

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Optimización de explotación de caliza en la concesión minera “Perla del Pacífico” ubicada en la comuna San Antonio, cantón General Villamil, provincia del Guayas – Ecuador.

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero de Minas**

Presentado por:

Joel Isaías Alomalisa Maliza

Karla Maytee Villamar Marazita

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2018

# DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a nuestros padres, por brindarnos apoyo en cada etapa de nuestras vidas.

Los Autores

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro Director y Tutoras por el apoyo brindado a lo largo del desarrollo del proyecto; así como al Sr. Jaime Gaibor por permitirnos realizar nuestro trabajo en la concesión minera, ayudando a reforzar nuestros conocimientos.

Los Autores

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Joel Isaías Alomalisa Maliza* y *Karla Maytee Villamar Marazita* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Joel Alomalisa Maliza

---

Karla Villamar Marazita

# EVALUADORES

---

M.Sc. Esmilka Guerra López

PROFESOR TUTOR

---

M.Sc. Teresa Estupiñán Martínez

PROFESOR TUTOR

---

M.Sc. Jose Moreno Chavez

PROFESOR DE LA MATERIA

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la concesión minera Perla del Pacífico, la cual se encuentra ubicada en la parroquia San Antonio perteneciente al cantón Gral. Villamil Playas, Guayas – Ecuador, posee una extensión de 2,48 ha, el titular minero de esta concesión se dedica a la extracción de materiales no metálicos, específicamente piedra caliza, las operaciones que componen el ciclo de trabajo para la extracción de este mineral son la perforación, voladura, carga y transporte las cuales fueron evaluadas para su posterior optimización.

El trabajo se realizó en tres fases, la primera constituida por la revisión bibliográfica, la segunda compuesta por el trabajo en campo con la toma de datos y el trabajo en laboratorio con la realización de ensayos y finalmente una tercera fase que abarca la evaluación de datos.

La producción de la cantera es muy variable debido a que se encuentra sujeta a la demanda del mercado, sin embargo, diariamente se mueven un promedio de 50 m<sup>3</sup> de piedra caliza con la ayuda de dos volquetes convencionales hasta un lugar de almacenaje localizado en la ciudad de Guayaquil y es en este apartado donde se pudo determinar los índices de productividad de los equipos y dar recomendaciones para reducir costos y aumentar la productividad.

La perforación y voladura se realiza mediante esquemas que carecen de criterios técnicos provocando una deficiente fracturación y presencia de fragmentos con sobre tamaño, mediante el análisis de la operación se determinaron los parámetros geométricos óptimos para conseguir una concentración de carga superior a 0,3 kg/m<sup>3</sup> (recomendable para rocas blandas), la cual fue aplicada en campo mediante una malla de voladura con la que se consiguió una mejor fragmentación.

Se considera que este trabajo fue de gran importancia debido a que en su desarrollo se pudieron fortalecer los conocimientos y criterios técnicos aplicados a las explotaciones a cielo abierto, además un acercamiento e intercambio de conocimientos mediante el trabajo cooperativo con los trabajadores de la cantera.

**Palabras Clave:** Perforación, Voladura, Transporte, Carga, Optimización.

## **ABSTRACT**

*This work was carried out in the Perla del Pacífico mining concession, which is in the San Antonio parish belonging to the canton Gral. Villamil Playas, Guayas - Ecuador, has an extension of 2,48 ha, the mining owner of this concession is dedicated to the extraction of non-metallic materials, specifically limestone, the operations that make up the work cycle for the extraction of this mineral are drilling, blasting, loading and transport which were evaluated for further optimization.*

*The work was carried out in three phases, the first constituted by the bibliographic review, the second composed by the work in the field with the taking of data and the work in the laboratory with the realization of tests and finally a third phase that covers the evaluation of data.*

*The production of the quarry is very variable because it is subject to market demand, however, daily moves an average of 50 m<sup>3</sup> of limestone with the help of two conventional tippers to a place of storage located in the city of Guayaquil and it is in this section where it was possible to determine the productivity indexes of the equipment and give recommendations to reduce costs and increase productivity.*

*The drilling and blasting are done by schemes that lack technical criteria resulting in a poor fracturing and the presence of fragments with oversize, by analyzing the operation the optimal geometrical parameters were determined to achieve a load concentration greater than 0,3 kg/m<sup>3</sup> (recommended for soft rocks), which was applied in the field by means of a blasting mesh with which a better fracturing was achieved.*

*It is considered that this work was of great importance because in its development it was possible to strengthen the knowledge and technical criteria applied to open-pit operations, as well as an approach and exchange of knowledge through cooperative work with quarry workers.*

**Keywords:** *Drilling, Blasting, Transport, Loading, Optimization.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Justificación del problema .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Ubicación .....	3
1.4.2 Geología .....	4
1.4.3 Sistemas Operativos.....	5
CAPÍTULO 2.....	12
2. Metodología .....	12
2.1 Metodología General.....	12
2.1 Metodología para el Levantamiento de Información (Campo).....	13
2.1.1 Petrografía .....	13
2.1.2 Muestreo.....	13
2.1.3 Geomecánica.....	14
2.1.4 Perforación y Voladura .....	16
2.1.5 Carga .....	19
2.1.6 Transporte .....	20
2.2 Metodología para el Levantamiento de Información (Laboratorio) .....	23
2.2.1 Petrografía .....	23
2.2.2 Conminución.....	24
2.2.3 Pureza de Caliza.....	26

CAPÍTULO 3.....	29
3. Resultados y análisis .....	29
3.1 Petrografía.....	29
3.2 Ensayo químico .....	29
3.3 Geomecánica .....	30
3.4 Perforación y Voladura .....	32
3.4.1 Evaluación de las operaciones de perforación y voladura (Iniciales).....	32
3.4.2 Evaluación de las operaciones de perforación y voladura (Optimizado)....	37
3.4.3 Comparación de indicadores técnicos y económicos .....	39
3.5 Carga.....	40
3.6 Transporte .....	42
CAPÍTULO 4.....	47
4. Conclusiones Y Recomendaciones .....	47
4.1 Conclusiones .....	47
4.2 Recomendaciones.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS.....	51

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
I.E.P.C.	International Ecuadorian Petroleum Company
ANFO	Ammonium Nitrate – Fuel Oil
E.G.	Estación Geomecánica
ARCOM	Agencia de Regulación y Control Minero

## SIMBOLOGÍA

kg	Kilogramo
pH	Potencial de Hidrógeno
ml	Mililitro
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
pulg	Pulgada
ha	Hectárea
t	Tonelada
mlp	Metro lineal de perforación
M	Molar
Ca	Calcio
K	Potasio
Mn	Manganeso
Cl	Cloro
Br	Bromo
S	Azufre

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Ubicación de concesión minera "Perla del Pacífico". Fuente: (Autores, 2018) .....	3
Ilustración 2-1: Metodología general del proyecto. Fuente: (Autores, 2018) .....	12
Ilustración 2-2: Datos de Estaciones Geomecánicas .....	15
Ilustración 2-3: Excavadora Case 1188 .....	19
Ilustración 2-4: Volquetes convencionales. Mercedes Benz (i) Hino (d) .....	20
Ilustración 2-5. Ensayo de Reactividad .....	24
Ilustración 2-6. Ensayo de dureza .....	24
Ilustración 2-7. Etapa y subetapas de la trituración o chancado.....	25
Ilustración 2-8. Resumen de la operación de conminución .....	25
Ilustración 2-9. Triturador de Mandíbula.....	26
Ilustración 2-10. Triturador de rodillos .....	26
Ilustración 2-11. Esquema general del procedimiento.....	27
Ilustración 3-1: Ficha petrográfica .....	29
Ilustración 3-2: %CaO - Frente B.....	30
Ilustración 3-3: Representación Dips. E.G.1 .....	31
Ilustración 3-4: Representacion Dips. E.G.3.....	32
Ilustración 3-5: Volúmenes extraídos en m <sup>3</sup> durante el año 2017. Fuente: (Autores, 2018) .....	33
Ilustración 3-6: Esquema de la Malla rectangular utilizada en la cantera. Fuente: (Autores, 2018).....	34
Ilustración 3-7: Roca con sobre tamaño producto de la voladura.....	36
Ilustración 3-8 Porcentaje de costo por accesorio respecto al costo total de explosivo. Fuente: (Autores, 2018).....	37
Ilustración 3-9: Esquema de perforación propuesto. ....	38
Ilustración 3-10. Costos Optimizados de Perforación y Voladura.....	39
Ilustración 3-11: Comparación productividades horarias en carga. Fuente: (Autores, 2018) .....	42
Ilustración 3-12: Productividades, volquete Mercedes Benz. Fuente: (Autores, 2018)..	45
Ilustración 3-13: Costos operativos en transporte. Fuente: (Autores, 2018).....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Datos generales de concesión minera. Fuente: (Ministerio de Minería & ARCOM, 2018).....	4
Tabla 2-1: Coordenadas de muestra para geología. Coordenadas WGS84 UTM 17S.	13
Tabla 2-2: Coordenadas de muestras - ensayos de pureza de calizas. WGS84 UTM 17S.....	14
Tabla 2-3: Coordenadas estaciones geomecánicas.....	14
Tabla 3-1: Análisis de datos, porcentaje CaO .....	30
Tabla 3-2: Parámetros utilizados en la voladura actual. Fuente: (Autores, 2018) .....	34
Tabla 3-3: Análisis de las rocas con sobre tamaño. Fuente: (Autores, 2018) .....	36
Tabla 3-4. Costos de explosivos.....	36
Tabla 3-5: Parámetros de voladura. ....	37
Tabla 3-6. Comparación de indicadores Técnicos de Perforación y Voladura .....	39
Tabla 3-7. Valores comparativos de los insumos de Perforación y Voladura.....	40
Tabla 3-8: Tiempos promedios de ciclo. Fuente: (Autores, 2018) .....	40
Tabla 3-9: Productividad horaria (Actual). Fuente: (Autores, 2018).....	41
Tabla 3-10: Productividad horaria (Optimizada). Fuente: (Autores, 2018) .....	41
Tabla 3-11: Coeficiente de fluctuación de velocidad volquete HINO .....	42
Tabla 3-12: Coeficiente de fluctuación de velocidad. Mercedes Benz.....	43
Tabla 3-13: Coeficientes volquete Mercedes Benz. ....	44
Tabla 3-14: Costos Operativos. Mercedes Benz. Fuente: (Autores, 2018) .....	45

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica del sector primario, en la cual, la extracción de materia prima y minerales del suelo y subsuelo engloba varias etapas desde su descubrimiento hasta el cierre de esta. En cuanto a explotación de minerales no metálicos, la caliza es de los más abundantes en Ecuador y su producción ha ido en aumento en los últimos años debido a la demanda de la industria de construcción.

La actividad minera del cantón Playas, se caracteriza por ser de tipo formal e informal, cuyos propietarios disponen de registros contables parciales. De acuerdo con el mapa de cobertura y uso de la tierra, esta área corresponde a 39,81 hectáreas, las mismas que son utilizadas para la extracción de piedra caliza, materia prima empleada para cemento, pintura, cerámica, impermeabilizante, detergente, insumo para abonos, obras civiles, etc. (Ministerio de Defensa Nacional & Ministerio de Agricultura, 2012)

La empresa a cargo de la cantera Perla del Pacífico ubicada en Gral. Villamil, se dedica a la explotación de caliza mediante el arranque con perforación y voladura, con una característica particular, pues la producción varía de acuerdo a la demanda; la fragmentación empieza con el diseño o consideración de la malla de perforación, la cual es realizada de manera empírica, es decir con base en la experiencia de los trabajadores y la producción requerida, es habitual realizar mallas de perforación de 25 a 40 huecos. La operación de perforación y voladura se caracteriza por el uso de explosivos para el quiebre de la roca, las suboperaciones son la perforación, el armado y carga de explosivos y la voladura.

Para transportar el material, éste primero es cargado por una excavadora con un cazo de 0.9 m<sup>3</sup> de capacidad, la cual se encuentra montada sobre orugas, y el transporte se realiza mediante volquetes convencionales con capacidad de 8 y 15

m<sup>3</sup>, hacia compradores cercanos en la comuna San Antonio o a la planta de materia prima ubicada en Guayaquil, vía Daule, sector EL SAUCE.

### **1.1 Descripción del problema**

La concesión minera “Perla del Pacífico”, carece de un sistema de explotación de calizas basado en el análisis de criterios técnicos, entre los que se encuentran los procesos de perforación y voladura que son ejecutados de forma empírica, lo que trae consigo deficiencias en la granulometría obtenida del material y por consiguiente la necesidad de fragmentación secundaria, y del sistema carga – transporte, que presenta afectaciones en su rendimiento, siendo importante un estudio técnico y económico de estas operaciones.

### **1.2 Justificación del problema**

La concesión minera de 2,48 ha posee un sistema técnico de explotación de calizas deficiente, donde los procesos de perforación y voladura son ejecutados de forma empírica, y los procesos de carga tienen un bajo rendimiento en el sistema de acarreo.

El presente trabajo pretende, mediante un adecuado levantamiento de información de los parámetros operativos de cantera y el análisis económico, proponer un esquema modificado de perforación-voladura y carga-transporte para optimizar el diseño de la explotación, evitando procedimientos innecesarios y generadores de gastos, como en el caso de voladuras secundarias por fragmentos de roca de gran tamaño.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer mejoras al sistema de explotación de caliza de la concesión “Perla del Pacífico”, a través del análisis de criterios técnicos y económicos a fin de optimizar el proceso extractivo.

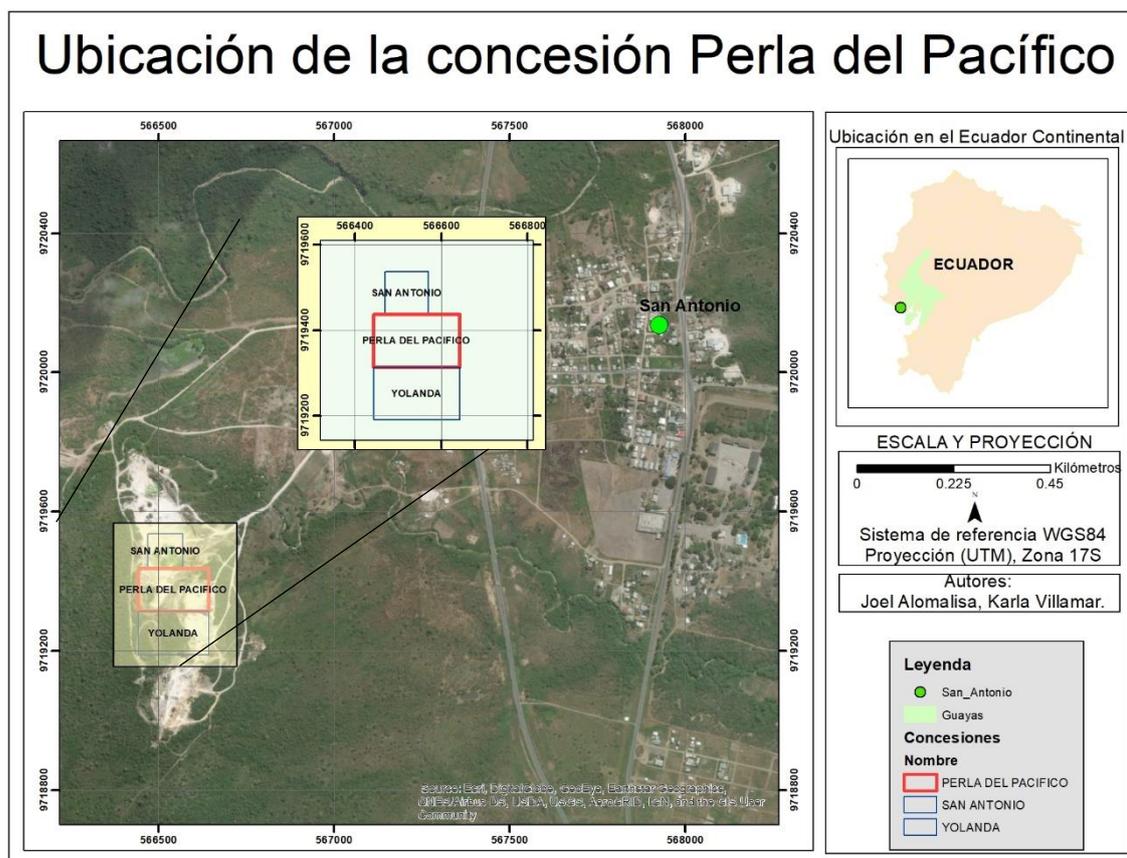
### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el sistema de explotación de la cantera a través del estudio de las operaciones mineras, con el fin de obtener una guía base de los procedimientos realizados.
- Evaluar las operaciones mineras de la cantera Perla del Pacífico, con base en criterios técnicos y económicos.
- Proponer un sistema de explotación aplicando criterios técnicos y económicos a los esquemas actuales de operaciones mineras.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Ubicación

La concesión minera “Perla del Pacífico” se encuentra ubicada en la provincia del Guayas, cantón General Villamil – Playas, comuna San Antonio, **Ilustración 1-1**, y en la **Tabla 1-1**, se puede observar más información de la concesión.



