

| Costos en Extracción | Costos |
|----------------------|-------------------------------------|
| Costo por Personal | 140\$ |
| Costo por Equipo | 100\$ |
| Total | 240\$/ cada que se hace extracción. |

Ingresos

$$I = 960 \text{ \$/mes}$$

Egresos

$$Ea = 240\$/mes$$

Reservas Minerales de Yeso

Para la estimación de reservas se separó en dos bloques mineralizados, debido a que la potencia del yacimiento es variable, de esta manera la potencia para el bloque 1 en promedio es de 20m, con disposiciones intercaladas de lutitas, arenisca y limolita. La potencia para el bloque 2 es de 12m, de igual forma presenta intercalaciones de lutitas, arenisca y limolita siendo estas rocas las rocas de caja. Los estratos del bloque 1 mantienen los mismos elementos de orientación en casi toda su extensión, de esta manera el azimut correspondiente es de N5W, con un ángulo de buzamiento de 54° a 61°. Mientras que el bloque 2 sus elementos de orientación son N49W con un ángulo de buzamiento de 80° a 88°.

Las reservas evaluadas para este caso se consideraron como probadas hasta los 30m, la probables hasta los 60m. Para la estimación de reservas se aplicó el método clásico para estimación de reservas denominado método de perfiles. Para ello se construyó 7 perfiles horizontales de forma que corten los bloques mineralizados, a una distancia de 25m el uno del otro de esta manera se abarco los dos bloques mineralizados. La elaboración de estos perfiles es con el fin de conocer el volumen de los mismos y con ello saber las reservas presentes en cada uno. Actualmente la explotación de yeso se viene haciendo sobre el bloque 1 y el bloque 2 se encuentra en exploración, por cuanto se ha considerado estos dos bloques como aquellos que ofrecen mayor rentabilidad.

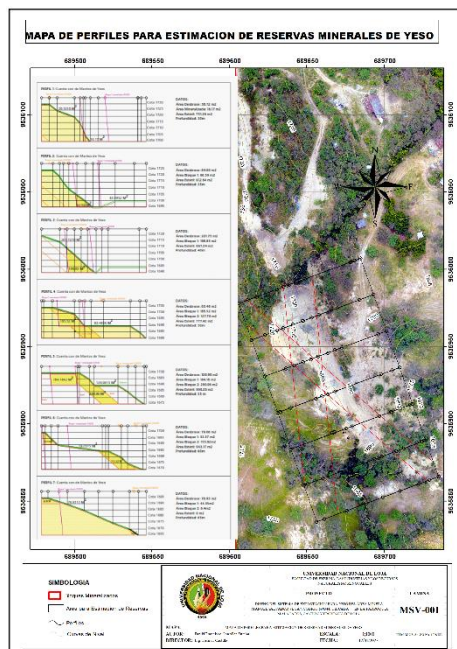


Figura 7 Mapa de Perfiles para Estimación de Reservas

Fuente: El Autor

Los resultados salieron toneladas de reservas de yeso entre bloque 1 y 2 de 67234.125 Ton de estéril 91714.5 Ton; de desmonte 11801.62 Ton. Los resultados de los cálculos de cada uno de los perfiles se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7 Resumen de Cálculo de Reservas

