



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DEL PERÚ

Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería de Minas

**“Determinación de los parámetros de  
voladura para optimizar la fragmentación  
en zona de mineral en la unidad minera  
Cuajone”**

Autor:  
**Daniel Octavio Flores Cobos**

Para obtener el Título Profesional de:  
**Ingeniero de Minas**

Asesor:  
**Ing. Miguel Alberto Barrera de la Cruz**

Arequipa, agosto de 2019

## **DEDICATORIA**

Este logro va dedicado a mis padres, hermana, enamorada y toda mi familia en general. Todo esto es gracias a ellos, por su apoyo y motivación constante.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida y la oportunidad de realizarme como profesional, a cada uno de mis compañeros, amigos, docentes que en el transcurso de mi vida universitaria me brindaron todos sus conocimientos, a la Universidad Tecnológica del Perú por la formación en minería, a mi enamorada y a mi familia, por ese aliento y apoyo para superarme día a día.

## **RESUMEN**

Esta tesis fue desarrollada, en la fase 6B2 la cual es definida como zona de mineral debido a su composición, aquí se concentran las rocas de latita porfirítica fresca, brecha de latita porfirítica fresca, andesita intrusiva fílica, andesita intrusiva fílica potásica, andesita intrusiva silícea, latita porfirítica cuarzo sericita, latita porfirítica silícea brechada, rocas determinadas por el departamento de Geología y Geotecnia. Se efectúan diferentes disparos utilizando como agente explosivo el Quantex que provee la empresa EXSA, en relaciones (70/30, 90/10, 80/20) de emulsión con nitrato, realizando el debido control de calidad. Se lleva a cabo una evaluación de todos los proyectos disparados, cuantificando la fragmentación in-situ en base a los análisis granulométricos. Se estudia la calidad obtenida de los suelos, el resultado de post-voladura y su fragmentación, para llegar a obtener los parámetros más óptimos y poder disminuir el tamaño de las rocas obtenidas del material volado.

## **ABSTRACT**

This thesis was developed, in phase 6B2, which is defined as a mineral zone due to its composition, here the rocks of fresh porphyritic latite, fresh porphyritic latite breccia, intrusive phyllic andesite, intrusive phyllic potassium andesite, intrusive andesite are concentrated siliceous, latite porphyritic quartz sericite, latite porphyritic siliceous breccia, rocks determined by the Department of Geology and Geotechnics. Different shots are used using as an explosive agent the quantex offered by the company EXSA, in ratios (70/30, 90/10, 80/20) of emulsion with nitrate, performing the proper quality control. An evaluation of all the disparate projects is carried out, quantifying the fragmentation in situ based on the granulometric analysis. The quality of the soils, the result of the post-blasting and its fragmentation will be studied, to obtain the most optimal parameters to reduce the size of the rocks of the flown material.

## INDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE TABLAS .....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCION.....	xii
CAPITULO 1.....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.1.1. Pregunta principal de investigación .....	2
1.1.2. Preguntas secundarias de investigación.....	2
1.2. Objetivos de la investigación.....	3
1.2.1. Objetivo general .....	3
1.2.2. Objetivos Específicos .....	3
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Justificación e importancia .....	3
CAPITULO 2.....	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
2.1. Mina Cuajone.....	5
2.1.1. Ubicación de la Mina .....	5
2.1.2 Geología Estructural Regional.....	7
2.1.2.1. Viña Blanca y Botiflaca .....	7
2.1.2.2. Falla Micalaco .....	8
2.1.2.3. Falla Viña Blanca.....	8
2.1.2.4. Falla Botiflaca.....	8
2.1.3 Flujo de Mina Cuajone.....	9
2.2. Voladura .....	9

2.2.1. Mecanismo de detonación.....	11
2.2.1.1. Combustión .....	11
2.2.1.2. Deflagración .....	12
2.2.1.3. Detonación .....	12
2.2.2. Variables controlables de la voladura .....	12
2.2.2.1. Perforación .....	12
2.2.2.2. Perforación específica .....	13
2.2.2.3. Diámetro del taladro .....	13
2.2.2.4. Diámetro del taladro .....	14
2.2.2.5. Altura de banco .....	14
2.2.2.6. Retacado.....	14
2.2.2.7. Esquema de perforación.....	15
2.2.2.8. Tamaño y forma de la voladura .....	15
2.2.2.9. Volumen de expansión disponible .....	15
2.2.2.10. Iniciadores e Iniciación .....	16
2.2.2.11. Tiempos de retardo y secuencias de encendido.....	16
2.2.2.12. Explosivos .....	17
2.2.2.13. Consumos específicos de los explosivos.....	17
2.3. Propiedades de los explosivos.....	18
2.3.1. Potencia y energía.....	18
2.3.2. Presión de detonación.....	18
2.3.3. Densidad del explosivo.....	19
2.3.4. Sensibilidad.....	19
2.4. Transmisión de la detonación .....	20
2.5. Calidad de los humos .....	20
2.6. Agente explosivo.....	20
2.6.1. QUANTEX.....	20
2.6.1.1. Propiedades y beneficios del QUANTEX.....	21
2.6.1.2. Componentes del QUANTEX .....	21

2.6.1.3. Características técnicas del Quantex.....	22
2.7. Factor de potencia .....	23
CAPITULO 3.....	24
METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
3.1. Metodología de la Investigación.....	24
3.1.1. Método de la Investigación .....	24
3.1.2. Diseño de la Investigación.....	24
3.2. Descripción de la Investigación.....	24
3.2.1. Estudio del Caso .....	24
3.2.2. Población .....	25
3.2.3. Muestra .....	25
3.3. Operacionalización de Variables.....	25
3.4. Instrumentos de Recolección de datos .....	26
3.4.1. JMineOps .....	26
3.4.2. Wipfrag.....	27
CAPITULO 4.....	28
DESARROLLO DEL CASO .....	28
4.1. Proyectos de Voladura.....	28
4.2. Diseño de las mallas.....	30
4.3. Perforación de los Taladros .....	33
4.4. Primado y tapado de Taladros .....	34
4.5. Amarre de malla de voladura .....	35
4.6. Disparo .....	36
4.7. Recolección de datos en el terreno.....	37
4.8. Utilización del Wipfrag.....	38
CAPITULO 5.....	39
RESULTADOS .....	39
CONCLUSIONES .....	48
RECOMENDACIONES.....	49



ANEXOS.....	50
GLOSARIO.....	55
BIBLIOGRAFIA.....	56

## **LISTA DE TABLAS**

1. Producción por día .....	5
2. Características de la Mina .....	5
3. Categorías de Humos.....	20
4. Características del Quantex .....	23
5. Operacionalización de Variables .....	25
6. Proyectos de Voladura .....	29
7. Parámetros de Voladura por Proyecto.....	31
8. Fragmentación por Proyecto .....	40
9. Reporte LogFile de Wipfrag.....	47
10. WorkIndex de los Tipos de Rocas .....	53

## LISTA DE FIGURAS

1. Ubicación de Cuajone .....	6
2. Geología Cuajone .....	7
3. Flujo de Mina Cuajona.....	9
4. Voladura.....	10
5. Disparo.....	10
6. Detonación .....	11
7. Componentes del QUANTEX .....	22
8. JMineOps .....	26
9. Perforadora 14 Cuajone .....	33
10. Carguío de Taladros.....	34
11. Diseño de Amarre .....	36
12. Disparo.....	37
13. Material Post-Voladura .....	37
14. Curva de Uniformidad.....	38
15. Diseño de Carga de Taladros.....	41
16. Carga de Taladros.....	42
17. Reporte del Carguío Diario .....	42
18. Diseño de Amarre .....	43
19. Reporte de Voladura .....	44
20. Material Post-Voladura .....	45
21. Análisis de Fragmentación en Wipfrag .....	45
22. Curva de Uniformidad.....	46
23. Desarrollo del Disparo .....	50
24. Desarrollo del Disparo .....	50
25. Desarrollo del Disparo .....	51
26. Desarrollo del Disparo .....	51
27. Material Post-Voladura .....	52
28. Material Post-Voladura .....	52

## **INTRODUCCION**

En minería, el proceso de perforación y voladura es vital para lograr entregar a los equipos que continúan con el proceso de carguío y acarreo, un material que cumpla con un determinado tamaño para mejorar tener un buen factor de carga y producción. El tamaño del material volado, es decir, la fragmentación se obtiene de distintos parámetros de diseño que se le aplique a las mallas, el tipo y cantidad de explosivo utilizado, entre otros factores. La fragmentación de las rocas es de gran importancia, ya que el obtener un material con tamaños cada vez más pequeños y homogéneos nos genera mayor cantidad de finos, nos reduce los tiempos para el proceso de carguío y acarreo y reduce los costos en chancado y molienda. En la actualidad, existen Softwares que miden la fragmentación de determinadas zonas y nos permiten dar un mayor grado de confianza a los resultados mediante fotografías (Split, Wipfrag) e inclusive, se realizan estudios para predecirla, esto es parte de la optimización de la fragmentación que se realiza mediante pruebas como la que vamos a llevar a cabo en la presente investigación, desde el diseño de las mallas de perforación de los proyectos hasta el uso del software Wipfrag para la obtención del P80 resultante de la voladura, la cual permite identificar cual son los parámetros más óptimos para próximos disparos.

# **CAPITULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

A nivel mundial, se conoce que la voladura es un proceso que consiste en utilizar explosivos para generar presiones en los taladros, originando gran concentración de energía la cual concluye en la producción de la fragmentación del material, para obtener beneficios para los próximos procesos como el carguío o acarreo, chancado, molienda, procesamiento de minerales, lo cual se ve reflejado en los costos de operación (*Bernaola, 2013*).

En los últimos años, se han realizado múltiples estudios para poder cuantificar los resultados de la fragmentación llegando así a modelos y técnicas que nos faculte el poder predecir la distribución de la granulometría del material volado, desde la utilización de parámetros y características del material. (Parámetros geomecánicos, geoestructurales, de diseño de voladura, y propiedades de explosivos).

En Cuajone, se trabaja para poder obtener la mayor producción de mineral con menor costo y en el menor tiempo posible, la fragmentación es de vital importancia debido a que beneficia a todos los procesos subsiguientes reduciendo sus tiempos y otorgándoles material con mejores condiciones. El estudio de los parámetros a utilizar

para lograr obtener una buena fragmentación es muy importante, por lo que se hacen pruebas para poder determinar cuáles son las mejores.

Con el objetivo de mejorar, la presente tesis tiene como finalidad poder determinar el agente explosivo para zona de mineral en la unidad minera Cuajone, lo que nos proporcionará una mejor fragmentación, reducción de las demoras en los tiempos de velocidad de carguío, mejor producción de las palas, así como la entrega de material con medidas que permitan reducir el tiempo de conminución en chancadoras y molinos, y evitar voladuras secundarias.

#### **1.1.1. Pregunta principal de investigación**

¿Cómo determinar de los parámetros de voladura para optimizar la fragmentación en zona de mineral en la unidad minera Cuajone?

#### **1.1.2. Preguntas secundarias de investigación**

- ✓ ¿Cómo identificar el coeficiente de uniformidad en un disparo en zona de mineral utilizando distintos parámetros de voladura en la unidad minera Cuajone?
- ✓ ¿Cómo encontrar el tamaño máximo del producto de un disparo en zona de mineral utilizando distintos parámetros de voladura en la unidad minera Cuajone?
- ✓ ¿Cómo diferenciar la variación porcentual del tamaño del material volado en zona de mineral utilizando parámetros de voladura?
- ✓ ¿Cómo determinar la cantidad de explosivo por taladro a utilizarse en un disparo en zona de mineral?
- ✓ ¿Cómo generar el factor de potencia en un disparo en zona de mineral utilizando distintos parámetros de voladura?
- ✓ ¿Cómo determinar el porcentaje de dureza de la zona de mineral a ser disparada?

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar de los parámetros de voladura para optimizar la fragmentación en zona de mineral en la unidad minera Cuajone

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Identificar el coeficiente de uniformidad en un disparo en zona de mineral utilizando distintos parámetros de voladura en la unidad minera Cuajone.
- ✓ Conocer el tamaño máximo del producto de un disparo en zona de mineral utilizando distintos parámetros de voladura en la unidad minera Cuajone.
- ✓ Diferenciar la variación porcentual del tamaño del material volado en zona de mineral utilizando parámetros de voladura.
- ✓ Determinar la cantidad de explosivo por taladro a utilizarse en un disparo en zona de mineral.
- ✓ Generar el factor de potencia en un disparo en zona de mineral utilizando distintos parámetros de voladura.
- ✓ Determinar el porcentaje de dureza de la zona de mineral a ser disparada.

## **1.3. Hipótesis**

Se conoce que la fragmentación es muy importante para el proceso de carguío y acarreo del material, conminución y tiempos en los procesos, entonces determinar los parámetros de voladura optimizará la fragmentación en zona de mineral en la unidad minera Cuajone otorgándonos mejoras en los procesos subsiguientes y en los costos de producción.

## **1.4. Justificación e importancia**

Entre los procesos que generan un mayor costo en minería está el carguío y acarreo, ya que utilizamos gran cantidad de equipos mecanizados que trabajan mediante un

sistema continuo. Es de vital importancia garantizar una fragmentación apta para poder obtener los rendimientos que mejoren nuestra productividad, y lo conseguimos realizando una buena voladura y fragmentado del material. Utilizando los parámetros de voladura que necesitamos para poder obtener una fragmentación que nos proporcione una medida óptima para el procesamiento del material, podremos obtener mayores ganancias debido a la reducción del tiempo de producción beneficiado por el factor de carga, menor contaminación, mayor producción en el proceso de carguío por palas, así también mayor cantidad de material acarreado por los volquetes en menos ciclos.



