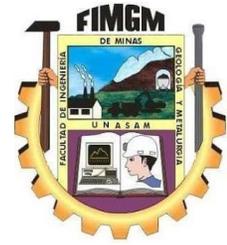




**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”**



**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGÍA Y METALURGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**

**TESIS**

**DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA  
PARA MEJORAR LA FRAGMENTACIÓN DE ROCA EN LA MINA  
LA ARENA – 2021**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**BACH.: DANIEL IGOR MENDEZ VALDEZ**

**ASESOR:**

**M.Sc. ING. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO**

**HUARAZ – PERÚ**

**2023**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS,  
GEOLOGIA Y METALURGIA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En la ciudad de Huaraz, siendo las once horas con diez minutos de la mañana (11:10 a.m.) del día 16 de Octubre del dos mil Veintitres (16/10/23), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 190-2023-FIMGM/D, de fecha 19 de Setiembre del 2023, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUIÑO, como Presidente; Dr. JULIAN PEREZ FALCON, como Secretario y el M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulada: "DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACION Y VOLADURA PARA MEJORAR LA FRAGMENTACION DE ROCA EN LA MINA LA ARENA - 2021" presentado por el Bachiller **DANIEL IGOR MENDEZ VALDEZ,** para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 190-2023-FIMGM/D de fecha 19 de Setiembre del 2023. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (\*)de: DIECISIETE (17). Aprobado con Distinción.** Siendo las doce horas y cero minutos (12:00 p.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación. En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.

Dr. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUIÑO  
Presidente

Dr. JULIAN PEREZ FALCON  
Secretario

M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME  
Vocal

M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO  
Asesor

(\*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA** (19-20), **APROBADO CON DISTINCIÓN** (17-18), **APROBADO** (14-16), **DESAPROBADO** (00-13).

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM  
**ANEXO 1**  
**INFORME DE SIMILITUD.**

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

**DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA MEJORAR LA  
FRAGMENTACIÓN DE ROCA EN LA MINA LA ARENA - 2021**

Presentado por: **DANIEL IGOR MENDEZ VALDEZ**

con DNI N°: **43856457**

para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : **17%**.... de similitud.

**Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).**

Porcentaje			
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado	Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda
			<input checked="" type="radio"/>
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, **06/03/2024**

  
FIRMA  
Apellidos y Nombres: **RUIZ CASTRO ARNALDO ALEJANDRO**  
DNI N°: **31672592**

Se adjunta:  
*1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud*

## DEDICATORIA

A mi mamá Gladys, por su inagotable esfuerzo y amor para encaminarme a seguir luchando por cumplir mis sueños; a mis hermanos Wilder y Hebert quienes con su ejemplo guían mis pasos; a mi hijo Daniel por inspirarme a ser mejor cada día; a mi padre Octavio y mis hijos André y ángel quienes desde el cielo siguen cuidándome.



## AGRADECIMIENTO

A Dios y la vida que me permitieron seguir aprendiendo de mi carrera en diferentes áreas; a los integrantes de facultad de Ingeniería de Minas de la UNASAM, en especial a sus docentes que con mucha paciencia supieron brindarme los conocimientos necesarios para iniciar y enfrentar los retos en el mundo de la minería.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: “Diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021”, tiene como objetivo general realizar el diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021. El tipo de investigación fue de enfoque cuantitativo y nivel descriptivo de corte transversal, entre las técnicas utilizadas puedo mencionar la observación directa y la entrevista no estructurada. El resultado más resaltante fue el reajuste de la malla de perforación, lo que permitió a mejorar la granulometría, además se redujo los costos operativos de las actividades de transporte, acarreo y procesamiento de minerales; pero se incrementó ligeramente el costo de la perforación y voladura en 1.5 %, indicando que la malla de perforación y voladura determinada fue el burden = 4.96 m., espaciamiento = 5.7 m y se propuso la siguiente malla: burden = 4.78 m, con espaciamiento = 5.5 m, la cual mejora la fragmentación de la roca en zonas de mineral y desmonte, por último se determinó el factor de potencia y su influencia en la fragmentación de la roca, concluyendo que para la malla propuesta el factor de potencia varia de (0.24 a 0.26) Kg/tn., lo cual influye directamente en la mejora de la granulometría y el aumento del porcentaje de finos de (10.53 a 42.11)%, de acuerdo a los resultados se recomienda utilizar el nuevo diseño de malla de perforación solo en mineral y tipo de roca semidura a dura.

**Palabras claves:** Diseño de la malla, fragmentación, costos operativos, finos.

## ABSTRACT

This research work entitled: "Design of the drilling and blasting mesh to improve rock fragmentation in the mine La Arena - 2021", has as general objective to design the drilling and blasting mesh to improve rock fragmentation in the mine La Arena - 2021. The type of research was of quantitative approach and descriptive level of transversal cut, among the techniques used I can mention direct observation and unstructured interview. The most outstanding result was the readjustment of the drilling mesh, which allowed to improve the granulometry, also reduced the operating costs of transport, hauling and ore processing activities; but slightly increased the cost of drilling and blasting in 1.5%, indicating that the drilling and blasting mesh determined was the burden = 4.96 m., spacing = 5.7 m and the following mesh was proposed: burden = 4.78 m, with spacing = 5.5 m, which improves the fragmentation of the rock in zones of mineral and waste rock, finally the power factor and its influence on the fragmentation of the rock was determined, concluding that for the proposed mesh the power factor varies from (0.24 to 0.26) Kg/tn, which directly influences the improvement of the granulometry and the increase of the percentage of fines from (10.53 to 42.11)%, according to the results it is recommended to use the new design of drilling mesh only in mineral and type of rock.

Key words: Screen design, fragmentation, operating costs, fines.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPITULO I .....	16
GENERALIDADES .....	16
1.1. Entorno Físico.....	16
1.1.1. Ubicación y acceso.....	<b>16</b>
1.2. Entorno Geológico.....	18
1.2.1. Geología regional.....	18
1.2.2. Geología local.....	20
1.2.3. Geología del tajo Calaorco.....	21
1.2.3.1.Litología.....	21
1.2.3.2.Geología estructural.....	22
1.2.3.3.Geología económica.....	23

CAPITULO II.....	26
FUNDAMENTACIÓN.....	26
2.1. Marco Teórico .....	26
2.1.1. Antecedentes de la investigación .....	26
2.2. Definición de Términos .....	29
2.3. Fundamentación teórica.....	33
2.3.1. Conceptos Básicos de Voladura de Rocas.....	33
2.3.2. Claves para el rendimiento de una voladura.....	40
2.3.3. Variables controlables en una voladura.....	42
2.3.4. Variables no controlables en una voladura.....	43
2.3.5. Diseño y ajuste de los parámetros de perforación .....	44
2.3.6. Parámetros de voladura.....	48
2.3.7. Optima fragmentación y su impacto en las operaciones mina molienda....	56
2.3.8. Teoría del modelo de kuz ram de distribución de tamaño de roca fragmentada por voladura.....	58
CAPITULO III.....	60
METODOLOGÍA.....	60
3.1. El Problema .....	60
3.2. Descripción de la realidad problemática.....	60
3.3. Planteamiento y Formulación del Problema.....	61

3.3.1. Formulación del problema General .....	61
3.3.2. Formulación de problemas específicos.....	61
3.4. Objetivos de la investigación.....	62
3.4.1. Objetivo General.....	62
3.4.2. Objetivos Específicos .....	62
3.5. Justificación e importancia .....	62
3.6. Alcances.....	63
3.7. Delimitación de la Investigación .....	63
3.7.1. Hipótesis .....	63
3.7.1.1. Hipótesis General .....	63
3.7.1.2. Hipótesis Nula .....	64
3.8. Variables.....	64
3.9. Operacionalización de variables .....	64
3.10. Diseño de la investigación.....	65
3.10.1. Tipo de investigación.....	65
3.10.2. Nivel de la investigación .....	65
3.11. Población y muestra.....	65
3.12. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	66
3.13. Tratamiento de datos.....	67
CAPITULO IV .....	68

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	68
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos .....	68
4.2. Explotación del tajo Calaorco.....	68
4.2.1.Equipos mineros .....	69
4.2.2.Diseño Operativo -Tajo Abierto .....	70
4.2.3.Diseño de Bermas .....	70
4.2.4.Operaciones Unitarias.....	72
4.2.4.1.Perforación .....	72
4.2.4.2.Voladura .....	74
4.2.4.3.Carguío y Acarreo .....	74
4.2.5.Diseño de perforación para la mejora de la fragmentación de roca .....	75
4.2.5.1.Tipo de roca y condiciones geológicas. ....	76
4.2.5.2.Tipo de roca y condiciones geológicas. ....	76
4.2.5.3.Efectos de la Geología.....	76
4.2.5.4.Volumen de roca para la voladura.....	77
4.2.5.5.Trabajos de perforación.....	77
4.2.5.6.Cálculo de Burden y espaciamiento. ....	77
4.2.6.Cálculo del factor de potencia y su influencia en la fragmentación de la roca .....	80
4.2.7 Discusión de resultados .....	87

CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	91
ANEXOS .....	94

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> .....	16
<b>Figura 2</b> .....	17
<b>Figura 3</b> .....	19
<b>Figura 4</b> .....	20
<b>Figura 5</b> .....	25
<b>Figura 6</b> .....	34
<b>Figura 7</b> .....	36
<b>Figura 8</b> .....	37
<b>Figura 9</b> .....	42
<b>Figura 10</b> .....	45
<b>Figura 11</b> .....	46
<b>Figura 12</b> .....	48
<b>Figura 13</b> .....	58
<b>Figura 14</b> .....	70
<b>Figura 15</b> .....	71
<b>Figura 16</b> .....	72

<b>Figura 17</b> .....	73
<b>Figura 18</b> .....	81
<b>Figura 19</b> .....	82
<b>Figura 20</b> .....	83
<b>Figura 21</b> .....	84
<b>Figura 22</b> .....	85
<b>Figura 23</b> .....	86

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> .....	18
<b>Tabla 2</b> .....	56
<b>Tabla 3</b> .....	64
<b>Tabla 4</b> .....	68
<b>Tabla 5</b> .....	69
<b>Tabla 6</b> .....	79
<b>Tabla 7</b> .....	80
<b>Tabla 8</b> .....	84
<b>Tabla 9</b> .....	87
<b>Tabla 10</b> .....	88

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada “Diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021” surge de la pregunta de cómo realizar el Diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021. La idea fundamental es de como optimizar la secuencia de salida en la voladura para tener una fragmentación buena, con un factor de carga y un avance en el minado óptimo.

De un buen diseño de malla de perforación depende del éxito de la voladura y la fragmentación de la roca adecuada, así reducir los sobre costos y mejorar el proceso productivo con una buena extracción y transporte de minerales y rocas.

Existe una relación directa vinculada a la granulometría que resulta de la voladura, la misma debe ser adecuada para no elevar los costos en chancado primario y transporte, motivo por el cual la voladura es una actividad unitaria muy crítica e importante.

La tesis tiene la siguiente estructura: Dedicatoria; agradecimiento, resumen, índice general, índice de tablas, índice de figuras y la introducción.

**Capítulo I: Generalidades**, se describen algunas características de la mina La Arena, el entorno físico y el entorno geológico.

**Capítulo II: Fundamentación**, comprenden el marco teórico e incluyen los antecedentes, las bases teóricas y la definición de términos.

**Capítulo III: Metodología**, se plantea la pregunta de investigación, así como los objetivos, la justificación e importancia. Redacción de la hipótesis, las variables, metodología incluyendo a la población y muestra del estudio.

**Capítulo IV: Resultados de la investigación,** se presentan los resultados obtenidos en la investigación.

Y por último se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. Entorno Físico

##### 1.1.1. Ubicación y acceso

- Ubicación:

La mina La Arena se encuentra ubicado en el Caserío La Arena, distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, a 184 km de la ciudad de Trujillo por intermedio de la carretera de penetración Trujillo - Quiruvilca - Huamachuco. Hidrográficamente se ubica en la divisoria de dos ríos: Cuenca del río Yamobamba y la quebrada La Ramada, con una altitud entre (3,335 a 3614) msnm. (Fabián, 2017)

#### Figura 1

*Ubicación de la Mina La Arena.*



**Nota.** – Mapa de ubicación de mina La Arena. (Fabián, 2017)

**Figura 2**

*Mapa de ubicación de mina La Arena*



*Nota.* – Mapa de ubicación del yacimiento La Arena - Virgen. (Gauthier et al., 1999)

- Acceso:

Existen varias rutas de acceso al proyecto: Utilizando la carretera asfaltada Ruta Lima – Trujillo - La Arena y Ruta Cajamarca - La Arena.

(Fabián, 2017)

**Tabla 1***Acceso a la Mina La Arena*

Ruta	Distancia	Tiempo
Lima - Trujillo	550	9 horas
Trujillo - La Arena	160	5 horas
Cajamarca - Cajabamba	124	3horas
Cajamarca -	55 km	2horas
Huamachuco - La	17.5	30min

**Nota.** – Rutas y distancia a la mina La Arena. (Fabián, 2017)

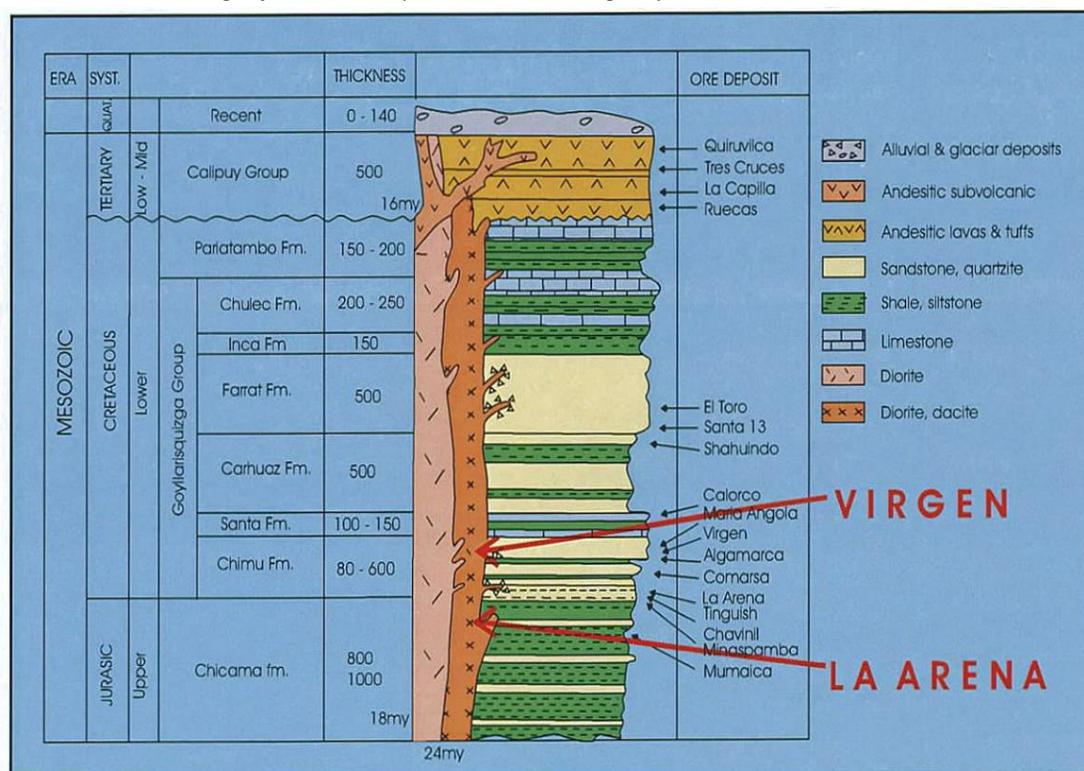
## 1.2. Entorno Geológico

### 1.2.1. Geología regional

Las brechas de la Formación Chimú del Cretácico Inferior y las cuarcitas y areniscas fracturadas forman el principal ambiente litológico para los depósitos de oro soluble. Estas rocas estuvieron dominadas por el pórfido central de dacita, que gradualmente cambia a pórfido de andesita en las zonas periféricas en contacto con los sedimentos mesozoicos. Un sistema de fallas altamente inclinado NW-SE cortado por otros sistemas NE-SO, EO y NS creó ubicaciones favorables para la mineralización económica. La estructura regionalmente dominante es el domo de Huamachuco, con porciones elípticas (20 x 11) km con otras porciones asociadas a mineralización. (Gauthier y otros, 1999)