| PERFIL | SEÑAL (M.O) | AREA BLOQUE 1 (M2) | AREA BLOQUE 2 (M2) | AREA ESTERIL (M2) | DESMONTE (M2) | DENSIDAD MSO (Ton/M3) | DENSIDAD ESTERIL 1 Tonno (Ton/M3) | VOLUMEN MINERAL BLOQUE 1 Y 2 (M3) | VOLUMEN DESMONTE (M3) | VOLUMEN ESTERIL (M3) | RESERVA USO BLOQUE 1 Y 2 (TON) | ESTERIL FOR AL (TON) |
|--------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| 1 | 114 | 46.17 | 0 | 731.26 | 48.73 | 2.1 | 1.0 | 208.061 | 4384 | 4890.37 | 434.4633 | 17614.62 |
| 2 | 32 | 40.30 | 0 | 633.84 | 86 | 2.1 | 1.0 | 1104.71 | 2300 | 11321.00 | 1330.275 | 20700.0 |
| 3 | 25 | 104.82 | 0 | 731.26 | 181.73 | 2.1 | 1.0 | 4923.72 | 498 | 18780.50 | 18836.62 | 37084.82 |
| 4 | 25 | 183.52 | 137.7 | 774.42 | 83.48 | 2.1 | 1.0 | 7830.2 | 2087 | 1051.50 | 14444.00 | 3671.40 |
| 5 | 25 | 184.88 | 200.66 | 692.56 | 128.08 | 2.1 | 1.0 | 11058.4 | 2254.2 | 27706.50 | 24614.00 | 47165.00 |
| 6 | 27 | 33.33 | 107.82 | 303.17 | 50.29 | 2.1 | 1.0 | 1324.71 | 1075.6 | 23179.23 | 10943.23 | 44833.33 |
| 7 | 174 | 44.32 | 0.0 | 0 | 70.91 | 2.1 | 1.0 | 631.612 | 90.80 | 0.00 | 10114.00 | 0.00 |
| TOTAL | | | | | | | | 20316.20 | 11801.62 | 91714.5 | 47244.12 | 125207.82 |

Fuente: El Autor

Análisis Químico del Mineral

La composición química de yeso fue obtenida mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX), empleando el equipo Bruker S1 Turbo SD. En la siguiente tabla se presentan los valores de composición química:

Tabla 8 Resultados de Ensayo de Fluorescencia de Rayos X para Yeso del Area Minera “Manuel Salvador Vega”

| Muestra | Al₂O₃ (%) | SiO₂ (%) | S (%) | P₂O₅ (%) | CaO (%) |
|----------------|---|-------------------------------|-----------------|--|-------------------|
| 1 | 7.0 | 6.6 | 29.8 | 2.3 | 52.5 |

Fuente El autor

Estos resultados corresponden a la composición química de la muestra expresada en elementos mayoritarios (>1%), minoritarios (<1 a 0,1%) y trazas (ppm). El ensayo FRX se realizó en los Laboratorios del Departamento de Geociencias de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Análisis Mineralógico de Mineral (Difracción de Rayos X)

La mineralogía del yeso se determinó mediante Difracción de Rayos X, con el fin de determinar los compuestos con cristalización presentes en la muestra mineral, mediante el empleo de Difractómetro D8 ADVANCE, y los programa DIFFRAC.EVA y TOPAS para la determinación cualitativa y semicuantitativa de la concentración y purezas yeso. En la Tabla 9 se detallan los resultados:

Tabla 9 Resultados de Ensayo de Difracción de Rayos X para Yeso del Area Minera “Manuel Salvador Vega”

| Muestra | Fases Minerales | Semicuantificación (%) |
|----------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Yeso | 100% |

Nota: La muestra puede contener trazas de Wavelita (Al (PO)(OHF)₃), que no se pudo semicuantificar. Este análisis mineralógico semicuantitativo refleja la composición de la parte cristalina de la muestra. La misma puede contener fases amorfas. Fuente: El autor

Diseño de Sistema de Explotación

La determinación de los parámetros de la cantera se realizó en base a los trabajos geológicos de exploración, al igual que tomando en consideración las características del yacimiento mineral, las cuales son; por su forma es un yacimiento en forma de capas, por su relieve es de laderas, por su

posición respecto a la superficie es elevado y profundo, por su ángulo de caída es del tipo abrupto con un ángulo de buzamiento mayor a los 35°, por su estructura de cuerpo mineral es del tipo complejo es decir que conjuntamente con el mineral de importancia, hay mineral sin las condiciones requeridas e intercalaciones de material estéril. Para la determinación del sistema de explotación se lo realizó mediante una tabla comparativa de cada una de las características de los métodos de explotación.