## **CAPITULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1. Mina Cuajone**

Cuajone es una mina de cobre a cielo abierto que transforma recursos naturales a través de la extracción, molienda, flotación, concentración y lixiviación (Cruces, 2015).

Minado por día:

*Tabla 1: Producción por día*

Material	525,000	Tn
Mineral	86,000	Tn
Ley	0.6	%Cu

**Fuente: Cruces, 2015.**

Características de la mina:

*Tabla 2: Características de la Mina*

Longitud del Pit	3.8	km (N-S)
Ancho del Pit	2.6	km (E-W)
Elevación	3,950 - 2,850	M
Profundidad	900	M

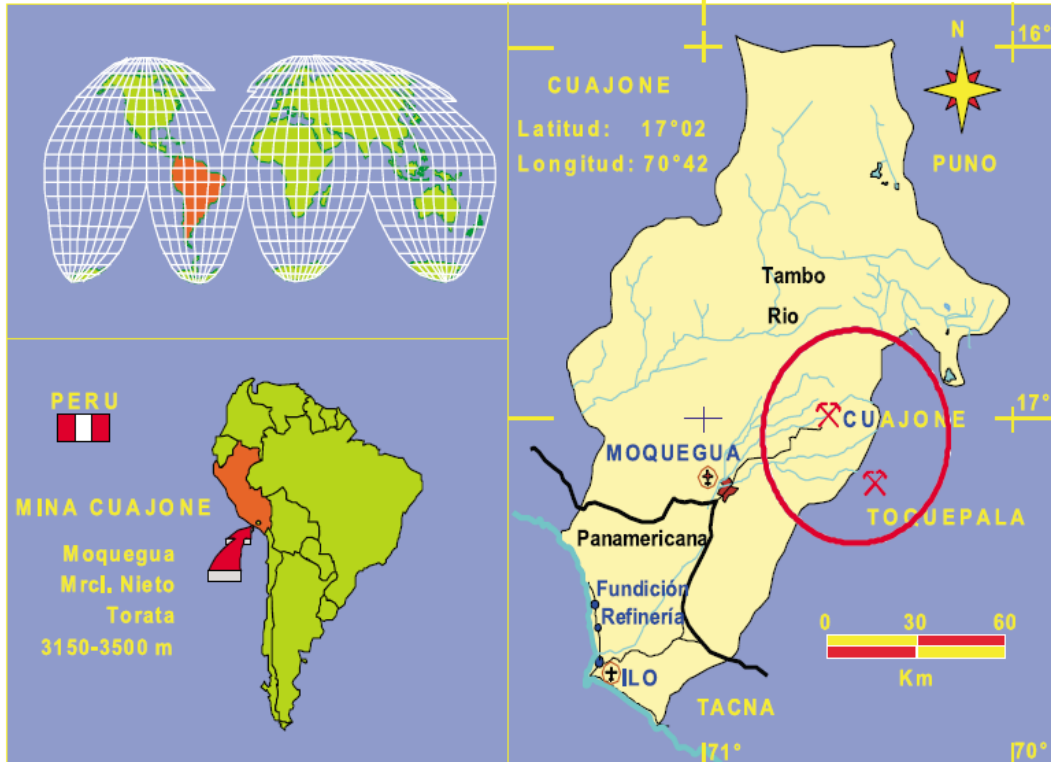
**Fuente: Cruces, 2015.**

##### **2.1.1. Ubicación de la Mina**

Cuajone es un yacimiento que está compuesto de cobre porfirítico, ubicado al sur del Perú, exactamente en el Departamento de Moquegua y tiene una altitud

desde 3,150 y 3,900 m.s.n.m., el cual se intercepta por Chuntacala y Torata a 42 kilómetros al NE de la ciudad de Moquegua (*Satchwell, 1993*).

*Figura 1: Ubicación de Cuajone*



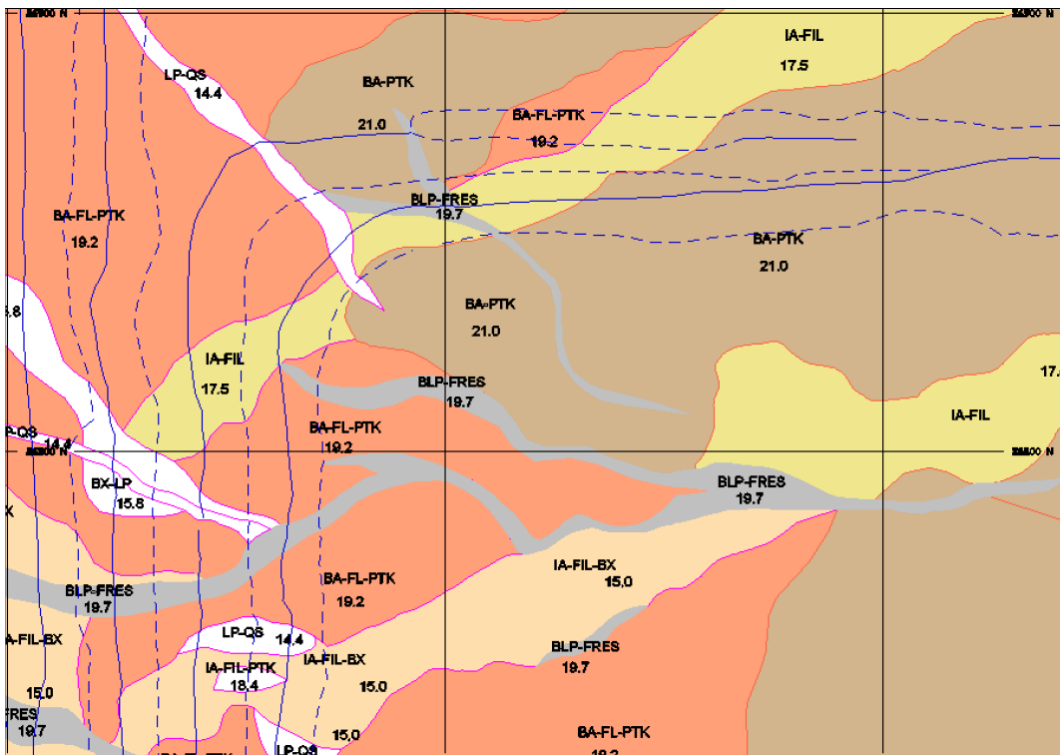
**Fuente: Concha, 1994.**

Cuenta con alteraciones hidrotermales presentadas principalmente por una alteración potásica que ha sido intersectada en profundidad por medio de taladros diamantinos y que en la actualidad todavía no aflora en el tajo abierto, una alteración propílica que bordea al yacimiento en un halo de aproximadamente cuatro kilómetros y; una alteración retrógrada fílica intermedia originada principalmente por soluciones con temperaturas entre 500 y 100°C. Adicionalmente existen alteraciones gradacionales y sobrepuestas en los contactos entre ellas. También se ocurre una alteración supérgena representada por la alteración argílica (*Satchwell, 1993*).

## 2.1.2 Geología Estructural Regional

La tendencia estructural en el sur del Perú es predominantemente de orientación noroeste – sureste tal y como se puede apreciar en la Fosa Oceánica del Pacífico, El Batolito de la Costa, la Depresión Tectónica formada entre los cerros de la Cadena Costanera y el Pie del Frente Andino, el Flanco Occidental de los Andes y las grandes Fallas Regionales como es el caso de Incapuquio, Micalaco (Concha, 1994).

Figura 2: Geología Cuajone



Fuente: Cruces, 2015.

### 2.1.2.1. Viña Blanca y Botiflaca

El Sistema de fallas Incapuquio Tiene un rumbo preferencial entre  $N40^{\circ} - 60^{\circ} W$  y ha sido reconocido desde cerca al límite de la frontera con Chile, atraviesa el departamento de Tacna y gran parte del departamento de Moquegua en una distancia aproximada de 140 km de largo. Tienen hasta un kilómetro de ancho con brecha compuesta de

rocas alteradas y trituradas y un buzamiento subvertical. De acuerdo a Wilson y García, las fallas son de tipo transcurrente y han tenido lugar durante el Terciario inferior (*Concha, 1994*).

#### **2.1.2.2. Falla Micalaco**

Aflora en las inmediaciones de la mina Toquepala entre el pueblo de Micalaco y la quebrada Cortadera. Tiene un afloramiento de 21 km de longitud y llega a tener potencias de hasta 500 m, principalmente en zonas de cizallamiento. Su buzamiento es subvertical y está mayormente rellenada por cuarzo, turmalina, sulfuros, diques, brechas y ligera alteración hidrotermal. Esta estructura se encuentra limitando la mineralización en el sector sur de la mina Toquepala con un rumbo de N 70° W (*Concha, 1994*).

#### **2.1.2.3. Falla Viña Blanca**

Tiene un afloramiento aproximado de 5.5 km en la Riolita Porfírica a 3 km al este-sureste de la mina Cuajone. No atraviesa a las rocas volcánicas post minerales de la formación Huaylillas, lo cual indica que sucedió probablemente en el Terciario inferior y no ha tenido reactivaciones posteriores. Tiene una dirección predominante de N 70° W y un buzamiento preferencialmente subvertical. Se presenta como una serie de estructuras paralelas y sinuosas que varían en potencia hasta 2 m, pero que en conjunto pueden llegar hasta 20 m. El relleno está mayormente conformado por rocas, brechas o fragmentos de rocas de diferente y variada composición (*Concha, 1994*).

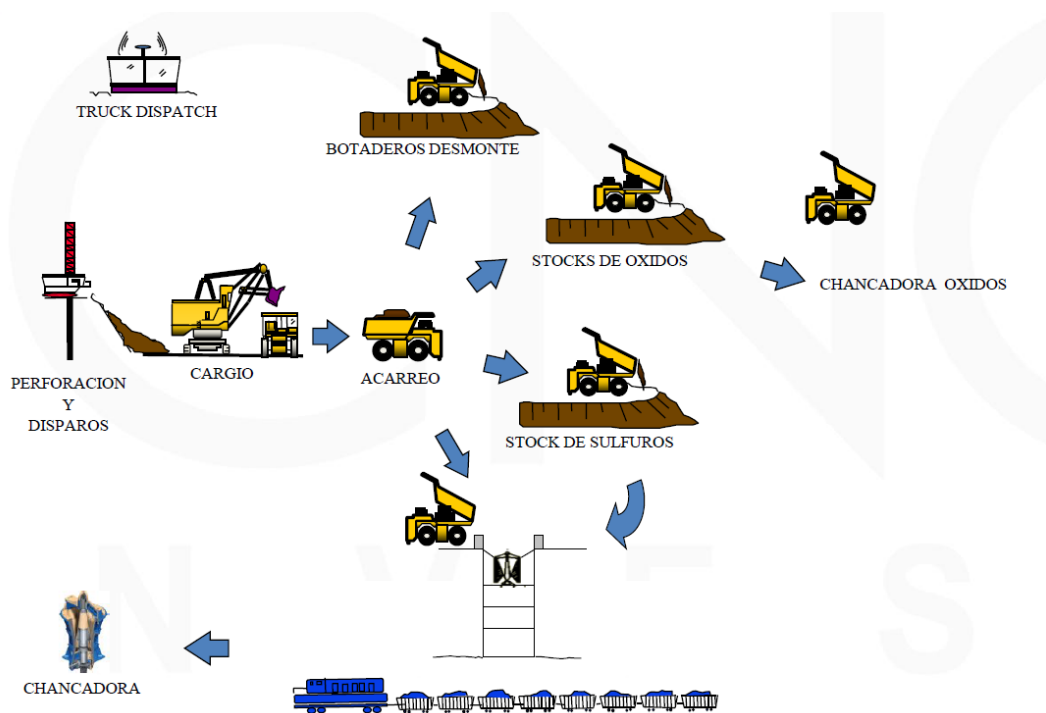
#### **2.1.2.4. Falla Botiflaca**

Aflora aproximadamente a 2.5 km al suroeste de la mina Cuajone en forma sinuosa con una longitud de aproximadamente 20 km cruzando las quebradas de Cocotea y Torata. Tiene un rumbo general de N 60° -

80° W y buzamiento subvertical. La potencia llega hasta 40 m (Manrique y Plazolles 1974) y está compuesta por roca intensamente fracturada, brechas heterolíticas con fragmentos subangulares a subredondeados. Atraviesa rocas pertenecientes al Grupo Toquepala y por posibles reactivaciones posteriores también atraviesan rocas post minerales volcánicas pertenecientes a la formación Huaylillas (Concha, 1994).

### 2.1.3 Flujo de Mina Cuajone

Figura 3: Flujo de Mina Cuajone



Fuente: Cruces, 2015.

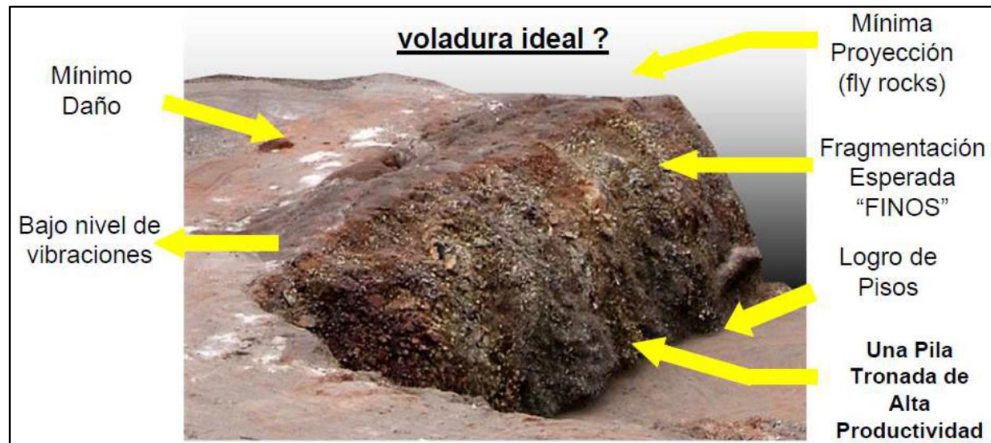
### 2.2. Voladura

Es un proceso que tiene por objetivo el fracturar o fragmentar las rocas de un determinado macizo rocoso mediante el empleo de agentes explosivos, esta acción es controlada y se realiza a cielo abierto, en galerías, túneles o debajo del agua (Mucho, 2013).