Figura 3

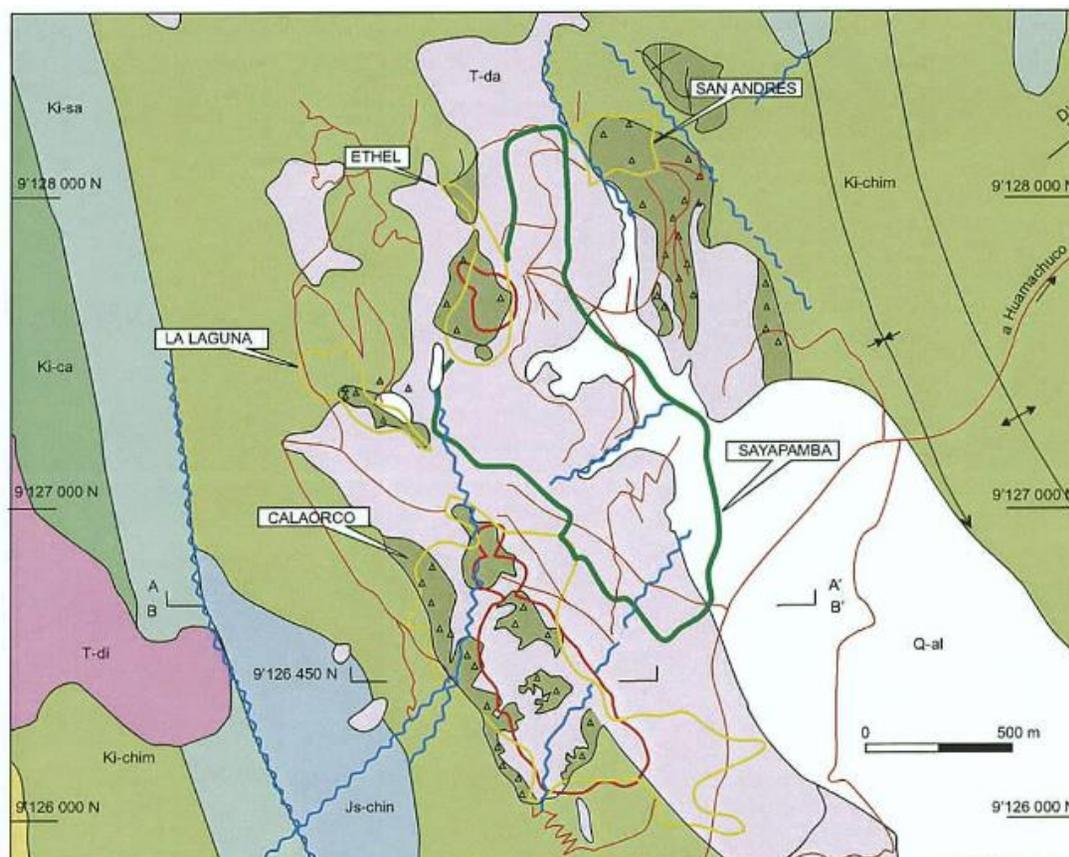
*Columna estratigráfica de los yacimientos Virgen y La Arena.*



*Nota. - Yacimientos Virgen y la Arena. (Gauthier et al., 1999)*

**Figura 4**

*Geología local – mina La Arena.*



**Nota.** – Mapa de la geología local de la mina La Arena. (Gauthier at al., 1999)

### 1.2.2. Geología local

La Arena S.A. está clasificado como un depósito epitermal con alto contenido de sulfuros dentro de areniscas cuarcíticas de la formación Chimú, con mineralización en horizontes de arenisca y vetas delgadas o finas que cruzan estos horizontes y otros no aptos para la mineralización. Cuando estas estructuras (NW y SE) están muy juntas, generalmente forman propágulos de mala calidad. Los fluidos gaseosos de intrusiones

profundas fracturaron y rompieron estas rocas; esta fase hidrotermal depositó oro en asociaciones con pirita y enargita y una cantidad muy pequeña de metales básicos.

El contenido de alunita, pirofilita y enargita permite clasificar este depósito como una capa epitermal altamente sulfurada. (Fabián, 2017).

### **1.2.3. Geología del tajo Calaorco**

#### **1.2.3.1. Litología**

En el tajo Calaorco afloran los miembros superiores de la Formación Chimú; el Miembro Medio (B) que es una secuencia rítmica de areniscas cuarzosas blanquecinas a grises claras, intercaladas con secuencias lutáceas y limolíticas. (Fabián, 2017)

Estas rocas consisten en granos de cuarzo hemisféricos de grano medio a fino depositados en capas con un espesor promedio de 0,60 a 0,80 m y estructuras típicas de rocas sedimentarias (estratificación cruzada, estructuras de carga superficial, etc.).

Esta secuencia está cubierta por la parte superior (C), donde encontramos una perla de techo (cuerpo de brecha) formada por limolitas, areniscas delgadas de grano fino y lutitas carbonosas.

En el sector Sur del Tajo, en la sección 6000 N, desde el nivel 3565, se presenta buena mineralización de oro con leyes

superiores a 1ppm, localizándose hacia el contacto con el intrusivo andesítico que aflora en la parte sureste. (Fabián, 2017)

En el sector Norte del Tajo Calaorco las zonas se presentan muy fracturadas por el emplazamiento de varios diques (05) las cuales cortan y fracturan las areniscas tornándolas en ciertos lugares deleznable, estos diques tienen potencias entre 0.20 a 0.80 m, alteradas con moderada a débil silicificación. (Fabián, 2017)

Estas areniscas se presentan con escasa oxidación y moderada silicificación, a pesar de la buena permeabilidad y de las alteraciones presentes no llegaron a ser mineralizadas por los fluidos hidrotermales que circularon por el lugar.

Los lentes de carbón presentes en el tajo Calaorco se presentan en la parte central con rumbo NW, esta secuencia orgánica se encuentra en el contacto con Bloques Mineralizados (roof pendant), los que se encuentran asimilados por el intrusivo andesítico que lo cortó. (Fabián, 2017)

#### **1.2.3.2. Geología estructural**

La zona ha sido sometida a una intensa actividad tectónico-magmática evidenciada por:

- Intenso plegamiento y fallamiento andino.
- Intensa actividad magmática efusiva e intrusiva.
- Arqueamiento del plegamiento andino.
- Generación de fallas de transferencia.

- Actividad magmática hidrotermal.

Distritalmente, la estructura dominante constituye el “Domo de Huamachuco”, generado por la intrusión de un stock elíptico de 20 x 11 km. Dentro del complejo dómico, se han reconocido afloramientos aislados de stocks de composición intermedia a mediana acidez, pero que, en profundidad, parecen constituir un sólo cuerpo intrusivo mayor. Las zonas marginales del domo, asociadas a lineamientos NW-SE, NE-SW y N-S, aparentemente constituyen las partes hidrotermalmente más activas, relacionadas a la mineralización. En el yacimiento la Arena la mineralización económica está controlada por el sistema estructural NE – SW. (Fabián, 2017)

### 1.2.3.3. Geología económica

Ocurre como un pórfido de Cu-Au-(Mo) y brechas de contacto con Au. La mineralización hidrotermal correspondiente al pórfido de Cu – Au - (Mo) y una estructura tipo stockwork de 1,400 m (NO - SE) x 200 a 400 m de ancho, se han emplazado en un pórfido dacítico - andesítico, reconocido por 500 m verticales, de los cuales 350 m con mejores leyes, tienen un contenido explotable de cobre (Cu), oro (Au) y molibdeno (Mo). Además, se tiene pirita ( $\text{FeS}_2$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), Cubanita ( $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ ), venillas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) asociadas a una alteración fílica (illita, caolinita).

La mineralización de oro (Au) en la brecha de contacto ocurre alrededor del pórfido, y en las fracturas y brechas de las areniscas y cuarcitas, en un área de 1,000 m (NO - SE) por 100 a 300 m de ancho, relacionada a óxidos que profundizan hasta 250 m, y esporádicamente relacionados a la zona de alunitización (Fig. N° 4) (Fabián, 2017).

El zonamiento muestra: cobre (Cu) – oro (Au) molibdeno (Mo) en el centro, ligado al intrusivo porfirítico. Oro (Au) – arsénico (As) y antimonio (Sb) en la brecha de contacto. Mercurio (Hg) hacia la periferie.

A diciembre de 1998 se indicó una reserva minable de 14 millones de TM con una ley de 1 g Au/TM, equivalente a 426 000 onzas de oro.

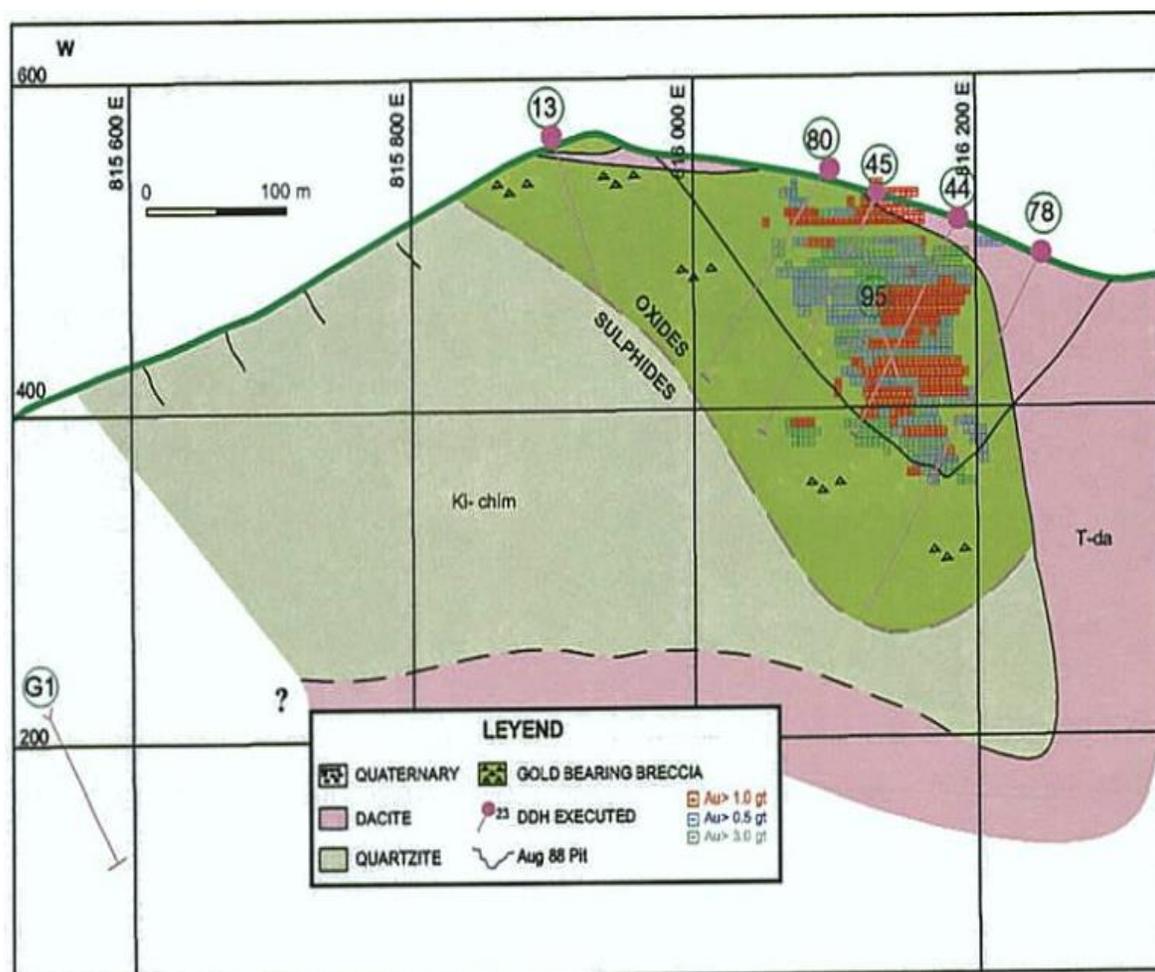
(<https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/2007/cyamientos/cap10.pdf>)

Las alteraciones en el pórfido La Arena se presentan con un núcleo potásico, asociado al Pórfido Principal (MFPA) e Intramineral (IFPA). La alteración propilítica está más referida a los diques tardíos (LFPA) y a zonas muy distales del pórfido Intramineral (IFPA). La alteración fílica, se presenta como sobreimpresión de la alteración potásica, es la alteración más extensa en el yacimiento. En zonas más superiores y hasta en superficie se presenta la alteración argílica. La alteración argílica avanzada, está referida principalmente al Epitermal de Calaorco y Etel, aunque existen dentro del pórfido sobreimpresiones de esta

alteración (desarrollados principalmente por estructuras de alta sulfuración que cortan al pórfido). (Fabián, 2017)

**Figura 5**

*Sección del yacimiento La Arena.*



**Nota.** – Geología económica del yacimiento La Arena. (Gauthier at al., 1999)

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1. Marco Teórico

##### 2.1.1. Antecedentes de la investigación

Bravo (2018) desarrollo la investigación “*Estudio de vibraciones inducidas por tronadura en minera Spence*”, con el objetivo de actualizar los inputs de diseño operativo, así como los estándares de perforación y tronadura, busco opciones que permitan optimizar el diseño, reduciendo el daño por tronadura en los bancos y sacando el máximo beneficio proyectado a la nueva mina que aumentará la vida útil de Spence en 50 años.