| Sistemas de Explotación Minería Cielo Abierto | |
|---|---|
| Método | Descripción |
| Cortas | <ul style="list-style-type: none"> - Yacimientos masivos o de capas inclinadas, la explotación se lleva a cabo tridimensionalmente por banqueo descendente, con secciones verticales en forma troncocónica. - Estos métodos son los tradicionales de la minería de carbón. La extracción, en cada nivel, se realiza en un banco con uno o varios tajos. - El desarrollo en cuanto a profundidad de estas explotaciones suele ser grande, llegándose en algunos casos a superar los 300 m. |
| Canteras | <ul style="list-style-type: none"> - Se realizan para las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. - Se caracteriza por la formación de un gran número de bancos, aprovechando la pendiente y el depósito superficial. - Garantizar la seguridad del personal operativo y el aprovechamiento racional y secuencial de la roca o mineral de interés. - Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor cota. - Presentando bermas intermedias y taludes técnicamente diseñados en condiciones de estabilidad favorables. - Exigen constituir toda la infraestructura viaria para acceder a los niveles superiores desde el principio y obliga a una mayor distancia de transporte. |
| Terrazas | <ul style="list-style-type: none"> - Banqueo con avance unidireccional. Se aplica en yacimientos relativamente horizontales, de uno o varios niveles mineralizados y con recubrimientos potentes, pero que permiten depositar el estéril en el hueco creado, transportándolo alrededor de la explotación. - Las profundidades que se alcanzan son importantes, existiendo casi exclusivamente una limitación de tipo económico en la determinación de cuál es el último nivel mineralizado que se explotará. - Yacimientos con capas tumbadas, de reducida potencia y topografía generalmente desfavorable, se aplican los métodos conocidos bajo la denominación de minería de contorno. |
| Contorno | <ul style="list-style-type: none"> - Consisten en la excavación del estéril y del mineral en sentido transversal al afloramiento, hasta alcanzar el límite económico, dejando un talud de banco único y progresión longitudinal siguiendo el citado afloramiento. |

Figura 8 Descripción de Métodos de Explotación en Minería Cielo Abierto

Fuente: El Autor

Una vez analizada las diferentes descripciones de los métodos de explotación en minería a cielo abierto se establece que el método de explotación más adecuado es mediante canteras, debido a que estos métodos se realizan para las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción, dentro de las cuales se encuentra el yeso y a su vez nos permiten aprovechar la pendiente del terreno, técnicamente nos brinda condiciones de estabilidad y seguridad operacional favorables, un aprovechamiento racional y secuencial del material.

Parámetros para el diseño de la Cantera

Dimensiones de la Cantera

Estas dimensiones se establecieron con base a la superficie y fondo visible de la mineralización, y tomando en consideración las dimensiones de los perfiles elaborados en el cálculo de reservas.

Estas dimensiones son:

Profundidad de la cantera

$$P_c = C_{max} - C_{min}$$

Donde:

- *P_c*: Profundidad de la Cantera
- *C_{max}*: Cota de elevación máxima
- *C_{min}*: Cota de elevación mínima

$$P_c = 1730 \text{ m} - 1665 \text{ m}$$

$$P_c = 65 \text{ m}$$

Altura de Banco

Se lo establecido con base en la maquinaria de extracción de mineral que en este caso es una gallineta (CAT 420E) la cual su brazo de extensión llega a una longitud máxima de 6.6m.

$$h = 7 \text{ m}$$

Numero de Bancos

$$N_B = \frac{P_c}{h}$$

Donde:

- *P_c*: Profundidad de la cantera
- *h*: altura del banco

$$N_B = \frac{65 \text{ m}}{7 \text{ m}}$$

$$N_B = 9$$

Ángulos

De talud de trabajo:

Es el ángulo que se forma entre la horizontal y el talud de avance de explotación, este ángulo puede ser variable de acuerdo al material que se encuentre. Este ángulo fue de 63° , determinado de acuerdo a la clasificación de rocas de Protodyakonov.

De paramento:

El ángulo entre la línea perpendicular a la dirección del borde y que une los contornos superior e inferior y la horizontal. Para este caso el ángulo fue de 34°

Plataforma de Trabajo

Ancho de berma

Se calcula en función de la altura de banco, mediante la expresión:

$$W = h * \tan(a - \vartheta)$$

Donde:

- $W =$ Ancho de la berma.
- $a =$ Ángulo del talud del banco (valor máximo = 90°)
- $\vartheta =$ Ángulo del talud del banco de trabajo
- $h =$ Altura del banco en trabajo

$$W = 7 * \tan(90 - 63)$$

$$W = 3.5m$$

Ancho de vía

Se calcula en función del número de carriles, con la siguiente expresión:

$$A = AC *(0.5 + 1.5n)$$

Donde:

$A =$ Ancho de la vía.