La voladura se lleva a cabo con constante mejora continua, obteniendo la fragmentación óptima minimizando el daño al macizo rocoso con la consecuente

mejora en la estabilidad de taludes. Con esto logramos maximizar la productividad y disminuir el costo por tonelada (Mucho, 2013).

Figura 4: Voladura



Fuente: Mucho, 2013.

Figura 5: Disparo

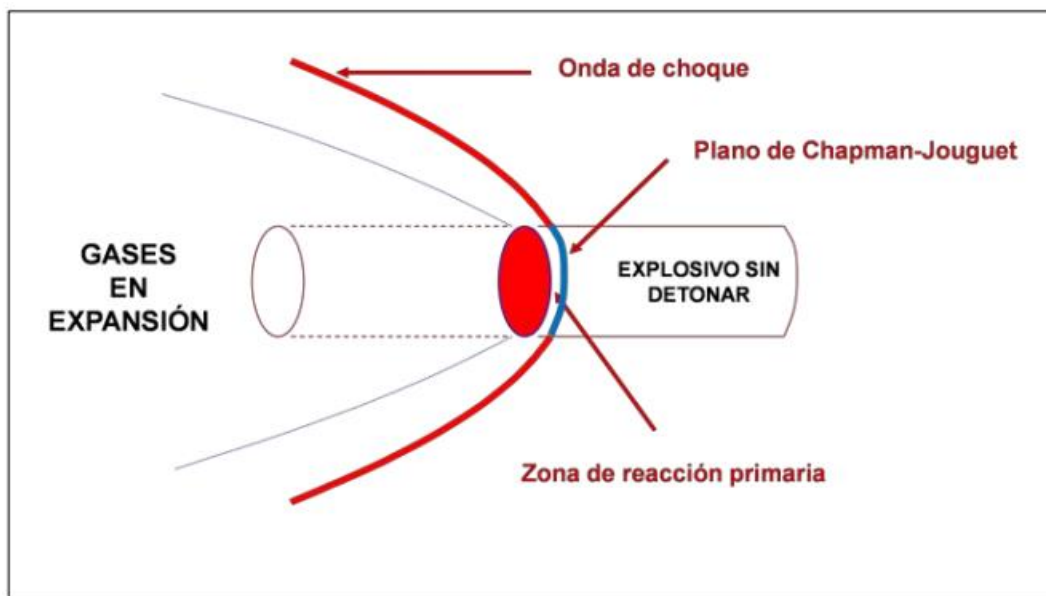


Fuente: Mucho, 2013.

### 2.2.1. Mecanismo de detonación

El mecanismo de detonación es una reacción que se produce al efectuarse la detonación, los gases se expanden generando así la onda de choque cerca de la zona de reacción primaria que es donde la onda llega a trasladarse a una gran velocidad produciendo una reacción mucho más violenta, generando también presión y calor lo cual lleva a trasladar esas reacciones hacia el explosivo haciéndolo detonar. Luego de esto ocurre una segunda reacción, donde los productos de la explosión se acumulan generando más gases. La zona de intersección de ambas reacciones se le conoce como Plano de Chapman-Jouget, como se muestra en la figura 6 (Bernaola, 2013).

Figura 6: Detonación



Fuente: Bernaola, 2013.

#### 2.2.1.1. Combustión

En esta acción por lo general, en el explosivo se lleva a cabo una cierta reacción la cual ocasiona que se generen grandes cantidades de potencia y energía, este fenómeno se puede visualizar instantáneamente ya que toma la forma de llama al momento de realizarse (Bernaola, 2013).

### **2.2.1.2. Deflagración**

Este fenómeno, por el contrario al anterior, se forma también en forma de llama pero la velocidad de generación es muy baja, se propaga lentamente y no es ocasionada por una explosión. Aquí la velocidad de reacción es mayor que el de la combustión, pero menor a la velocidad del sonido que hace el propio explosivo al detonar (*Bernaola, 2013*).

### **2.2.1.3. Detonación**

Se le conoce a la detonación como la explosión que crea una onda que al chocar tiene el poder de rompimiento, todo esto debido al aumento de presión y calor. Estas ondas viajan desde 1.500 m/s hasta 1900 m/s, por lo que las reacciones generadas son muy rápidas. Esta velocidad varía dependiendo del tipo de explosivo, ya que cada explosivo es creado con una composición específica, algunas pueden viajar a una gran velocidad mientras que otras pueden ser atenuadas y disminuir la misma (*Bernaola, 2013*).

## **2.2.2. Variables controlables de la voladura**

### **2.2.2.1. Perforación**

La perforación de los taladros se realiza mediante técnicas rotación y rotopercusión, con equipos hidráulicos y eléctricos, debe de ser lo más exacta posible ya que los trabajos posteriores a realizar con este taladro dependerán mucho de su diseño. En gran minería la profundidad de los taladros supera los 15 metros según diseño y el tiempo de perforación depende del tipo de macizo rocoso presente, puede durar 20 minutos como más de 1 hora por taladro (*Pernia, 2011*).



### 2.2.2.2. Perforación específica

Se refiere a la cantidad de taladros perforados para obtener una determinada cantidad o volumen de roca, esto está en función de la volabilidad de las rocas. Para obtener la perforación específica si se requiere una cierta cantidad de material, se tiene que llevar a cabo un cálculo la cual se realiza con la siguiente fórmula (Pernia, 2011).

$$PS = \frac{\left(\frac{hH}{\cos\beta} + J\right)}{\frac{B}{\cos\beta} \times S \times H}$$

Donde:

H = Altura de banco (m)

J = Sobre-perforación (m)

B = Roca (m)

S = Espaciamiento (m)

B = Angulo de los barrenos con respecto a la vertical (Grados)

Y si se quiere obtener la perforación específica en  $l/m^3$  se aplica la siguiente formula (Pernia, 2011).

$$PS = \frac{\left(\frac{H}{\cos\beta} + J\right) \times (250 \times \pi \times D^2)}{\frac{B}{\cos\beta} \times S \times H}$$

Donde:

D = Diámetro de perforación (m)

### 2.2.2.3. Diámetro del taladro

Nos permite visualizar el radio de ruptura con respecto al diámetro del taladro realizado según lo diseñado, para los agentes explosivos que se van a utilizar, así como también para la longitud del taladro y el diámetro del mismo (Agreda, 2001).

#### **2.2.2.4. Diámetro del taladro**

El diámetro del taladro óptimo para el diseño de una malla de voladura depende de las características del macizo rocoso que se va a disparar, el P80 que se quiere obtener al final de la voladura, la altura del banco diseñado y la cantidad de explosivo a cargar en los taladros. Depende también del costo que generará el proceso de la perforación y voladura. El diámetro utilizado por lo general supera las 10" y esto influye también en el VOD del explosivo, al ser mayor la carga del explosivo, el material volado será mayor sin necesidad de incrementar los metros perforados (*Pernia, 2011*).

#### **2.2.2.5. Altura de banco**

La altura del banco tiene influencia en los resultados de las voladuras, pero estos van diseñándose mediante se van dando los disparos y construyendo el tajo. Por lo general, los bancos cuentan con una altura de 15 metros ya que a mayor tamaño el desplazamiento y la deformación de la roca en la voladura serán más fáciles (*Pernia, 2011*).

#### **2.2.2.6. Retacado**

Es la longitud de la parte superior del taladro que se rellena con un material detrítico, inerte como la grava, para confinar y aislar los gases producidos en el disparo y se pueda realizar la fragmentación sin problema alguno. Necesita ser una longitud la cual pueda captar la cantidad de material detrítico necesaria para que los gases tóxicos no salgan hacia la atmósfera, si es excesivo, aumentarían las vibraciones y tendríamos disminución del esponjamiento, así como también una gran cantidad de bolones en la superficie. Se debe tener en cuenta el tipo y tamaño del detrítico utilizado (*SIVE CUAJONE, 2017*).

#### **2.2.2.7. Esquema de perforación**

Estos esquemas se diseñan de manera que se pueda tener una mayor distribución de la energía del explosivo en la roca. Sus parámetros de diseño llevan medidas que den mayor flexibilidad en el diseño de la secuencia de encendido y detonación del esquema. El esquema se realiza con respecto a la cara libre (*Pernia, 2011*).

#### **2.2.2.8. Tamaño y forma de la voladura**

Se le conoce también como fragmentación (P80), hace referencia al tamaño del material después de haber sido volado, esto indica la eficiencia de los parámetros de diseño, el explosivo y la voladura misma (*Chambi, 2016*).

El tamaño y forma de la voladura debe de ser correcta, ya que de ello depende el tiempo de uso y energía a utilizar de los equipos de perforación y carga. La presencia de bloques o bolones nos obliga a tener que realizar perforaciones secundarias lo que genera mayor gasto y demanda mayor tiempo y porcentaje de utilización y disponibilidad de los equipos, también un mayor tiempo de supervisión y control de las voladuras (*TCRCORE, 2013*).

Comúnmente, la fragmentación en voladuras de múltiples taladros es mejor que el de una sola fila. Para la determinación del tamaño, es necesario la utilización de softwares que permitan el análisis granulométrico como las vibraciones y el movimiento de esas rocas. (*Segarra, 2014*).

#### **2.2.2.9. Volumen de expansión disponible**

Luego del disparo y al ser fragmentadas las rocas del material, se produce un aumento del volumen del terreno debido a su desplazamiento y la expansión de los mismos fragmentos. Esta

expansión, suele ser mayor al 15% del volumen inicial, si sucediese el caso de que sea menor al 15%, podríamos tener unos malos resultados de voladura por la misma fragmentación, por lo que para aumentar el empuje de la roca en próximos disparos con el mismo terreno y la presencia del mismo tipo de rocas, se necesitaría mayor carga en los taladros (*Pernia, 2011*).

#### **2.2.2.10. Iniciadores e Iniciación**

Existen distintos tipos de iniciadores, los cuales mantendrán conexión con las cargas de los taladros del proyecto que se va a disparar. Muchas veces los iniciadores son proporcionados por la empresa minera, pero la mayoría de veces por empresas contratistas ya que la instalación y la iniciación del disparo con esos iniciadores consta de un procedimiento determinado. Un procedimiento a realizar al haber conectado los iniciadores es la verificación de la conexión. También se utilizan equipos los cuales llevan la data de configuración de tiempos para detonación de cada taladro y el orden de detonación de la malla del proyecto (*ORICA, 2017*).

#### **2.2.2.11. Tiempos de retardo y secuencias de encendido**

Los tiempos de retardo que se programan para la detonación entre taladros y la secuencia de encendido diseñada para la malla, afectan en la vibración y en la cantidad de carga a utilizar para el disparo, ya que debido a ello se pueden disminuir. Dado un buen tiempo y secuencia se puede obtener mayor efectividad en el rompimiento de las rocas y el desplazamiento en el terreno, así también se evitaría una re-perforación de taladros en el diseño de la malla o esquema de perforación. Los retardos permiten una buena detonación de todos los taladros de manera secuencial y homogénea. En el caso del corte de una línea en

un taladro, el tiempo a programar para el taladro es de 0 segundos ya que es el que se tiene que visualizar primero para ver si ha detonado antes que toda la malla, a este procedimiento se le conoce como BackUp (ORICA, 2017).

#### **2.2.2.12. Explosivos**

Lo importante en la elección de un explosivo para la voladura son sus propiedades y características las cuales van a darnos una buena detonación con respecto a las rocas presentes en el terreno para poder tener una fragmentación homogénea y el P80 deseado en el diseño (Pernia, 2011).

Existen distintos tipos de explosivos, como también mezclas de estos las cuales tienen un mayor poder rompedor y velocidad de detonación la cual producen una gran presión en los taladros, estos son utilizados para terrenos con roca de alta dureza, pero también existen explosivos con baja densidad y baja velocidad de detonación la cual se utilizan en terrenos suaves (Pernia, 2011).

Al momento de realizar una mezcla de explosivos se debe de tener en cuenta la energía y fuerza la cual se requiere para romper la roca, pero también la cantidad de gases que se producirían, por lo que se requiere de una buena proporción de esta mezcla, así podremos obtener un buen rendimiento sin presencia de gases tóxicos (Pernia, 2011).

#### **2.2.2.13. Consumos específicos de los explosivos**

El consumo del explosivo se define como la cantidad del explosivo a utilizar para poder romper una cantidad determinada de roca, este factor es importante en el diseño de la voladura ya que nos permitirá saber la cantidad de explosivo y en qué proporción utilizaremos para el disparo. El consumo puede incrementarse aumentando el diámetro del taladro,

dependiendo también de la resistencia del tipo de roca presente en el terreno. También puede aumentarse dependiendo de la fragmentación, el desplazamiento y el esponjamiento que se quiera obtener al finalizar el disparo (*Pernia, 2011*).

### **2.3. Propiedades de los explosivos**

Las mezclas explosivas tienen propiedades y características las cuales permiten el correcto aprovechamiento del producto para la detonación, dependiendo del tipo de voladura que se va a efectuar en distintos tipos de roca y condiciones. Algunas de estas son el VOD, la densidad, la presión de detonación, la potencia y energía, resistencia del explosivo al agua, la sensibilidad del explosivo (*Pernia, 2011*).