**Ilustración 1-1: Ubicación de concesión minera "Perla del Pacífico". Fuente: (Autores, 2018)**

**Tabla 1-1: Datos generales de concesión minera. Fuente: (Ministerio de Minería & ARCOM, 2018)**

<b>Código Catastral</b>	63	<b>Fecha de inscripción</b>	18/07/2001
<b>Titular</b>	Gaibor Solorzano Jaime Cristóbal	<b>Mineral de interés</b>	Caliza
<b>Provincia</b>	Guayas	<b>Tipo de solicitud</b>	Concesión minera
<b>Cantón</b>	Playas	<b>Fase de recurso</b>	Exploración- Explotación
<b>Plazo (meses)</b>	254	<b>Superficie</b>	2,48 ha
<b>Casillero judicial</b>	3396	<b>Estado actual</b>	Inscrita
<b>Coord. X</b>	566691	<b>Coord. Y</b>	9719678
<b>Sistema de referencia:</b> WGS84 UTM 17S			

## **1.4.2 Geología**

### **1.4.2.1 Grupo Progreso**

Este nombre fue dado por los geólogos de I.E.P.C. para describir una secuencia de areniscas, lutitas y conglomerados que afloran en la parte suroriental del Cuenca Progreso. Incluye formaciones de San Antonio, Progreso y Cerro Mala de la base hasta la cima respectivamente. Este grupo se superpone al Grupo Dos Bocas con inconformidad cuestionable y es sobreyacida por el Grupo Lechuzza con aparente conformidad. Ocupa la superficie de la zona central y sudoriental de la Cuenca Progreso y se extiende en la Isla Puná. Con base en su rica megafauna, este grupo está correlacionado con la Formación Zorritos en Perú (Zumba & Montenegro, 1986).

### **1.4.2.2 Formación San Antonio**

Los geólogos del I.E.P.C. describieron la Formación San Antonio como una secuencia de fósiles packstones a grainstones que afloran en la colina de San Antonio, a 10 km. al norte de Playas. En esta localidad, la formación de calizas ricas en algas es de espesor variable y altamente deformada y fallada. La distribución de esta formación puede estar restringida por el flanco suroeste de la Cuenca Progreso, aunque las calizas de Bellavista de Zacachum tienen un conjunto de fauna similar. Aún no se han observado la base y la parte superior.

Además de lithothamnium y bryozoans, que comprende la mayoría de los marcos de estas calizas son foraminíferos como Amphistegina sp., Rupertia sp., Textularia sp., Robulus sp. y Sphaerogypsina sp. que indica una edad miocena. En efecto, debido a la abundancia de algas coralinas, la formación de San Antonio se confunde a menudo por la Formación San Eduardo.

En la cantera de San Antonio, una sección parcial consta de varios adelgazamientos y ciclos ascendentes de algas coralinas y packstones foraminíferos y grainstones intercaladas con foraminíferos que llevan piedra caliza y piedras raras.

Los megafósiles indican una edad del mioceno e incluye Amphistoginae rupertia sp., Textularia sp., Robulus sp., Sphaerogypsina sp., bryozoans y Lithothamnion que se interpretan para sugerir ambientes poco profundos de alta energía. Estos ciclos representan variaciones laterales en la energía de laguna a ambientes peritidales. Marcos de construcción de algas coralinas resultan en competencia por espacio habitable en sustratos duros marinos poco profundos. Estas algas coralinas fueron capaces de soportar condiciones de mayor energía hidráulica y lumínica que los corales (Zumba & Montenegro, 1986).

#### **1.4.2.3 Formación San Eduardo (Caliza de San Antonio)**

En la localidad San Antonio, en un cloque fallado, afloran calizas de tipo arrecifal de color crema y habano con algas y foraminíferos. Su potencia varía entre 0 y 120 m.

Estudios realizados por el British Museum (Natural History) de Londres en 1973 han determinado la presencia de algas Solenomeris sp., Archaeolithothamnium lugeoni Pfender y Lithothamnium jaurai Lemoine, que corresponden al Eoceno Medio.

Por razones de similitud litológica y edad se considera la caliza de San Antonio como equivalente a la Formación San Eduardo (INIGEMM, 1975).

### **1.4.3 Sistemas Operativos**

#### **1.4.3.1 Perforación y Voladura**

Estas operaciones son de gran importancia dentro de la extracción de minerales útiles, debido a que se encuentran en la necesidad de proveer material con excelente

calidad y de esta manera incrementar los índices de productividad de las operaciones que le prosiguen como por ejemplo la carga, transporte, conminución, etc. (Cardich, 1986).

#### **1.4.3.2 Teoría de Perforación de Rocas**

La construcción civil y minera se encuentran estrechamente ligadas con el movimiento de corteza terrestre, en el cual el arranque de rocas es una parte importante para dar por completadas dichas construcciones.

La perforación de rocas es la primera operación que se realiza, inicia con la construcción de agujeros que posterior serán cargados de explosivos y sus iniciadores (Piérola, 2017). La perforación necesita una fuente de energía, y de acuerdo con el tipo de energía que se utilice se definen los diferentes métodos de perforación.

Según IGME (1994), los métodos de perforación pueden ser: Mecánicos, Térmicos, Hidráulicos, Sónicos, Químicos, Eléctricos, Sísmicos y Nucleares. Sin embargo, los métodos que son de uso industrial habitual son los métodos Mecánicos y Térmicos cuando se presentan rocas con alto contenido en sílice.

#### **1.4.3.3 Métodos Mecánicos de Perforación**

Este método abarca dos sub-métodos, los rotativos y los rotopercutivos, los cuales se asemejan en la utilización de un varillaje que es el medio de transmisión de la energía mecánica proporcionada por una máquina perforadora, y difieren en que el método rotopercutivo utiliza dos acciones, la rotación y la percusión (Caguana & Tenorio, 2013).

#### **1.4.3.4 Teoría de Voladura de Rocas**

La Voladura de rocas es un tema el cual se ha ido desarrollando a través de los años mediante el avance de la tecnología y el uso de nuevas sustancias explosivas que son más seguras y confiables, según el método aplicado para el arranque de rocas, este puede resultar peligroso debido a la incertidumbre de los cálculos necesarios para aplicar de manera adecuada el método (Caguana & Tenorio, 2013).

Según EXPLOCEM (2015) en su manual del III Seminario Internacional de Perforación y Voladura, menciona que es importante tener en cuenta que la energía no aprovechada en el proceso de arranque de rocas, en algunos casos superior al 85%, reduce la resistencia estructural del macizo provocando fracturas, planos de debilidad, juntas y diaclasas que inicialmente no eran críticas, afectando de manera negativa otras operaciones de mina.

En cuanto a definiciones sobre voladura, se considera:

- **Carga de Fondo**

La carga de fondo es la carga explosiva con mayor densidad y potencia ubicada al fondo del barreno, su función es romper la parte más confinada del macizo, garantizando la rotura del piso y restringiendo la fragmentación gruesa, el cebo iniciador se coloca en esta parte (Dalglish et al., 2007).

- **Carga de columna**

Tiene menor densidad, potencia o concentración y posiciona sobre la carga de fondo y bajo el retacado, generalmente se emplea ANFO para esta parte cuando se trata de ambientes secos y explosivos encartuchados cuando existe presencia de agua (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2017).

- **Retacado**

Es la parte superior del barreno, que no contiene sustancia explosiva y se llena de material inerte normalmente el detritus de la perforación, tiene la función principal el retener los gases generados durante la explosión y dirigirlos a la fracturación del macizo (Bernaola, Castilla, & Herrera, 2013).

#### **1.4.3.5 Teoría en la Optimización de Voladuras**

En las voladuras en banco es habitual el uso de diagramas de perforación rectangulares o cuadrados por su facilidad en el replanteo de puntos de emboquille, sin embargo los esquemas denominados al tresbolillo, específicamente los que forman triángulos equiláteros, proporcionan una mejor distribución de energía del explosivo, mayor flexibilidad en la secuencia de encendido y en la salida de la

dirección de la voladura, por ello es considerado el esquema más efectivo con respecto a los diagramas habituales (López, 1994).

### **Factores que intervienen en el diseño**

Cuando se desea diseñar una malla de perforación se debe tomar en cuenta las variables que pueden ser controladas y estas según López, C. (1994) son las siguientes:

- Geométricas
- Químico-Físicas o del explosivo
- De Tiempo

En función de cada caso en concreto probablemente algunas de estas variables no puedan ser modificadas, sin embargo, las variables más susceptibles al cambio son:

**Diámetro de Barrenos**, la perforación con diámetros pequeños, incide en el aumento de costos y en el tiempo de trabajo, la única ventaja es una mejor distribución espacial del explosivo.

**Altura de Banco**, Este parámetro está en función de la maquinaria utilizada, no obstante, la relación entre la altura de banco (H) y el burden (B), determina la relación de rigidez (H/B), la cual con valores superiores a 3 resultan ser favorables con buenos desplazamientos, mientras que valores cercanos a 1 proporcionan fragmentación gruesa con problemas de sobre excavación y repiés.

**Inclinación de Barrenos**, permite obtener taludes sanos y seguros en los nuevos bancos creados.

**Sobreperforación**, Es la longitud del barreno que se necesita perforar por debajo del nivel del piso, con el fin de tener una fragmentación y desplazamiento adecuado, el **Anexo 1** se muestra las relaciones normales "J/B" de las voladuras en banco.

**Burden y espaciamiento**, estos parámetros dependen del diámetro de perforación, propiedades de las rocas y explosivos, en el **Anexo 2** se muestra una tabla con los valores típicos de diseño de los parámetros geométricos en función de las resistencias de las rocas.

**Explosivo**, generalmente depende del precio, diámetro de carga, características de la roca, volumen a volar y la presencia de agua.

**Distribución de explosivo en el Barreno**, la energía no es constante en la longitud del barreno, por lo que es recomendable que la energía en el fondo sea de 2 a 2,5 veces superior a necesaria en columna.

**Consumo Específico (CE)**, expresa la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar 1 m<sup>3</sup> o 1 ton de roca, consumos específicos altos indican una adecuada fragmentación, desplazamiento y esponjamiento de la roca, en el

**Anexo 3** se indican los valores típicos de “CE” en diversas clases de roca para voladuras en banco.

#### **1.4.3.6 Carga y Transporte**

Constituyen las acciones que definen la principal operación en una explotación minera. Estos son responsables del movimiento del mineral o estéril que ha sido fragmentado por arranque mecánico o un proceso de voladura. En las faenas de gran movimiento de tierra es crucial un diseño eficiente donde la operación de carga trabaja de forma integrada con el transporte, que en la mayoría de las aplicaciones conforman un elemento de alto costo. Por lo tanto, estas dos operaciones unitarias componen un sistema, ya que se encuentran estrechamente ligadas entre sí. Para una óptima planificación y operación de minas se consideran todos los factores que afectan los costos y productividad de estos sistemas. El transporte y la carga no pueden trabajar solos como una herramienta efectiva de movimiento de tierra, excepto en raras circunstancias (Manzaneda, 2015).

Los equipos de carga en minas de cielo abierto pueden ser clasificados como discretos o continuos, los discretos corresponden a las palas de cables, palas

hidráulicas, cargadores frontales, retroexcavadoras, mientras que los de flujo continuo son típicamente las Rotoplas, las excavadoras de cadenas y las excavadoras continuas. Dentro de esta clasificación están aquellos que pueden desplazarse distancias cortas y aquellos que son de carácter más bien estático, del grupo de equipos mencionado el único que puede desplazarse distancias cortas es el cargador frontal (Yarmuch, 2012).

Los equipos de transporte en minería a cielo abierto pueden ser clasificados como aquellos que poseen un camino definido y aquellos que pueden transitar libremente. Dentro de los equipos que poseen un camino definido están los trenes y las correas, siendo estas últimas consideradas como elementos de flujo continuo, mientras que los trenes se clasifican como unidades discretas. Aquellos equipos que no siguen un camino definido son los camiones, los cuales también se encuentran dentro de los equipos discretos (Yarmuch, 2012).

El objetivo de la carga y transporte es retirar el material del frente de trabajo y transportarlo adecuadamente a su lugar de destino, lo cual se puede resumir en la siguiente secuencia:

- Preparación de la zona de trabajo.
- Posicionamiento de equipos.
- Carga.
- Transporte del material a su lugar de destino (planta, acopio, botaderos, etc.).
- Descarga del material.
- Retorno del equipo de transporte al punto de carga (si es que se requiere su retorno).

La secuencia se cumple hasta que haya sido retirado el material requerido del frente. Este proceso productivo es el más influyente en los costos de operación (45% al 65% del costo mina), por lo que es de gran importancia garantizar un ambiente apto para lograr los mejores rendimientos de los equipos involucrados, tanto en la parte física (material, equipos, mantención, disponibilidad e insumos, etc.), como en la parte humana (operadores, mantenedores y jefes de turno, etc.) (Seguridad Minera, 2017).

#### **1.4.3.7 Maquinaria utilizada**

**Excavadoras Hidráulicas.** Existen dos configuraciones básicas: frontales y retros. La diferencia de diseño se centra en el sentido de movimiento del cazo y en la geometría del equipo de trabajo. Se utilizan en el arranque y carga de suelos y rocas con bancos de altura inferior a los 15 m (E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid, 1994).

**Volquetes Convencionales.** Es el tipo de camión extravial más usado en el movimiento de tierras y, fundamentalmente en la minería a cielo abierto. Están constituidos por una caja que se apoya al chasis y que se bascula hacia atrás para la descarga mediante cilindros hidráulicos (IGME, 1995).