$AC:$ Ancho del Vehículo

$n:$ Número de Carriles

$EC:$ Distancia de Seguridad

$$A = 2.5m *(0.5 + 1.5(1))$$

$$A = 5m$$

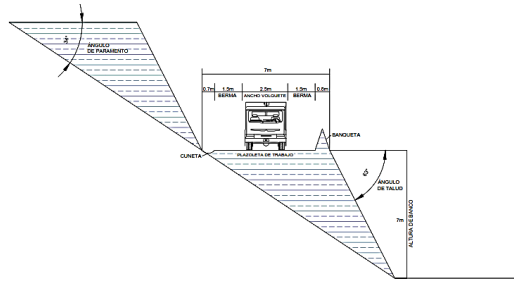


Figura 9. Descripción de Métodos de Explotación en Minería Cielo Abierto.

Fuente: El Autor

Volumen de Mineral

Es el volumen de mineral a explotarse una vez realizado el cálculo de reservas. El volumen calculado como reservas probadas y probables es de:

Volumen Mineral: B1+B2

Volumen Mineral: 32016.25 m³

Volumen de Estéril

Es el volumen a despejarse para poder permitir la explotación de yeso, este volumen se lo ha calculado mediante los perfiles realizados para el cálculo de reservas, este volumen será retirado por retroexcavadora según se requiera.

VTE= 91714.5 m³

Coefficiente de Destape

Este coeficiente se determina mediante la relación entre el estéril y el mineral.

Cd: Ve/Vm

Cd: 32016.25 m³ / 91714.5 m³

Cd: 2.8

Producción de la Cantera

La producción de la cantera se estableció tomando como la base la actual producción mensual del área minera, y la demanda que tiene del yeso, de ello se plantea:

- **Producción Diaria:** 15 Ton
- **Producción Mensual:** 330Ton

- **Producción Anual:** 3960 Ton

Tiempo de Duración de la Cantera

Viene dada por la siguiente formula:

$$T = \frac{Q * n}{P}$$

Donde:

- T: Tiempo de duración de la cantera
- Q: reservas probadas + probables= 32016.25 m³
- n: Peso volumétrico del mineral=2.10 Ton/m³
- P: producción anual = 3960 Ton

$$T = \frac{32016.25 \text{ m}^3 * 2.10 \text{ Ton/m}^3}{3960 \text{ Ton}}$$
$$T = 16 \text{ años}$$

Régimen de Trabajo

El régimen de trabajo de la cantera se lo ha establecido de la siguiente manera:

Para el destape el trabajo se lo realizara mediante el alquiler de retroexcavadora (CAT 420E), la cual realizará la remoción de 91714.5 m³ de estéril el mismo que será removido de acuerdo al avance de explotación o como se requiera.

Para el arranque del mineral se lo realizara mediante turnos matutinos de 8 horas con un total de 264 días en el año. Con el alquiler de retroexcavadora (CAT 420 E) y un volquete (HINO FT H500).

Personal de Trabajo

La explotación del mineral se ejecutará con la guía de un Ingeniero de Minas o afines. En los trabajos de desbroce y arranque de mineral se contará con el aporte de 15 trabajadores, mismo que serán moradores del lugar, contando también con la ayuda del propietario del área minera.

Proceso de Carguío y Transporte

Este proceso estará en función del volumen de material explotado, por ende, se realizará de la siguiente manera:

Luego de la extracción mecánica mediante la retroexcavadora (CAT 420E) se procede al acarreo del material mediante carretillas, para su posterior acumulación en un espacio adecuado que dispondrá de acceso para el volquete que se encargara de transportar hacia la siguiente etapa que es el tratamiento del mineral para la venta.

El carguío se lo realizara con ayuda de la gallineta a un volquete (HINO FT H500), el cual dispone de una capacidad de 20 Ton en su capacidad máxima. Considerando que el volumen explotado diariamente será de 18ton la capacidad del volquete es la óptima para este proceso.