Estas características nos facultan el poder estimar cual será la el P80 resultante, el desplazamiento del material y las posibles vibraciones (*Pernia, 2011*).

#### **2.3.1. Potencia y energía**

La potencia y energía son la fuerza y el poder con las cuales se rompe una roca, estas propiedades ayudan a la fragmentación de las rocas presentes en un determinado terreno (*Pernia, 2011*).

#### **2.3.2. Presión de detonación**

La presión de detonación es utilizada para que nuestro VOD no disminuya y la roca pueda fragmentarse con mayor facilidad, esta presión está en función a la densidad y al VOD. Esta presión se propaga por todo el taladro por lo que es importante en el diseño. La mayoría de los agentes explosivos manejan una presión de detonación entre los 500 y 1500 MPa (*Pernia, 2011*).

Para realizar una estimación de la presión que pudiese presentarse en el disparo, tenemos la siguiente fórmula (*Pernia, 2011*).

$$PD = 432 \times 10^{-6} \times \rho_e \times (VD^2/1 + 0.8 \times \rho_e)$$

Donde:

PD = Presión de detonación (MPa)

$\partial e$  = Densidad del explosivo ( $g/cm^3$ )

VD = Velocidad de detonación (m/s)

### 2.3.3. Densidad del explosivo

El poder rompedor es el fin para el cual se maneja la densidad del explosivo en un diseño de voladura, la gran mayoría de estos agentes tiene una densidad que oscila entre 0.8 hasta 1.7 gr/cm<sup>3</sup>. Uno de los puntos más importantes en el manejo de la densidad del explosivo es que a mayor VOD que nos proporciona el explosivo, mayor poder rompedor nos brinda. Otro punto importante con respecto a la densidad del explosivo, es que es de vital importancia para la sensibilidad del explosivo, si es muy baja puede iniciarse antes de empezar el disparo por ser muy sensible, y si fuese muy alta lo contrario, podría llegar a no detonar (Pernia, 2011).

Al momento de cargar un taladro con explosivo, la densidad va a servir para calcular la cantidad de carga a utilizar para la voladura. La concentración de la carga " $\partial 1$ " en un taladro con un determinado diámetro "D" y una densidad " $\partial e$ " se calcula con la siguiente formula (Pernia, 2011).

$$\partial 1 \left( \frac{Kg}{m} \right) = 7.854 \times 10^{-4} \times \partial e \times D^2$$

Donde:

$\partial e$  = Densidad del explosivo ( $g/cm^3$ )

D = Diámetro de carga (mm)

### 2.3.4. Sensibilidad

La sensibilidad hace referencia al comportamiento que el explosivo toma con respecto a la detonación. Puede ser una acción controlada, si se realiza el disparo con la utilización de un iniciador, es decir, un detonador, o una acción incontrolada, si es detonado por el calor, un impacto o choque. En ambos casos,

tuviese que ser iniciada por un factor externo el cual haga reaccionar al explosivo (Pernia, 2011).

#### 2.4. Transmisión de la detonación

Un disparo bien realizado consta también de la correcta detonación de todos sus taladros, para ello es muy importante la transmisión de detonación, esto nos garantiza la detonación de todo el proyecto. Se habla de una detonación por simpatía mediante una onda a través de las rocas cuando los taladros cuentan con un determinado espaciamiento o se encuentran cerca a las cargas en el diseño (Pernia, 2011).

#### 2.5. Calidad de los humos

La realización del disparo con distintos tipos de explosivo y en distintas proporciones, puede llegar a producir gases tóxicos como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Muchas veces puede no visualizarse en el momento, como también suelen presentarse al momento de la tronadura o disparo, se presenta de distintos colores y se categorizan por su volumen de gas nocivo, lo cual ayuda en la exposición a estos después de la voladura (Pernia, 2011).

Tabla 3: Categorías de Humos

CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO-NO <sub>2</sub> )dm <sup>3</sup>
1°	0 - 4,53
2°	4,53 - 9,34
3°	9,34 - 18,96

Fuente: Pernia, 2011.

#### 2.6. Agente explosivo

##### 2.6.1. QUANTEX

Es la mezcla explosiva que está conformada por un 70% de emulsión gasificable; Slurrex Q, y por un 30% de nitrato de amonio, posteriormente a esta mezcla se



le agrega una solución gasificante que le proporciona la densidad y sensibilidad de acuerdo al diseño de la voladura (EXSA, n.d.).

La mezcla explosiva QUANTEX está diseñada especialmente para terrenos con tipos de roca de alta dureza (EXSA, n.d.).

#### **2.6.1.1. Propiedades y beneficios del QUANTEX**

Los principales beneficios del QUANTEX son (EXSA, n.d.).

- Cuenta con gran resistencia al agua lo que beneficia con respecto a taladros en terreno húmedo.
- Fácil de bombear y vacear por ser un explosivo a granel.
- Sus grandes densidades le permite trabajar en distintos tipos de terreno.
- Es solidario con el ambiente ya que no contamina tanto como otros explosivos convencionales.
- Debido a su gran poder rompedor, mejora la voladura lo que optimiza el resultado en la fragmentación de la roca.
- Su diseño permite darnos a conocer si es que hubo presencia de gases al instante del disparo.

#### **2.6.1.2. Componentes del QUANTEX**

Entre los componentes del QUANTEX se tiene (EXSA, n.d.).

Figura 7: Componentes del Quantex



**Fuente: EXSA, n.d.**

### 2.6.1.3. Características técnicas del Quantex

Su velocidad de detonación sin confinar en diámetro de 6", y presenta las siguientes especificaciones técnicas (EXSA, n.d.).

Tabla 4: Características del Quantex. (EXSA, n.d.)

Especificaciones Técnicas	Unidades	QUANTEX
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	1.13 +/-5%
Diámetro Crítico	Pulg	4.5
Profundidad máxima de carga	M	18
Velocidad de detonación (VOD)	m/s	4,000 - 6,000
Iniciador recomendado	---	Booster de pentolita B-450g
Emisión de CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /ton.l Quantex	-0.174
Tiempo de permanencia en pozos sin pérdida de propiedades	Días	15
Tiempos de gasificación	Min	15 – 20
Presión de detonación	Kbar	24.0 - 107.0
Energía absoluta en peso (AWS)	kJ/kg	3,036
Energía absoluta en volumen (ABS)	J/cm <sup>3</sup>	3,214 - 3,575
Potencia relativa efectiva al peso (RWS)	%	113
Potencia relativa efectiva en volumen (RBS)	%	170
Tipos de barrenos		Secos / Agua

Fuente: EXSA, n.d.

## 2.7. Factor de potencia

Se le denomina factor de potencia a la cantidad de material volado en un determinado disparo con respecto a la cantidad de explosivo utilizado para realizar el disparo (Poma, 2012).

## **CAPITULO 3**

### **METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Metodología de la Investigación**

##### **3.1.1. Método de la Investigación**

El presente trabajo, de acuerdo con el enfoque es de tipo cuantitativo ya que realizaremos la recolección, medición y análisis de las variables para cumplir con nuestro objetivo.

##### **3.1.2. Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación es experimental debido a que se le efectuará variaciones a nuestras variables para obtener nuestros resultados.

#### **3.2. Descripción de la Investigación**

##### **3.2.1. Estudio del Caso**

El estudio a realizar inicia con la variación de los distintos factores o parámetros para diseñar la malla de perforación y realizar la voladura. Posteriormente, se recolectarán datos y mediciones del resultado obtenido post-voladura para visualizar la fragmentación, y así obtener de todas las fragmentaciones

resultantes, la más óptima. Por tanto, podremos conocer cuáles serán los parámetros más adecuados para poder llegar a la mejor fragmentación.

### 3.2.2. Población

En esta investigación tomamos como población al tajo de la mina Cuajone, integrada por distintas fases.

### 3.2.3. Muestra

La muestra está constituida por la Fase 6B2, perteneciente al tajo de la mina Cuajone.

## 3.3. Operacionalización de Variables

*Tabla 5: Operacionalización de Variables*

Variable	Tipo de Variable	Indicadores	Escalas de mediciones
Parámetros de voladura	Dependiente	* Número de taladros. * Burden * Espaciamiento * Densidad * Profundidad del taladro * Taco * Tipo de roca	* Unidad * Metros * Gr/cm <sup>3</sup> * Cod. WI
Factor de Potencia	Dependiente	Kilogramos de explosivo utilizado por toneladas de mineral	Kg/m <sup>3</sup>
Explosivo	Dependiente	Cantidad de explosivo cargado	Kg
Tamaños del material volado	Dependiente	Medidas de las rocas pertenecientes al material volado	Pulgadas
P80	Independiente	Tamaño promedio de las rocas producto de la voladura en cm <sup>2</sup>	* Porcentaje * Pulgadas

**Fuente: Propia.**

### 3.4. Instrumentos de Recolección de datos

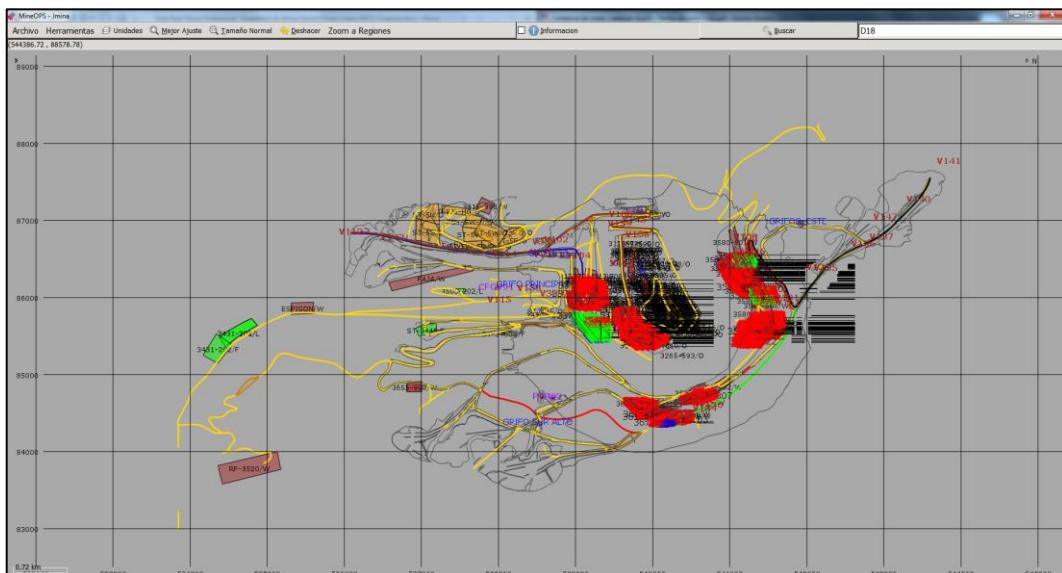
La recolección de datos se da por el un software de visualización de proyectos en tiempo real y observación y análisis de las fragmentaciones resultantes de la voladura, también por la utilización de un software minero que facilita la obtención del P80.

#### 3.4.1. JMineOps

El JMineOps es un Software que nos permite realizar el control y administración de la flota mediante la interacción de los GPS de los equipos de mina y servidores que nos permiten analizar la información obtenida (*Puerta, 2014*).

Este software se encarga de optimizar el control de las operaciones mineras, siendo este su principal uso, también es utilizado como sistema recolector de datos en tiempo real y como medio de consulta, es decir, reportes. Pertenece a la empresa Jigsaw Technologies S.A.C. JMineOps para perforación y voladura, carga mallas las cuales llevan sus especificaciones como Burden, espaciamento, para posteriormente ser perforadas y continuar con el proceso de carguío y tapado de taladros (*Puerta, 2014*).

*Figura 8: JMineOps*



**Fuente: Propia.**

### 3.4.2. Wipfrag

El software utilizado para medir la fragmentación a partir de la edición de fotografías es el programa WipFrag en su versión académica 2.6 desarrollado por la empresa WipWare Inc. Este software utiliza una imagen de la roca fragmentada y lo convierte en una imagen digital con el escombros delineado a partir de la cual, el programa puede obtener una curva granulométrica. Posteriormente mide la malla, y muestra la curva granulométrica correspondiente. WipFrag permite comparar el mallado resultante con la imagen de la roca y corregir inexactitudes por medio de la edición manual. Para el análisis de imágenes, se deben realizar las siguientes operaciones básicas (Barona, 2014).

- Abrir las imágenes desde el software.
- Establecimiento de la escala para la imagen.
- Generar la malla automática, eligiendo los parámetros adecuados para que su edición manual sea menos costosa.
- Edición manual de la malla, anteriormente generada, con las herramientas dadas por el mismo programa.
- Realizar el tamizado o estudio para la obtención de la curva de distribución granulométrica y de los resultados, eligiendo anteriormente los parámetros del tamizado.

## **CAPITULO 4**

### **DESARROLLO DEL CASO**

#### **4.1. Proyectos de Voladura**

Para el desarrollo de este caso consideramos los siguientes proyectos:



Tabla 6: Proyectos de Voladura

NIVEL	PROYECTO
3145	627
	626
	625
	629
	631
3160	634
	631
	632
	636
	637
	638
3170	633
3175	639
	630
	631
	632
	633
	634
	635
	636
	637
	638
	639
	640
	642
641	
3190	638
	643
	644
	646
	636
	637
	647
	642
	648
	639
	640
641	
3205	663
	664
	661
	662
	665

Fuente: Propia.

Estos proyectos pertenecientes a cada uno de los niveles de los cuales consta la fase 6B2 fueron disparados en un rango de fecha de 01/07/2018 al 31/12/2018, por lo que la cantidad de data obtenida de los proyectos resulta determinante para hallar nuestra fragmentación más óptima.