#### **1.4.3.8 Cálculo de rendimientos**

Para estimar el rendimiento de un equipo minero es preciso tener en cuenta los cuatro factores básicos de los que depende el desarrollo de la operación.

1. *Componentes de tiempo del ciclo de trabajo;* correspondientes a: carga, transporte o empuje, vertido, retorno, espera y maniobras.
2. *Factores de eficiencia y organización;* contempla pérdidas de tiempo o retrasos característicos de cualquier operativo, como traslados del equipo de carga interrupciones por voladura, malas condiciones climatológicas, tráfico, etc., o por factores como la experiencia del operador, equilibrio con los equipos auxiliares, etc.
3. *Factores de esponjamiento y densidades;* un material cuando se arranca se rompe en fragmentos menores que no pueden ajustarse entre sí como estaban en el estado natural, dando lugar a un aumento de su volumen.
4. *Capacidad nominal del equipo;* los fabricantes de maquinaria dan las capacidades de sus unidades de dos formas distintas, en peso y en volumen. Esto da una idea de lo que puede transportar una unidad de acarreo, en función de la densidad de cada material (E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid, 1994).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Metodología General

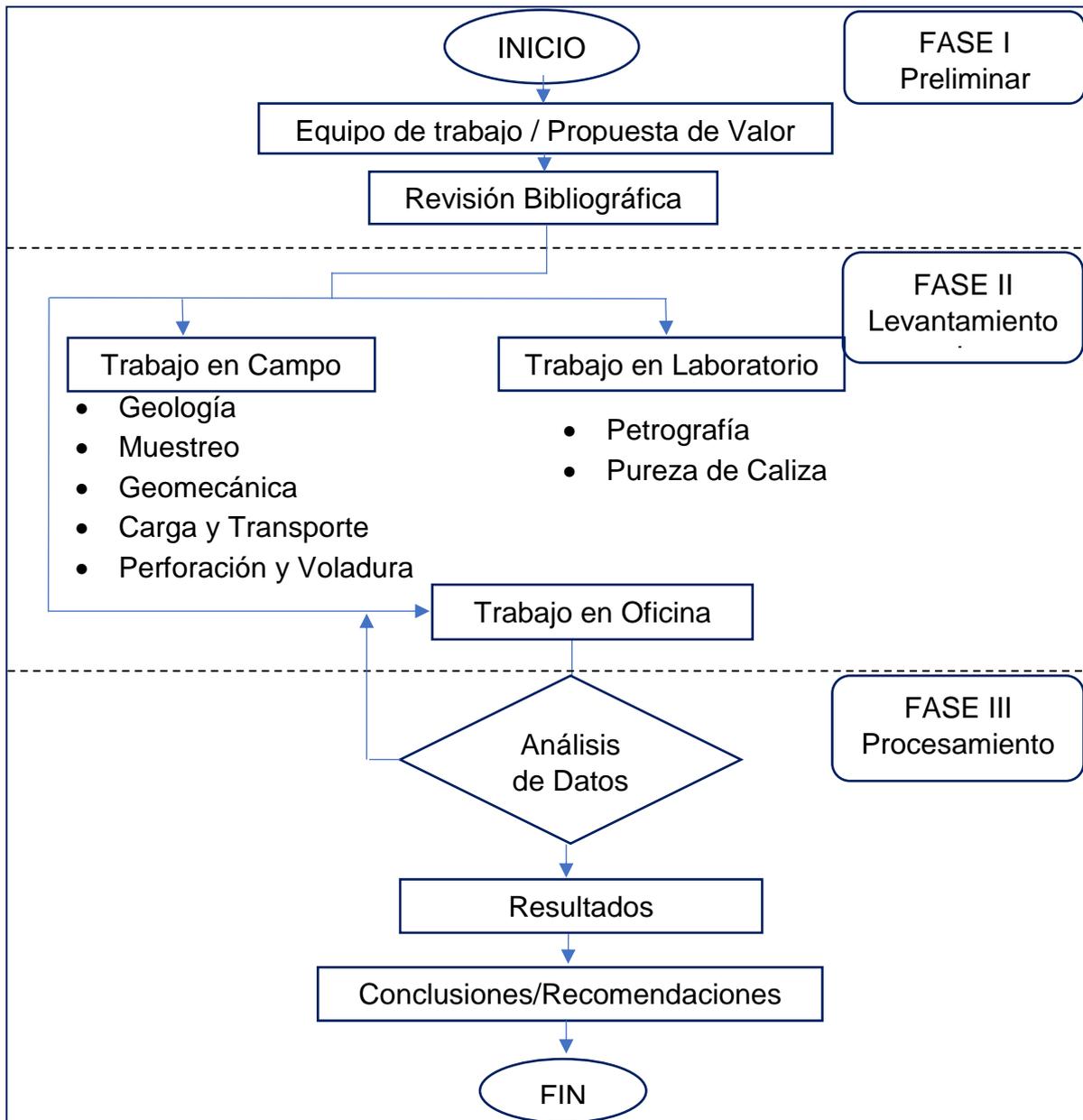


Ilustración 2-1: Metodología general del proyecto. Fuente: (Autores, 2018)

## 2.1 Metodología para el Levantamiento de Información (Campo)

### 2.1.1 Petrografía

La caracterización geológica de la zona de estudio comenzó con la toma de muestras en puntos estratégicos, presentes en la **Tabla 2-1**, que muestran la variación de la litología del lugar, posteriormente se realizó un análisis macroscópico petrográfico.

**Tabla 2-1: Coordenadas de muestra para geología. Coordenadas WGS84 UTM 17S.**

Código	Coordenadas			Roca
	X	Y	Z	
2018-10-25-01	566540,69	9719372,95	65	Caliza blanca
2018-10-25-02	566540,69	9719372,95	65	Pakstone a wackstone
2018-10-25-03	566500,76	9719333,50	66	Intercalación arcillosa
2018-10-25-05	566480,18	9719427,56	79	Rodolito
2018-10-25-06	566480,00	9719394,20	84	Mudstone
2018-10-25-07	566475,33	9719409,90	68	Packstone
2018-10-30-08	566559,00	9719411,00	76	Arcilla

### 2.1.2 Muestreo

Con el fin de caracterizar el material presente en la zona de estudio y dado que es evidente la presencia de dos litologías marcadas, caliza y arcilla, se realizó un muestreo por puntos de tipo point o lump sampling, dado que este método de muestreo según (Orche, 1999) es el más indicado para conocer la ley del mineral, y consiste básicamente en la toma de muestras de 0,5 a 2 kg de peso.

Este procedimiento se realizó en distintos puntos, mostrados en la **Tabla 2-2**, para posteriormente realizar ensayos químicos que determinaron el porcentaje de carbonato de calcio en las piedras calizas, expresados como óxido de calcio.

**Tabla 2-2: Coordenadas de muestras - ensayos de pureza de calizas. WGS84 UTM 17S.**

Frente	Código	Coordenadas		
		X	Y	Z
A	MA2	566584	9719395	60
	MA3	566229	9719378	60
B	MB2	566519	9719353	32
	MB3	566530	9719387	76
	MB4	566561	9719425	53

### **2.1.3 Geomecánica**

Se realizó el levantamiento de 4 estaciones geomecánicas (**Tabla 2-3**) con el fin de conocer las direcciones e inclinaciones de las discontinuidades en el macizo, siendo una de ellas localizada en una falla presente en el frente B de explotación, la cual, en el invierno del 2018 causó un desplazamiento de material arcilloso, este proceso permitirá conocer los mecanismos bajos los cuales puede producirse la rotura de la roca y dar indicios en la estructura a planificar en las operaciones de perforación y voladura, se pueden visualizar fichas con datos en la **Ilustración 2-2**.

**Tabla 2-3: Coordenadas estaciones geomecánicas.**

Frente	Estación Geomecánica	X	Y	Z
B	E.G.1	566561	9719425	53
	E.G.2 (falla)	566538	9719389	43
	E.G.3	566519	9719353	32
A	E.G.4	566594	9719385	54

E.G.1		
Coordenadas		
x	y	z
566561	9719425	53 m
		
	Azimut	Inclinación
F1	275,13	45,50
F1	275,13	31,00
F2	16,63	88,25
F2	239,50	63,00

E.G.2		
Coordenadas		
x	y	z
566538	9719389	43 m
		
	Azimut	Inclinación
R1	24,50	84,00
R2	31,17	77,33

E.G.3		
Coordenadas		
x	y	z
566519	9719353	32 m
		
	Azimut	Inclinación
F1	42,00	70,33
F2	33,25	76,50
F3	234,50	83,50

E.G.4		
Coordenadas		
x	y	z
566594	9719385	54 m
		
	Azimut	Inclinación
F1	102,00	30,67
F1	96,33	30,33
F1	101,00	34,33

**Ilustración 2-2: Datos de Estaciones Geomecánicas**

### **2.1.4 Perforación y Voladura**

Como se mencionó en el Capítulo I, esta operación es de gran importancia, pues permite fragmentar el material rocoso con una granulometría adecuada, por consiguiente, un incremento en los índices de productividad de las operaciones que prosiguen.

De manera general, la perforación se realiza con un martillo neumático modelo JH40, cuya información técnica se encuentra en el **Anexo 4**, el cual perfora verticalmente sin inclinación con barrenos integrales entre 25 y 40 huecos por día. Cada hueco se perfora con la siguiente secuencia de longitudes: 0,80 m, 1,60 m y 2,40 m.

Por otro lado, las mallas de voladura son de tipo rectangular, perforadas con base en conocimientos empíricos, y generalmente tratando de cumplir un volumen de voladura el cual depende de los requerimientos del titular minero.

#### **2.1.4.1 Especificaciones Técnicas**

Se realizó el levantamiento de información de los elementos de perforación, los cuales son:

##### **Parámetros geométricos:**

- Burden
- Espaciamiento
- Altura de talud
- Profundidad
- Diámetro de perforación

##### **Equipos**

- Compresor modelo XP-185
- Máquina perforadora

En cuanto a información de elementos de voladura, tenemos:

### **Explosivos**

- Riodin 80%, Explosivo usado como carga de fondo, se usa medio cartucho por hueco.
- ANFO, Explosivo utilizado como carga de columna.
- Mecha Lenta, La mecha de seguridad se emplea como medio de iniciación del fulminante, se corta de 2,50 m de longitud.
- Fulminante, El fulminante N° 8 está fijado en uno de los extremos de la mecha
- de seguridad.

De manera adicional se recopiló información sobre los siguientes parámetros:

- Tipo de encendido
- Secuencia de Voladura
- Tamaño de roca fragmentada
- Tiros fallados
- Tiempo de la operación

#### **2.1.4.2 Cálculos**

Se utilizó la metodología de López, C. (1994) para el diseño de voladuras de pequeño diámetro, para el cálculo de los parámetros geométricos en el diseño de la malla; las ecuaciones son las siguientes:

#### **Volumen**

$$Vt = (l * a * H) \quad (2.1)$$

Donde:

$Vt$  = Volumen total, m<sup>3</sup>.

$l$  = Largo, m.

$a$  =Ancho, m.

$H$  =Altura, m.

### **Longitud del Taladro**

$$L = \frac{H}{\cos\beta} + \left(1 - \frac{\beta}{100}\right) * J \quad (2.2)$$

Donde:

$L$  = Longitud del taladro, m.

$B$  = Burden, m.

$H$  = Altura, m.

$\beta$  = Ángulo de inclinación del taladro, grados.

### **Sobreperforación:**

$$J = 11D \quad (2.3)$$

Donde:

$J$  = Sobreperforación, m.

$D$  = Diámetro de perforación, m.

### **Burden:**

$$B = 37D \quad (2.4)$$

Donde:

$B$  = Burden, m.

$D$  = Diámetro de perforación, m.

### **Espaciamiento:**

$$E = 47D \quad (2.5)$$

$D$  = Diámetro de perforación, m.

### 2.1.5 Carga

Para efectuar la carga del material fragmentado en la cantera Perla del Pacifico, se utiliza la excavadora hidráulica Case Poclain 1188 (**Ilustración 2-3**), con capacidad de cazo de 0,9 m<sup>3</sup>, de la cual se encuentra en el

**Anexo 5** sus especificaciones técnicas.

El monitoreo de este equipo consta de la toma de tiempos de carga del material y descarga al volquete, para de esta forma calcular tiempo de ciclo, coeficientes de utilización, de reserva, improductivos, etc., los cuales serán tomados como indicadores para la optimización de la operación.

El tiempo de ciclo de la excavadora ( $T_{ce}$ ) está compuesto por el tiempo que demora en llenar el cazo ( $T_{ll}$ ), el tiempo de viaje lleno ( $T_{vll}$ ), el tiempo de descarga del cazo ( $T_{dc}$ ), el tiempo de viaje en vacío ( $T_{vvc}$ ).

$$T_{ce} = T_{ll} + T_{vll} + T_{dc} + T_{vvc} \quad (2.6)$$

Coficiente de reserva ( $K_r$ ), cubre el tiempo de imprevistos que pueden ocurrir.

$$T_{ce} = (T_{ll} + T_{vll} + T_{dc} + T_{vvc})K_r \quad (2.7)$$



**Ilustración 2-3: Excavadora Case 1188**

### 2.1.6 Transporte

El transporte del material se realiza con volquetes convencionales (**Ilustración 2-4**), de los cuales, se monitorearon 2 que reparten el material a compradores de San Antonio y dan abasto a la planta productiva INMAPRI S.A. ubicada en Guayaquil; al igual que la operación de carga, se monitorearán tiempos para calcular la productividad del sistema y coeficientes que servirán para estimar indicadores para su optimización.

De los volquetes antes mencionados, uno es de propiedad del titular minero, siendo este un Mercedes Benz L1924, con capacidad de 8 m<sup>3</sup>, mientras que el segundo es un HINO FS1ESSA de 15 m<sup>3</sup> de capacidad, de este último se puede visualizar las especificaciones técnicas en el

#### Anexo 6.



**Ilustración 2-4: Volquetes convencionales. Mercedes Benz (i) Hino (d)**

Según IGME (1995) el **Factor de conversión volumétrica "V"** es la relación entre el volumen en banco y el volumen de una misma cantidad de material.

$$V = FCV = \frac{V_b}{V_s} = \frac{\frac{kg}{m^3} \text{ material suelto}}{\frac{kg}{m^3} \text{ material en banco}} \quad (2.8)$$

El **Porcentaje de expansión "PE"** es el incremento de volumen del material al pasar de su estado natural en el banco al estado suelto en la pila o montón.

$$PE = \frac{V_s - V_b}{V_b} * 100 \quad (2.9)$$

Una vez determinados estos parámetros, procedemos a calcular:

### **El tiempo de ciclo:**

$$T_{cc} = T_c + T_{vc} + T_d + T_{vv} \quad (2.10)$$

Donde:

$T_{cc}$ : Tiempo de ciclo de un camión.

$T_c$ : Tiempo de carga.

$T_{vc}$ : Tiempo de viaje cargado.

$T_d$ : Tiempo de descarga.

$T_{vv}$ : tiempo de viaje vacío.

### **El tiempo de carga (Tc)**

Depende del número de ciclos que necesite hacer la excavadora para llenar la caja del camión.

$$T_c = n_c * T_{ce} = \frac{E_c}{E_x * K_{lle}} * t_{ce} \quad (2.11)$$

Donde:

$n_c$ : Número de casos necesarios para llenar la excavadora.

$T_{ce}$ : Tiempo de ciclo de la excavadora.