Costes Económicos

Tabla 10 Resultados de costes económicos por operación

| Operación | Coste Total | Coste por tonelada de Mineral |
|------------------|------------------------|---|
| Destape | 2250\$ | 0.56 \$/Ton. año |
| Herramientas | 262.5\$ | 0.06 \$/ton. año |
| Extracción | 135840\$ | 34.30 \$/ Ton. año |
| | | $\frac{\text{Costo}_{\text{ton mineral}}}{\text{Costo Total}} = \frac{\text{Costo Total}}{\text{Ton. Año}}$ |
| TOTAL | 138352.5 \$/año | 34.93 \$/Ton |

Fuente: El Autor

Ingresos

Se determino al multiplicar la producción anual por el precio de venta por tonelada de mineral este ingreso será de forma anual.

$$I = Pa * P_{mine}.$$

Donde:

- Pa: producción anual
- P_{mine}: precio de venta de mineral por tonelada

$$I = Pa * P_{mine}.$$

$$I = 1414.2 \text{ Ton/año} * 120 \$$$

$$I = 169704 \$/\text{año}$$

Considerando el Coeficiente de destape 1:2.8

$$3960 \text{ ton} / 2.8 = \mathbf{1414.2 \text{ Ton de Mineral / Año}}$$

Egresos

Se determino mediante el producto de producción mineral anual por el coste de operación.

$$Ea = Pa * Co$$

Donde:

- **Pa:** Producción Anual
- **Co:** Coste de Tonelada al Año

$$Ea = 3960 \text{ Ton/año} * 34.93$$

$$Ea = 138322.8 \$/\text{Ton. año}$$

Rentabilidad

$$Re = Ingresos - Egresos$$

$$Re = 169704 \$/\text{año} - 138322.8 \$/\text{año}$$

$$Re = 31381.2 \$$$

Diseño de Sistema de Explotación

Para el diseño de la cantera, se hizo uso del software minero RECMIN que es de carácter gratuito mismo que permitió diseñar un modelo deseado de cómo se vera la explotación de los bloques mineralizados de yeso mediante el desarrollo de una cantera.

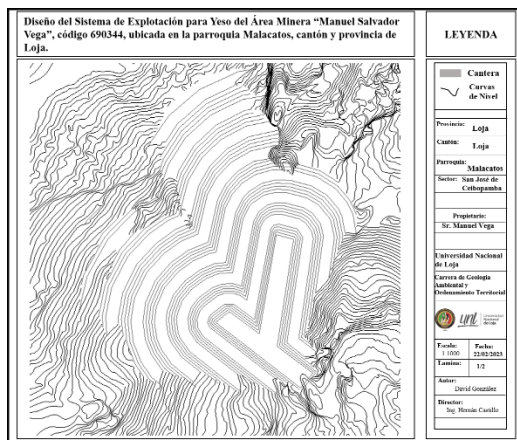


Figura 10 Vista en 2D del diseño de cantera para el Área Minera “Manuel Salvador Vega”

Fuente: El Autor

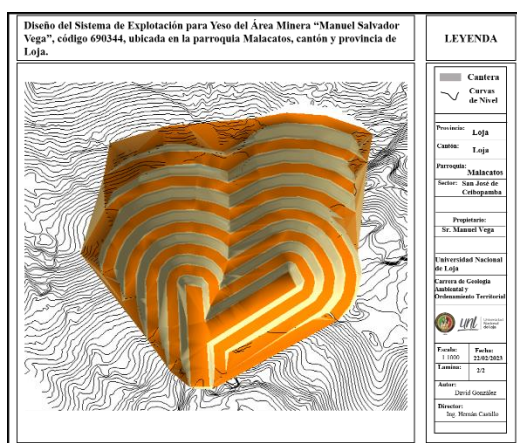


Figura 11 Vista en 3D del diseño de cantera para el Área Minera “Manuel Salvador Vega”

Fuente: El Autor

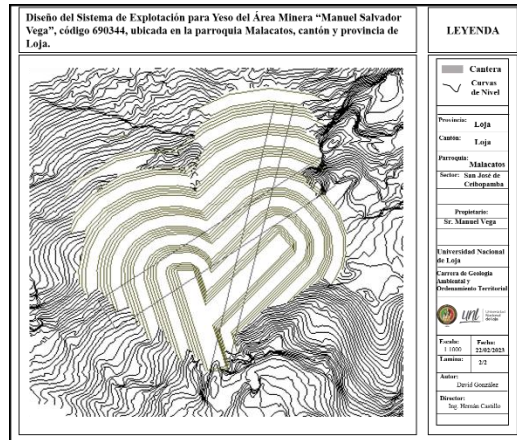


Figura 12 Vista en 2D del diseño de cantera con proyecciones de bloques mineralizados para el Área Minera "Manuel Salvador Vega"