#### **4.2. Diseño de las mallas**

Cada malla de voladura contó con una gran cantidad de taladros, la cual se realizaron con el área de Ingeniería para posteriormente, cargarlo al sistema JMineOps. Para el diseño de la malla se tomaron en cuenta distintos parámetros de voladura que dependieron del área, situación, terreno, entre otras. Como parámetros tomamos en cuenta la densidad, el Burden y el espaciamiento, la longitud de perforación o profundidad, su código de WorkIndex para su posterior análisis de tipo de Roca, la alteración, la cantidad de explosivo a utilizar para el carguío de los taladros y el Taco. Dentro de cada proyecto también se tuvieron variaciones con respecto a los parámetros de cada taladro, dependientes de su diseño ya que no todos los taladros tenían ciertas especificaciones distintas.

Los parámetros utilizados en los distintos proyectos se pueden visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 7: Parámetros de Voladura por Proyecto

FECHA DISP	MALLA	TIPO TAL	S	B	COD WI	ROCA	PLANOS	TIPO DE ROCA	ALTERACION	Kg explo.	Taco
03/12/2018	3145 - 0625	PROD	2.72	16.0	420	AND-INT	IA-FIL-PTK	ANDESITA INTRUSIVA FILICA POTASICA	FIL-PTK	792	6
10/12/2018	3145 - 0626	PROD	2.72	16.0	420	AND-INT	IA-FIL-PTK	ANDESITA INTRUSIVA FILICA POTASICA	FIL-PTK	885	6
13/12/2018	3145 - 0627	PRIM	2.72	16.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	885	6
15/12/2018	3170 - 0639	PROD	2.72	8.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	277	4.5
22/12/2018	3145 - 0629	PROD	2.72	16.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	820	6
26/12/2018	3145 - 0631	BUFF	2.72	16.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	200	4.5
05/11/2018	3160 - 0634	BUFF	2.72	14.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4
05/11/2018	3175 - 0641	BUFF	2.67	6.0	408	LP-FRES	BLP-FRES	LATITA PORFIRITICA FRESCA	FRESCA	50	5
06/11/2018	3175 - 0642	BUFF	2.66	14.0	411	LATI-PORF-BX	LP-SIL-BX	LATITA PORFIRITICA SILICEA BRECHADA	SILICIFIC	300	5
13/11/2018	3160 - 0636	BUFF	2.67	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4
17/11/2018	3160 - 0637	BUFF	2.67	14.0	408	LP-FRES	BLP-FRES	LATITA PORFIRITICA FRESCA	FRESCA	300	5
19/11/2018	3160 - 0638	BUFF	2.66	15.0	411	LATI-PORF-BX	LP-SIL-BX	LATITA PORFIRITICA SILICEA BRECHADA	SILICIFIC	300	5
14/10/2018	3160 - 0631	PROD	2.72	16.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	792	6
18/10/2018	3160 - 0632	BUFF	2.72	16.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	200	2
30/10/2018	3160 - 0633	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4
03/09/2018	3175 - 0638	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4
07/09/2018	3190 - 0647	BUFF	2.67	9.5	427	AND-INT	IA-FIL-BX	ANDESITA INTRUSIVA FILICA BRECHADA	FIL-SIL	200	4
08/09/2018	3175 - 0635	PROD	2.72	16.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	792	6
11/09/2018	3190 - 0648	BUFF	2.67	15.0	408	LP-FRES	BLP-FRES	LATITA PORFIRITICA FRESCA	FRESCA	300	4
14/09/2018	3175 - 0633	PROD	2.72	16.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	795	6
18/09/2018	3190 - 0646	BUFF	2.67	15.0	410	BRECHA-BLP	BX-BLP	BRECHA BLP	SILICIFIC	300	4
19/09/2018	3175 - 0636	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	250	4

FECHA DISP	MALLA	TIPO TAL	S	B	COD WI	ROCA	PLANOS	TIPO DE ROCA	ALTERACION	Kg explo.	Taco
22/09/2018	3175 - 0639	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4
26/09/2018	3175 - 0640	BUFF	2.67	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	6
30/09/2018	3175 - 0637	PRIM	2.72	16.0	407	LATI-PORF	LP-QS	LATITA PORFIRITICA CUARZO SERICITA	CUAR-SER	1041	5
01/08/2018	3190 - 0640	PRIM	2.72	16.0	487	BOT	BOT	BOTADERO	0	792	6
03/08/2018	3205 - 0664	BUFF	2.67	15.0	487	BOT	BOT	BOTADERO	0	300	4
06/08/2018	3190 - 0641	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	6
08/08/2018	3205 - 0665	BUFF	2.67	15.0	408	LP-FRES	BLP-FRES	LATITA PORFIRITICA FRESCA	FRESCA	300	5
10/08/2018	3190 - 0642	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	6
16/08/2018	3190 - 0643	BUFF	2.67	15.0	425	AND-INT	IA-SIL	ANDESITA INTRUSIVA SILICEA	SILICIFIC	300	4
18/08/2018	3175 - 0630	BUFF	2.72	14.5	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4
24/08/2018	3175 - 0631	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4
25/08/2018	3190 - 0644	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	7
31/08/2018	3175 - 0632	PRIM	2.72	16.0	419	AND-BAS	BA-ARG	ANDESITA BASALTICA ARGILICA	ARGILIC	792	7
31/08/2018	3175 - 0634	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	200	4
07/07/2018	3190 - 0636	BUFF	2.72	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4.5
08/07/2018	3205 - 0663	BUFF	2.67	15.0	408	LP-FRES	BLP-FRES	LATITA PORFIRITICA FRESCA	FRESCA	300	4
10/07/2018	3190 - 0637	BUFF	2.72	15.5	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4.5
12/07/2018	3205 - 0662	BUFF	2.66	15.0	425	AND-INT	IA-SIL	ANDESITA INTRUSIVA SILICEA	SILICIFIC	300	4.5
16/07/2018	3190 - 0638	PROD	2.72	16.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	792	6
19/07/2018	3205 - 0661	BUFF	2.7	15.0	423	AND-INT	IA-FIL	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	FILICA	300	4
30/07/2018	3190 - 0639	PRIM	2.72	16.0	442	AND-BAS	BA-PRO	ANDESITA BASALTICA PROPILICA	PRO	792	6

**Fuente: Propia.**

### 4.3. Perforación de los Taladros

Luego de obtener las mallas pertenecientes a cada proyecto, se procedió a realizar la perforación designando a cada una de nuestras 6 perforadoras las cuales operaron en ambos turnos. El promedio de taladros realizados por turno en esta fase fue de 20 taladros, lo que conllevó a una rápida preparación de los mismos para proceder con los siguientes procesos.

Las perforadoras que utilizamos para taladrar fueron:

- Perforadora 11 : Modelo P&H 120 A
- Perforadora 13 : Modelo Bucyrus 49 RIII
- Perforadora 14 : Modelo Bucyrus 49 HR
- Perforadora 16 : Modelo P&H 320 A
- Perforadora 17 : Modelo P&H 320 A
- Perforadora 18 : CAT® MD6640

*Figura 9: Perforadora 14 Cuajone*



**Fuente: APDSA, 2019.**

#### 4.4. Primado y tapado de Taladros

Se realizó el primado, introduciendo el Ikon y Fanel simple a los orificios del Booster, posteriormente se descendió la prima en el interior del taladro a una altura de 0.50 m del piso del taladro.

Al momento de cargar y tapar los taladros, se ubicó al camión mezclador en un lugar seguro para las líneas descendentes, se cargó con una manga que se posicionó en forma vertical al centro del taladro utilizando Quantex 73, la cantidad de explosivo utilizado por taladro se visualiza en un sistema integrado del camión mezclador. En el tapado, se verificó que el Táponex esté bien atado a una estaca de madera o a una roca, teniendo cuidado evitando un posible corte de alguna de las líneas, lo cual conllevaría a un procedimiento de BackUp o Taladros Cortados.

*Figura 10: Carguío de Taladros*



***Fuente: Propia.***

Para finalizar el tapado de los taladros se utilizó un Minicargador para el llenado de los taladros con material detrítico.

Los equipos, herramientas y materiales utilizados fueron:

- Minicargador
- Retroexcavadora

- Cargador de Volteo
- Conos de seguridad
- Letreros
- Lampas
- Picos
- Atacador de madera
- Winchas, sogas o driza para medir taco
- Puentes de jebe, para pasar encima de cables de alta tensión de ser necesario

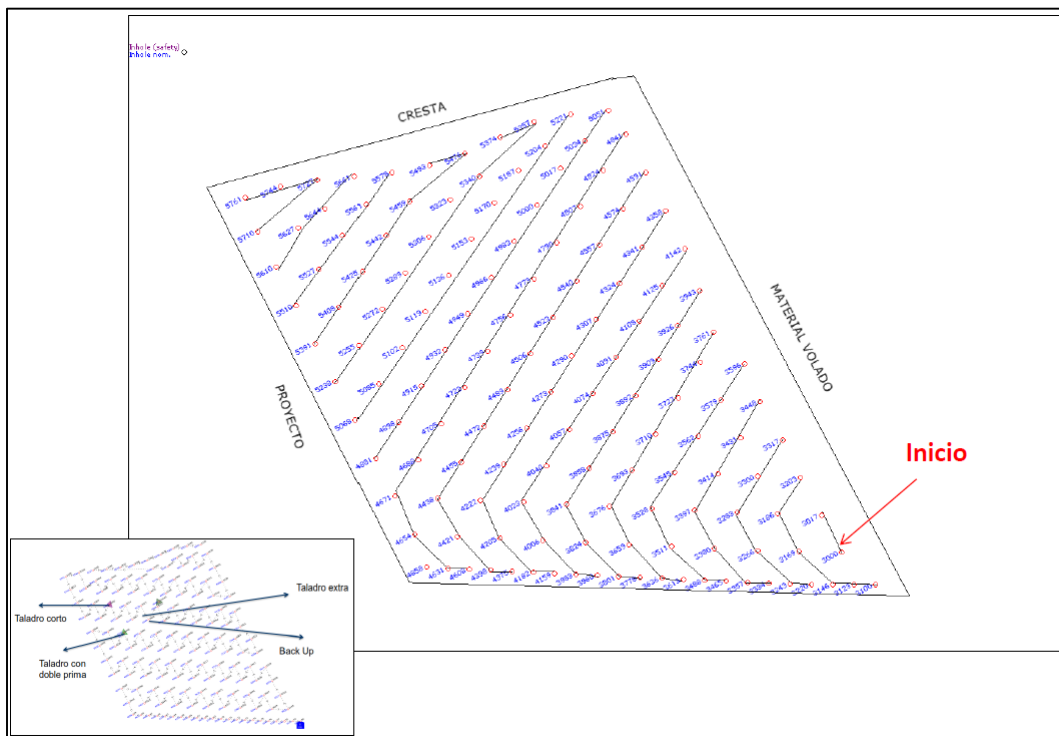
#### **4.5. Amarre de malla de voladura**

La secuencia del amarre se llevó a cabo por el personal de amarre electrónico (Ikon), los cuales realizan el amarre previamente habiendo designado el orden en un plano desarrollado en su software SHOTPlus 5 por la empresa ORICA.

Los equipos, herramientas y materiales que se utilizaron fueron:

- Plano de Amarre
- Cinta aislante
- Conos
- Retardos de superficie de 17 ms
- Retardos de superficie de 42 ms
- Retardos de superficie de 109 ms
- Fanel 600 ms
- Cordón Detonante

Figura 11: Diseño de Amarre



Fuente: ORICA, 2018.

#### 4.6. Disparo

La voladura se efectuó previa coordinación con el área de Perforación y Disparos, mantenimiento mina, control Dispatch y operaciones Mina. El equipo de Ikon informó a al jefe de perforación y disparos B1 la programación del disparo en su equipo Booster, así también la cantidad de taladros cargados y amarrados correctamente. Los tiempos de salida fueron programados también por el equipo Ikon y mediante el aviso de B1 se procedió a detonar las mallas correspondientes a sus proyectos.



*Figura 12: Disparo*



***Fuente: Propia.***

#### **4.7. Recolección de datos en el terreno**

La recolección de datos se realizó con personal de EXSA, mediante la toma de fotografías en el frente de minado, en horario de cambio de guardia, se tomaron como mínimo 16 fotografías semanales por pala presente en el proyecto.

Para la toma de las fotografías, se utilizaron esferas de fragmentación de 10 pulgadas las cuales ayudaron a tener una estimación de tamaño de fragmentos en el terreno previo a la obtención del P80 real mediante el sistema Wipfrag.