Correa y Martínez (2017) realizaron la investigación “*Diseño del sistema de perforación y voladura en los bancos D, E Y F en la mina de Caliza el Tesoro, Contrato de concesión Ill-16111 ubicada en la vereda Las Caleras del Municipio de Nobsa – Boyacá*”, con el objetivo de indicar un diseño adecuado que esté acorde a las características técnicas que definen los criterios y parámetros en voladura, por lo cual tuvieron en cuenta los aspectos geológicos, estructurales, diseño de la explotación, propiedades físicas y mecánicas de los bancos D, E y F, así como las necesidades de la empresa para la obtención de un esquema de perforación y voladura donde se contempla una malla que garantiza, fragmentación adecuada, proyección de rocas y vibraciones dentro de los estándares que marcan las normas (Correa y Martínez, 2017).

Chugá (2017) ejecuto la investigación de *“Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú”*, cuyo objetivo principal fue realizar un análisis comparativo entre el método de Voladura Convencional y Gasificada, con el fin de seleccionar el mejor método con la mejor fragmentación al menor costo. Para ello utilizo los datos recopilados en campo, y la información proporcionada por parte del departamento de Geología y Voladura de la empresa minera Southern Corporation, posterior mente se realizaron diseños de voladura convencional en las diferentes mezclas de anfo pesado HA55, HA46, HA37, HA28, para voladura gasificada MEQ73.

Obtuvo resultados de fragmentación para cada uno de los métodos, por medio de una evaluación post-voladura y un análisis de costos, que al final se eligió el mejor método de voladura con el menor costo bajo la mejor fragmentación. (Chugá, 2017)

Soto (2020) en su estudio *“Cambio de los parámetros de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de la roca en la Mina Santa Clotilde, Chongoyape”*, su Objetivo fue proponer cambios de los parámetros de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de la roca en la mina Santa Clotilde. La investigación surgió de la observación de un problema vinculado con la fragmentación producto de los procesos de perforación y voladura la cual genero mayores costos y tiempo. (Soto, 2020)

Chávez (2019) en el estudio “*Análisis de vibraciones inducidos por el uso de plasma en la fragmentación de rocas en el proyecto óxidos Insitu Compañía Minera Volcan – E.A. óxidos de Pasco S.A.C*, su objetivo fue describir y explicar los últimos avances para el control eficiente de los daños inducidos por la fragmentación de rocas, mediante la tecnología generadora de vibraciones, que en algunas circunstancias pueden originar daños en las estructuras próximas al lugar de explotación, lo cual realizo a través de la recopilación de la información necesaria y actualizada. (Chávez, 2019)

Hinostroza (2014) desarrollo la investigación “Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto”, el objetivo de la investigación fue para poder demostrar la importancia y necesidad de colocar un iniciador con detonador electrónico más y así poder lograr optimizar la fragmentación de la roca en zona de mineral; posteriormente se realizó varias pruebas de voladura con doble iniciación electrónica, a la vez se ha modificado algunos parámetros ya establecido como el diseño de malla, el diseño de carga, y los tiempos de secuencia de salida del disparo, realizando una mejora, después de haber disparado diferentes proyectos el investigador procedió a realizar sus respectivos análisis y comparaciones, de ello obtuvo buenos resultados, con buena fragmentación y sin perjudicar la estabilidad del talud y contaminar el

medio ambiente, sin contar con la presencia de flyrock. (Hinostroza, 2014)

Chávez (2018) ejecuto la investigación “*Mejora de la granulometría mediante el diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de Holmberg en la galería 370 de la zona Coturcan en la mina Huancapeti – año 2015*”, con el objetivo de mejorar la granulometría en la Galería 370 de la zona Coturcan en la mina Huancapeti, mediante el diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de Holmberg; porque la galería presentaba deficiencia en los resultados de voladura, afectando directamente el ciclo de minado. Para calcular el nuevo diseño de malla de perforación y voladura, aplico el modelo de Holmberg, cuya característica fueron los parámetros físicos – mecánicos del macizo rocoso y el tipo de explosivo a emplear, el estudio involucro las condiciones geomecánicas y cantidades máximas de ítems de accesorios de voladura. (Chávez, 2018)

## 2.2. Definición de Términos

Es importante tener los siguientes datos conceptuales:

- **Fragmentación.** Es la rotura de la roca en el área de la línea de menor resistencia (Burden) como consecuencia de la acción ejercida por los explosivos. (Hinostroza, 2014)
- **Burden.** Es la distancia del taladro a la cara libre más cercana, orientado perpendicularmente al eje del taladro. (Hinostroza, 2014)

- **Espaciamiento.** Se define como la distancia entre taladros de una misma fila perpendiculares al burden. (Hinostroza, 2014)
- **Booster.** Alto explosivo utilizado para mejorar la detonación de la columna explosiva (aumentar la velocidad de detonación). Por lo general se utilizan explosivos de alta velocidad de detonación, como el Booster de pentolita. (Hinostroza, 2014)
- **Taladro.** Cavidad cilíndrica como consecuencia de una perforación en la cual, se deposita el explosivo de acuerdo con un diseño previo. (Hinostroza, 2014)
- **Explosivo.** Es toda sustancia sólida o líquida, que, al recibir un estimulante adecuado, en un infinitésimo de tiempo, se convierte en otras sustancias más estables, generalmente gaseosas; acompañados de una liberación de calor y altas presiones. (Hinostroza, 2014)
- **Cara libre.** Superficie de contacto con el medio ambiente tomando como referencia un cubo, es indispensable para la formación y retorno de las ondas de tensión relejadas que provocan la fragmentación. (Hinostroza, 2014)
- **Malla.** Es la forma geométrica en la que se disponen los taladros de una voladura, considerando básicamente la relación burden y espaciamiento. (Hinostroza, 2014)
- **Chancado.** Proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de las rocas mineralizadas triturándolas en chancadoras y molinos. El material extraído pasa por tres tipos de chancadoras (chancadora primaria, secundaria y terciaria) hasta llegar a tamaños de menos de ½ pulgada. (Hinostroza, 2014)

- **Desplazamiento.** Consiste en el movimiento de la masa rocosa triturada como consecuencia de la acción ejercida por los explosivos hacia una dirección establecida. (Hinostroza, 2014)
- **Voladura de rocas.** Es un proceso tridimensional, en la cual las presiones generadas por explosivos dentro de taladros originan una zona de alta concentración de energía que producen dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento. (Hinostroza, 2014)
- **Factor de carga.** Es la cantidad de explosivo en peso que se emplea para fragmentar una tonelada métrica de material de banco. (Hinostroza, 2014)
- **Técnicas de voladura.** Procedimiento que combinan la diversidad de etapas a desarrollarse en la rotura de macizos a fin de predisponer geotécnicamente el yacimiento y facilitar la explotación del mineral. (Hinostroza, 2014)
- **Carga Explosiva.** Cantidad de material explosivo utilizado en un taladro de voladura, o dispositivo de voladura. (Hinostroza, 2014)
- **Carguío.** Una de las etapas que forma parte del proceso de explotación a tajo abierto. Se refiere específicamente a la carga de material mineralizado y/o desmonte del yacimiento. (Hinostroza, 2014)
- **Falla.** Es una fractura frágil a lo largo de la cual acontecen desplazamientos visibles, generalmente semejante a la superficie de esta. (Hinostroza, 2014)
- **Zona de Fallamiento.** Se encuentra compuesta por numerosas superficies de discontinuidades frágiles, sus paralelas e interconectadas, estrechamente espaciadas con presencia de brecha de falla. (Hinostroza, 2014)

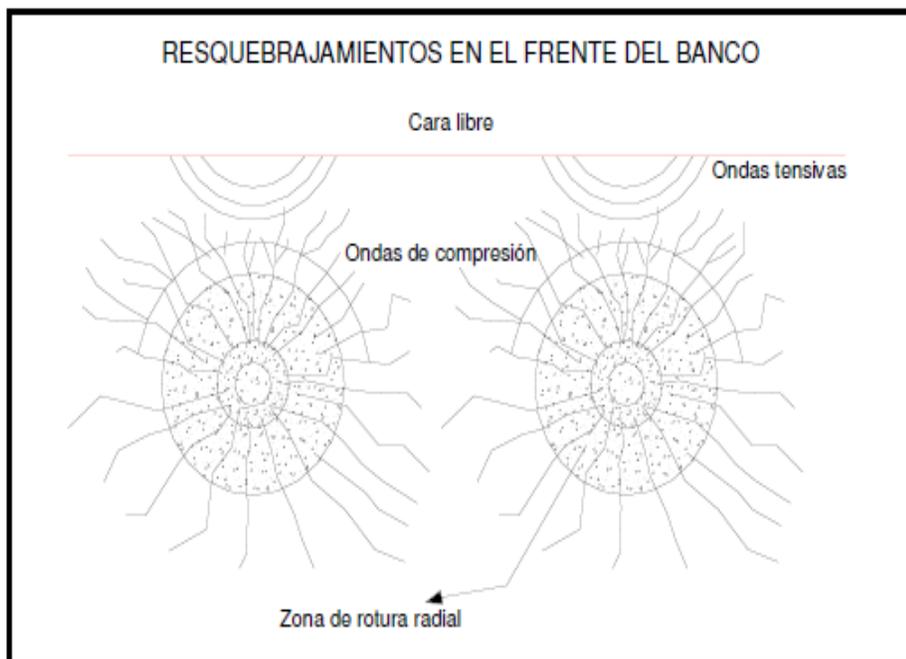
- **Zona de Cizalla.** Incumbe a una zona ancha de deformación, generada bajo condiciones dúctiles a dúctiles-frágiles (pliegues de arrastre). (Hinostroza, 2014)
- **Optimización.** Es un proceso mediante el cual se busca la mejora, ya sea en un proceso, una actividad, un sistema, etc. Con el fin de obtener un mayor rendimiento empleando menos recursos y reduciendo costos. (Guillen, 2020)
- **Rendimiento.** En un ambiente empresarial, la concepción de rendimiento hace alusión a los resultados deseados efectivamente, obtenidos por cada unidad que se realiza en la actividad, donde el término de unidad se podría referir a una persona, un equipo, un área de una organización empresarial. (Guillen, 2020)
- **VOD.** El VOD (velocidad de detonación) es la propiedad de mayor importancia de un elemento explosivo, cuanto más alto es su VOD su potencia será más alto. A la detonación se le conoce como una transformación casi inmediata de la materia sólida el cual lo convierte en gases de expansión. (Guillen, 2020)
- **Diseminado.** Son minerales que se presentan en forma de hilos que sobrepasan las rocas en diferentes sentidos, las mismas que se originan como puntos de mineral que llegan a cubrir inmensas extensiones. (Guillen, 2020)
- **Extracción.** Es una actividad que consiste en la extraer el material minado desde las labores o áreas de producción de la mina hasta la planta de procesos. (Guillen, 2020)
- **Producción.** Son los metros cúbicos o toneladas métricas totales que se deben manejarse en una operación minera por unidad de tiempo. (Guillen, 2020)

## 2.3. Fundamentación teórica

### 2.3.1. Conceptos Básicos de Voladura de Rocas

#### a) Mecanismo de rotura de las rocas

Los explosivos en condiciones limitadas crean ondas de energía estática en la roca. La presión generada por la tensión de compresión debe ser mayor que la resistencia de la roca, lo que hace que la roca se deforme o cambie elásticamente (carga) en la posición de la línea especificada; cuando la velocidad de la onda está lejos de la superficie, su amplitud disminuye bajo la acción de la fuerza de la roca. Dependiendo del tipo de roca, la amplitud disminuirá a lo largo de la fuente de explosión, cuando la onda de compresión encuentra una superficie libre (frente del banco), parte de esta se transmitirá y parte se reflejará, acorde con las leyes físicas de transmisión y reflexión de ondas; la onda reflejada propagará la fuente de explosión, esta vez bajo la forma de onda de tracción, la misma que es responsable de los resquebrajamiento en el frente del banco. (Hinostroza, 2014)

**Figura 6***Mecánica de la fragmentación*

**Nota.** -Resquebrajamiento en el frente del banco. (Hinostroza, 2014)

#### b) Transmisión de la onda de choque

En los explosivos, las velocidades de las primeras moléculas gasificadas son tan grandes que no ceden su calor por conductividad a la zona inalterada de la carga, sino que lo transmiten por choque, deformándola y produciendo calentamiento y explosión adiabática con generación de nuevos gases. El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva y que se denomina “Onda de Choque”, la que se desplaza a velocidades entre 1 500 y 7 000 m/s según la composición del explosivo y sus condiciones de iniciación. (Hinostroza, 2014)

Lo más importante para una onda sísmica durante una explosión es alcanzar un nivel de equilibrio (temperatura, velocidad y presión) que se mantenga durante su propagación. Por eso las ondas de choque se consideran vitales. Por otro lado, la longitud de onda transmitida disminuye con la distancia recorrida en el tiempo. En este nivel de equilibrio se crea una zona de reacción, en la última fase está limitada por un plano positivo llamado plano de Chapman-Jouguet, al que se le llama estado explosivo.

Esto se evidencia por medio de la ecuación fundamental conocido como la “Condición de Chapman – Jouguet”. (Hinostroza, 2014)

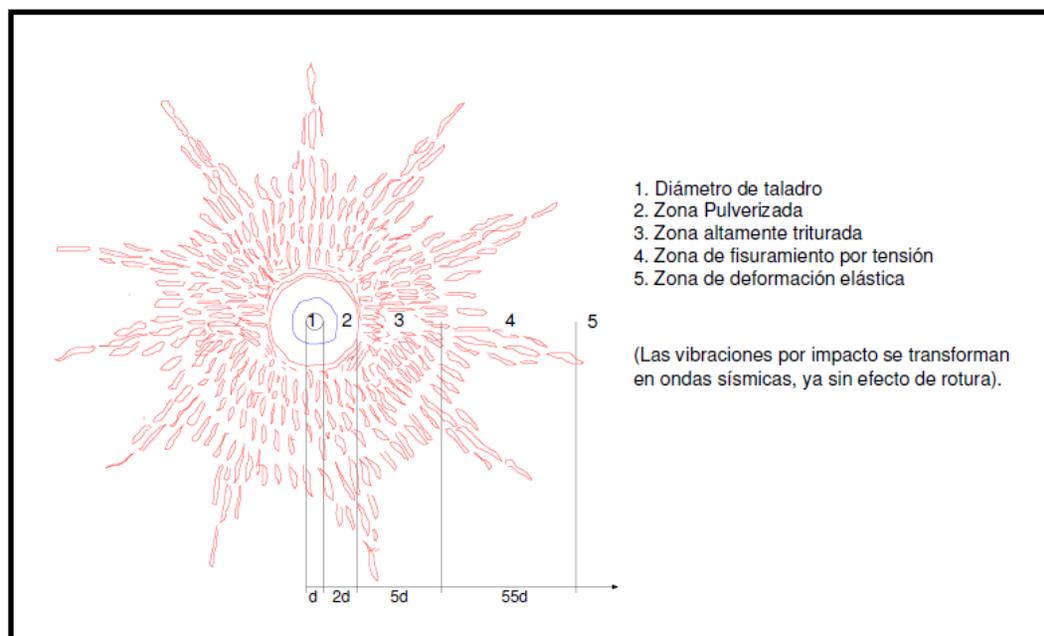
$$VOD = S + W$$

Donde:

VOD: Velocidad de detonación

S: Velocidad del sonido

W: velocidad de partículas (productos)

**Figura 7***Distribución de la energía explosiva*

**Nota.** - Rotura radial como efecto de la transferencia de la onda de detonación.

(Hinostroza, 2014)

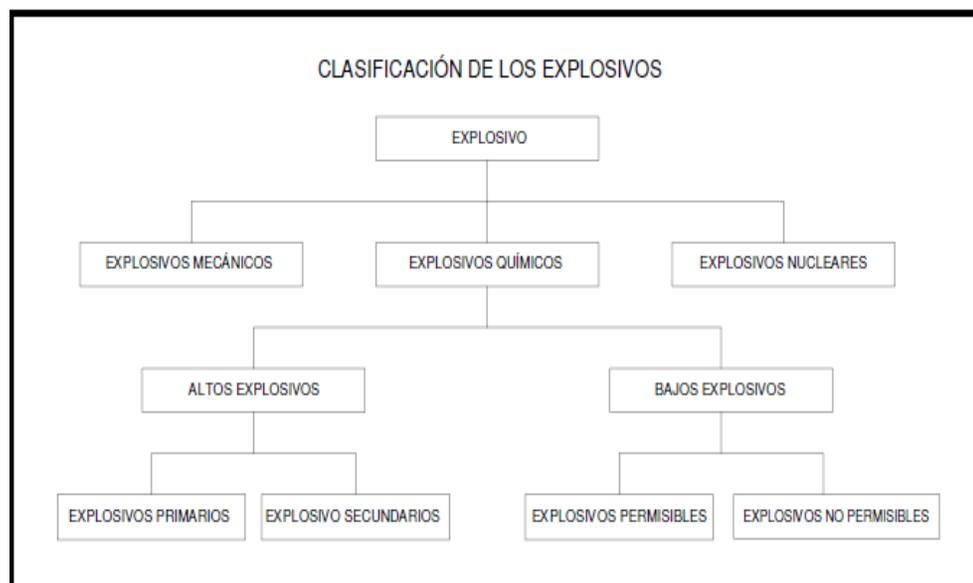
### c) Explosivos y su clasificación

Una explosión, es un fenómeno que ocurre como consecuencia de una liberación repentina de energía, mediante una fuente generadora que la produzca. Una condición necesaria para que se produzca una explosión es que dicha energía se libere durante un proceso muy rápido. Lo importante para nosotros son las explosiones provocadas por explosivos químicos, que se pueden definir como una mezcla de sustancias químicas bajo la influencia de una determinada fricción, calor, impacto, onda de choque, etc. Inician una reacción degenerativa muy fuerte que se extiende a lo largo de su longitud. Dicha reacción química se

caracteriza por ser exotérmica y liberará una gran cantidad de energía en la forma de gases a elevadas presiones y temperaturas. (Hinostroza, 2014)

**Figura 8**

*Clasificación de los explosivos*



*Nota.* – Flujograma de la clasificación de explosivos. (Hinostroza, 2014)

**Explosivos químicos.** Son aquellas mezclas explosivas cuya liberación de energía va acompañada de una reacción química donde se cumple la ley de la conservación de la materia y energía. Los explosivos químicos son clasificados en:

- **Altos explosivos.** Son aquellos detonantes sensibles al fulminante número 8, los mismos que reaccionan a una velocidad mayor que la velocidad del sonido; su velocidad de detonación es del orden de 6 000 a 10 000 m/s, y su presión de detonación alrededor de 4

x  $10^6$  PSI. Ejemplo: dinamitas, permisibles, explosivos acuosos (hidrogel, emulsiones) y explosivos especiales. (Hinostroza, 2014)

- **Bajos explosivos.** Se caracterizan por su bajo rango de deflagración, unos cuantos cm/s o m/s menores que la velocidad del sonido y presiones menores, hasta 3 000 PSI, ejemplo: la pólvora negra. Dentro de los explosivos químicos, existe una tercera categoría que son los agentes de voladura. (Hinostroza, 2014)

**Agentes de voladura.** Son mezclas explosivas que tienen como ingredientes un oxidante y un combustible, y requieren de un booster para su iniciación. Estos agentes de voladura no son sensibles al fulminante número 8. Ejemplo: ANFO, ALANFO, SANFO, slurries, emulsiones, etc. No obstante, que ninguno de sus ingredientes son explosivos cuando ellos no han sido mezclados, pueden ser sensibilizados lo suficiente como para poder convertirse en altos explosivos. (Hinostroza, 2014)

#### d) Velocidad de detonación

Es la velocidad con que el frente de detonación recorre la longitud de este, dicha velocidad es supersónica (mayor a la velocidad del sonido). La VOD es uno de los parámetros más importantes del proceso de detonación. Su valor es indicativo de la performance del explosivo. La

VOD de un explosivo está afectada por una serie de factores. (Hinostroza, 2014)

- Influencia del diámetro del explosivo.
- Influencia del grado de confinamiento y el tamaño de las partículas del explosivo.
- Influencia de la densidad del explosivo.
- Efecto del agua en la performance de los explosivos comerciales.
- Influencia de la temperatura del explosivo.

#### e) Presión de explosión y presión de detonación

**La presión de detonación:** Es una indicadora de la habilidad de un explosivo para fragmentar la roca, la misma que está dada por la presión inmediatamente por detrás del frente de detonación, en el llamado Plano de Chapman – Jouget (C – J). (Hinostroza, 2014)

La presión de detonación puede determinarse mediante los denominados ensayos acuáticos y en ciertas ocasiones mediante sensores de presión, ambos son de difícil implementación. La fórmula es la siguiente (Hinostroza, 2014)

$$Pd = \frac{\rho \times VOD^2}{4} \times 10^{-5}$$

Donde:

Pd: Presión de detonación

$\rho$ : Densidad del explosivo(g/cm<sup>3</sup>)

VOD: Velocidad de detonación (m/s)

**La Presión de explosión:** Se refiere a la presión ejercida contra las paredes del taladro como consecuencia de la acción expansiva de los gases producto de la detonación del explosivo. Al igual que la presión de detonación, su valor depende de la densidad y la VOD del explosivo. Generalmente su valor es la mitad del valor de la presión de detonación. (Hinostroza, 2014)

$$Pg = \frac{Pd}{2} = \frac{\rho \times VOD^2}{8} \times 10^{-5}$$

Dónde:

$Pg$  : Presión de gases (Kbars)

### 2.3.2. Claves para el rendimiento de una voladura

#### a) Distribución de la energía

- La energía debe ser distribuida uniformemente, para lograr un proceso de fragmentación uniforme. (Hinostroza, 2014)
- Tener presente la relación adecuada entre el diámetro del taladro y la altura de banco (Hinostroza, 2014)
- Tener presente la relación adecuada entre el burden y el espaciamiento. (Hinostroza, 2014)
- Hacer una implementación cuidadosa del diseño de voladura. (Hinostroza, 2014)

- Perforar en ángulo si se requiere, para una mejor distribución de carga y salida de la primera fila. (Hinostroza, 2014)

#### **b) Confinamiento de la energía**

- La energía explosiva debe ser confinada el tiempo suficiente después de la detonación para establecer fragmentación adecuada y desplazar el material. (Hinostroza, 2014)
- El paso de menor resistencia del explosivo debe ser controlado. (Hinostroza, 2014)
- Los taladros deben ser cargados de acuerdo con la representación geológica del macizo rocoso. (Hinostroza, 2014)
- Usar longitud y material de taco adecuado. (Hinostroza, 2014)
- Hacer una configuración de tiempos de acuerdo con las condiciones de campo, y parámetros de burden y espaciamiento. (Hinostroza, 2014)
- Emplear retardos exactos. (Hinostroza, 2014)

#### **c) Nivel de energía explosiva**

- El nivel de energía debe ser suficiente para sobreponerse a la fuerza estructural de la masa rocosa, y a la vez producir desplazamiento controlado (Hinostroza, 2014).
- Determinar el nivel de energía en el grado de fragmentación y desplazamiento requerido (Hinostroza, 2014).
- Tener presente la sensibilidad del sitio a disparar (Hinostroza, 2014).

- Evaluar los explosivos de alta energía para condiciones especiales de terreno (burden excesivo, toes, pisos, etc.), (Hinostraza, 2014).
- Mantener el control de calidad de los explosivos con pruebas rutinarias (Hinostraza, 2014).
- Las tres claves para el rendimiento óptimo en voladuras, se resume en la siguiente figura:

**Figura 9**

*Triangulo de rendimiento de voladuras*



**Nota.** – Claves para el rendimiento en voladura. (Hinostraza, 2014)

### 2.3.3. Variables controlables en una voladura

**Parámetros del explosivo.**

Propiedades Físico – químicas como densidad, velocidad de detonación, transmisión o simpatía, resistencia al agua, energía del explosivo en cal/gr, sensibilidad a la iniciación, volumen normal de gases, presión de taladro, categoría de humos, etc. (Hinostroza, 2014)

- Las condiciones de carga
- El diámetro de carga.
- La geometría de la carga.
- El grado de acoplamiento.
- El grado de confinamiento.
- La densidad de carga.
- La distribución de carga en taladro.
- El tipo y ubicación del cebo.
- La distribución de energía, en calorías /Tn, de roca.
- Los intervalos de iniciación de cargas (timing).
- Las variables de perforación: profundidad del taladro, malla de perforación, diámetro de taladro e inclinación del taladro.

#### **2.3.4. Variables no controlables en una voladura**

##### **Propiedades Físicas**

Dureza, tenacidad, densidad, textura, porosidad, variabilidad, y grado de saturación. (Hinostroza, 2014)

##### **Propiedades Elásticas o de Resistencia dinámica de las rocas**

Frecuencia sísmica o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido, resistencia mecánica, fricción interna, módulo de Young, radio de Poisson e impedancia. (Hinostroza, 2014)

### **Condiciones Geológicas**

Estructura, grado de fisuramiento, presencia de agua, etc. (Hinostroza, 2014)

#### **2.3.5. Diseño y ajuste de los parámetros de perforación**

##### **a) Burden**

Es la distancia desde el agujero hasta la superficie libre más cercana orientada perpendicularmente a las líneas del agujero. Se deben considerar los siguientes factores: altura de la plataforma, dureza de la roca, estructura de la roca, explosivo utilizado, desplazamiento deseado y fragmentación requerida. Es determinado a partir de diferentes modelos matemáticos, en los cuales se consideran variables de diseño y variables del macizo rocoso (Hinostroza, 2014).

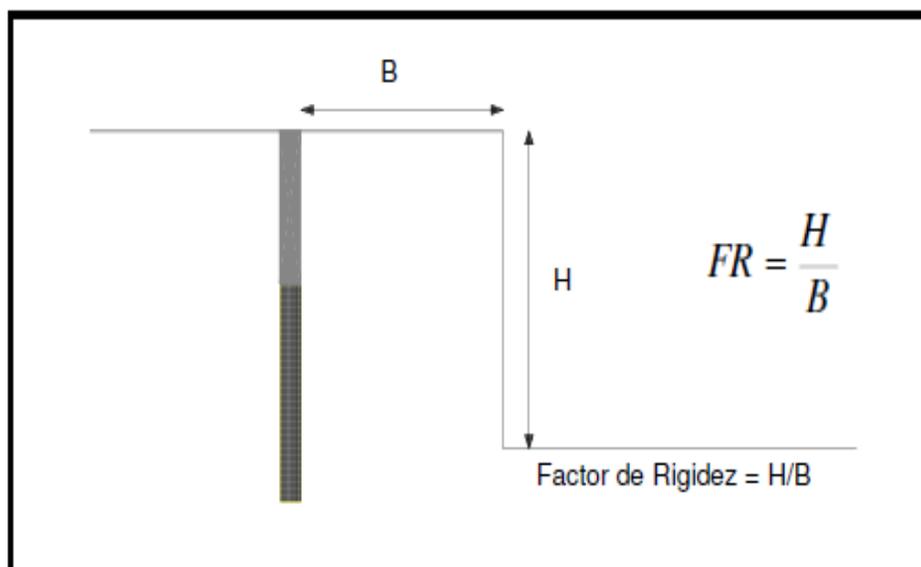
##### **b) Factor de rigidez del Burden**

Viene a ser la altura del banco dividido entre el burden. Si el Factor de rigidez es menor de 2, la masa rocosa será muy rígida, más difícil de fracturar y por lo tanto va a ser necesario incrementar la sobre-perforación; factores de rigidez bajos requieren factores de energía poco más altos para producir fragmentación uniforme. El factor de

rigidez puede ser mejorado usando diámetros de carga más pequeños, o bancos más altos.

**Figura 10**

*Factor de rigidez*



**Nota.** - Fórmula para calcular el factor de rigidez. (Hinostroza, 2014)

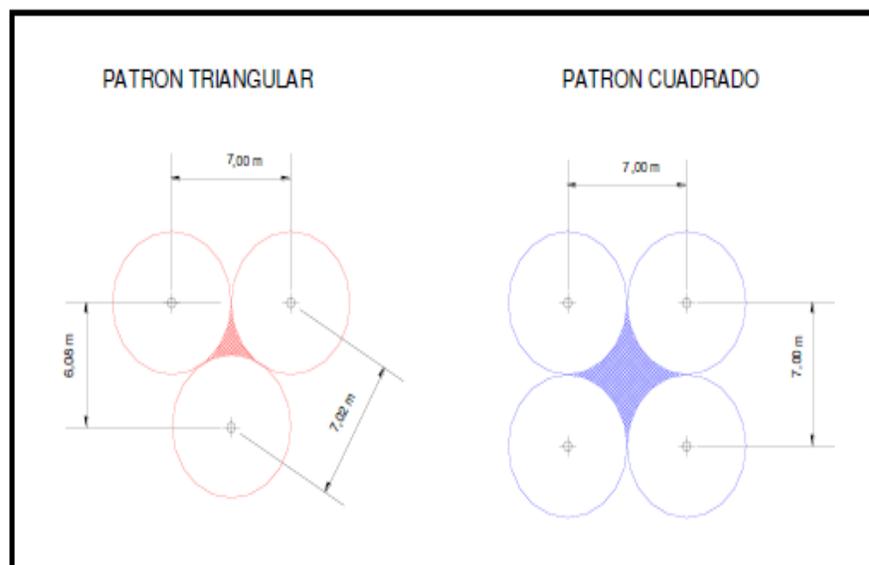
### c) Espaciamiento

Se define como la distancia entre taladros de una misma fila perpendiculares al burden. Se calcula en relación con la longitud de la carga. La distribución de la energía explosiva es óptima si la distancia es 1,15 veces la carga y el patrón es triangular, hay que tener en cuenta que si las juntas principales son paralelas a la superficie libre se pueden permitir distancias mayores. Vea el siguiente diagrama, donde el patrón triangular tiene un área

proporcionada más pequeña que el patrón cuadrado, por lo que la energía de la explosión se distribuye mejor en la jaula.

**Figura 11**

*Patrones de burden y espaciamento.*



**Nota.** - Patrón triangular y cuadrado de burden y espaciamento.

(Hinostroza, 2014).