Fuente: El Autor

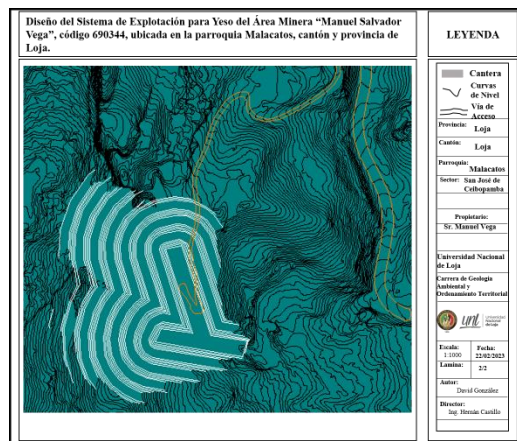


Figura 13 Vista en 2D del diseño de cantera con vía de acceso, para el Área Minera "Manuel Salvador Vega"

Fuente: El Autor

En el diseño se proyecta, bloques de mineralización B1 y B2, la vía de acceso a las labores mineras, diseñado con un ancho de siete metros y una pendiente máxima del 10% para que la maquinaria pueda acceder a la plataforma de trabajo y con ello el desarrollo de las actividades mineras.

Discusión de resultados

Los resultados han permitido plantear un sistema de explotación con vista a potenciar el aprovechamiento de mineral, dicho sistema era el objetivo principal de esta investigación. Para plantear el sistema de explotación acorde a este proyecto minero, se ha tenido que estimar reservas minerales, evaluar el potencial económico, determinar condiciones geológico, estructurales, topografía, diseño de cantera haciendo uso de software minero, estos datos permitieron determinar un costo beneficio para la extracción de mineral de yeso si se desarrollase acorde a esta investigación.

En lo que respecta a pendientes se reconoció mediante la topografía lomeríos denominadas pendientes fuertes (40-70%) y terrenos planos denominados pendientes media (12-15%) esto concuerda con la información levantada en el PDOT Malacatos (2015).

En cuando a la determinación de la geología local mediante descripción de afloramientos y exploración de calicatas dentro del área minera se encontró niveles de yeso, con vetillas desde los 0.3 a 5cm y vetas desde los 5cm a más de un metro esto se encuentra en paquetes de rocas sedimentarias en una visible intercalación entre rocas sedimentarias duras y blandas a manera de Flysch, estas rocas se identificaron como lutitas, limolitas, areniscas, niveles de yeso que pertenecen a la formación Santo Domingo, también se evidenció la presencia de conglomerados, arenisca, Microconglomerado, pertenecientes a la formación San Francisco, esto concuerda con lo mencionado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (2022) a través del “Léxico Estratigráfico de las Cuencas sedimentarias miocénicas del sur del Ecuador”, donde se manifiesta que estas formaciones pertenecen al mioceno medio (15-11 Ma) a Tardío (9Ma) y que la característica principal de la formación santo Domingo es que se divide en dos miembros Mb. Yeso y Mb. Carbón, en este orden se evidencia la presencia de capas de yeso y nódulos lutíticos y carbonatados con envolturas de yeso fibroso, para el Mb. Carbón se trata de una repetición de estratos de lutitas, limolitas e intervalos de areniscas.

Estructuralmente se evidencia la presencia de ripple marks, por acción de las corrientes de agua en algunas capas de arenisca, al igual que la presencia de estructuras como slumps, pliegues anticlinales sinclinales y tumbados en los estratos de lutita, arenisca, niveles de yeso, limolita.