$K_{lle}$ : Coeficiente de llenado del cazo.

$E_c$ : Capacidad de la caja del camión.

$E_x$ : Capacidad del cazo de la excavadora.

### **El tiempo de viaje cargado (Tvc)**

Este tiempo incluye, además del viaje, las maniobras de posicionamiento en la plataforma de descarga.

$$T_{cv} = \left( \frac{d}{v_{ll}} + md \right) Kf \quad (2.12)$$

Donde:

*d*: Distancia desde el punto de carga hasta el punto de descarga.

*v<sub>ll</sub>*: Velocidad de desplazamiento lleno.

*md*: Tiempo de maniobra de descarga (depende de las condiciones del punto de descarga)

*Kf*: Coeficiente de reserva que depende de las fluctuaciones de la velocidad y otros imprevistos.

### **El tiempo de descarga (Td)**

Es un tiempo estimado, en el que demora el camión en evacuar la carga.

### **El tiempo de viaje vacío (Tvv)**

Este tiempo incluye, además del viaje, las maniobras de posicionamiento en la plataforma de carga.

$$T_{cv} = \left( \frac{d}{v_v} + mc \right) Kf \quad (2.13)$$

Donde:

*v<sub>v</sub>*: Velocidad de viaje vacío.

*mc*: Maniobra de posicionamiento en la plataforma de carga.

## **Cálculo de la productividad del camión**

### **Productividad teórica (Qt)**

$$Qt = \frac{3600 Ec}{T_{cc}} \quad (2.14)$$

Donde:

$E_c$ : Capacidad nominal del camión.

### **Productividad técnica del camión ( $Q_{tec}$ )**

$$Q_{tec} = Q_t * K_u * K_{llc} * T_t \quad (2.15)$$

Donde:

$K_u$ : Coeficiente de utilización del equipo de transporte.

$K_{llc}$ : Coeficiente de llenado del camión.

$T_t$ : Tiempo de turno.

### **Productividad de explotación ( $Q_e$ )**

$$Q_e = Q_{tec} * K_n \quad (2.16)$$

Donde:

$K_n$ : Tiempos improductivos no tecnológicos.

### **Número de camiones servidos por excavadora ( $N_{ce}$ )**

Es posible determinar el número de camiones que puede servir una excavadora dependiendo de los tiempos de ciclo de ambos equipos.

$$N_{ce} = \frac{T_{cc}}{n_c T_{ce}} * K_{rn} \quad (2.17)$$

Donde:

$K_{rn}$ : Coeficiente de reserva que toma en cuenta los imprevistos que puede presentar el equipo de excavación.

## **2.2 Metodología para el Levantamiento de Información (Laboratorio)**

### **2.2.1 Petrografía**

Las muestras obtenidas se sometieron a los siguientes análisis petrográficos:

### 2.2.1.1 *Análisis Macroscópico*

Este análisis inició con una inspección visual con la ayuda de herramientas como la lupa, martillo, lápiz de dureza, y de insumos como ácido clorhídrico, etc. para determinar las siguientes características:

- Textura/estructura
- Color
- Dureza
- Fractura
- Reactividad



**Ilustración 2-5. Ensayo de Reactividad**

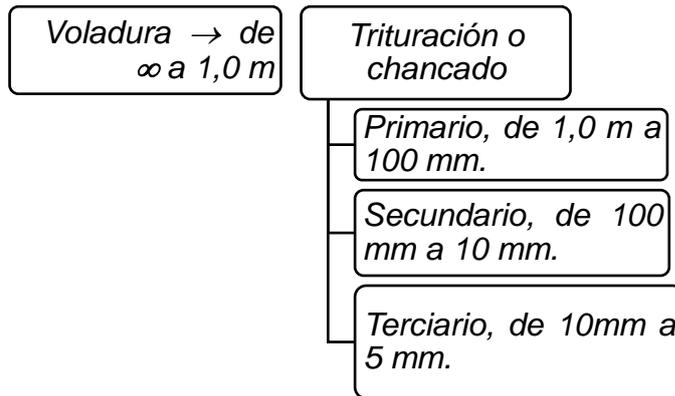


**Ilustración 2-6. Ensayo de dureza**

### 2.2.2 **Conminución**

Esta se realizó a fin de reducir el tamaño de las muestras para posteriormente usarlas en los ensayos químicos, los cuales requieren de un tamaño máximo de 10 mm para su ejecución.

En cuanto a conminución de minerales es importante considerar 3 etapas, la trituración, la molienda y la molienda ultrafina, de las cuales únicamente se consideró la primera etapa y se realizó mediante el uso de las maquinarias de la **Ilustración 2-9 e Ilustración 2-10.**



**Ilustración 2-7. Etapa y subetapas de la trituración o chancado.**

En las subetapas del chancado se realizó una trituración primaria y secundaria con los equipos, chancador de mandíbula y triturador de rodillos, respectivamente.

**Conminución de piedra caliza:** En esta operación se trituró el mineral de cantera en su primera fase de 500 mm a 100 mm y en una segunda fase de 100 mm a 0,1 mm.

**Chancador de mandíbula**

Son equipos dotados de 2 placas o mandíbulas, en los que una de ellas es móvil y presiona fuerte y rápidamente a la otra fracturando el material que se encuentra entre ambas

**Chancador de Rodillos**

La operación consiste en situar el material entre dos cilindros rotatorios y por la presión que estos ejercen lo trituran. El tamaño del grano final depende de la distancia entre ambos cilindros.

**Ilustración 2-8. Resumen de la operación de conminución**



**Ilustración 2-9. Triturador de Mandíbula**



**Ilustración 2-10. Triturador de rodillos**

### **2.2.3 Pureza de Caliza**

Para la determinación de la pureza de la caliza, se realizó un ensayo de tipo volumétrico de *Determinación de Calcio en Piedra Caliza*, este ensayo se realizó en los laboratorios de Química Analítica pertenecientes a la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la ESPOL, con una cantidad mínima de 4 pruebas por muestra.

#### **2.2.3.1 Procedimiento**

El procedimiento del ensayo se basó en la obtención de óxido de calcio mediante la precipitación de oxalato de calcio, en la **Ilustración 2-11** se observa el procedimiento general.

Se deja secar la muestra durante 1 a 2 horas, y se coloca en el desecador; si el material se descompone en medio ácido (HCl), se pesan 0.15 g en el vaso de precipitación de 250 ml, se le adiciona 5 ml de agua y se cubre con un vidrio-reloj. Después se le agregan 5 gotas de HCl concentrado, gota a gota; se colocan 3 gotas de agua de bromo para oxidar el hierro presente y se hierve la muestra por 5 minutos, eliminando el exceso de Br<sub>2</sub>. Se diluye la muestra hasta 25 ml aproximadamente, se calienta hasta que comience su ebullición y se adicionan 50 ml de solución caliente de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> al 6%. A la muestra se le agregan 4 gotas del indicador rojo de metilo y se precipita el CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, al añadir de forma lenta el NH<sub>3</sub>, cuando el indicador empiece a virar, se adiciona una gota de NH<sub>3</sub> cada 3 segundos, continuando hasta que la

solución cambie al color intermedio amarillo-naranja y se compruebe el pH con papel indicador aproximado a pH 5. Se deja reposar la muestra por no más de 30 minutos y se filtra en el crisol de Gooch, se lava el precipitado con 5 ml de agua fría varias veces. Se enjuaga el exterior del crisol para eliminar el  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  residual y se regresa el precipitado al vaso; se adicionan 50 ml de agua y 25 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3M, se calienta hasta 80 °C y se titula con permanganato de potasio 0.2 M, se anota el volumen consumido del titulante marcado en la bureta y se calcula el porcentaje de CaO.



**Ilustración 2-11. Esquema general del procedimiento**

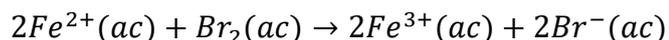
### **2.2.3.2 Reacciones**

Las principales reacciones que ocurren durante la práctica son las siguientes:

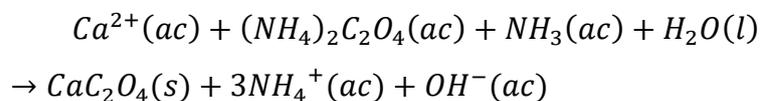
Disolución del Carbonato de Calcio



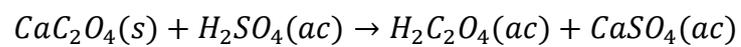
Oxidación de Hierro



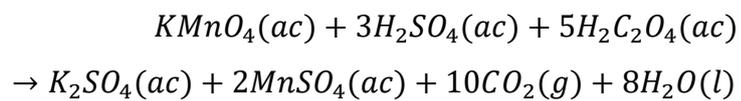
Precipitación del Oxalato de Calcio



Reacción del Oxalato de Calcio con el Ácido Sulfúrico



Titulación con permanganato de potasio



# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Petrografía

Para el estudio de las operaciones mineras de la cantera, se empezó con la descripción petrográfica de las muestras obtenidas en campo, en las que se diferenciaron dos litologías, la capa inferior conformada por calizas coralinas y la superior de arcillas, en la **Ilustración 3-1** se observa la ficha con las características macroscópicas de una de las muestras de roca obtenidas, en el

**Anexo 7** se puede encontrar todas las fichas realizadas.

Ficha de descripción macroscópica			
<b>Código:</b>	2018-10-25-02	<b>Fecha:</b>	5/11/2018
<b>Localidad:</b>	Comuna San Antonio - General Villamil		
<b>Formación geológica:</b>	Formación San Antonio - Grupo Progreso		
<b>Coordenadas</b>	<b>X:</b> 566540,69	<b>Y:</b> 9719372,95	<b>Z:</b> 65 m.
UTM WGS84 17S			
Descripción			
Packstone a wackstone color blanco tono marrón muy claro de fragmentos de algas.			
<b>Observaciones:</b>			
<b>Descrito por:</b>	Ing. Galo Montenegro		
<b>Nombre de roca:</b> Packstone a wackstone	<b>Estudio</b>	Materia Integradora	
<b>Colector:</b> Joel Alomalisa M.; Karla Villamar M.			



**Ilustración 3-1: Ficha petrográfica**

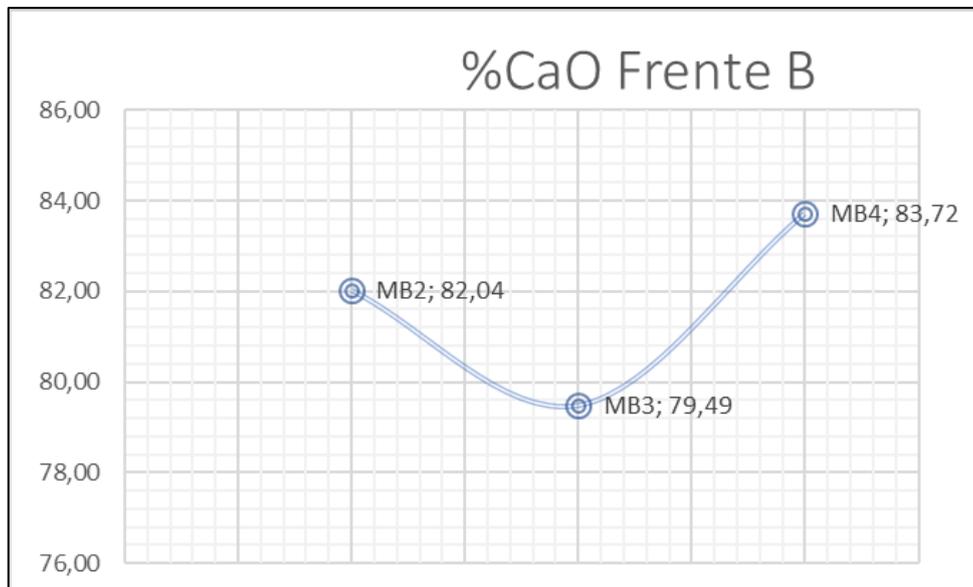
### 3.2 Ensayo químico

Para los ensayos de determinación de óxido de calcio en piedra caliza, se muestran los resultados en el **Anexo 8** con los cuales se realizó el análisis estadístico para calcular el valor promedio en porcentaje de óxido de calcio.

**Tabla 3-1: Análisis de datos, porcentaje CaO**

<b>Análisis de Datos</b>	
Media	81,75
Error típico	1,23
Mediana	82,04
Desviación estándar	2,13
Varianza de la muestra	4,55

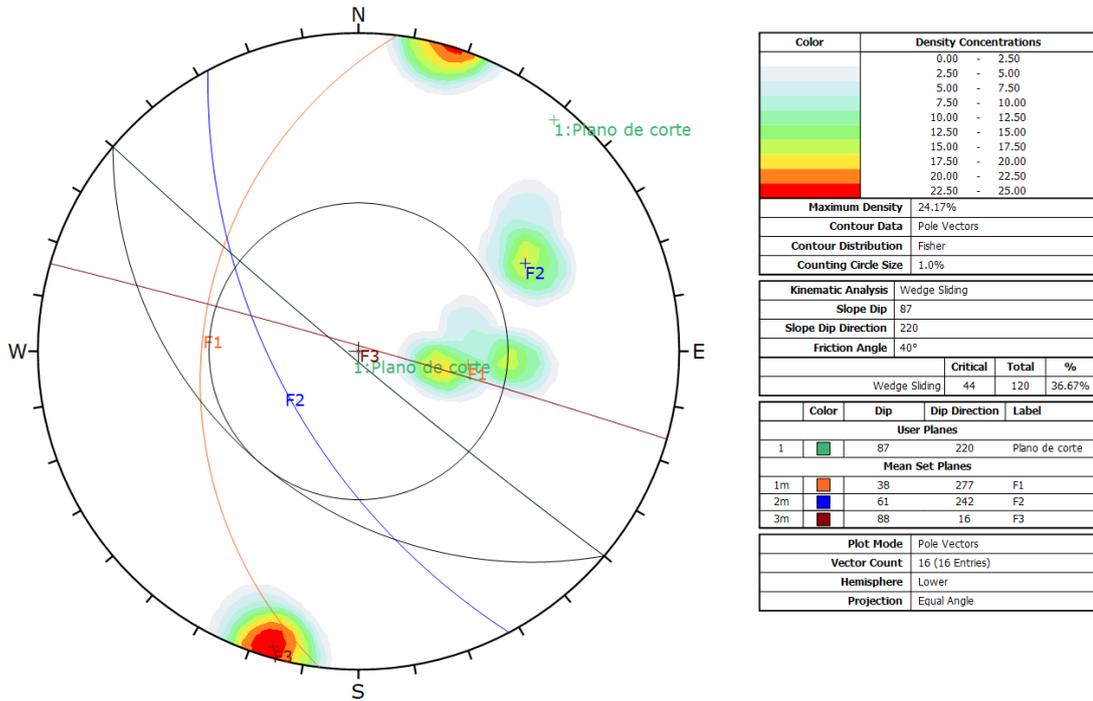
Se puede observar en la **Ilustración 3-2** la variación de porcentaje de óxido de calcio según el punto de muestreo.