*Figura 13: Material Post-Voladura*

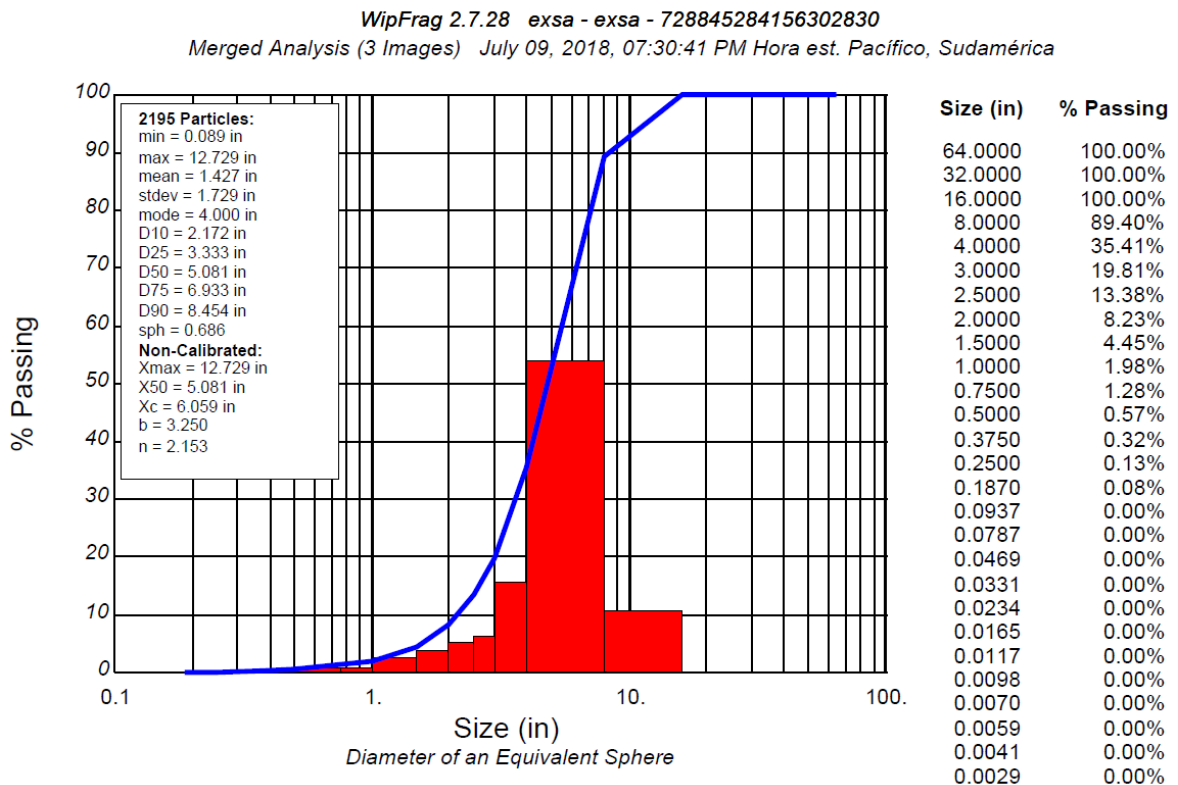


***Fuente: SIVE, 2018.***

#### 4.8. Utilización del Wipfrag

Las muestras subieron a un gabinete en el software para realizar el análisis de las mismas, ya dentro del Wipfrag se le proporcionó una escala a la esfera de fragmentación, así la medición de las rocas de las fotografías fue en la misma escala que las esferas. Luego, se contorneó los fragmentos y se unieron todas las fotografías analizadas para poder hallar los promedios de fragmentación.

Figura 14: Curva de Uniformidad



**Fuente: Propia.**

El P80 no se visualiza en el resultado del Wipfrag directamente, el siguiente procedimiento a realizar fue la exportación de los resultados en un Excel, allí se visualizó a más detalle los resultados de la fragmentación, incluido el P80.

## **CAPITULO 5**

### **RESULTADOS**

De los 43 proyectos obtenidos en nuestra data, el Proyecto del nivel 3190 de la fase 06 número 38 mostró la menor fragmentación.

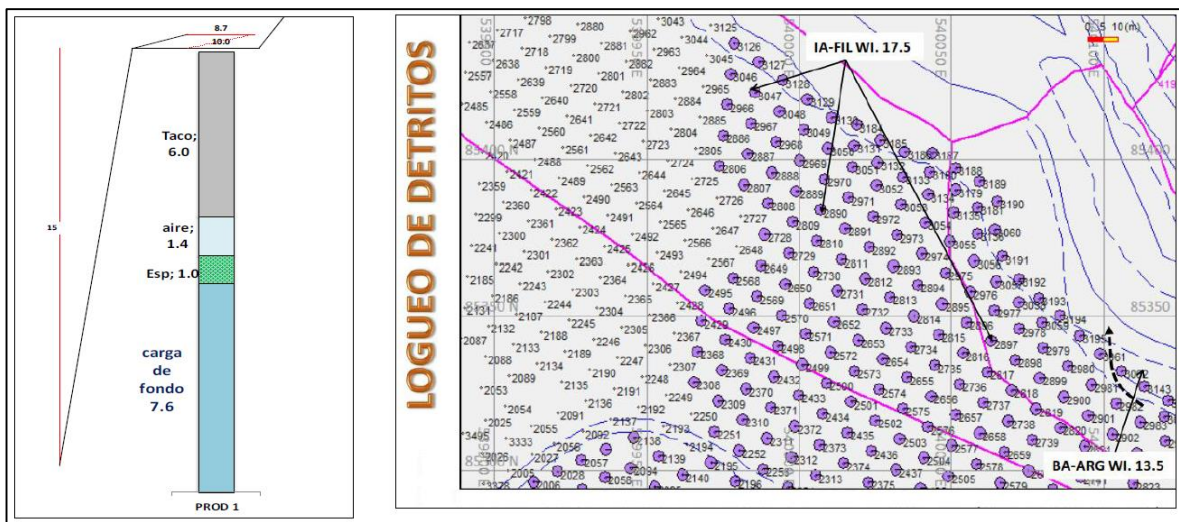
Tabla 8: Fragmentación por Proyecto

NIVEL	PROYECTO	P80
3145	627	6.42
	626	6.48
	625	6.83
	629	6.98
	631	6.91
3160	634	7.33
	631	7.46
	632	7.67
	636	7.23
	637	7.12
	638	7.12
3170	633	7.91
3175	639	7.37
	630	7.12
	631	7.35
	632	7.32
	633	7.29
	634	7.44
	635	7.82
	636	7.78
	637	7.39
	638	9.13
	639	7.32
	640	7.395
	642	7.86
641	7	
3190	638	6.02
	643	7.5
	644	7.3
	646	7.18
	636	7.43
	637	7.08
	647	6.98
	642	7.5
	648	7.69
	639	7.7
	640	6.91
641	7.6	
3205	663	7.49
	664	7.5
	661	7.01
	662	7.32
	665	7.5

Fuente: Propia.

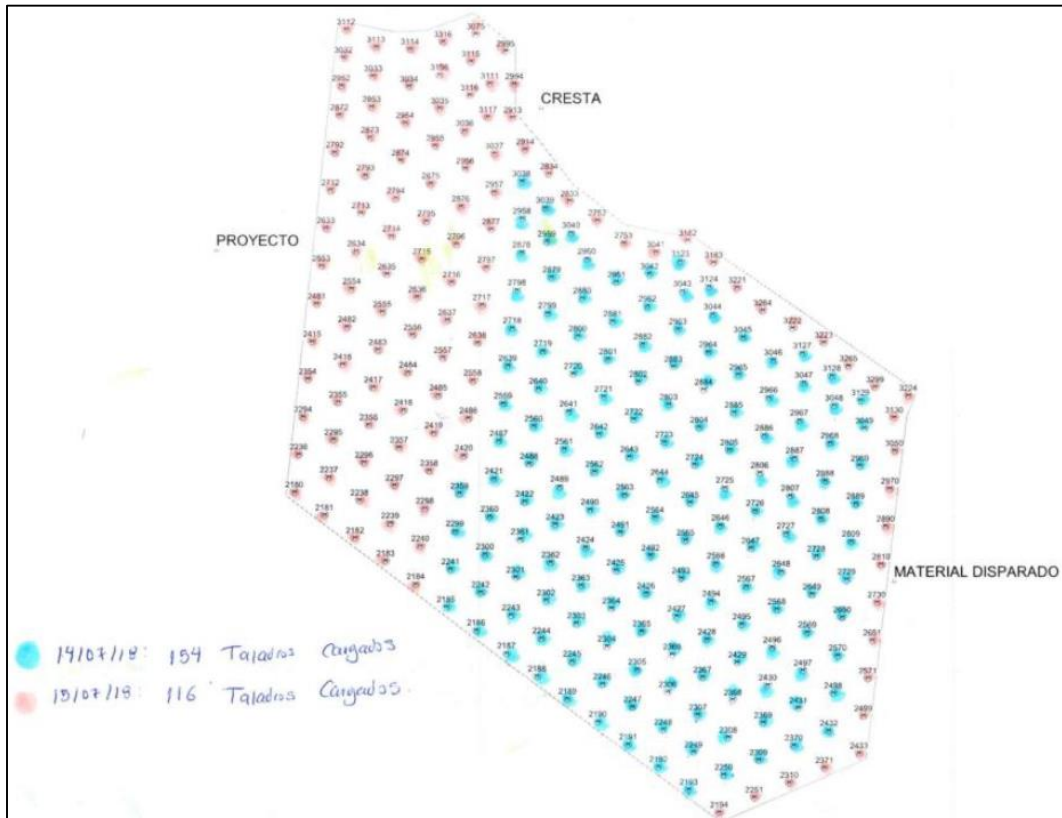
Para el diseño de carga de los taladros del proyecto 3190 – 0638 en fase 6B2, se tomó de Taco 6, una profundidad de 15 metros y se cargó en 2 días, el carguío y tapado de taladros se realizó con el apoyo de una empresa contratista en relación 70/30 de explosivo (Emulsión y Nitrato) y los taladros de perímetro al material volado y cresta se cargó con MEQ 80/20., fue cargado de Sur a Norte. Se cargaron 154 taladros el día 14/07/2018 y 116 taladros el día 15/07/2018 para realizar el disparo el día 16/07/2018. Inicialmente se proyectaron 246 taladros para el proyecto, pero se amplió la malla a 270 taladros.

Figura 15: Diseño de Carga de Taladros



Fuente: SIVE, 2018.

Figura 16: Carga de Taladros



Fuente: SIVE, 2018.

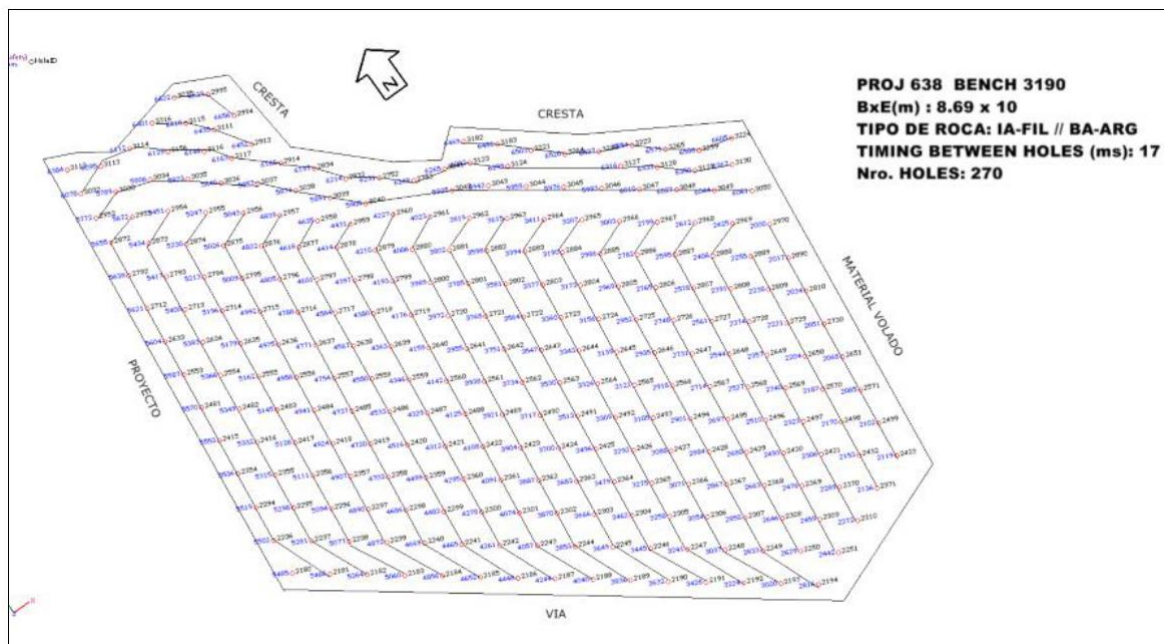
Figura 17: Reporte del Carguío Diario

ITEM	FECHA	Produccion			CAMIONES						Total Taladros Cargados	Tapador	Booster	Fanel	Exsanel	Ikon	Back UP	DÍA DISPARO
		Taladros Projectados	Taladros Cargados	Taladros por cargar	Q34	Q35	ANFO	Titan	104									
1	14/07/2018	246	154	92	42	28	0	34	50	154	A. Tobala	154	0	154	154	0		
2	15/07/2018	270	270	0	28	15	33	0	40	116	A. Tobala	153	0	153	116	0		
3	16/07/2018	270	270	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	X	
TOTAL CONSUMIDO PROYECTO					70	43		34	90	270	0	307	0	307	270	0		

Fuente: SIVE, 2018.

El diseño de amarre e iniciación de la malla fue realizado por una empresa contratista, la cual importó un archivo txt. con el plano de diseño de la malla proyectada hacia su software SHOTPlus 5. Para el diseño de amarre y salida, se tomaron en cuenta consideraciones con respecto a tiempos, no hubo ningún TQ, por lo que no se tuvo que programar tiempo 0 seg a ningún taladro.

Figura 18: Diseño de Amarre

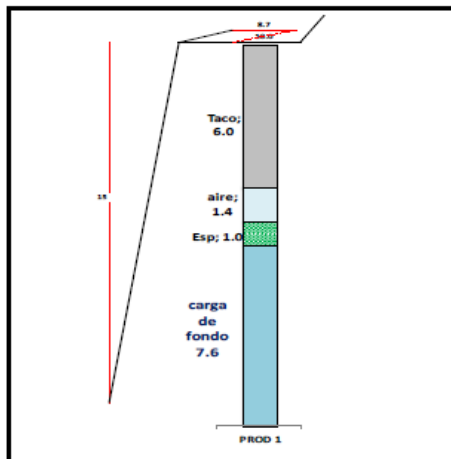


Fuente 10: ORICA, 2018.

- En este proyecto se ha tenido roca IA-FIL (mineral), con malla 10.0 m y un factor de potencia de 0.21.
- No se visualizó Fly Rock por lo que la cantidad de carga de explosivo utilizada en cada taladro fue la correcta.
- No se tuvo generación de gases nitrosos por lo que la calidad y relación de explosivo utilizada (70/30; 80/20) fue la indicada.