Para cuantificar las reservas minerales se realizó mediante el método de perfiles, para lo cual se determinó un polígono de interés económico que se pudo identificar mediante calicatas, y descripción de afloramientos, este polígono fue dividido en 7 perfiles los cuales fueron procesados en Software Gis, para obtener el volumen de los bloques mineralizados y el volumen de material

estéril a extraer, estos volúmenes se los multiplico con la densidad del yeso con el fin de obtener las toneladas de mineral y estéril que serán fundamental a posterior en el diseño de sistema de explotación y evaluación económica del yacimiento. Conjuntamente con esto se determinó de calidad y mineralización del yeso por medio de (FRX) y Difracción de Rayos X respectivamente obteniendo en composición química en mayor porcentaje, S (29.8%), CaO (52.5%), y en mineralogía un 100% de mineral de yeso.

En cuanto al diseño del sistema de explotación se planteó mediante cielo abierto por el subsistema de cantera, para esto se calculó; dimensión de la cantera, altura de banco, numero de bancos, ángulo de talud, ancho de berma, ancho de vía, volumen de mineral, volumen de estéril, coeficiente de destape, producción de la cantera, tiempo de duración de la cantera, régimen de trabajo, carguío transporte y costes económicos esto se puede corroborar con lo mencionado por los autores Noguel y Recio (2001), los cuales plantean las condiciones, y principales parámetros a determinar para el diseño de trabajos a cielo abierto.

Conclusiones

- La topografía del área minera corresponde a lomeríos en las elevaciones de mayor cota y las cotas de menor elevación pertenecen a terrenos planos, existiendo un desnivel de 115 metros, quedando las pendientes conformadas por categorías de media (12-15%) a fuertes (40-70%).
- La geología del área minera “Manuel salvador Vega” comprende a rocas sedimentarias del mioceno medio (15-11 Ma) a Tardío (9Ma), pertenecientes a las Formaciones Santo Domingo y San francisco con rocas representativas como lutitas, limolitas, areniscas, niveles de yeso y conglomerados, microconglomerados respectivamente. La acumulación de niveles yesíferos se dio en un ambiente de sedimentación supratidal, donde la entrada de lenguas marinas en un clima semiárido hizo que se evaporaran estas aguas de mar, reaccionaran químicamente y formaran estos niveles yesíferos. Por otra parte, el yeso secundario, seria producto de la hidratación de la anhidrita, pasando está a una fase mineral estable denominada yeso.
- En cuanto a la geología estructural al área minera le influencia regionalmente falla picota NW-SE misma que ha controlado el levantamiento de la sedimentaria, falla San Agustín en dirección NE-SW, Falla el Tambo N-S/ ENE-WSW y la falla Solanda N-S/ NW-SE. Localmente se evidencia la presencia de una clara intercalación de facies rocosas

sedimentarias duras con otras más blandas en forma de Flysch, se evidencia la presencia de ripple marks, por acción de las corrientes de agua en algunas capas de arenisca. Por otra parte, se puede observar la presencia de estructuras como slumps, pliegues anticlinales sinclinales y tumbados en los estratos de lutita, arenisca, niveles de yeso, limolita.

- Las actividades de la actual explotación se realizan en forma artesanal existiendo una trinchera de grandes dimensiones que se encuentra en forma paralela al rumbo del cuerpo mineral. Dispone de una vía de acceso a la trinchera y el material estéril es sacado hacia el exterior y depositado al costado de la misma, para ello se emplea equipos como; carretillas, pala, barretas, como maquinaria una retroexcavadora y para cargar un camión mula, con un personal de trabajo de 4-5 trabajadores y a la explotación se realiza actualmente cada mes, y 10 días se los dedica a la calcinación y molido del yeso para posterior venderlo a la ciudad de Cuenca. En cuanto a la producción actual se tiene una producción mensual de 21.74 m³ (5.8Ton) con un coste de 240\$ por cada extracción.
- En cuando al cálculo de reservas para el yacimiento mineral de yeso, corresponden a las calculadas para el diseño de explotación, correspondiendo a reservas probadas 37430.925 Ton y probables de 29803.2 Ton. En cuanto al volumen de estéril a retirar para extraer el mineral corresponde a 91714,5 Ton.
- La calidad de mineral de yeso de acuerdo a los resultados de Fluorescencia de Rayos X (FRX) la composición química para el yeso del área minera “Manuel Salvador Vega” son: Al₂O₃ (7%), SiO₂ (6.6%), S (29.8%), P₂O₅(2.3%), CaO (52.5%), mientras que la mineralogía se determinó mediante Difracción de Rayos X, el cual arrojó un 100% de mineral de yeso, con elementos traza de Wavelita que no se pudo cuantificar.