**Ilustración 3-2: %CaO - Frente B**

### 3.3 Geomecánica

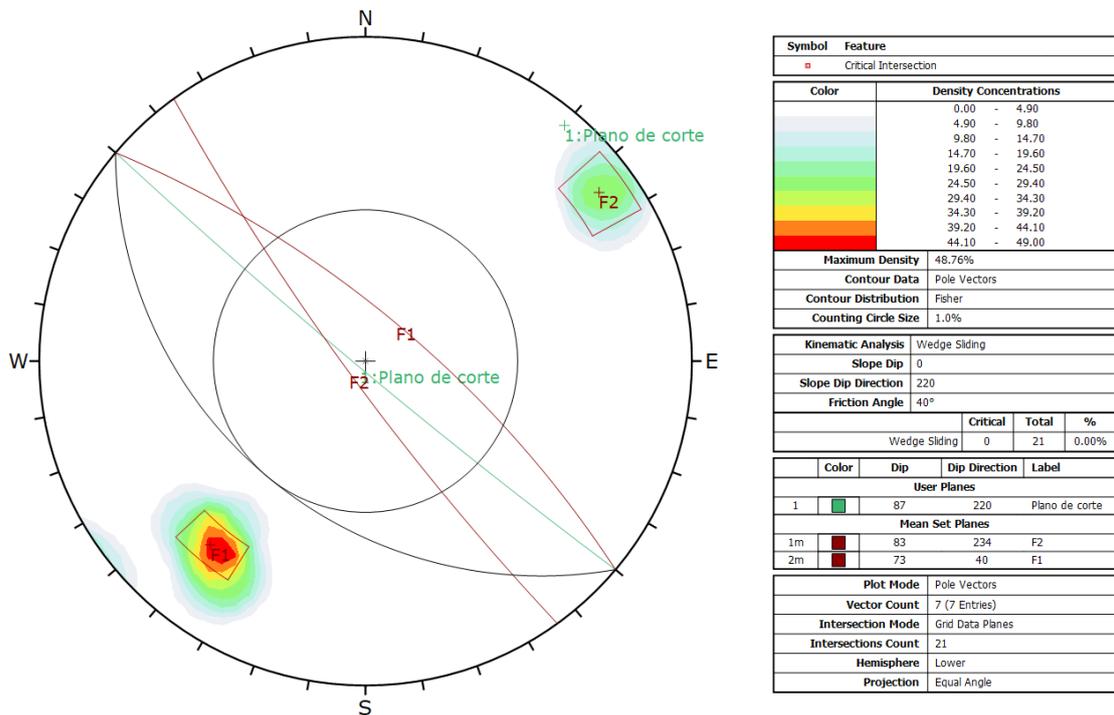
Se analizaron las familias discontinuidades de cada estación geomecánica, en el software DIPS, donde se ingresaron medidas de las orientaciones como en Dip/DipDirection, obteniendo una representación en la red estereográfica que se muestra en la **Ilustración 3-3**.



**Ilustración 3-3: Representación Dips. E.G.1**

Se pudo observar la formación de 3 familias, las cuales forman cuñas con el plano de corte, su análisis posterior en el software Swedge arrojó un factor de seguridad de 2,758 considerándose estable.

También se llevó a cabo el análisis para la E.G.3, en la cual se presentan dos familias, como se logra ver en la **Ilustración 3-4**.



**Ilustración 3-4: Representación Dips. E.G.3**

Posteriormente, se importaron los datos al software Swedge, obteniéndose un F.S.= 3,626 (**Anexo 9**), por lo cual es considerada estable hasta una altura de 30 metros del talud.

### 3.4 Perforación y Voladura

#### 3.4.1 Evaluación de las operaciones de perforación y voladura (Iniciales)

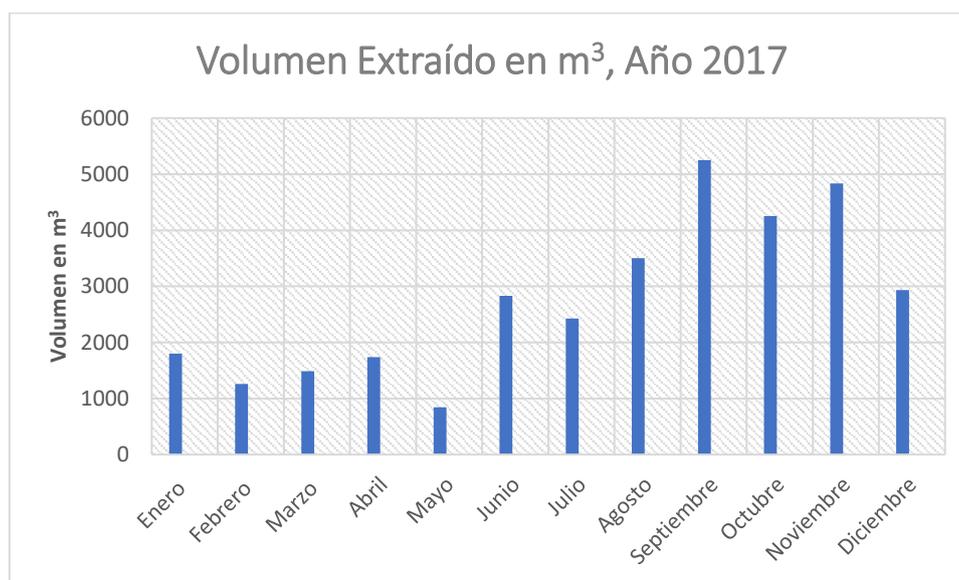
En la operación de perforación y voladura que se realiza en la cantera Perla del Pacífico se evaluaron los procedimientos que se efectúan para su ejecución y los resultados obtenidos, considerando aspectos técnicos como el esquema de perforación, consumo de explosivos, fragmentación y costos de perforación.

##### 3.4.1.1 Aspectos técnicos

###### 3.4.1.1.1 Volúmenes de producción

El volumen de producción está sujeto a la demanda del mercado, no obstante, se considera el almacenamiento de mineral cuando los volúmenes producidos exceden los requeridos.

En la **Ilustración 3-5**, se puede observar un histograma del volumen producido por mes durante el año 2017, es claro que los meses de baja producción corresponden a la época invernal entre febrero y mayo, con la producción mínima de 843 m<sup>3</sup> en el mes de mayo, mientras que las altas producciones corresponden a los meses de agosto a enero, llegando al pico superior el mes de septiembre con 5250,50 m<sup>3</sup>.



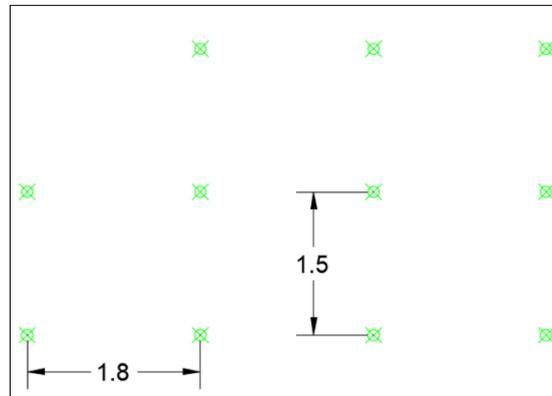
**Ilustración 3-5: Volúmenes extraídos en m<sup>3</sup> durante el año 2017. Fuente: (Autores, 2018)**

#### **3.4.1.1.2 Esquema de perforación**

La malla de perforación es elaborada con base en los resultados de las múltiples voladuras realizadas y a la experiencia de los perforistas a cargo, consta de una distribución irregular intercalando filas, asemejándose a lo que comúnmente se denomina como malla rectangular. Además, el plano superior de talud es irregular con presencia de repiés, los cuales dificultan una distribución adecuada y equidistante de los barrenos, bajo estos antecedentes se puede decir que en la cantera no se utiliza un esquema de perforación con base en criterios técnicos.

Es necesario destacar que no existe una base de datos que recoja los parámetros de voladuras realizadas con anterioridad, por lo que los valores observados y anotados durante la metodología son netamente orientativos que sirven como directrices básicas en la selección de los principales parámetros que se deben modificar en la optimización.

La **Ilustración 3-6** muestra el esquema de perforación con su respectivo burden y espaciamiento utilizado en la cantera Perla del Pacífico.



**Ilustración 3-6: Esquema de la Malla rectangular utilizada en la cantera. Fuente: (Autores, 2018)**

#### 3.4.1.1.3 Cálculos con respecto al esquema de voladura

La **Tabla 3-2**, muestra un resumen de los parámetros geométricos con los cuales se realiza el esquema de perforación, mediante los cálculos respectivos se obtiene una densidad de carga de  $0,291 \text{ kg/m}^3$  el cual se encuentra por debajo del rango recomendable que según (López Jimeno C. , 1994), es de  $0,3$  a  $0,6 \text{ kg/m}^3$  para rocas de resistencia media (Ver

**Anexo 3).**

**Tabla 3-2: Parámetros utilizados en la voladura actual. Fuente: (Autores, 2018)**

Parámetros		Unidad
Altura del banco	2,1	m
Área	72	$\text{m}^2$
# Perforaciones	26	-----
Diámetro de perforación	1 1/2	pulg.
Burden	1,5	m
Espaciamiento	1,9	m
Taco	0,4	m
Profundidad total	2,4	m

<b>Explosivo/Riodin</b>		
Diámetro	7/8	pulg.
Largo	7	pulg.
Densidad	1,3	g/m <sup>3</sup>
<b>Explosivo/ANFO</b>		
Densidad	0,8	g/cm <sup>3</sup>
<b>Carga Específica</b>		
<b>CE</b>	<b>0,291</b>	kg/m <sup>3</sup>

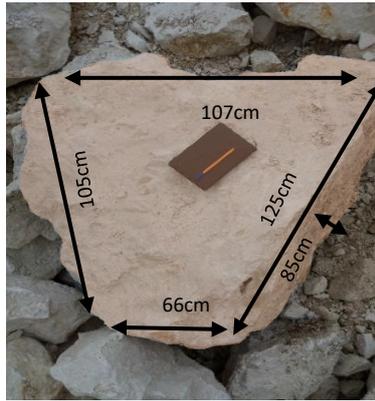
#### **3.4.1.1.4 Rendimiento y análisis de la malla**

En la cantera Perla del Pacífico se perforan en promedio 25 huecos por cada turno de 8 horas. Al no tomar en cuenta las propiedades geológicas y características geométricas y de la roca se comenten errores técnicos en la operación.

#### **3.4.1.1.5 Análisis de la fragmentación**

La fragmentación que se obtiene en la cantera Perla del Pacífico es deficiente, esto está respaldado por la presencia rocas con tamaños medios de arista que superan 1 metro de longitud en el 90% de las voladuras monitoreadas, se considera que toda roca que supere en media a este valor es considerada roca con sobre tamaño. En la **Ilustración 3-7** se puede observar un ejemplo de roca con sobretamaño.

Esta deficiencia pone de manifiesto la necesidad de la fragmentación secundaria, que en la cantera estudiada es realizada manualmente utilizando como principal herramienta el combo, llevada a cabo generalmente por dos trabajadores. Esta operación adicional permite reducir el tamaño de los fragmentos de forma que puedan ser cargados por la excavadora.



**Ilustración 3-7: Roca con sobre tamaño producto de la voladura.**

La **Tabla 3-3** muestra un resumen de análisis del volumen que resulta de las rocas con sobretamaño.

**Tabla 3-3: Análisis de las rocas con sobre tamaño. Fuente: (Autores, 2018)**

<b>Rocas &gt; 1m</b>	<b>11</b>
Longitud media de arista (m)	<b>1,20 ± 0,09</b>
Volumen m <sup>3</sup>	<b>4,92</b>

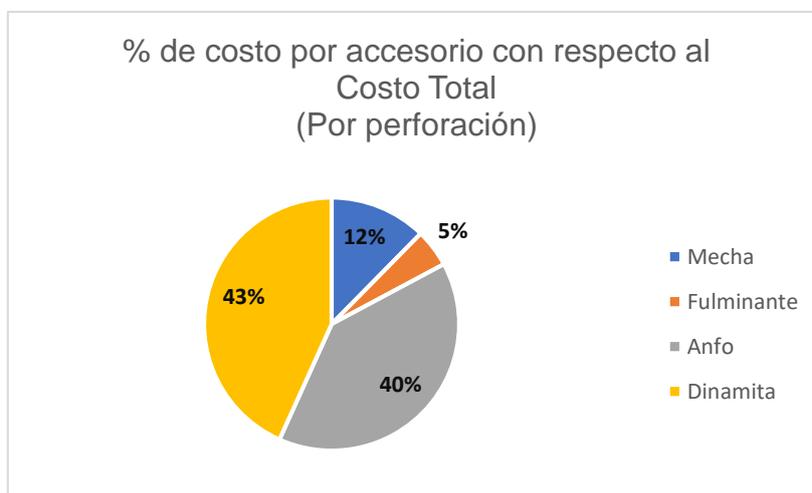
#### **3.4.1.2 Aspectos Económicos**

Para determinar los costos por uso de explosivo se analizaron los valores correspondientes al año 2017 (En el **Anexo 10** se pueden observar los valores de consumo de explosivo detallados), cuyo resultado se presenta en la **Tabla 3-4**.

**Tabla 3-4. Costos de explosivos**

<b>Explosivo Accesorio</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>	<b>Costo Total por Voladura (\$)</b>
<b>Dinamita</b>	Unid.	1.353,00	4,84	\$ 6.547,57
<b>Mecha</b>	m	6.325,90	0,27	\$ 1.707,99
<b>Fulminante</b>	Unid.	2.706,00	0,27	\$ 730,62
<b>ANFO</b>	kg	4.295,98	1,39	\$ 5.985,16
<b>Costo Total</b>				<b>\$ 14.971,34</b>

Se determinó el costo de explosivo por perforación (**Anexo 11**), este valor resultó ser de 5,59 \$/Barreno. La **Ilustración 3-8** muestra el porcentaje de costo que representa cada accesorio sobre el costo total de explosivo, siendo los referentes a dinamita y ANFO los más altos.



**Ilustración 3-8** Porcentaje de costo por accesorio respecto al costo total de explosivo.

Fuente: (Autores, 2018)

### 3.4.2 Evaluación de las operaciones de perforación y voladura (Optimizado)

#### 3.4.2.1 Aspectos Técnicos

##### 3.4.2.1.1 Cálculos con respecto al esquema de voladura

Con base en la metodología de López, C. (1994), se determinaron los valores de los parámetros geométricos, obteniendo como resultado una carga específica de 0,324 kg/m<sup>3</sup>, cuyo valor se encuentra dentro del rango aceptable para rocas de resistencia media, (ver **Anexo 3**).