Figura 19: Reporte de Voladura

<b>REPORTE DE VOLADURA</b>		
Proyecto		3190-638
Fecha de voladura		16/07/2018
DATOS DEL PROYECTO		
Hora disparo	Hrs	13:00
Banco	mts	3190
Proyecto	N°	638
Fase		6B2
Altura de Banco	mts	15
Ø Taladro	Pulg	12 1/4
N° de Taladros		270
PARAMETROS DE VOLADURA		
Profundidad Promedio	mts	16
Taco Promedio	mts	6
Burden	mts	8.7
Espaciamiento	mts	10.0
Tipo de Roca		IA-FIL
Densidad de Roca	gr/cc	2.72
Factor de Potencia	Kg/Ton	0.21
MATERIAL EXPLOSIVO		
Tipo de Mezcla		MEQ 70/30
Densidad Inicial	gr/cc	1.37
Densidad Final	gr/cc	1.10
Cantidad por taladro	Kg/Tal	792
Consumo total	Kg	216,913
AGENTES DE VOLADURA		
Emulsión G	Kg	155,077
Nitrato Quantex	Kg	59,981
Diesel - 2	Gal	578
ACCESORIOS DE VOLADURA		
Detonador Electronico	Pza	270
Fanel Rojo	gr/cc	307
Taponex	Pza	257
TALADROS		
Taladros de producción		244
Taladros Buffer		26
Taladros secos		270
Taladros con agua		0
Taladros sin carga		0
DISEÑO DE VOLADURA		
Tipo de Amarre		Electrónico
Tiempos entre taladros (ms)		17
Tiempos entre Buffer (ms)		23
MATERIAL DISPARADO		
Volumen por Taladro		1304.35
Toneladas por Taladro		3547.83
BOOSTER	Pza	307
RESULTADOS DE CAMPO		
RESULTADOS CUANTITATIVOS		
VPP	mm/s	*
Distancia	mts	*
VOD	m/s	*
RESULTADOS CUALITATIVOS		
Nivel Humos Naranjas		0.0
Esponjamiento (mts)		2.5
Fotos / Filmación		Si



Fuente: SIVE, 2018.

La recolección de datos mediante fotografías posterior al disparo se realizó minutos después, logrando visualizar la una fragmentación fina.

Se utilizaron 2 esferas de fragmentación de 10 pulgadas y se tomaron un tal de 3 fotografías para su posterior evaluación de fragmentación de roca del material volado en el Wipfrag.



*Figura 20: Material Post-Voladura*

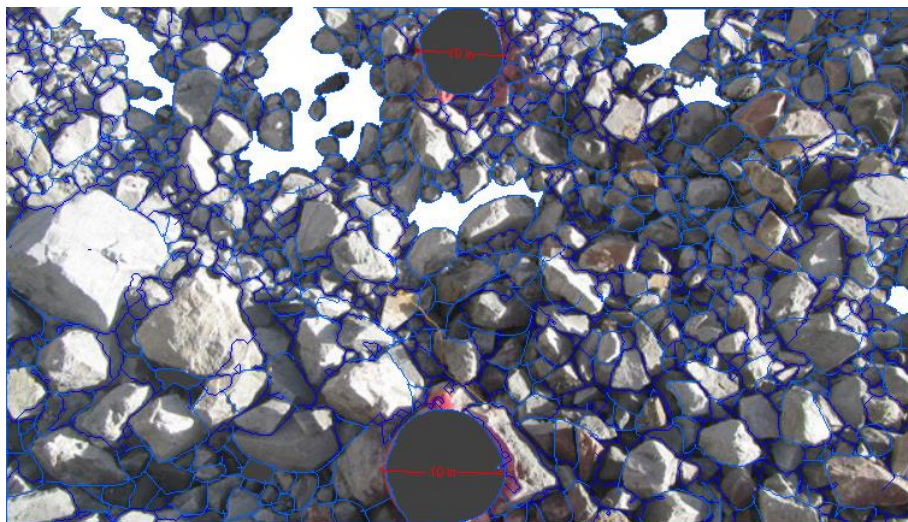


**Fuente: SIVE, 2018.**

Se cargaron las imágenes al software Wipfrag para su medición y cálculo de tamaño de los fragmentos, se contornearon las rocas del material volado excluyendo las esferas de fragmentación para no ser tomadas en el cálculo de la fragmentación.

El proceso se realizó en las 3 fotografías obteniendo un promedio más adecuado de fragmentación debido a la gran cantidad de fragmentos evaluados.

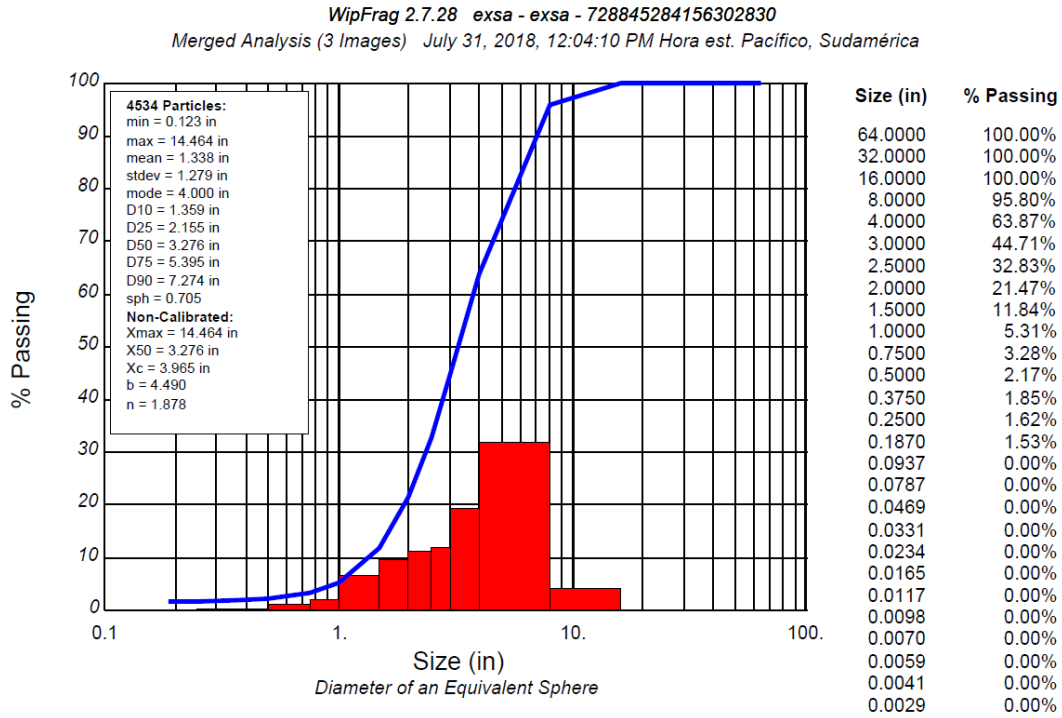
*Figura 21: Análisis de Fragmentación en Wipfrag*



**Fuente: Propia.**

Del resultado de la evaluación de los fragmentos de las fotografías, se obtuvo la curva de uniformidad, la cual reportó un D75 de 5,395 pulgadas y un D90 de 7.274 pulgadas, por lo que ya estimamos un P80 promedio cercano a 6 pulgadas.

*Figura 22: Curva de Uniformidad*



**Fuente: Propia.**

Exportamos en Excel reporte detallado para obtener el resultado exacto del P80, así visualizamos que el P80 marca una medida de 6.02 Pulgadas la cual representa la menor fragmentación obtenida de los 43 proyectos obtenidos en la fase 6B2.

Tabla 9: Reporte LogFile de Wipfrag

D1	D5	D10	D20	D25	D30	D50	D70	D75	D80	D90	D95	D99
1.59E+01	3.12E+01	4.36E+01	6.71E+01	7.85E+01	8.96E+01	1.65E+02	3.30E+02	3.72E+02	4.14E+02	4.97E+02	7.39E+02	9.48E+02
1.59E+01	3.12E+01	4.36E+01	6.71E+01	7.85E+01	8.96E+01	1.65E+02	3.30E+02	3.72E+02	4.14E+02	4.97E+02	7.39E+02	9.48E+02
1.79E+01	3.67E+01	5.32E+01	8.62E+01	1.04E+02	1.25E+02	2.25E+02	3.93E+02	4.74E+02	5.73E+02	7.87E+02	8.93E+02	9.79E+02
1.79E+01	3.67E+01	5.32E+01	8.62E+01	1.04E+02	1.25E+02	2.25E+02	3.93E+02	4.74E+02	5.73E+02	7.87E+02	8.93E+02	9.79E+02
1.05E+01	2.49E+01	4.12E+01	6.10E+01	6.93E+01	7.64E+01	9.45E+01	1.36E+02	1.46E+02	1.68E+02	2.34E+02	2.67E+02	2.93E+02
4.04E-01	9.77E-01	1.61E+00	2.42E+00	2.76E+00	3.05E+00	3.76E+00	5.74E+00	6.41E+00	7.07E+00	9.85E+00	1.29E+01	1.54E+01
4.04E-01	9.77E-01	1.61E+00	2.42E+00	2.76E+00	3.05E+00	3.76E+00	5.74E+00	6.41E+00	7.07E+00	9.85E+00	1.29E+01	1.54E+01
4.04E-01	9.77E-01	1.61E+00	2.42E+00	2.76E+00	3.05E+00	3.76E+00	5.74E+00	6.41E+00	7.07E+00	9.85E+00	1.29E+01	1.54E+01
4.04E-01	9.77E-01	1.61E+00	2.42E+00	2.76E+00	3.05E+00	3.76E+00	5.74E+00	6.41E+00	7.07E+00	9.85E+00	1.29E+01	1.54E+01
4.04E-01	9.77E-01	1.61E+00	2.42E+00	2.76E+00	3.05E+00	3.76E+00	5.74E+00	6.41E+00	7.07E+00	9.85E+00	1.29E+01	1.54E+01
3.64E-01	8.36E-01	1.25E+00	1.87E+00	2.11E+00	2.31E+00	2.96E+00	4.25E+00	5.07E+00	5.90E+00	7.55E+00	1.05E+01	1.49E+01
3.46E-01	7.97E-01	1.18E+00	1.77E+00	2.02E+00	2.21E+00	2.84E+00	3.80E+00	4.23E+00	4.98E+00	6.49E+00	7.25E+00	7.85E+00
4.48E-01	1.03E+00	1.55E+00	2.51E+00	2.81E+00	3.09E+00	4.12E+00	5.88E+00	6.32E+00	6.76E+00	7.64E+00	9.26E+00	1.47E+01
4.48E-01	1.03E+00	1.55E+00	2.51E+00	2.81E+00	3.09E+00	4.12E+00	5.88E+00	6.32E+00	6.76E+00	7.64E+00	9.26E+00	1.47E+01
4.26E-01	8.69E-01	1.21E+00	1.86E+00	2.17E+00	2.45E+00	3.33E+00	4.59E+00	5.16E+00	5.73E+00	6.87E+00	7.43E+00	7.89E+00
4.04E-01	9.77E-01	1.61E+00	2.42E+00	2.76E+00	3.05E+00	3.76E+00	5.74E+00	6.41E+00	7.07E+00	9.85E+00	1.29E+01	1.54E+01
3.46E-01	7.97E-01	1.18E+00	1.77E+00	2.02E+00	2.21E+00	2.84E+00	3.80E+00	4.23E+00	4.98E+00	6.49E+00	7.25E+00	7.85E+00
4.48E-01	1.03E+00	1.55E+00	2.51E+00	2.81E+00	3.09E+00	4.12E+00	5.88E+00	6.32E+00	6.76E+00	7.64E+00	9.26E+00	1.47E+01
4.26E-01	8.69E-01	1.21E+00	1.86E+00	2.17E+00	2.45E+00	3.33E+00	4.59E+00	5.16E+00	5.73E+00	6.87E+00	7.43E+00	7.89E+00
4.06E-01	8.99E-01	1.31E+00	2.04E+00	2.33E+00	2.59E+00	3.49E+00	5.01E+00	5.58E+00	6.15E+00	7.28E+00	7.85E+00	1.38E+01
4.71E-01	1.03E+00	1.47E+00	2.46E+00	2.84E+00	3.18E+00	4.78E+00	6.83E+00	7.34E+00	7.85E+00	1.17E+01	1.38E+01	1.56E+01
4.82E-01	1.03E+00	1.58E+00	2.43E+00	2.78E+00	3.10E+00	4.40E+00	5.98E+00	6.38E+00	6.77E+00	7.56E+00	7.95E+00	1.42E+01
4.36E-01	1.06E+00	1.48E+00	2.61E+00	2.98E+00	3.25E+00	4.57E+00	6.45E+00	6.92E+00	7.39E+00	1.01E+01	1.30E+01	1.54E+01
3.84E-01	8.05E-01	1.09E+00	1.43E+00	1.68E+00	2.00E+00	3.16E+00	4.62E+00	5.26E+00	5.91E+00	7.20E+00	7.84E+00	1.39E+01
4.33E-01	9.63E-01	1.42E+00	2.28E+00	2.65E+00	2.98E+00	4.23E+00	6.14E+00	6.62E+00	7.09E+00	8.40E+00	1.22E+01	1.52E+01
8.18E-01	2.27E+00	3.25E+00	4.17E+00	4.56E+00	4.94E+00	6.49E+00	8.12E+00	9.44E+00	1.08E+01	1.34E+01	1.47E+01	1.57E+01
7.56E-01	2.31E+00	3.42E+00	4.75E+00	5.25E+00	5.75E+00	7.74E+00	1.09E+01	1.18E+01	1.26E+01	1.43E+01	1.52E+01	1.58E+01
7.75E-01	1.17E+00	1.40E+00	1.86E+00	2.08E+00	2.26E+00	3.01E+00	4.61E+00	5.30E+00	6.02E+00	7.39E+00	8.85E+00	1.46E+01

Fuente Propia.