El método de explotación sugerido para la extracción de yeso del área minera “Manuel Salvador Vega” es a cielo abierto mediante el submétodo de Cantera, con avances mediante bancos descendentes. Los bancos de explotación serán de 7 metros de altura un total de 9, con bermas de 3.5 metros de ancho, el ángulo de talud de banco corresponde a 63°, de esta manera quedan conformados los bancos y la construcción de una vía de acceso de 7 metros con el 10% de pendiente. En cuanto a la producción se prevé con este diseño la explotación de 3960Ton anuales, con un tiempo de vida de la cantera de 16 años, con un ingreso de 169704\$/año y con egresos de 138102.5\$/año con una ganancia libre de 31602\$.

Referencias

1. Alejandro, A., & Mora, L. (1993). Explotación y Tratamiento del Yeso en el sitio «San José de Ceibopamba».
2. Alulima, B., León, J., Tobar, J., & Coronel, O. (2022). Léxico Estratigráfico de las Cuencas sedimentarias miocénicas del sur del Ecuador (p. 58). Instituto de Investigación Geológico y Energético. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/02/lexico_estratigrafico_cuencas_sedimentarias_miocenicas_sur_ecuador.pdf
3. Álvarez, N. (2013). Cálculo de las labores de destape y diseño de la escombrera del cuerpo 8 del yacimiento Yagrumaje Sur en la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara". [INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO "Dr. Antonio Núñez Jiménez"].
4. Arenas, R., & Cuevas, V. (2011). Conceptos Básicos de Estratigrafía. 55-59.
5. Ayala, L. (2020). Notas Esenciales Sobre el Mapeo Geológico. Obtenido de: <https://www.explorock.com/notas-esenciales-sobre-mapeo-geologico/>
6. Bustillo, M., & López, C. (1997). Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras. ENTORNO GRAFICO S.L.
7. Escobar, G. (2017). Manual de Geología para Ingenieros. Obtenido de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3145/rocassedimentarias.pdf?sequence=15&isAllowed=y>
8. Herrera, J., & Pla Ortiz, F. (2006). Métodos de Minería a Cielo Abierto. Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de: https://oa.upm.es/10675/1/20111122_METODOS_MINERIA_A_CIELO_ABIERTO_2.pdf
9. Hudiel, S. (2008). Manual de Topografía-Altímetría. Obtenido de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntes-topografia-i.pdf>
10. Muñoz, C., & Siachoque. (2014). DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO PARA LA MINA EL DIAMANTE, DENTRO DEL CONTRATO EN

VIR-TUD DE APOORTE N° 00904-15 EN EL MUNICIPIO DE TIBASOSA, VEREDA LA CARRERA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ. [UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA].

11. Nielson, H., Sarudiansky, R., Ponce, M., & Duggan, M. (2005). Yeso. En MINERALES PARA LA AGRICULTURA EN LATINOAMÉRICA.
12. Noguel, J., & Recio, A. (2001). Trabajos Mineros a Cielo Abierto.
13. Paladines, A., & Soto, J. (2010). Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador (Primera). Universidad Técnica Particular de Loja - UTPL.
14. Palomino, J. (2015, agosto 2). Explotación Superficial e Infraestructura Minera.
15. Pizarro, A. (2017). Planificación minera a cielo abierto considerando diseño óptimo de rampas [UNIVERSIDAD DE CHILE].
16. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Parroquia Malacatos. SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA EN DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (SATDOT).
17. Saavedra, M. (2017, julio 20). Carguío y Transporte.
18. Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física (Octava). Pearson. <https://xeologosdelmundo.org/wp-content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>
19. Tolentino, F. (2019). “ESTIMACION DE RECURSOS Y RESERVAS CON EL USO DE SOFTWARE MINERO PARA LA EXPLOTACION DEL PROYECTO MINERO - DON JAVIER” [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUI-PA].
20. Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). Topografía (Décimo Cuarta). Alfaomega.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).