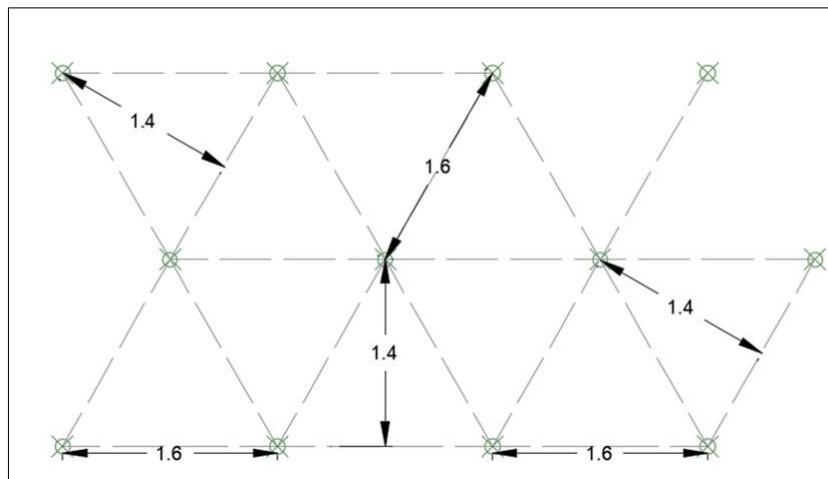
**Tabla 3-5: Parámetros de voladura.**

PARÁMETROS		UNIDAD	PARÁMETROS		UNIDAD
Volumen para explotar	108	m <sup>3</sup>	Explosivo/Riodin		
Densidad de roca	2,7	t/m <sup>3</sup>	Diámetro	0,875	pulg.
Altura del banco	2	m	Largo	7	pulg.
Área	54	m <sup>2</sup>	Densidad	1,3	g/m <sup>3</sup>
# Perforaciones	25	-----	Explosivo/ANFO		

Diámetro de perforación	1,5	pulg.	Densidad	0,8	g/cm <sup>3</sup>
Burden	1,4	m	Carga Específica		
Espaciamiento	1,6	m	CE	0,324	kg/m <sup>3</sup>
Taco	0,6	m			
Sobreperforación	0,42	m			
Sobreperforación %	0,17	%			
Perforación Específica	0,52	mlp/m <sup>3</sup>			
Profundidad total	2,42	m			

### 3.4.2.1.2 Esquema de perforación

Se propone la utilización el esquema de perforación a tresbolillo que forma triángulos equiláteros, de esta manera se espera garantizar una mejor fragmentación de la roca en el radio de influencia de la perforación. En la **Ilustración 3-9** se muestra el esquema de perforación empleado.



**Ilustración 3-9: Esquema de perforación propuesto.**

### 3.4.2.1.3 Análisis de la fragmentación

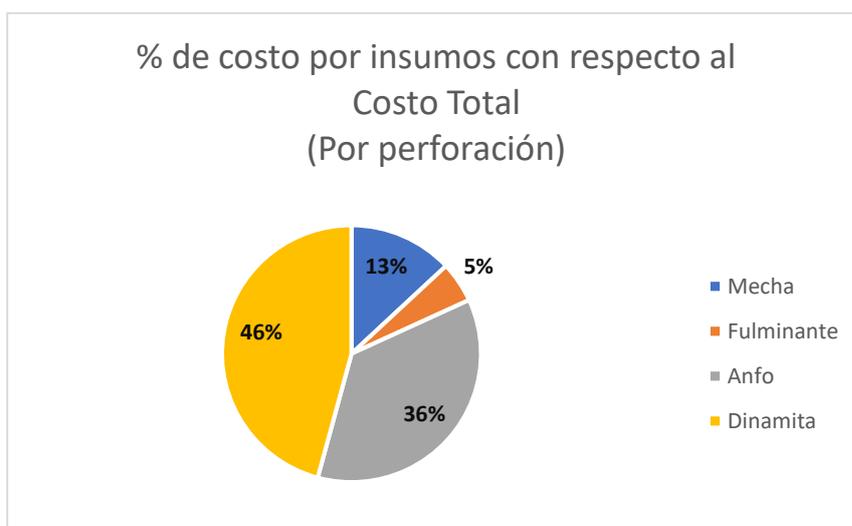
Con la ayuda del martillo neumático se realizó 25 perforaciones manteniendo el esquema de perforación al tresbolillo.

El volumen arrancado en las condiciones actuales es de aproximadamente 140 m<sup>3</sup> por voladura mientras que el volumen arrancado con el esquema propuesto es de

130 m<sup>3</sup>, sin duda el volumen es menor, pero en el segundo caso (optimizado) se logra una mejor fragmentación.

### 3.4.2.2 Aspectos Económicos

Se estimaron los costos de perforación del esquema propuesto como parte de la optimización, obteniendo los siguientes resultados, en la **Ilustración 3-10** se puede observar que el costo más elevado en perforación es el correspondiente a dinamita.



**Ilustración 3-10. Costos Optimizados de Perforación y Voladura**

### 3.4.3 Comparación de indicadores técnicos y económicos

En la **Tabla 3-6**, se presenta una tabla comparativa entre los datos iniciales y los resultados de la optimización, así también en la **Tabla 3-7**, los valores en dólares en relación con los insumos utilizados, obteniendo una disminución de \$0,31 en los costos.

**Tabla 3-6. Comparación de indicadores Técnicos de Perforación y Voladura**

	Inicial	Optimizado
Volumen para explotar (m <sup>3</sup> )	151	108
# Perforaciones (#)	25	25
Burden (m)	1,5	1,4
Espaciamiento (m)	1,8	1,6
Taco (m)	0,4	0,6

Perforación específica (mlp/m <sup>3</sup> )	<b>0,41</b>	<b>0,52</b>
Carga Específica (kg/m <sup>3</sup> )	<b>0,291</b>	<b>0,324</b>

**Tabla 3-7. Valores comparativos de los insumos de Perforación y Voladura**

<b>Insumo</b>	<b>Inicial</b>	<b>Optimizado</b>
Mecha	\$ 0,69	\$ 0,69
Fulminante	\$ 0,27	\$ 0,27
ANFO	\$ 2,21	\$ 1,91
Dinamita	\$ 2,42	\$ 2,42
<b>Total</b>	<b>\$ 5,59</b>	<b>\$ 5,28</b>

### **3.5 Carga**

Con la técnica de la fotografía laboral se consiguieron los datos correspondientes al tiempo de ciclo de las actividades unitarias dentro de la operación que se realizan cotidianamente.

Se analizaron estadísticamente los tiempos de cada ciclo y total de carga para las unidades de transporte, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3-8: Tiempos promedios de ciclo. Fuente: (Autores, 2018)**

<b>Tiempos</b>			
	<b>Hino FS1ELVD</b>	<b>Mercedes Benz L1924</b>	
Ciclo	27,62±2,67	28,28±2,75	segundos
Carga	9,92±1,26	7,54±1,17	minutos
# de ciclos	22±2	14±2	unidades

Con base en los datos obtenidos, se calculó el coeficiente de llenado del cazo de la excavadora POCLAIN 1188, dando un valor de 73,5%, lo que indica que únicamente se utilizan 0,66 de los 0,9 m<sup>3</sup> de su capacidad total.

Actualmente el esquema de carga en la cantera se desarrolla a nivel (camión y excavadora en la misma cota), con un ángulo de giro entre los 90° y 180°, acercándose siempre al valor mayor del intervalo y en ocasiones superándolo. Bajo estas condiciones, el tiempo de ciclo promedio de carga es de 0,47 min o aproximadamente 29 segundos; haciendo que esta operación tenga un bajo rendimiento por el aumento del tiempo de ciclo en la carga, disminuyendo su producción horaria.

**Tabla 3-9: Productividad horaria (Actual). Fuente: (Autores, 2018)**

	Actual	
Productividad horaria	34,36	m <sup>3</sup> /h
Factor eficiencia	0,73	
Factor de llenado del cazo	0,70	
Factor de corrección por altura	1	
Factor corrección por ángulo de giro	1	
Factor de conversión volumétrica	0,59	
Ciclo de un cazo	0,47	min

Se calculó la productividad horaria, siendo de 34,36 m<sup>3</sup>/h.

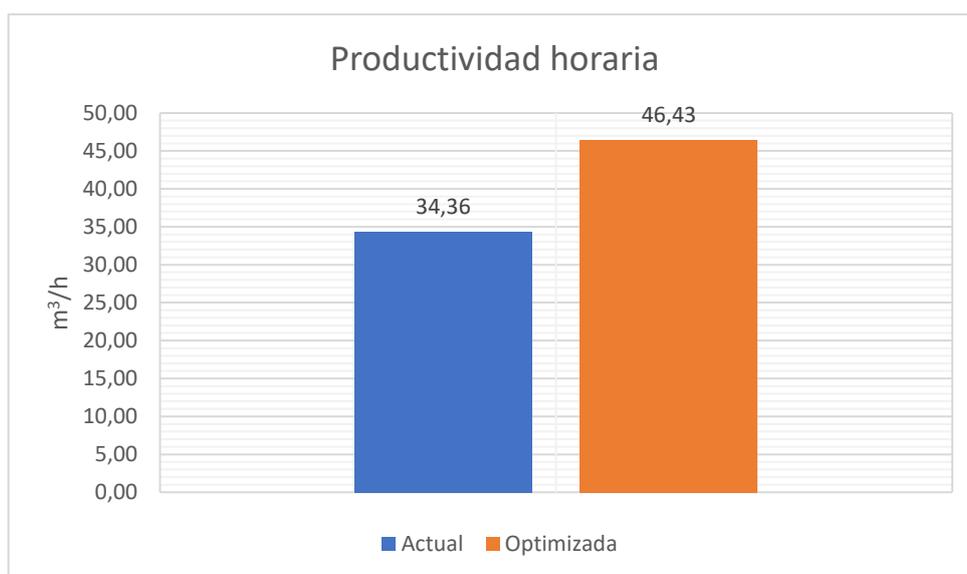
Como propuesta de mejora se plantea una reducción del ángulo de giro de carga a aproximadamente 45° a través de la ubicación adecuada del sistema pila de rocas voladas- excavadora- camión, que teóricamente permite reducir el tiempo de ciclo a 0,42 min o 25,04 segundos, lo que implica una reducción un 11,46%, con el nuevo valor y un factor de corrección de 1,19 se obtiene la siguiente producción horaria.

**Tabla 3-10: Productividad horaria (Optimizada). Fuente: (Autores, 2018)**

	Optimizada	
Productividad horaria	46,43	m <sup>3</sup> /h
Factor eficiencia	0,73	
Factor de llenado del cazo	0,70	
Factor de corrección por altura	1	

Factor corrección por ángulo de giro	1,19	
Factor de conversión volumétrica	0,59	
Ciclo de un cazo	0,42	min

La optimización del esquema de carga supone un aumento de la producción en un 35,12%, alcanzándose los 46,43 m<sup>3</sup>/h, la variación puede visualizarse en la **Ilustración 3-11**, esto se debe a la disminución del ángulo de giro, el cual reduce el tiempo de ciclo, y genera un aumento en la productividad horaria.



**Ilustración 3-11: Comparación productividades horarias en carga. Fuente: (Autores, 2018)**

### 3.6 Transporte

En la operación de transporte se calcularon coeficientes que ayudan a ajustar la estimación del rendimiento de la maquinaria.

Para el volquete **Hino FS1ELVD**, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3-11: Coeficiente de fluctuación de velocidad volquete HINO**

	Real	Teórico	Coeficiente de Fluctuación de Velocidad
Ida	1:30:23	1:13:48	22%
Regreso	1:19:41		10%

El coeficiente de fluctuación de velocidad depende netamente de los contratiempos que se encuentran en el recorrido, con una gran influencia de las condiciones de las pistas por las que circulan los vehículos desde el frente de trabajo al lugar de descarga del material y viceversa, obteniendo valores del 22% para el viaje lleno y del 10% para el viaje vacío, estos valores implican el incremento del tiempo de recorrido con respecto al valor teórico estimado.

Coeficiente Utilización	77,14%
-------------------------	--------

El coeficiente de utilización marca el porcentaje de tiempo en que el equipo estuvo trabajando del total del tiempo que dura la jornada laboral mientras estuvo disponible mecánicamente para realizar su actividad.

Este valor de 77,14%, indica que el 22,86% de las horas turno de trabajo el equipo estuvo disponible pero no fue utilizado.

Por último, el contrato de servicio bajo el cual trabaja el volquete **HINO** pacta un precio por m<sup>3</sup> de \$7 dólares, por lo que se toma este valor como su costo operativo, con un costo por movimiento de caliza anual de \$50,400, considerando sus dos viajes en días laborales con una capacidad de carga volumétrica de 15 m<sup>3</sup>.

Para el volquete **Mercedes Benz**, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3-12: Coeficiente de fluctuación de velocidad. Mercedes Benz**

	Real	Teórico	Coeficiente de Fluctuación de Velocidad
Ida	1:57:52	1:13:48	58%

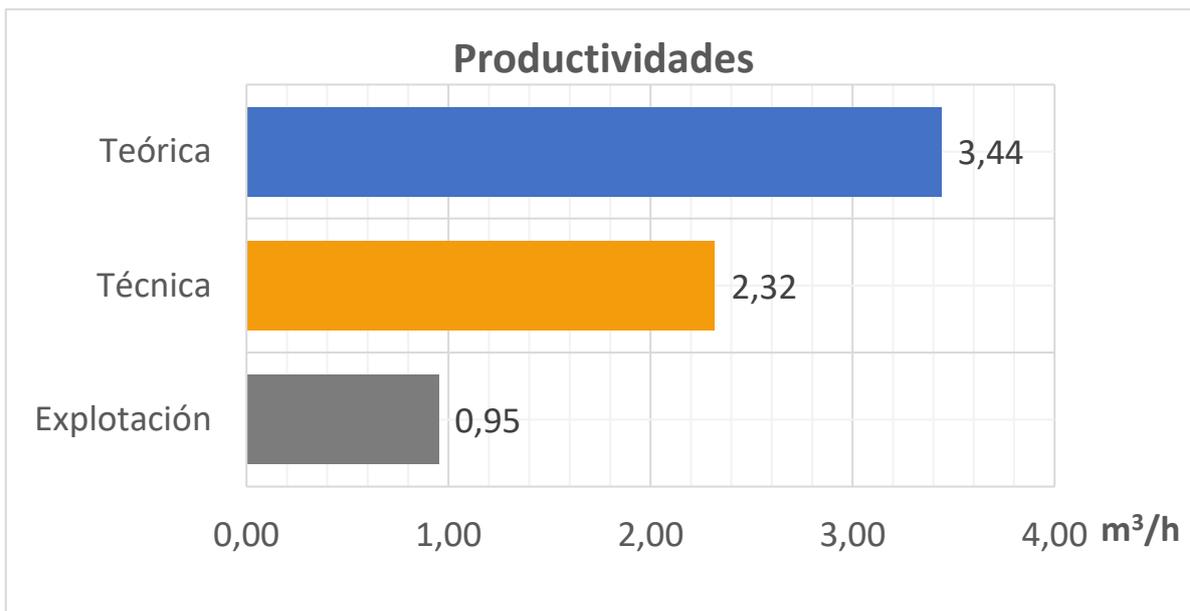
Como se mencionó anteriormente, el coeficiente de fluctuación de velocidad da el incremento del tiempo de viaje con respecto al estimado según distancias y velocidades, en el caso del volquete del titular minero, el coeficiente excede el 50%, indicando un incremento del ciclo de transporte con respecto al tiempo teórico; debe mencionarse que este camión no regresa a cantera.

**Tabla 3-13: Coeficientes volquete Mercedes Benz.**

Coeficiente de tiempos no tecnológicos	Otros	41,04%
Coeficiente de Utilización	Mineral	27,75%
	General	68,79%

El volquete no es solo utilizado para el transporte del material a arrancado, además se utiliza en operaciones auxiliares como el mantenimiento de vías, transporte de materiales, etc., por este motivo se obtuvieron dos coeficientes de utilización, el primero de 27,75% que indica el tiempo en que el equipo transportó mineral, mientras el segundo de 68,79% indica su trabajo en general, tanto en operaciones auxiliares como en trabajo en mineral. El coeficiente de tiempos no tecnológico indica el tiempo o porcentaje de éste en el cual el volquete estuvo disponible y fue utilizado para otras actividades, para este caso se tomó como la diferencia entre el coeficiente de utilización general y el coeficiente de utilización en mineral, arrojando un valor de 41,04%.