#### **d) Sobre perforación**

Esta es la distancia a la que se encuentra el taladro por debajo del suelo. Si existen suelos en mal estado, es necesario reducir la carga. Si descubrimos estructuras inclinadas dentro del macizo rocoso, tendremos problemas de explosión y es posible que necesitemos aumentar la sobre perforación, y las estructuras inclinadas en el pozo pueden causar un retroceso excesivo y requerir alineación, otro factor importante es que si el factor de

rigidez es inferior a 2, se requiere más perforación. Este parámetro debería ser minimizado para reducir el daño bajo el nivel del piso y controlar costos. (Hinostroza, 2014)

#### e) **Altura de banco y profundidad de taladros**

Generalmente la altura de banco está relacionada con el diseño del equipo de excavación, transporte, del diámetro de perforación, de la resistencia de la roca, de la estructura geológica y estabilidad del talud, de la mineralización y aspectos de seguridad y por último del diseño del pit final, podemos estimar la altura óptima de un banco con la siguiente relación empírica. (Hinostroza, 2014):

$$H = 10 + 0.57(C - 6)$$

Donde:

C: Capacidad del lampón de la excavadora.

La profundidad de perforación es la suma de la altura del banco con la sobreperforación necesaria por debajo del nivel del piso para garantizar una buena rotura y evitar que queden toes y no tener que efectuar voladuras secundarias. (Hinostroza, 2014)

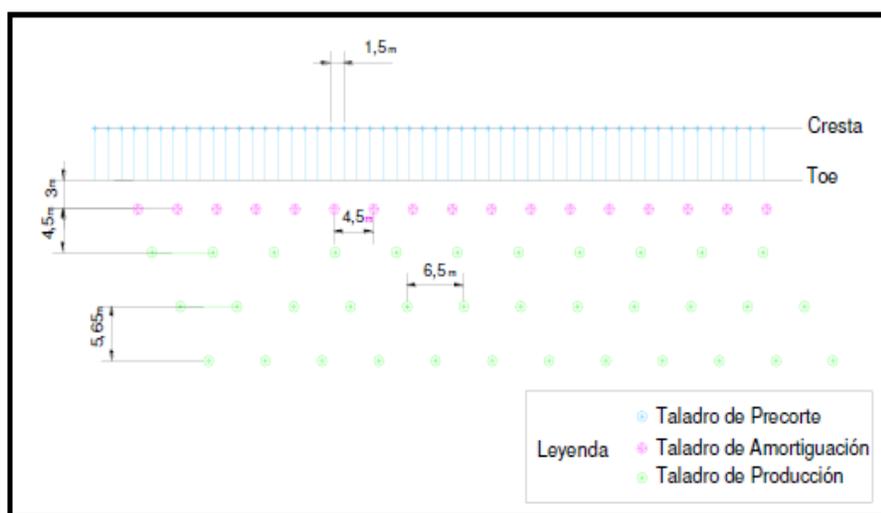
#### f) **Malla de perforación y voladura**

Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente la relación burden - espaciamiento, y su directa vinculación con la profundidad de los taladros. Las mallas pueden ser: cuadradas, rectangulares y triangulares. En la mina,

empleamos patrones triangulares de diferentes dimensiones, de acuerdo con el tipo de macizo rocoso. (Hinostroza, 2014)

**Figura 12**

*Configuración de malla de perforación*



*Nota.* – Leyenda de configuración de la malla de perforación.

(Hinostroza, 2014)

### 2.3.6. Parámetros de voladura

#### a) Volumen in situ y disparado

- Metros cúbicos por taladro.

$$\frac{m^3}{tal} = B \times S \times H$$

Donde:

B: Burden (m)

S: Espaciamiento (m)

H: Altura de banco (m)

- Volumen del explosivo

$$VE = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times H$$

Donde:

VE: Volumen de explosivo

D: Diámetro de taladro

H: Altura de carga de explosivo

### b) Cálculos de carga

Para los cálculos de carga explosiva, es importante tener en consideración lo siguiente:

- Densidad de carga: Kilogramos de explosivo por metro lineal de taladro. (Hinostroza, 2014)
- Energía del explosivo: KJ de energía por metro lineal de taladro, es igual que la Potencia Absoluta por Peso. AWS (J / gr). (Hinostroza, 2014)
- Energía de carga: KJ de energía por metro lineal de taladro, es igual a la energía del explosivo por la densidad de carga. (Hinostroza, 2014)

### c) Factor de energía

Es igual a la energía de carga por la longitud de columna del explosivo, dividido por el tonelaje de material por taladro. Es el mejor método para estimar el rendimiento relativo de diferentes explosivos en distintos

tipos de rocas. Estos factores de energía pueden oscilar entre 500 a 1250 KJ/T (120 - 300 Kcal/T). (Hinostroza, 2014)

**d) Factor de carga**

Este dato nos sirve para controlar costos y rendimientos relativos de un tipo de explosivo, si las demás variables se mantienen igual; más no nos sirve para comparar diferentes tipos de explosivos o predecir resultados en distintos tipos de rocas. (Hinostroza, 2014)

**e) Densidad de carguío**

Es la medida de llenado de un taladro. En el caso de un llenado perfecto sin dejar el menor espacio desacoplado, tendremos por definición una densidad de carguío igual a 1. (Hinostroza, 2014)

**f) Grado de desacoplamiento**

Es el diámetro de carga en relación con el diámetro de perforación. La conexión física entre la carga explosiva y la roca permite que la onda de choque se transfiera entre ambos, lo que tiene un carácter muy importante en la fractura. El efecto aplastante depende en gran medida del contacto directo del explosivo con la roca. El acoplamiento tiene enorme efecto sobre el grado de confinamiento y sobre el trabajo del explosivo, ya que la presión del taladro decrecerá con el aumento del desacoplamiento. (Hinostroza, 2014)

**g) Taco**

Es el material inerte que va encima de la carga explosiva con la finalidad de confinar la energía; cuando el taco es menor al rango que se menciona

tendremos roca proyectado (fly rock) y escape prematuro de gases, que viene a ser la energía que tiene un costo y que no es aprovechada; taladros con agua requieren más taco que los taladros secos. Para el taco se recomienda emplear roca angular triturada (10% del diámetro del taladro), este material confina la energía del explosivo mejor que los detritos provenientes de la perforación. (Hinostroza, 2014)

#### **h) Técnicas de cebado**

Todos los Proyectos de Voladura Primaria en la mina Toquepala, son iniciados mediante cebos o primas. Los cebos inducen una velocidad de detonación superior a la máxima estable que el explosivo diseñado. (Hinostroza, 2014)

**Cebo en el fondo del taladro:** Es importante ubicar el cebo en el lugar de mayor confinamiento del taladro, es decir en el fondo, o también por encima de la longitud de la sobre perforación con el fin de disminuir las vibraciones del terreno y las posibilidades de un piso irregular. En si no existen reglas claras y concisas respecto de la mejor ubicación del cebo, en líneas generales es conveniente ubicar donde la roca presente las condiciones más difíciles de fragmentación, que comúnmente es en el fondo del taladro y en las longitudes intermedias de los taladros de las crestas de los bancos. (Hinostroza, 2014)

**Cebado Múltiple:** En la mina, hemos realizado disparos con doble iniciación colocando a 1.0 m del fondo del taladro y otra en la parte

superior debajo de 1.0 de la carga explosiva, para lograr obtener una mejor fragmentación en el proyecto de voladura. (Hinostroza, 2014)

#### **i) Cargas explosivas**

La longitud de carga es la parte activa del taladro, es donde se produce la reacción explosiva y la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro. Es importante la distribución del explosivo a lo largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca. (Hinostroza, 2014)

**Carga de fondo (CF):** Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del taladro para romper la parte más confinada y garantizar la rasante del piso. Los productos normalmente son Anfos pesados, en razón a que la energía por unidad de longitud en el fondo del taladro debe ser al menos dos veces mayor que la requerida para romper la roca en la parte superior. (Hinostroza, 2014)

**Carga de columna (CC):** Se ubica sobre la carga de fondo y puede ser de menor densidad, potencia o concentración ya que el confinamiento de la roca en el sector del taladro es menor, empleándose normalmente ANFO convencional. (Hinostroza, 2014)

**Cargas segmentadas o deck charges:** Se emplea con el fin de disminuir la energía, pero manteniéndola distribuida en toda su longitud, se emplean cargas espaciadas con tacos inertes intermedios y con un iniciador en cada uno para garantizar su salida. (Hinostroza, 2014)

**j) Cara libre**

Superficie de contacto con el medio ambiente tomando como referencia un cubo, es indispensable para la formación y retorno de las ondas de tensión relajadas que provocan la fragmentación. La cara libre es importante para el desplazamiento y acomodo del material en una voladura, asimismo, contrarresta y reduce de manera activa los golpes en el contorno de la voladura, lo cual se traduce en disminuir la vibración. (Hinostroza, 2014)

**k) Distribución de la energía explosiva en el taladro**

Para obtener una fragmentación aceptable en una voladura, se requiere entre otros parámetros de diseño realizar una adecuada distribución de la carga en la columna del taladro, este parámetro determina que un mayor porcentaje de distribución de energía, se obtiene mayor fragmentación. (Hinostroza, 2014)

**l) Factores relativos de confinamiento**

Permite lograr un mejor acoplamiento, con la pared interior del taladro y contrarrestar la presencia de vacíos, cavidades, desacoplamiento disminuido y otros. Cuando existe fly rock, implica que el atacado y el confinamiento del explosivo no ha sido el adecuado, por lo tanto, toda esa energía económica que escapa implica un costo que se pierde. El confinamiento de un explosivo dentro de un taladro, podemos medirlo a través de la siguiente expresión (Hinostroza, 2014):

$$RC = \frac{210000T + 600DC}{EC \times DC}$$

Donde:

RC: Confinamiento relativo

T: Taco (m).

DC: Diámetro de carga (mm).

EC: Energía de carga (J/cm<sup>3</sup>)

#### **m) Proyección de rocas (Fly rock)**

Es la roca volante arrojada al aire con violencia como resultado de una detonación. La inesperada, incontrolada proyección de fragmentos a distancias más allá de las estimadas como límite normal de desplazamiento de los detritos de una voladura, representa el más serio problema de seguridad en razón a que el impulso de lanzamiento aumenta con el mayor diámetro del taladro empleado, y peor aún si la carga no tiene el confinamiento y taco adecuado. (Hinostraza, 2014)

#### **n) Control de vibraciones**

Cuando detonamos una carga explosiva, se genera gran cantidad de energía. Si la voladura está bien diseñada se usará la mayoría de esta carga explosiva para fragmenta y desplazar la roca, pero si la voladura está mal diseñada, se desperdicia esta energía transformándose en vibración. También se produce vibración por condiciones geológicas como fracturas internas y otras condiciones. La vibración es un

movimiento de onda que se propaga a medida que se va alejándose del taladro, donde las partículas de tierra oscilan como respuesta a la llegada de la onda; esta oscilación se conoce como movimiento de la partícula que se clasifica en 2 categorías. (Hinostroza, 2014):

- Ondas de cuerpo que viajan dentro de la masa rocosa.
- Ondas superficiales que viajan sobre la superficie.

Dentro de los componentes de la vibración, tenemos:

**Desplazamiento (D):** Es la distancia que las partículas oscilan ida y vuelta, medido en fracciones de milímetro. (Hinostroza, 2014)

**Velocidad (PPV):** Denominada también Velocidad Pico Partícula, se mide en mm/s ó pulg/seg.

$$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1.5}$$

Donde:

K: constante relacionada a las propiedades de la roca

D: distancia de la voladura al punto de interés (m).

Q: Peso máximo de carga por periodo de retardo

**Frecuencia (F):** Es el número de oscilaciones que una partícula hace cuando es expuesta a una onda de vibración, se mide en ciclos/s o Hertz (Hz). La forma de controlar las vibraciones es mediante el uso de sismógrafos que nos permite analizar los datos del evento de vibración

y generar una impresión de la onda de vibración, PPV, y golpe de aire después de la voladura. (Hinostrroza, 2014)

**Tabla 2**

*Frecuencia de faños potenciales*

PPV		Daños Potenciales
mm/s	Pulg/s	
13	0.51	Daños superficiales (3 - 15 Hz)
19	0.75	Daños menores a estructuras compuestas (3 - 15 Hz)
70	2.75	Daños medios estructurales
140	5.50	Hasta 50% de daños estructurales
190	7.50	Más de 50% de daños estructurales

**Nota.** - Resultados del sismógrafo en frecuencias. (Hinostrroza, 2014)

### 2.3.7. **Optima fragmentación y su impacto en las operaciones mina molienda**

La fragmentación de roca por voladura tiene un significativo impacto en la rentabilidad de la mina, un desarrollo óptimo de la mina es denominada ROM (Run Of Mine), para ello se requiere una adecuada distribución de tamaño para maximizar el desempeño de los procesos posteriores. Si la distribución de tamaño de roca fragmentado es modelada y controlada, la operación habrá hecho un avance significativo hacia la mejora de su desempeño. El modelamiento de la fragmentación de roca por voladura es un importante paso en la optimización de las operaciones mina a molienda (Mine to Mill), (Leiva, 2007)

Distintos procesos de tratamiento de especies mineralógicas requieren de diferentes grados de fragmentación del mineral, para de esa forma extraer el material de valor de la manera más eficiente, es así que la perforación y la voladura es la primera operación del ciclo minero y sus resultados condicionan en gran medida los rendimientos y los costes de las operaciones subsiguientes, por ello es un proceso clave dentro de la cadena. La perforación y voladura es un importante paso en el proceso global y los resultados como la fragmentación, la forma de la pila, esponjamiento, dilución, daño y ablandado de la roca afecta la eficiencia de los procesos posteriores. (Leiva, 2007)

Tradicionalmente, el proceso total en la industria minera es clasificado dentro de dos grupos como mina y molienda. Estos son gestionados con centro de costos separados dada una “supuesta” independencia, es así que cada proceso tiene un presupuesto y producción asignada y su gestión se enfatiza en lograr la maximización de la producción (toneladas) a un mínimo costo. Así la eficiencia de cada subproceso es considerada satisfactoria con tal de que ellos estén dentro del presupuesto y se encuentre dentro de los objetivos de producción. La gestión de la mina y molienda usualmente apuntan a optimizar cada proceso independientemente en lugar de una gestión integral. (Leiva, 2007)

Es una trampa potencial de disminuir los costos de perforación y voladura por tonelada de roca rota sin considerar su impacto en los procesos subsiguientes. Del resultado de la voladura son frecuentemente evaluados