## **CONCLUSIONES**

1. La fragmentación del disparo del proyecto 3190-0632 resultó ser menor que todos los proyectos anteriores analizados, con un tamaño de 6.02 Pulgadas la cual se representa como la más eficiente en zona de mineral, por lo que los parámetros utilizados desde el diseño del proyecto hasta la realización del disparo son los más adecuados para poder disminuir la fragmentación en los proyectos posteriores.
2. No se necesita utilizar mayor cantidad de emulsión con respecto al nitrato para poder obtener menor fragmentación, con la relación 70/30 se logró obtener la fragmentación de 6.02, lo que nos representa un menor gasto debido a que la relación 80/20 nos demanda consumir mayor emulsión siendo este explosivo más caro que el nitrato.
3. El factor de potencia resultó en 0.21, lo que nos resultó en una gran cantidad de material volado con menor cantidad de explosivo.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda realizar los próximos disparos con los parámetros obtenidos en este proyecto 3190-0638 y de realizar alguna modificación, ya sea por el tipo de roca o terreno, que se tome como base.
2. Los parámetros evaluados corresponden a zonas de mineral, por lo que se recomienda realizar el estudio de los mismos para zonas de desmonte.
3. Se recomienda realizar pruebas con distintos tipos de explosivos con distintas proporciones en sus mezclas para realizar comparaciones.

## **ANEXOS**

*Figura 23: Desarrollo del disparo*



***Fuente: Propia.***

*Figura 24: Desarrollo del disparo*



***Fuente: Propia.***

*Figura 25: Desarrollo del disparo*



*Fuente: Propia.*

*Figura 26: Desarrollo del disparo*



*Fuente: Propia.*

*Figura 27: Material Post-Voladura*



**Fuente: SIVE, 2018.**

*Figura 28: Material Post-Voladura*



**Fuente: SIVE, 2018.**



Figura 29: WorkIndex de los Tipos de Rocas

WORK INDEX						
CODIGO	TIPO DE ROCA	ROCA	PLANOS	WI	ALTERACION	G.E.
401	RIOLITA PORFIRITICA FILICA	RIOL-PORF	RP-FIIL	9.3	FILICA	2.65
402	BRECHA EN RIOLITA PORFIRITICA CUARZO SERICITA	BRECHA-RP	BX-RP-QS	9.4	CUAR-SER	2.50
403	LATITA PORFIRITICA SILICIFICA	LATI-PORF	LP-SIL	12.1	SILICIFIC	2.65
404	LATITA PORFIRITICA ESTRUCTURA RETICULAR DE CUARZO	LATI-PORF	LP-EST-RQ	13.6	EST-RET	2.65
405	LATITA PORFIRITICA POTASICA	LATI-PORF	LP-PTK	15.3	PTK-ARG-INT	2.65
406	LATITA PORFIRITICA MODERADAMENTE SILICIFICADA	LATI-PORF	LP-MS	14.1	MOD-SIL	2.63
407	LATITA PORFIRITICA CUARZO SERICITA	LATI-PORF	LP-QS	14.4	CUAR-SER	2.63
408	LATITA PORFIRITICA FRESCA	LP-FRES	BLP-FRES	19.7	FRESCA	2.67
409	BRECHA DE LATITA PORFIRITICA	BRECHA-LP	BX-LP	15.8	SILICIFIC	2.65
410	BRECHA BLP	BRECHA-BLP	BX-BLP	17.5	SILICIFIC	2.65
411	LATITA PORFIRITICA SILICEA BRECHADA	LATI-PORF-BX	LP-SIL-BX	16.2	SILICIFIC	2.7
412	BRECHA EN LATITA PORFIRITICA CUARZO SERICITA	BRECHA-LP	BX-LP-QS	14.0	CUAR-SER	2.65
413	BRECHA DE BLP FRESCA	BX-BLP-FRES	BX-BLP-FRES	16.2	SILICIFIC	2.63
414	RIOLITA PORFIRITICA ARGILICA	RIOL-PORF	RP-ARG	9.3	ARGILIC	2.54
416	ANDESITA BASALTICA POTASICA	AND-BAS	BA-PTK	21.0	PTK-ARG-INT	2.7
417	ANDESITA BASALTICA FILICA POTASICA	AND-BAS	BA-FIL-PTK	19.2	FIL-PTK	2.7
419	ANDESITA BASALTICA ARGILICA	AND-BAS	BA-ARG	13.5	ARGILIC	2.60
420	ANDESITA INTRUSIVA FILICA POTASICA	AND-INT	IA-FIL-PTK	18.4	FIL-PTK	2.69
423	ANDESITA INTRUSIVA FILICA	AND-INT	IA-FIL	17.5	FILICA	2.72
424	ANDESITA INTRUSIVA ESTRUCTURA RETICULAR DE CUARZO	AND-INT	IA-EST-RQ	15.5	EST-RET	2.66
425	ANDESITA INTRUSIVA SILICEA	AND-INT	IA-SIL	16.2	SILICIFIC	2.69
426	BRECHA DE ANDESITA INTRUSIVA	AND-INT	BX-IA	15.0	PTK-ARG-INT	
427	ANDESITA INTRUSIVA FILICA BRECHADA	AND-INT	IA-FIL-BX	15.0	FIL-SIL	2.64
428	BRECHA DE ANDESITA INTRUSIVA FILICA	AND-INT	BX-IA-FIL	15.0	FILICA	2.68
430	ANDESITA INTRUSIVA FILICA SILICEA	AND-INT	IA-FIL-SIL	19.2	FIL-SIL	
431	BRECHA DE RIOLITA PORFIRITICA SILICIFICADA	BRECH-RP	BX-RP-QS	13.5	SILICIFIC	
432	ANDESITA BASALTICA SILICEA	AND-BAS	BA-SIL	16.2	SILICIFIC	
433	LATITA PORFIRITICA FILICA POTASICA	LATI-PORF	LP-FIL-PTK	15.8	FIL-PTK	2.69
434	RIOLITA PORFIRITICA FIL PROPIL	RIOL-PORF	RP-FIL-PRO	15.2	FIL-PROPIL	2.64
435	BRECHA DE ANDESITA BASALTICA	BX-BA	BX-BA-FIL	15.0	FILICA	2.79
442	ANDESITA BASALTICA PROPILICA	AND-BAS	BA-PRO	22.0	PRO	2.75

WORK INDEX						
CODIGO	TIPO DE ROCA	ROCA	PLANOS	WI	ALTERACION	G.E.
450	TOBA CAFÉ	TBC	TBC			1.6
451	ALUVIAL	AL	AL			1.25
452	AGLOMERADO SUPERIOR	AS	AS			2.24
453	TOBA SUPERIOR	TS	TS			2.25
454	AGLOMERADO INFERIOR	AL	AI			1.8
455	TOBA INFERIOR	TI	TI			1.87
456	TOBA CRISTAL	TC	TC			2.33
457	CONGLOMERADO BASAL	CB	CB			2.34
458	AGLOMARADO TOBACEO	AT	AT			2.01
459	TOBA BLANCA	TBC	TBC			2.04
460	CONGLOMERADO AMARILLO Y VERDE	CA/CV	CA/CV			2.09
461	TRAQUITA	TR	TR			2.34
462	TOBA SALMON	TSA	TSA			1.94
463	AGLOMERADO GRIS	AG	AG			2.32
464	CONGLOMERADO RIOLITICO	CR	CR			2.37
471	DIORITA	DI	DI			2.67
472	PORFIDO ANDESITICO	PA	PA			2.4
473	PEBBLE BRECHA	PX	PX	14.0		2.05
474	LATITA ESTERIL	LP3	LP3	19.8		2.65
478	DIQUE	DK	DK	19.7		2.65
479	TOBA MICÁCEA	TBM	TBM			1.95
480	TOBA TRAQUITICA	TBTR	TBTR			2.12
481	AGLOMERADO TRAQUÍTICO	AGTR	AGTR			2.02
482	COLUVIAL	CO	CO			1.8
484	CONGLOMERADO DOLERÍTICO	CD	CD			
487	BOTADERO	BOT	BOT			1.8
488	CONGLOMERADO TRAQUITICO	CTR	CTR			
490	DOLERITA	DO	DO			2.73
494	VITROFIRO TOBA CRISTAL	VTTC	VTTC			2.34
495	DIQUE DE ANDESITA	DK-A	DK-A			2.67
496	VITROFIRO TRAQUITICO	VTTR	VTTR			2.34
497	TOBA RETRABAJADA	TRE	TRE			1.9
498	AGLOMERADO BLANCO	AB	AB			2.14
499	RIOLITA FRESCA	RP-FRES	RP-FRES		FRESCA	2.61

**Fuente: DGC, 2019.**

## GLOSARIO

**Amarre:** Se le conoce así a la unión de todos los cordones detonantes que están conectados en los taladros para el disparo, estos iniciadores están conectados por un cable de amarre.

**Análisis granulométrico:** Determinación de los tamaños del material o roca disparada mediante distintas mallas diseñadas.

**Diseño:** Se refiere al anteproyecto de la voladura, la creación de la malla de los taladros que se van a perforar.

**Disparo:** Se refiere a la explosión de la malla perforada que se realiza después del carguío de los taladros con explosivo.

**Emulsión:** Se refiere a la mezcla de dos o más líquidos inmiscibles, inertes no detonables.

**Explosivo:** Es la sustancia que al ser afectada por acciones o elementos externos se transforma en gas, liberando presión y generando la explosión.

**Malla de Perforación:** Se le llama así al conjunto de taladros diseñados.

**Nitrato:** Es una sal formada por nitrato y amonio. Se refiere a un compuesto incoloro y soluble en agua.

**Perforación:** Acción de perforar o realizar una cavidad cilíndrica, es decir, un hoyo con equipos especiales.

**Primado:** Inserción de cartuchos de emulsión o hidrogel sensible al fulminante.

**Taladro:** Es el hoyo realizado por equipos de perforación para el carguío con explosivo y detonación.

**Tapado:** Se realiza mediante Taponex que son instrumentos que taponan el taladro y luego con grava.

**Voladura:** Proceso por el cual se fragmenta y desliza un terreno o material utilizando explosivos.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Agreda, C. (2001). *Voladura Controlada*. Lima: Print Express SAC.
2. Área de Perforación y Disparos y Servicios Auxiliares. (APDSA). (2019). *Informe Mensual de Perforación y Disparos*. Moquegua: Cuajone.
3. Departamento de Geología de Cuajone. (DGC). (2019). *Work Index*. Moquegua: Cuajone.
4. Barona, A. (2014). *Evaluación del funcionamiento de sistemas de análisis digital de imágenes – Wipfrag (Edición manual) y Split Online* (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Madrid: Madrid.
5. Bernaola, J., Castilla, J., Herrera, J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería*. Madrid: ETS Madrid.
6. Chambi, D. (2016). *Monitoreo continuo para determinar el grado de fragmentación en roca a tiempo real y mejora en el proceso de voladura – unidad minera Cuajone* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín: Arequipa.
7. Concha, O. (1994). *Prospección, exploración y desarrollo del Yacimiento de Cuajone*. Moquegua: Cuajone.

8. Cruces, J. (2015). Monitoreo continuo, medición de la fragmentación online y su influencia en la optimización de la voladura. 32 CONVENCION MINERA PERUMIN, (pp. 01-26). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín:  
<https://www.convencionminera.com/perumin32/doc/conferencias/tecnologia/jcruces.pdf>
9. EXSA. (n.d.). Exsa. Recuperado de:  
<https://www.exsa.net/image/pdf/QUANTEX%2073.pdf>
10. Mucho, R. (2013). Voladura de rocas para la nueva minería. *Jueves Minero*, (pp. 01-67). Lima: Colegio de Ingenieros de Minas del Perú:  
[https://www.academia.edu/36545638/VOLADURA\\_DE\\_ROCAS\\_PARA\\_LA\\_NUEVA\\_MINER%C3%8DA\\_Ing.\\_R%C3%B3mulo\\_Mucho\\_S%C3%A9nior\\_y\\_Profesor\\_de\\_Voladura\\_de\\_Rocas](https://www.academia.edu/36545638/VOLADURA_DE_ROCAS_PARA_LA_NUEVA_MINER%C3%8DA_Ing._R%C3%B3mulo_Mucho_S%C3%A9nior_y_Profesor_de_Voladura_de_Rocas)
11. ORICA CUAJONE. (2017). *Procedimiento escrito de trabajo seguro*. Cuajone: ORICA.
12. Pernia, J. (2011). *Manual de perforación y voladura*. Madrid: COMPOBEL S.A.
13. Puerta, R. (2014). *Eficiencia en el control de procesos con el sistema de despacho MineOps Jigsaw* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería: Lima.
14. Poma, J. (2012). *Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso gold mil (Caso Minea Yanacocha)* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú: Lima.
15. Segarra, P. (2014). *Análisis experimental de la fragmentación, vibraciones y movimiento de la roca en voladuras a cielo abierto* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid: Madrid.
16. Satchwell, P. (1993). *Geología de la Mina Cuajone*. Moquegua: Cuajone.
17. SIVE CUAJONE. (2017). *Procedimiento escrito de trabajo seguro*. Cuajone: EXSA.
18. SIVE CUAJONE. (2018). *Reporte de Disparos*. Moquegua: Cuajone.
19. SIVE CUAJONE. (2018). *Reporte de Disparo 3190 - 0638*. Moquegua: Cuajone.

20. The Cooperative Research Centre for Optimising Resource Extraction. (2013).  
*Understanding Mine to Mill*. Brisbane: CRC ORE.