Con los coeficientes estimados se calcularon las productividades **Ilustración 3-12**, la primera no guarda relación con ninguno de ellos y depende únicamente de la capacidad del órgano de trabajo y el tiempo de ciclo. La productividad técnica da una medida general de la productividad del camión sin diferenciar entre el trabajo en mineral u otros trabajos auxiliares, para obtenerla parte de la productividad teórica y se considera la influencia de los coeficientes de utilización y de llenado del camión. Otra productividad calculada fue la de explotación, que permite conocer la productividad en masa menífera.



**Ilustración 3-12: Productividades, volquete Mercedes Benz. Fuente: (Autores, 2018)**

Con una productividad de explotación de 0,95 m<sup>3</sup>/h, se estimó un volumen anual de caliza que es transportado por el volquete de 1.864,43 m<sup>3</sup>, considerando un viaje diario en días laborales y la capacidad de caja de 8 m<sup>3</sup>.

Los costos operativos mostrados en la **Tabla 3-14** se obtienen considerando datos referenciales del año 2018, dentro de los que se encuentran datos de combustible, mantenimiento en general, y como gasto más representativo el sueldo del conductor del volquete.

**Tabla 3-14: Costos Operativos. Mercedes Benz. Fuente: (Autores, 2018)**

	Costo anual
Combustible	\$ 4.800,00
Mantenimiento	\$ 1.680,00
Aceite	\$ 2.640,00
Llantas	\$ 1.800,00
Sueldo	\$ 10.821,42
<b>Total</b>	<b>\$ 21.741,42</b>

La estimación del costo operativo anual y el volumen aproximado que moviliza el volquete propio del titular minero da como resultado un índice de costo de 11,66 \$/m<sup>3</sup> valor calculado con base en datos referenciales del año 2018.

Los costos en dólares por m<sup>3</sup> entre los volquetes difieren en \$4,66, siendo un valor considerable, por esta razón, se propone que el volumen transportado por el volquete del titular minero sea asumido por el camión Hino contratado, por la capacidad del volquete, se estima alrededor de 135 viajes, con un costo anual de \$14.200 aproximadamente.

Como se puede observar en la **Ilustración 3-13** el costo operativo desciende para el esquema optimizado al cubrir la producción del volquete propio del titular minero, disminuyendo los costos en un 34,68%.



**Ilustración 3-13: Costos operativos en transporte. Fuente: (Autores, 2018)**

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La cantera Perla del Pacífico se explota mediante el método de explotación a cielo abierto con un sistema de bancos múltiples, con arranque de roca por perforación y voladura y carga – transporte con retroexcavadora hidráulica y volquete convencional.
- Acorde con el levantamiento de información en campo, la cantera pertenece a la formación San Antonio, la cual consta de calizas ricas en algas coralíferas de tipo lithothamnium de alta pureza.
- Con la propuesta del esquema de perforación al tresbolillo se estimó un consumo específico por sobre los  $0,3 \text{ kg/m}^3$ , el cual garantiza una mejor distribución de la energía del explosivo en la roca y por ende una mejor fracturación de la roca optimizando en 5,5% del costo total de la operación.
- La operación de carga es realizada con una excavadora POCLAIN 1188LC de 1998, la cual tiene una capacidad de cazo de  $0,9 \text{ m}^3$ . Es realizada en la mayoría de las veces con un ángulo superior a los  $90^\circ$ , llegando a hasta  $180^\circ$ . Se propone una disminución del ángulo de giro a  $45^\circ$  con lo que se reduce el tiempo de ciclo, aumentando la productividad horaria de la excavadora en un 35,12%.
- El transporte se lleva a cabo con dos volquetes convencionales, con capacidad de caja de  $8 \text{ m}^3$  y  $15 \text{ m}^3$ , siendo la primera de propiedad del titular minero la cual moviliza el material a compradores cercanos de la comuna San Antonio y a la planta INMAPRI S.A. ubicada en Guayaquil, la segunda es subcontratada haciendo en promedio dos viajes al día llevando material fragmentado para el almacenaje de la planta. Los coeficientes de fluctuación de velocidad fueron aceptables para el volquete contratado, mientras que para el volquete Mercedes Benz de propiedad de la empresa el porcentaje de incremento de tiempo con

respecto al real fue de un 58%; por otra parte, el coeficiente de utilización en mineral es de 27,75%, debido al uso constante para operaciones auxiliares.

- Entre los costos de transporte, especialmente el índice de producción se puede ver la variación en dólares por metro cubico entre ambos volquetes, el cual es de 7 \$/m<sup>3</sup> para el volquete HINO (subcontratada) como valor fijo y de aproximadamente 12 \$/m<sup>3</sup> para la propia.
- El uso del volquete HINO subcontratado, para la movilización del material que actualmente transporta el camión Mercedes Benz reduciría aproximadamente en un 34,68% el costo operativo de los 1864 m<sup>3</sup> de caliza que se trasladan anualmente; cabe recalcar que es necesario obtener los costos específicos del volquete propio, para realizar un análisis más exhaustivo que permita concluir si es conveniente o no el uso de este equipo para el transporte del material.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Realizar un estudio geológico por sondeos o calicatas para estimar las reservas que existen por debajo de la cota de explotación.
- Implementar un sistema de registro sobre el mantenimiento de los equipos diferenciándolos si son correctivos o preventivos, para un posterior análisis con respecto a la productividad técnica de los equipos.
- Realizar un control en la cantidad exacta de accesorios y explosivos, con el fin de tener un inventario.
- Realizar una adecuada planificación para la ejecución de las actividades auxiliares como mantenimiento de vías, construcción de drenajes, etc.

# BIBLIOGRAFÍA

- Bernaola, A., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *Perforación Y Voladura De Rocas En Minería*. Madrid. Retrieved from [http://oa.upm.es/21848/1/20131007\\_PERFORACION\\_Y\\_VOLADURA.pdf](http://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf)
- Caguana, A., & Tenorio, M. (2013). *Optimización de los parámetros de perforación y voladura en la cantera "Las Victorias."* Universidad de Cuenca.
- Cardich, A. Z. (1986). *Voladura de Rocas. Convención de ingenieros de minas del Perú*. Lima.
- Dalgleish, T., Williams, J. M. G. ., Golden, A.-M. J., Perkins, N., Barrett, L. F., Barnard, P. J., ... Watkins, E. (2007). *Manual Práctico de Voladura. Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 136).
- E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid. (1994). *Aridos. Manual de prospección, explotación y aplicaciones*. (LOEMCO, Ed.). Madrid.
- EXPLOCEM. (2015). III Seminario Internacional de Perforación y Voladura.
- IGME. (1994). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid.
- IGME. (1995). *Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto* (Segunda). Madrid.
- INIGEMM. (1975). *Mapa Geológico - Estero Salado*.
- López, C. (1994). *Manual de Perforación*. Madrid.
- Manzaneda, J. (2015). *Optimización de la flota de carguío y acarreo para el incremento de producción de material de desbroce de 400K a 1000K BCM - U.E.A. El Brocal consorcio Pasco Stracon GyM*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Ministerio de Defensa Nacional, & Ministerio de Agricultura. (2012). *Memoria Técnica: Cantón Playas. Obtenido de Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional*. Retrieved January 28, 2019, from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA5/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/GUAYAS/PLAYAS/IEE/M](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA5/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/GUAYAS/PLAYAS/IEE/M)

EMORIAS\_TECNICAS/mt\_playas\_sistemas\_productivos.pdf

Ministerio de Industria Energía y Turismo. (2017). Guía de Buenas Prácticas en el Diseño y Ejecución de Voladuras en Banco. *Minería y Energía*.

Ministerio de Minería, & ARCOM. (2018). Catastro Minero. Retrieved January 29, 2019, from <http://geo.controlminero.gob.ec:1026/geovisor/>

Orche, E. (1999). Manual de Evaluación de Yacimientos Minerales. Madrid.

Piérola, D. (2017). *Optimización Del Plan De Minado De Canteras De Caliza La Unión Distrito De Baños Del Inca – Cajamarca*. Universidad Nacional del Altiplano.

Seguridad Minera. (2017). El carguío y transporte y su relación con otras etapas de la explotación. Retrieved November 19, 2018, from <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/el-carguio-y-transporte-y-su-relacion-con-otras-etapas-de-la-explotacion/>

Yarmuch, J. L. (2012). *Simulación Del Sistema De Carguío Y Transporte Mina Chuquicamata*. Universidad de Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102798/Simulación-del-sistema-de-carguío-y-transporte-Mina-Chuquicamata.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Zumba, W., & Montenegro, G. (1986). *Cuenca Progreso-Geología del petróleo*.

# ANEXOS

Anexo 1: Relaciones normales "J/B" de las voladuras en banco. Fuente: (López Jimeno C., 1994)

CONDICIONES DEL TERRENO	J / B
- Planos de discontinuidad en el pie del banco. Roca estratificada horizontal.	0
- Rapiés poco probables. Roca blanda.	0,1 - 0,2
- Rapiés normales. Roca media.	0,3
- Rapiés difíciles. Roca dura.	0,4 - 0,5

Anexo 2: Valores típicos de diseño de los parámetros geométricos en función de las resistencias de las rocas.

VARIABLE DE DISEÑO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)			
	Blanda < 70	Media 70-120	Dura 120-180	Muy Dura > 180
Piedra - B	39 D	37 D	35 D	33 D
Espaciamiento- S	51 D	47 D	43 D	38 D
Retacado - T	35 D	34 D	32 D	30 D
Sobreperforación -J	10 D	11 D	12 D	12 D
Longitud carga fondo- $l_f$	30 D	35 D	35 D	46 D

**Anexo 3: Valores típicos de Consumo Específico en diversas clases de roca para voladuras en banco.**

<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>CONSUMO ESPECIFICO(kg/m<sup>3</sup>)</b>
- Rocas masivas y muy resistentes.	0,6 - 1,5
- Rocas de resistencia media.	0,30 - 0,6
- Rocas muy fracturadas, alteradas o blandas.	0,10 - 0,30

**Anexo 4: Especificaciones del martillo JH40.**

**Rock Drill Oil Specifications**

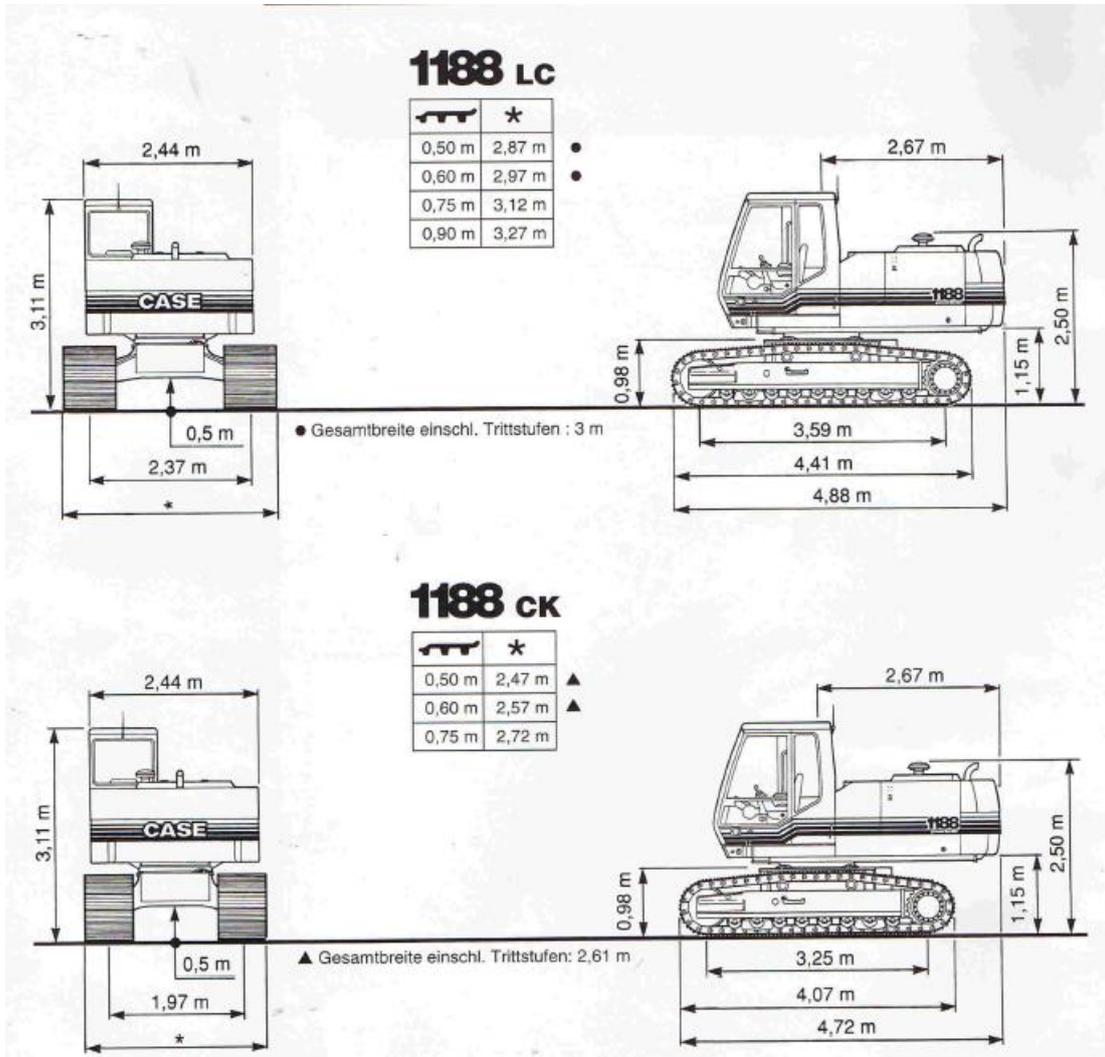
Characteristic	Test Procedure	90°F and Below (32°C and Below)	Above 90°F (Above 32°C)
Viscosity:			
SUS at 100°F (38°C)	ASTM-D2161	175 Min.	450 Min.
SUS at 210°F (99°C)	ASTM-D2161	46 Min.	65 Min.
cST at 104°F (40°C)	ASTM-D445	37 Min.	105 Min.
cST at 212°F (100°C)	ASTM-D445	6 Min.	11 Min.
Pour Point, °F (°C) Max.	ASTM-D97	-10°F (-23°C)	-10°F (-23°C)
Flash Point, °F (°C) Max.	ASTM-D92	370°F (188°C)	400°F (204°C)
Viscosity Index, Min.	ASTM-D2270	90	90
Steam Emulsion No. Min.	ASTM-1935-65	1200	1200
Consistency	---	Stringy	Stringy
Falex Load Test lbs. (kg) [Min.]	ASTM-D2670	2000 lbs. (907 kg)	2000 lbs. (907 kg)
Timken E. P. Test lbs. (kg) [Min.]	ASTM-D2782	30 lbs. (14 kg)	30 lbs. (14 kg)

**Product Specifications**

Model	Bore of Cylinder	Working Stroke	Chuck Size Hex.	Blows per Minute	Air Consumption at 90 psi (6.2 bar)	
					ft <sup>3</sup> /min.	m <sup>3</sup> /min.
I.D.	inch (mm)	inch (mm)	inch			
JH40C1	2.5 (63.5)	2-5/8 (66.7)	7/8 x 3-1/4	2000	115	3.25
JH40C2	2.5 (63.5)	2-5/8 (66.7)	7/8 x 4-1/4	2000	115	3.25
JH40C3	2.5 (63.5)	2-5/8 (66.7)	1 x 4-1/4	2000	115	3.25