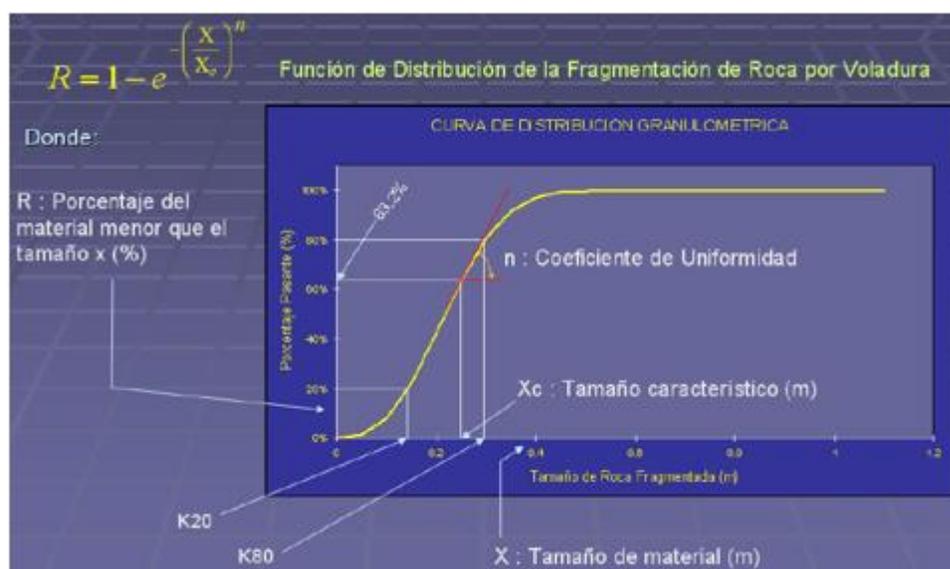
y optimizados basados solo en la necesidad de las subsecuentes operaciones mineras como son la carga, transporte mientras se mantenga la estabilidad del talud y estándares de seguridad. (Leiva, 2007)

### 2.3.8. Teoría del modelo de kuz ram de distribución de tamaño de roca fragmentada por voladura

Cada proceso de fragmentación sea por voladura, chancado o molienda produce una poli dispersión del material, conteniendo en su composición material de tamaño grueso, medio y una cierta cantidad de material fino, esta combinación puede ser caracterizado por una curva de distribución de tamaños de las partículas como se muestra en la siguiente figura. (Leiva, 2007)

**Figura 13**

*Función de distribución de la fragmentación de roca por voladura*



**Nota.-** Distribucion de la fragmentacion de roca por voladura. (Leiva, 2007)

Hay dos parámetros que definen la curva de distribución de fragmentación; el tamaño característico (XC) que fija un tamaño específico en la curva de distribución, representa por convención el tamaño a través del cual el 63.2% de las partículas pasan, y el índice de uniformidad (n) que determina la forma de la curva de distribución dado este tamaño característico. (Leiva, 2007)

Las características de una curva de distribución de tamaño de fragmentación dependen del tipo de proceso de fragmentación y la característica de rotura natural de la masa rocosa (NBC, Natural Breakage Characteristic). (Leiva, 2007)

Debido a la complejidad del mecanismo envuelto en la fragmentación de roca por voladura, muchos de los modelos de fragmentación que relaciona la roca y la técnica de voladura para la fragmentación tienen fuertes raíces empíricas. (Leiva, 2007)

Un buen ejemplo de esto es el modelo Kuz Ram, comúnmente utilizado, que se basa en ecuaciones empíricas que predicen el tamaño promedio de los fragmentos para el factor de potencia, el factor de roca y los parámetros explosivos (gravedad relativa). Con el tamaño característico de los fragmentos  $X_c$  y el índice de uniformidad  $n$ , derivado de otra ecuación empírica, puede ser graficada la curva de fragmentación. (Leiva, 2007)

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. El Problema

Para las actividades unitarias de la perforación y voladura de rocas, el diseño de la malla es lo primordial ya que ello depende de lograr una buena fragmentación de la roca, y que está a su vez está en función de parámetros tales como la calidad de la roca, la cantidad de explosivos, el tipo de corte. El diseño de las mallas cambia según la calidad del macizo rocoso y también según las dimensiones del banco, la necesidad de minimizar los costos unitarios optimizando el diseño de la malla de perforación y una adecuada distribución de carga explosiva para la voladura en la mina la Arena nos garantizara los resultados correctos, para ello es necesario realizar el seguimiento en campo para detectar y corregir errores en la perforación, como no tener un buen control del paralelismo entre los taladros, mala distribución de estos, deficiencias en los taladros arranque, espaciamiento variado, ineficiente distribución de la carga explosiva, deficiencia de la supervisión además de otros factores que afectan a obtener un resultado óptimo en la voladura. Los errores identificados afectan en el alcance del avance óptimo, además de generar sobre excavación que daña la estabilidad de los bancos es por ello todo lo identificado influye en los resultados sobre el costo unitario de perforación y voladura. (Guillen, 2020)

#### 3.2. Descripción de la realidad problemática

La perforación y voladura es una operación esencial en la mina la Arena y la optimización de estas actividades permitirá reducir costos operacionales, mejorar la fragmentación y controlar la estabilidad de los taludes en cada banco de explotación.

En la mina la arena obtuvieron en los resultados de voladura deficientes el cual encarecía la voladura, también se evidencia una mala fragmentación, que dificulta el carguío y transporte es motivo que se necesita del diseño de la malla de perforación para tener ya definidos mallas estándares que estarán en función al tipo de roca y una adecuada distribución de la columna de la carga explosiva en los taladros según a los cálculos teóricos con este diseño se busca obtener las dimensiones del burden y del espaciamiento optimo y de esta manera garantizar un buen procedimiento en el minado superficial de la mina.

### **3.3. Planteamiento y Formulación del Problema**

#### **3.3.1. Formulación del problema General**

¿Cómo realizar el diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021?

#### **3.3.2. Formulación de problemas específicos**

1. ¿Cómo calcular el nuevo diseño de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021?
2. ¿Cómo determinar el factor de potencia y su influencia en la fragmentación de la roca?
3. ¿Cómo determinar el porcentaje pasantes, a través del análisis granulométrico; después de aplicar el nuevo diseño de malla de perforación y voladura en la mina La Arena?
4. ¿Cuáles son los resultados que se obtienen en la fragmentación y cuál es el incremento del porcentaje de finos?

### **3.4. Objetivos de la investigación**

#### **3.4.1. Objetivo General**

Realizar el diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021

#### **3.4.2. Objetivos Específicos**

1. Calcular el nuevo diseño de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021
2. Determinar el factor de potencia y su influencia en la fragmentación de la roca.
3. Determinar el porcentaje pasante, a través del análisis granulométrico; posterior al uso del nuevo diseño de malla de perforación y voladura en la mina La Arena.
4. Obtener resultados de fragmentación y cuál es el incremento del porcentaje de finos.

### **3.5. Justificación e importancia**

El diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021, se desarrolló con el método de Perspectiva Practica, Metodológica y Teórica (PMT) y después del análisis de los resultados puedo sostener, que el estudio beneficiara a los Directivos de la mina La Arena, a los trabajadores y sus colaboradores, porque con la mejora de la fragmentación de la roca después de la voladura se incrementaron el % de los finos, lo que contribuye a la reducción de costos operacionales; la nueva metodología y el mecanismo que se aplica en la unidad minera serán útiles a otras empresas de características

similares; así mismo la relación del nivel y la profundidad de la investigación contiene conocimientos teóricos y prácticos, con datos recopilados del campo y del área de perforación y voladura de rocas.

### **3.6. Alcances.**

El presente estudio, específicamente fue de enfoque cuantitativo y nivel descriptivo, se desarrolló en el área del diseño de malla de perforación y voladura, cuya profundidad se ilustra con datos tomados directamente del campo, caracterizando el tipo de roca y también se llevaron a cabo los diversos cálculos a través de fórmulas matemáticas.

### **3.7. Delimitación**

La investigación fue realizada en el caserío La Arena, distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, la delimitación social fue en la mina La Arena, los trabajadores y colaboradores, el periodo de la investigación fue durante el año 2021 y finalmente la delimitación conceptual consistió en el diseño de la malla de perforación y voladura de rocas.

#### **3.7.1. Hipótesis**

##### **3.7.1.1. Hipótesis General**

El diseño de la malla de perforación y voladura mejora la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021.

### 3.7.1.2. Hipótesis Nula

El diseño de la malla de perforación y voladura **NO** mejora la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021.

### 3.8. Variables

- **Variable Independiente (x)**

Malla de perforación y voladura.

- **Variable dependiente (y)**

Fragmentación de roca.

### 3.9. Operacionalización de variables

**Tabla 3**

*Operacionalización de variables.*

Nombre de la Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
<b>V.I.</b> <b>Malla de perforación y voladura.</b>	Es el proceso matemático y/o empírico para diseñar la distribución de los taladros en la malla de perforación.	Diseño de la nueva distribución de los taladros que ayudaran a mejorar la fragmentación de roca y aumento del % de finos.	Burden	Numérico
			Espaciamiento	Numérico
			Diámetro del taladro	Numérico
			Profundidad del taladro	Numérico
<b>V.D.</b>	La mejora es el proceso de una cosa que	Reducir el tamaño de los	Tamaño del fragmento de roca	Numérico

<b>Fragmentación de roca</b>	pasa de un estado a otro considerado mejor	fragmentos y post voladura	Cantidad de finos	Numérico
------------------------------	--	----------------------------	-------------------	----------

La operacionalización de las variables se adecua al proceso de cálculo y elaboración del diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca.

### **3.10. Diseño de la investigación**

#### **3.10.1. Tipo de investigación**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo porque las variables se pueden medir.

Es un estudio de investigación aplicado, ya que permite plantear una o más alternativas de solución de acuerdo con la problemática que acontece en la mina La Arena – 2021.

#### **3.10.2. Nivel de la investigación**

Es de tipo descriptivo, porque analiza e interpreta los resultados obtenidos del diseño de la malla de perforación y voladura.

Es de corte transversal ya que se realizó en un determinado periodo de tiempo.

### **3.11. Población y muestra**

#### **➤ Población**

Estuvo integrado por el conjunto de mallas de perforación y voladura que fueron disparados bajo el patrón estándar, pertenecientes a la Fase 8, en la mina La Arena – 2021.

➤ **Muestra**

Fue conformado por el conjunto de mallas de perforación y voladura que fueron disparadas bajo el patrón estándar, pertenecientes a la Fase 8, nivel 3208, en la mina La Arena – 2021.

### 3.12. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

1. Las técnicas usadas fueron:

- **Observación directa:** observación directa y diaria en los frentes de minado o pilas de material volado, a fin de constatar y registrar los resultados de la voladura en términos de fragmentación.
- **Entrevista no estructurada:** entrevista informal no programada, para recopilar información de los resultados de fragmentación, direccionada al personal encargado del carguío y posterior transporte de material fragmentado (operadores de pala).

2. Los instrumentos usados fueron:

- Bitácora de campo
- Observación
- Registros

### 3.13. Tratamiento de datos

El procesamiento y/o análisis de los datos recopilados en campo fueron realizadas mediante herramientas informáticas (plataforma Motion Metrics), Microsoft Word, Microsoft Excel, Power Point y que posteriormente se realizó el análisis descriptivo, fue realizado mediante la clasificación y sistematización de información en gráficos y cuadros.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

El diseño de malla de perforación y voladura es muy importante, porque después de la voladura se garantizó la estabilidad de taludes, una buena fragmentación que permitió reducir los costos operativos, facilitando también de esta manera que las operaciones mineras de transporte y acarreo sean óptimas.

#### 4.2. Explotación del tajo Calaorco

Las operaciones unitarias de explotación comprenden: perforación, voladura, carguío y acarreo, además los trabajos auxiliares o de soporte lo cual permite llevar un ritmo de producción diario de 136 mil toneladas entre mineral y desmonte. (Fabián, 2017)

**Tabla 4**

*Parámetros geotécnicos del Tajo Calaorco*

Parámetros	Valor
Taludes de la cresta al pie	43.5° - 37°
Taludes de banco Este	65°
Taludes de banco Oeste	70°
Ancho de la berma	6m
Ancho de la rampa	25m
Gradiente de la rampa	10%
Talud general de diseño	45°

**Nota.** – Parámetros y valores geotécnicos. (Fabián, 2017)

#### 4.2.1. Equipos\_mineros

Para las operaciones de mina, se cuenta con equipos adecuados y compatibles con las dimensiones de la operación, que permiten alcanzar los objetivos de producción. (Fabián, 2017)

**Tabla 5**

*Equipos para las operaciones mineras.*

Equipo	Capacidad	Actividad
01 camión mezclador	20 m <sup>3</sup>	Voladura
03 perforadoras D245S Sandvik	Unid.	Perforación
03 Palas RH 90C Bucyrus	10 m <sup>3</sup>	Carguío
01 cargador Frontal WA900 Komatsu	13 m <sup>3</sup>	Carguío
25 camiones 777F CAT	96 tn	Acarreo
07 camiones HD785 Komatsu	96 tn	Acarreo
01 excavadora 374 DL CAT	4.5 m <sup>3</sup>	Carguío
02 tractores de Ruedas 834 CAT	Unid.	Servicios Auxiliares
03 tractores de Orugas D8T CAT	Unid.	Servicios Auxiliares
01 tractor de Orugas D65 CAT	Unid.	Servicios Auxiliares
04 cargadores Frontales	Unid.	Servicios Auxiliares
02 motoniveladoras 16M/14M CAT	Unid.	Servicios Auxiliares
01 cisterna de agua 773D CAT	13500 gal	Servicios Auxiliares
01 cisterna de agua FMX	4500 gal	Servicios Auxiliares

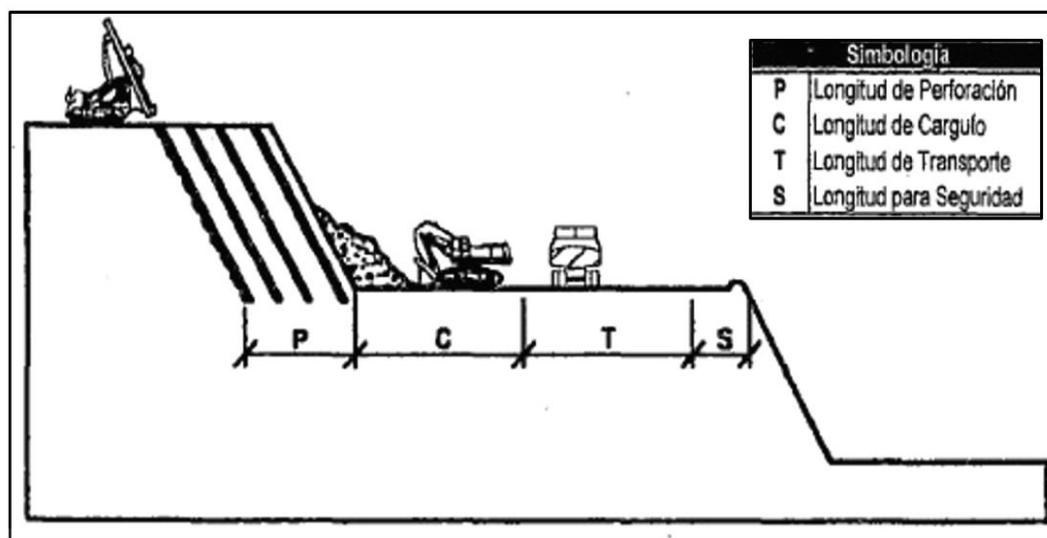
**Nota.** - Diversos equipos para las operaciones mineras. (Fabián, 2017)