Model	Weight (Net)	Overall Length	Recommended Air Supply at the Inlet	
			psig	bar
I.D.	lbs (kg)	inch (mm)		
JH40C1	61 (27.7)	22.5 (572)	90 - 100	6.2 - 6.9
JH40C2	61 (27.7)	22.5 (572)	90 - 100	6.2 - 6.9
JH40C3	61 (27.7)	22.5 (572)	90 - 100	6.2 - 6.9

**Anexo 5: Especificaciones técnicas de excavadora POCLAIN 1188LC.**



## Anexo 6: Especificaciones técnicas, volquete HINO FS1ESSA

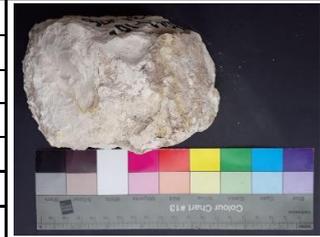
FS1ELSD - 3341/ FS1ESSA-3348		
MODELO	FS1ELSD - 3341	FS1ESSA -3348
Configuración	6x4	
<b>CAPACIDADES</b>		
Capacidad carga eje delantero	7.000 Kg.	7.000 Kg.
Capacidad carga eje posterior	20.000 Kg.	20.000 Kg.
Peso bruto vehicular	27.000 Kg.	27.000 Kg.
Peso vacío	8.705 Kg.	9.010 Kg.
Capacidad de carga	18.295 Kg.	17.990 Kg.
Neumáticos	295/80 R 22.5	
<b>MOTOR</b>		
Tipo	Diesel Turbo Intercooler	
Sistema de inyección	Inyección electrónica en riel común con compensador	
Norma de control de emisiones	Euro 3	
Potencia máxima	480 HP @ 1.800 RPM	
Torque máximo	220 KgM @ 1.100 RPM	190 KgM @ 1.100 RPM
Cilindraje	12.913 cm³	
MODELO	FS1ELSD - 3341	FS1ESSA -3348
<b>EMBRAGUE</b>	Monodisco seco	
<b>TRANSMISIÓN</b>		
Transmisión / Tipo	Manual (ZF16)	
Número de velocidades	16 velocidades + 2 reversas	
<b>EJES</b>		
Delantero	Tipo Viga Elliot "I" Inversa reforzada	
Trasero	Tipo tandem enteramente flotante reforzada	
<b>SUSPENSIÓN</b>		
Delantera	Ballestas semielípticas con amortiguadores y estabilizadores	
Trasera	Ballestas semielípticas	
Dirección	Hidráulica (Bolas recirculantes)	
<b>FRENOS</b>		
De servicio	100% Aire	
Auxiliares	Retardador al motor + Intarder III a la transmisión	
Estacionamiento y emergencia	De resorte actuando sobre eje delantero y eje posterior delantero	

## Anexo 7: Fichas de descripción macroscópica.

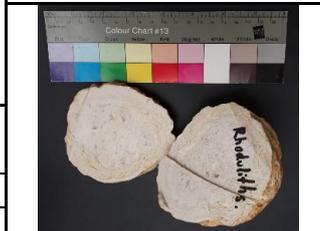
Ficha de descripción macroscópica			
<b>Código:</b>	2018-10-25-01	<b>Fecha:</b>	5/11/2018
<b>Localidad:</b>	Comuna San Antonio - General Villamil		
<b>Formación geológica:</b>	Formación San Antonio - Grupo Progreso		
<b>Coordenadas</b>	<b>X:</b> 566540,69	<b>Y:</b> 9719372,95	<b>Z:</b> 65 m.
UTM WGS84 17S			
<b>Descripción</b>			
Caliza blanca de algas oncolitos; textura grainstone.			
<b>Observaciones:</b>			
<b>Nombre de roca:</b>	Grainstone	<b>Estudio</b>	Materia Integradora
<b>Colector:</b> Joel Alomalisa M.; Karla Villamar M.			



Ficha de descripción macroscópica			
<b>Código:</b>	2018-10-25-06	<b>Fecha:</b>	5/11/2018
<b>Localidad:</b>	Comuna San Antonio - General Villamil		
<b>Formación geológica:</b>	Formación San Antonio - Grupo Progreso		
<b>Coordenadas</b>	<b>X:</b> 566480,00	<b>Y:</b> 9719394,2	<b>Z:</b> 84 m.
UTM WGS84 17S			
Descripción			
Mudstone blanco tono marrón muy claro, con intercalaciones y fringes marrones lodolíticos			
<b>Observaciones:</b>			
<b>Nombre de roca:</b>	Mudstone	<b>Estudio</b>	Materia Integradora
<b>Colector:</b> Joel Alomalisa M.; Karla Villamar M.			



Ficha de descripción macroscópica			
<b>Código:</b>	2018-10-25-05	<b>Fecha:</b>	5/11/2018
<b>Localidad:</b>	Comuna San Antonio - General Villamil		
<b>Formación geológica:</b>	Formación San Antonio - Grupo Progreso		
<b>Coordenadas</b>	<b>X:</b> 566480,18	<b>Y:</b> 9719427,56	<b>Z:</b> 79 m.
UTM WGS84 17S			
Descripción			
Rodolito de algas coralinas.			
<b>Observaciones:</b>			
<b>Nombre de roca:</b>	Rodolito	<b>Estudio</b>	Materia Integradora
<b>Colector:</b> Joel Alomalisa M.; Karla Villamar M.			



Ficha de descripción macroscópica			
<b>Código:</b>	2018-10-25-07	<b>Coordenadas</b>	<b>X:</b> 566475,33
<b>Fecha:</b>	5/11/2018	UTM WGS84 17S	<b>Y:</b> 9719409,90
<b>Localidad:</b>	Comuna San Antonio - General Villamil		<b>Z:</b> 68 m.
<b>Formación geológica:</b>	Formación San Antonio - Grupo Progreso		
Descripción			
Packstone gris tono crema; de fragmentos de algas. Inclusión clástica arcillosa no calcárea marrón oscuro.			
<b>Observaciones:</b>			
<b>Nombre de roca:</b>	Packstone		
<b>Estudio:</b>	Materia Integradora - Ing. de Minas		<b>Colector:</b> Joel Alomalisa M.; Karla Villamar M.

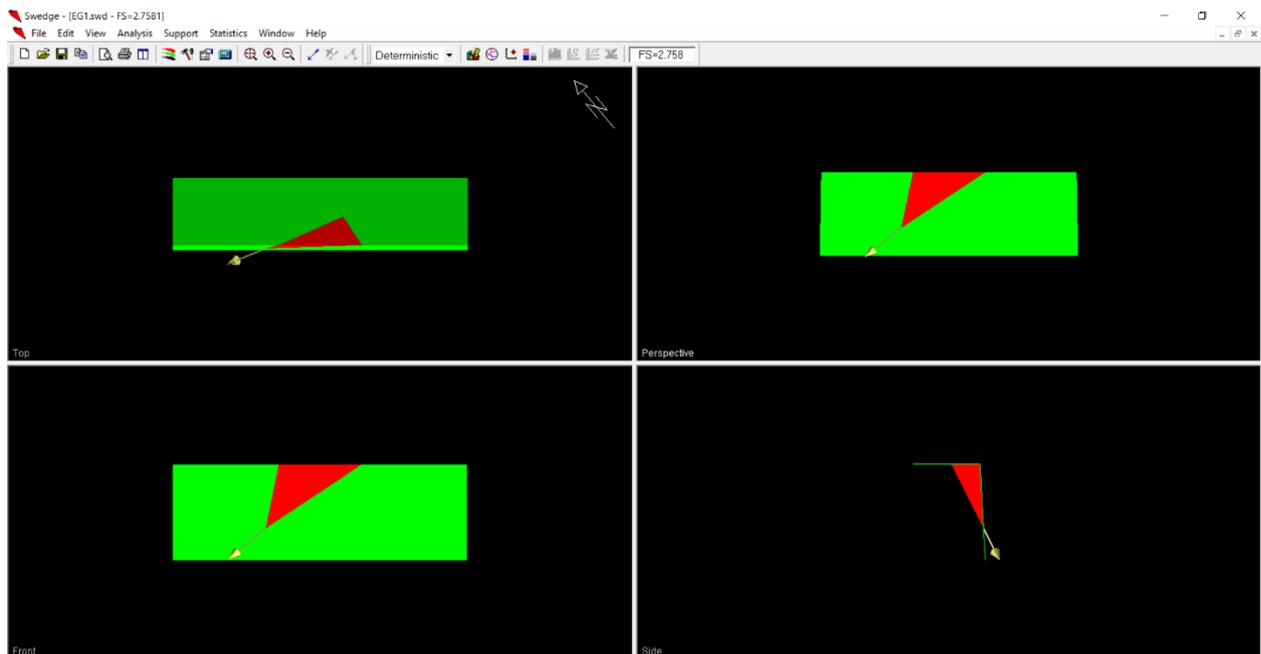


### Anexo 8: Resultados de ensayos químicos.

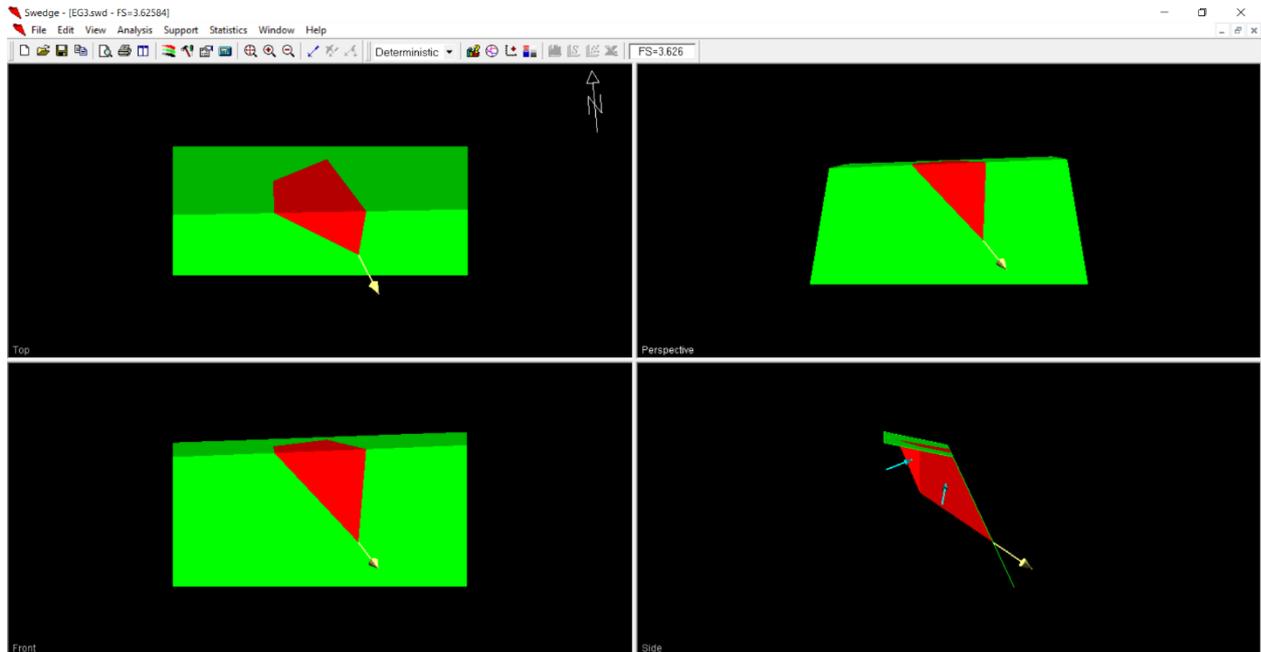
Frente B			
	Masa (gr)	Consumo (ml)	%
<b>MB2</b>	<b>0,1538</b>	<b>4,5</b>	<b>82,04</b>
<b>MB3</b>	<b>0,1519</b>	<b>4,2</b>	<b>77,53</b>
<b>MB4</b>	<b>0,1507</b>	<b>4,5</b>	<b>83,72</b>

### Anexo 9: Facto de Seguridad en software Swedge

#### E.G. 1



## E.G 2



### Anexo 10 Detalle de costos de explosivo correspondiente al año 2017

Detalle de costos de voladura por mes				
	Mecha	Fulminante	Anfo	Dinamita
ENE	\$ 125.15	\$ 56.70	\$ 464.48	\$ 508.13
FEB	\$ 184.95	\$ 81.00	\$ 663.54	\$ 725.90
MAR	\$ 115.90	\$ 52.65	\$ 431.30	\$ 471.83
ABR	\$ 227.31	\$ 99.90	\$ 818.37	\$ 895.27
MAY	\$ 187.33	\$ 81.00	\$ 663.54	\$ 725.90
JUN	\$ 109.20	\$ 48.33	\$ 395.91	\$ 433.12
JUL	\$ 6.67	\$ 2.70	\$ 22.12	\$ 24.20
AGO	\$ 139.48	\$ 57.24	\$ 468.90	\$ 512.97
SEP	\$ 161.23	\$ 63.99	\$ 524.20	\$ 573.46
OCT	\$ 88.43	\$ 35.10	\$ 287.53	\$ 314.55
NOV	\$ 194.40	\$ 82.08	\$ 672.39	\$ 735.57
DIC	\$ 167.95	\$ 69.93	\$ 572.86	\$ 626.69
<b>Total</b>	<b>\$ 1,707.99</b>	<b>\$ 730.62</b>	<b>\$ 5,985.14</b>	<b>\$ 6,547.57</b>
			<b>Total</b>	<b>\$ 14,971.32</b>

**Anexo 11 Cálculo de costo de explosivo por barreno (Condición Actual)**

<b>Precios de Explosivos y Accesorios</b>			
<b>Insumo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	
Dinamita	4.8393	\$/unidad	
Mecha	0.27	\$/m	
Fulminante	0.27	\$/unidad	
Anfo	1.3932	\$/Kg	
<b>Calculo de costos de explosivos por Barreno</b>			
<b>Insumo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Porcentaje</b>
Mecha	0.689	\$	12%
Fulminante	0.27	\$	5%
Anfo	2.212	\$	40%
Dinamita	2.420	\$	43%
<b>Total</b>	<b>\$ 5.59</b>	<b>\$/barreno</b>	

**Anexo 12 Cálculo de costo de explosivo por barreno (Optimizado)**

	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	
<b>Diametro de Perforación</b>	1 1/2	pulg.	
<b>Long. Carga de Columna</b>	1.5	m	
<b>Volumen</b>	1710.14	cm <sup>3</sup>	
<b>Densidad</b>	0.8	gr/cm <sup>3</sup>	
<b>Masa de Anfo</b>	1368.11	gr	
	<b>1.37</b>	<b>kg</b>	
	<b>3.02</b>	<b>lbs</b>	
<b>Calculo de costos de voladura por Barreno</b>			
<b>Insumo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Porcentaje</b>
Mecha	0.689	\$	13%
Fulminante	0.27	\$	5%
Anfo	1.906	\$	36%
Dinamita	2.420	\$	46%
<b>Total</b>	<b>5.284</b>	<b>\$/barreno</b>	
<b>Optimización</b>	<b>0.306</b>	<b>\$/barreno</b>	