#### 4.2.2. Diseño Operativo -Tajo Abierto

El diseño operativo del Tajo Abierto se define en base al modelo de bloques geológico Optimizado, esto implica el desarrollo previo de las siguientes etapas: Modelamiento de cuerpos mineralizados en base a secciones geológicas. (Fabián, 2017)

**Figura 14**

*Diseño de Bancos y rampas*



**Nota.** - *Planeamiento mina La Arena. (Fabián, 2017)*

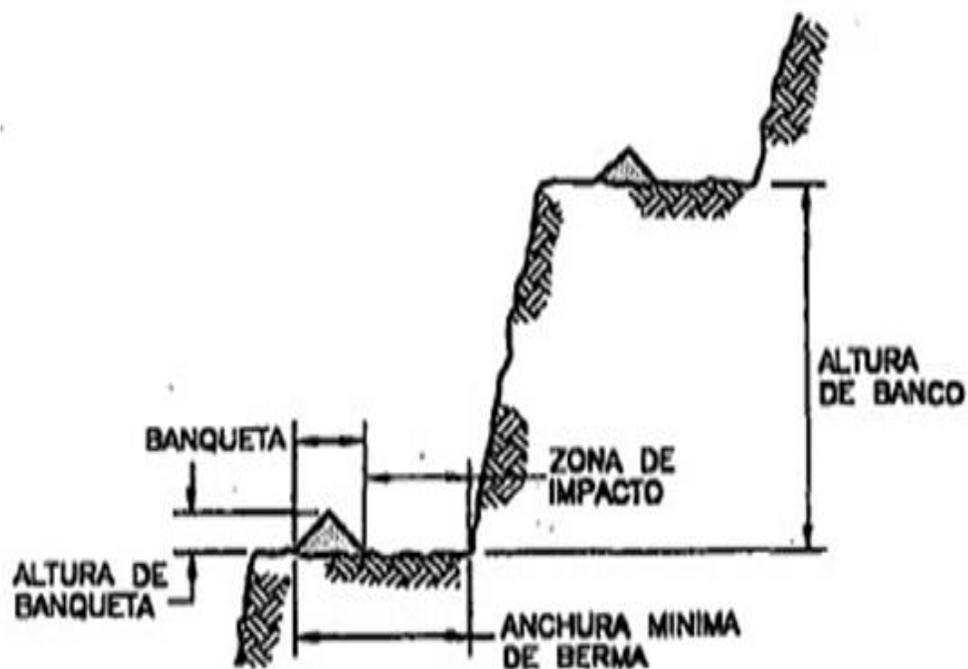
#### 4.2.3. Diseño de Bermas

Los bancos se utilizan como zonas de protección, para detener y almacenar materiales que puedan caer desde la superficie de los bancos superiores, y también como niveles de acceso, incluso para el transporte, en la

pendiente de la acequia. La siguiente imagen muestra el diseño de bermas.  
(Fabián, 2017)

### Figura 15

*Diseño de berma de seguridad.*

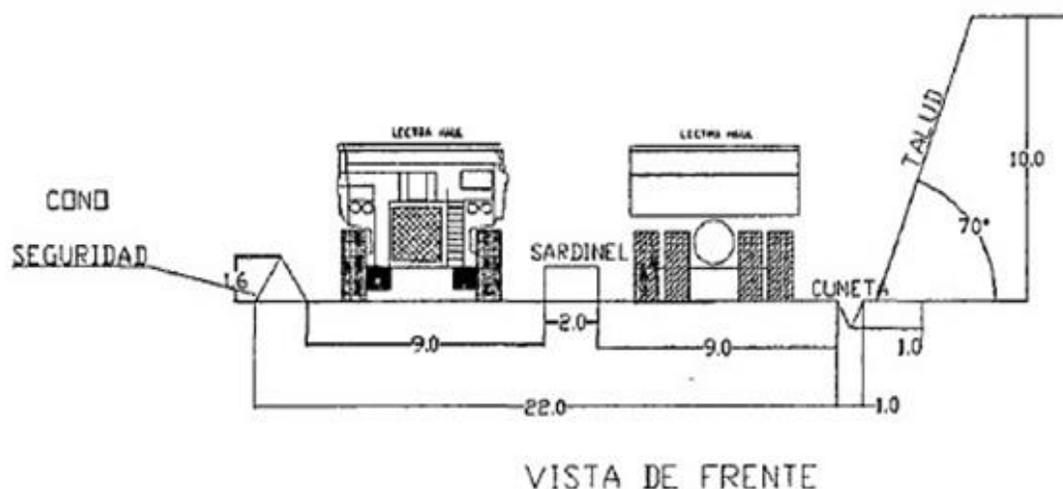


**Nota.** - *Planeamiento mina La Arena. (Fabián, 2017)*

Se diseñó carreteras de alivio en las vías de circulación vehicular en superficie con pendientes mayores del cinco por ciento (5%) (Rampas, accesos o zigzag), diagonales a las vías existentes y ubicadas en lugares prestablecidos. Estas carreteras de alivio deben servir para ayudar a la reducción de la velocidad de la maquinaria y controlarla hasta detenerla. (Fabián, 2017)

**Figura 16**

*Diseño de rampas de acarreo.*



**Nota.** – Diseño de rampas de acarreo. (Fabian, 2017)

#### 4.2.4. Operaciones Unitarias

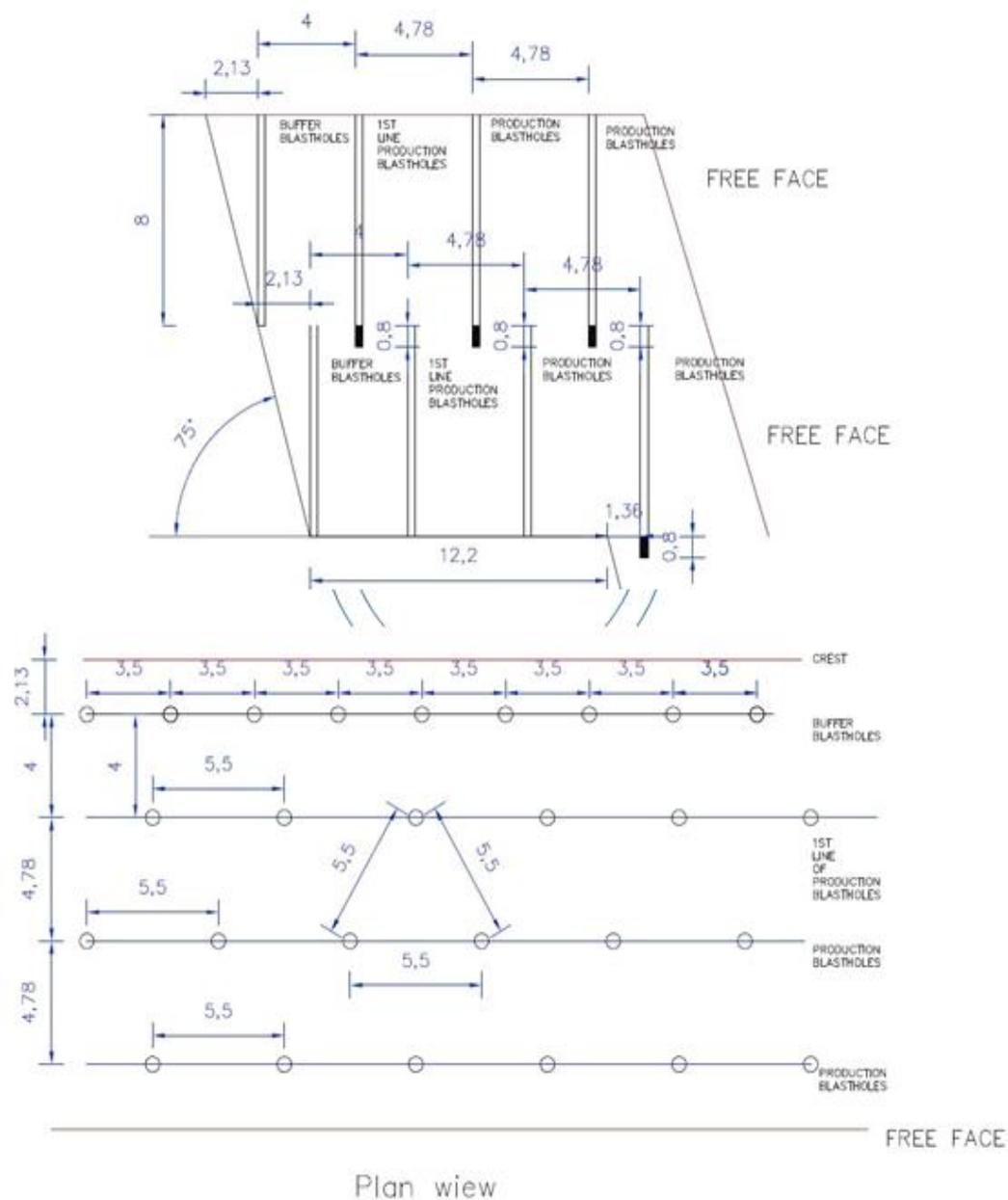
##### 4.2.4.1. Perforación

Es la actividad que da inicio a la operación unitaria del proceso de minado, consiste realizar orificios en el terreno, para luego alojar la carga explosiva al interior. Esta operación se lleva a cabo con perforadoras cuyo sistema de perforación es el DTH. Se perforan en bancos de ocho metros de altura, con 0.8 m de sobre perforación y diámetro de 6 1/8 pulg., en el que se tiene un diseño de las mallas estandarizadas para cada sector del tajo. (Fabián, 2017)

Figura 17

Parámetros de perforación.

Double bench – Bench angle  $75^\circ$  – GRID  $5.5 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$  Ore



**Nota.** – Parámetros establecidos de perforación. (Fabián, 2017)

#### 4.2.4.2. Voladura

Para la voladura de mineral y desmonte, se empleó emulsión gasificada con una densidad promedio de 1.1 gr/cc, el factor de carga promedio de toda la mina fue de 0.545 Kg / m<sup>3</sup> de explosivo y roca fragmentada. El carguío de emulsión se realizó con un camión mezclador de 20 toneladas de capacidad, que consta de dos compartimientos, uno para la emulsión matriz (solución inerte) y otro para la solución sensibilizante, la mezcla de estos dos componentes produce una reacción que genera burbujas de nitrógeno (óxido nítrico), sensibilizando a la emulsión matriz y convirtiéndola en explosivo (emulsión gasificada) al momento de ser bombeada al taladro. El polvorín contiene cinco silos de emulsión matriz de 60 tn de capacidad y dos contenedores, uno para accesorios de voladura y otro para detonadores. (Fabián, 2017)

#### 4.2.4.3. Carguío y Acarreo

La limpieza y traslado del material roto a su destino final (Pad y/o botadero) se realiza con tres palas, un cargador frontal y 25 camiones mineros. Estas operaciones unitarias representan el mayor porcentaje del costo de minado, por lo cual es importante que las operaciones previas brinden las condiciones necesarias para que se alcance la productividad y costos unitarios dentro de lo presupuestado. (Fabián, 2017).

#### 4.2.5. **Diseño de perforación para la mejora de la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021**

La finalidad de diseñar y rediseñar las mallas de perforación y voladura utilizando modelos matemáticos y/o empíricos para mejorar la fragmentación en la mina La Arena, surgió de la observación de un problema vinculado a la deficiente granulometría como resultado del proceso de voladura, teniendo como consecuencias, elevados costos en el transporte y acarreo de material, aumentando significativamente los tiempos en este proceso, resultando una baja productividad.

Siendo Perforación la primera actividad unitaria del ciclo de producción motivo por el cual debemos de ser muy cuidadosos, ya que de los resultados obtenidos inciden directamente en las demás actividades unitarias del proceso productivo minero.

Como se afirma en el segundo informe técnico complementario de la tercera revisión del estudio de impacto ambiental de mina La Arena, la empresa propuso cambiar la frecuencia de voladura diaria de (3-4 eventos por semana) a (7 eventos por semana), con un promedio de 350 taladros por voladura. Actualmente La Arena realiza de tres a cuatro voladuras por semana (14-16 voladuras por mes) en la mina Calaorco para seguir aproximadamente el plan de minería aprobado para cada voladura (R.D. No. 0707-2018-MEM-DGM). /V). 700 taladros (divididos en tres mallas de 230 cada uno aproximadamente). (energiminas.com)

Las voladuras a cielo abierto son muy utilizadas en explotación minera de canteras de caliza para la industria del cemento, algunas minas de materiales de construcción y en minas de otros minerales debemos de tener en cuenta que:

Para el diseño de las mallas de perforación y voladura de rocas debemos de tener en cuenta:

#### **4.2.5.1. Tipo de roca y condiciones geológicas.**

- Propiedades físico - mecánicas de la roca a ser volada
- Volumen de roca a ser volada
- Trabajos de perforación
- Tipo de explosivo y propiedades
- Tipo de explosivo y propiedades
- Sistema de iniciación.

#### **4.2.5.2. Tipo de roca y condiciones geológicas.**

- Estratificación y bandeamiento.
- Esquistosidad Fracturamiento.
- Fallas.
- Contactos.
- Azimut de buzamiento.

#### **4.2.5.3. Efectos de la Geología.**

- La Fragmentación será controlada por las fracturas existentes.

- Los patrones de perforación más pequeños minimizan los efectos adversos de las grietas y fracturas.
- Tener presente que patrones de perforación mejoran o empeoran la distribución de la energía.

#### **4.2.5.4. Volumen de roca para la voladura.**

- Comprende al área superficial delimitada por el largo de frente, el ancho, y multiplicado por la altura del banco, se obtiene el volumen de roca a ser volado.

#### **4.2.5.5. Trabajos de perforación.**

- La perforación es la primera operación en la preparación de la voladura. Para lo cual se deben tomar en cuenta las condiciones de perforación:
  - Diámetro de perforación
  - Longitud de perforación
  - Rectitud (controlar desviación)
  - Estabilidad

#### **4.2.5.6. Cálculo de Burden y espaciamiento.**

La aplicación práctica y directa para el esquema/patrón de perforación aprovechando la geometría en la ubicación de los taladros, usaremos la siguiente relación para calcular el nuevo Burden y espaciamiento propuesto.

$$E=1.15B$$

Dado que queremos mejorar la fragmentación se propone reducir en 0.18 a 0.20 m la malla estándar que se usaba en la fase 8.

1. **Malla estándar:**

- Burden = 4.96 m
- Espaciamiento = 5.7 m.

2. **Malla Propuesta:**

- Burden = 4.78 m
- Espaciamiento = 5.5 m.

En el cuadro siguiente se muestra los resultados tanto de la malla encontrada como de la malla propuesta, dando como resultado una mejor fragmentación.

Tabla 6

## Diseño de la malla, fragmentación y factor de potencia

Equipo	Fase	Cota	Proyecto	Target Mineral	Target desmonte	Clasificación	Cantidad de fotos	Xc (cm)	n	<1"	P10 (pulg)	P20 (cm)	P30 (cm)	P40 (cm)	P50 (cm)	P60 (cm)	P70 (cm)	P80 (cm)	P90 (cm)	Xmax (cm)	KPI digirate	DIG RATE (t/h)	FP EJECTAD O (Kg/t)	FC EJECTAD O (Kg/m <sup>3</sup> )	Altura taladro (m)	Taco (m)	Diámetro taladro	Tipo malla	Burden	Spacing	Subdrill	CANTIDAD DE TALADROS	TIEMPO/TALADROS	TIEMPO/ FILAS	TIPO DE AMARRE	Explosivo	Matriz	Fotografía
PH-05	8	3208	441	13	15	Desmonte	6	4.6	0.74	9.37%	2.64	4.01	5.13	6.12	7.14	8.23	9.58	11.33	14.05	24.23	1,750	1,555	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	182	13, 26	150	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	470	13	15	Desmonte	6	6.3	0.83	11.79%	2.21	3.94	5.51	7.01	8.53	10.19	12.14	14.58	18.14	30.35	1,750	1,650	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	129	15, 30	365	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	482	13	15	Desmonte	6	3.6	0.71	13.10%	2.13	3.30	4.27	5.11	5.92	6.81	7.85	9.22	11.40	20.29	1,750	1,671	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	119	13, 26	cada fila + 26ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	452	13	15	Desmonte	6	7.7	0.91	11.71%	2.21	4.11	5.89	7.65	9.35	11.02	12.83	14.96	17.98	27.74	1,750	1,702	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	92	13.0	150	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	456	13	15	Desmonte	8	6.9	0.79	10.72%	2.39	4.34	6.15	7.87	9.50	11.13	12.93	15.27	18.82	32.94	1,750	1,780	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	56	15, 30	cada fila + 15ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	426	13	15	Desmonte	8	7.8	0.79	9.92%	2.57	4.42	6.05	7.59	9.14	10.80	12.67	14.99	18.08	26.52	1,750	1,778	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	262	15, 30	cada fila + 15ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-05	8	3208	406	13	15	Desmonte	6	7.1	0.83	11.89%	2.24	3.76	5.03	6.30	7.70	9.55	11.86	14.86	19.33	33.45	1,750	1,626	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	175	15,30	cada fila + 15ms	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	401	13	15	Desmonte	6	11.1	1.17	9.22%	2.69	4.62	6.32	7.87	9.37	10.95	12.78	15.09	18.47	36.09	1,750	1,595	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	175	13, 26	cada fila + 26ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	416	13	15	Desmonte	6	9.64	0.82	7.59%	3.10	5.16	6.91	8.48	9.98	11.53	13.31	15.65	19.30	36.88	1,750	1,551	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	175	13.0	150	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	408	13	15	Desmonte	4	6.7	0.90	6.23%	3.38	5.13	6.53	7.80	9.17	10.69	12.52	14.94	18.67	31.60	1,750	1,560	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	146	13.0	150	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	437	13	15	Mineral	4	5.1	0.85	12.02%	2.24	3.61	4.78	5.84	6.88	8.05	9.42	11.23	13.94	24.84	1,750	1,620	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	146	11, 22, 33	143	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	420	13	15	Mineral	4	4	0.65	12.31%	2.21	3.51	4.60	5.54	6.45	7.42	8.56	10.11	12.70	26.01	1,750	1,602	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	144	11, 22, 33	150	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	438	13	15	Mineral	6	4.8	0.74	5.91%	3.43	5.08	6.35	7.47	8.53	9.63	10.90	12.52	14.88	24.08	1,750	1,561	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	146	11, 22, 33	143	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	427	13	15	Mineral	6	7.3	0.84	9.20%	2.67	4.17	5.36	6.43	7.49	8.61	9.96	11.71	14.20	23.11	1,750	1,592	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	163	13,26	150	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	445	13	15	Mineral	8	6.3	0.75	11.64%	2.29	3.63	4.72	5.72	6.65	7.67	8.84	10.41	12.85	25.86	1,750	1,557	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	160	13,26	150	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	436	13	15	Mineral	8	7.5	0.89	9.79%	2.57	4.09	5.33	6.43	7.49	8.64	10.01	11.71	14.40	26.52	1,750	1,703	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	163	17,34,68	Cada fila +68	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	463	13	15	Mineral	8	6.5	1.04	11.61%	2.31	3.61	4.67	5.64	6.60	7.75	9.12	11.15	15.09	31.27	1,750	1,616	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	191	11, 22, 33	143	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	485	13	15	Mineral	8	5.3	0.80	8.90%	2.74	4.37	5.74	6.93	8.08	9.22	10.54	12.12	14.38	22.45	1,750	1,684	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	195	13,26	150	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	422	13	15	Mineral	4	4.6	0.57	11.19%	2.34	3.99	5.49	6.86	8.13	9.42	10.87	12.67	15.39	25.27	1,750	1,650	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	163	11,55	Cada fila +33ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-03	8	3208	430	13	15	Mineral	4	7.3	0.84	12.76%	2.11	3.58	4.90	6.10	7.24	8.48	9.88	11.66	14.40	23.39	1,750	1,789	0.239	0.597	8.80	3.40	6 1/8	Estandar	4.96	5.70	0.80	154	13,26	150	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-05	8	3208	230	13	15	Desmonte	8	7.1	0.83	15.73%	1.24	2.74	4.32	5.92	7.59	9.30	11.20	13.54	17.04	30.51	1,750	1,720	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	160	13, 26	cada fila + 26ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-05	8	3208	231	13	15	Desmonte	6	7.4	0.82	16.20%	0.89	2.18	3.68	5.33	7.01	8.86	11.05	13.74	17.37	31.42	1,750	1,685	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	167	13.0	150	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	232	13	15	Desmonte	7	7.8	0.92	12.52%	2.08	3.78	5.36	6.86	8.28	9.75	11.40	13.44	16.33	24.97	1,750	1,772	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	219	15, 30	cada fila + 15ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-05	8	3208	233	13	15	Desmonte	6	6.3	0.70	14.90%	3.35	4.95	6.22	7.29	8.41	9.60	10.97	12.75	15.82	27.31	1,750	1,745	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	123	15, 30	cada fila + 15ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	234	13	15	Desmonte	8	6.7	0.85	16.50%	1.47	3.00	4.57	6.12	7.65	9.30	11.23	13.82	17.75	32.21	1,750	1,778	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	167	13, 26	cada fila + 26ms	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-05	8	3208	251	13	15	Mineral	9	8.3	0.94	42.10%	1.70	2.64	3.40	4.11	4.90	5.84	7.11	8.90	12.50	22.70	1,750	1,795	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	125	15,30	cada fila + 15ms	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	252	13	15	Mineral	8	4.9	0.82	39.70%	2.21	3.35	4.27	5.08	5.92	6.91	8.08	9.68	12.60	21.80	1,750	1,765	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	120	11; 22; 33	150	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	253	13	15	Mineral	9	5.3	0.80	43.15%	2.16	3.28	4.17	4.95	5.79	6.73	7.87	9.40	11.73	22.32	1,750	1,805	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	115	11; 22; 33	150	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	254	13	15	Mineral	9	6.1	0.51	40.90%	2.59	3.81	4.75	5.59	6.43	7.37	8.48	9.12	12.47	21.45	1,750	1,763	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	127	11; 55	Cada fila +11	ECHELON	FA 70	Fortis Advantage	Producción
PH-06	8	3208	255	13	15	Mineral	9	5.4	0.70	44.70%	2.77	4.01	4.95	5.79	6.63	7.52	8.56	9.38	12.22	22.63	1,750	1,790	0.257	0.642	8.80	3.40	6 1/8	Propuesta	4.78	5.50	0.80	113	11; 22; 33	150	ECHELON EN V	FA 70	Fortis Advantage	Producción

**Nota.** - El siguiente cuadro muestra la recopilación de datos obtenidos (granulometría del material) posterior al análisis de las tomas fotográficas en los frentes de minado con un BxE estándar para ser comparado con el BxE propuesto en proyectos de fase 8, nivel 3208.

#### 4.2.6. Cálculo del factor de potencia y su influencia en la fragmentación de la roca

Para el cálculo del factor de potencia empleamos las siguientes formulas:

$$\text{Factor de carga } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{\text{Densidad de carga } \left(\frac{kg}{tal}\right)}{\text{Material roto } \left(\frac{m^3}{tal}\right)}$$

$$\text{Factor de potencia } \left(\frac{kg}{ton}\right) = \frac{\text{Factor de carga } \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{\text{densidad del material } \left(\frac{ton}{m^3}\right)}$$

Para ambos casos se ha calculado los factores teniendo un incremento a consecuencia de la reducción del patrón de perforación.

**Tabla 7**

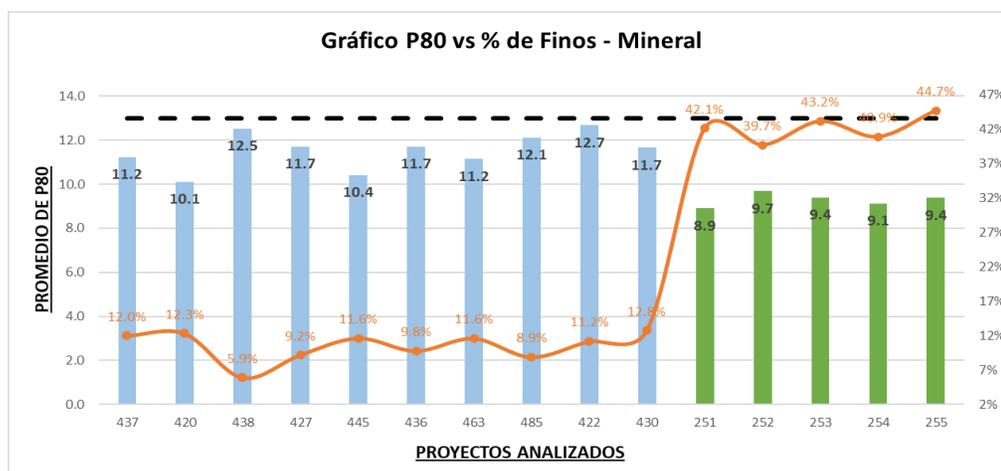
*Comparación del Factor de carga y potencia.*

MALLA	FC(kg/m3)	FP(Kg/Tn)
ESTANDAR	0.60	0.24
PROPUESTA	0.64	0.26
VARIACION	6.7%	8.3%

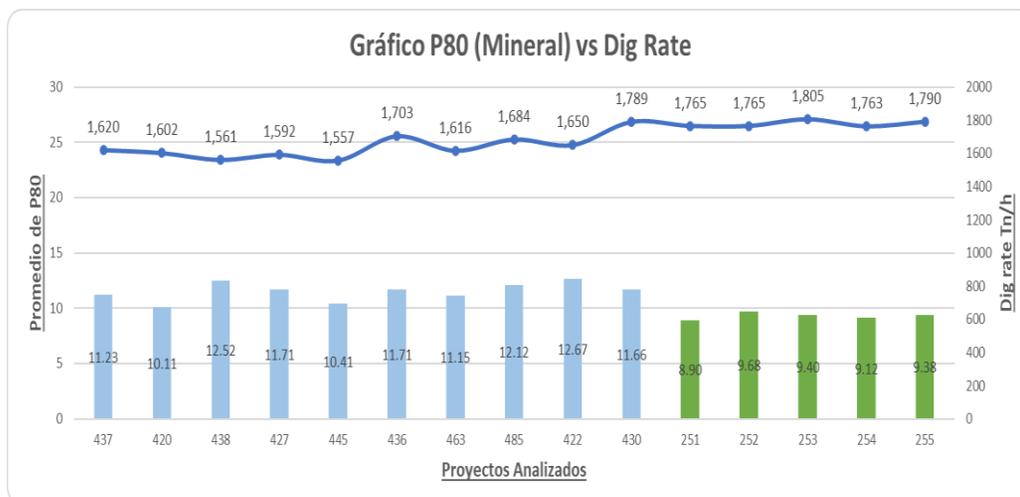
**Nota.** - La variación en los factores de carga y potencia en las mallas estándar respecto a las propuestas es por la reducción en el patrón de perforación de la nueva malla propuesta, el incremento del factor de potencia mejora significativamente los resultados de fragmentación de roca.

Figura 18

*Fragmentación en Mineral (malla estándar Vs malla propuesta)*



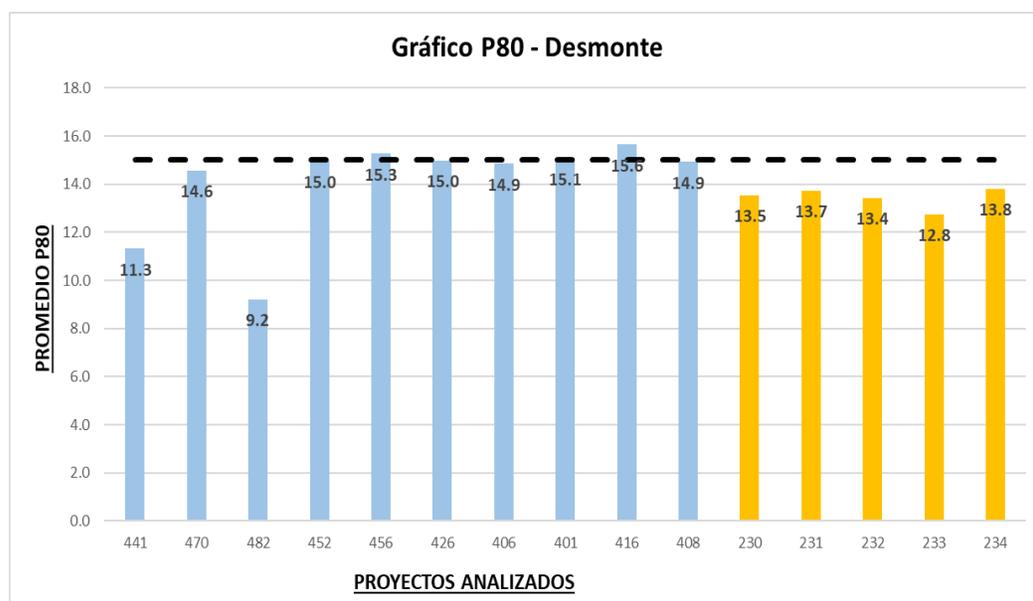
**Nota.-** La figura 09 muestra los proyectos que se dieron seguimiento a la fragmentación, barras celestes (malla estándar) y barras verdes (malla propuesta) donde se evidencia la mejora de la fragmentación (P80) en los proyectos disparados con la nueva propuesta, teniendo mejora al reducir la fragmentación promedio en 19.3% de 11.53 a 9.30 cm. en las zonas de mineral, teniendo un Target <13 cm establecido por el cliente, además de aumentar el porcentaje de finos (fragmentos <1”) de 10.53% con malla estándar a 42.11% con la malla propuesta, mejorando significativamente los procesos posteriores de carguío, acarreo y procesamiento de minerales.

**Figura 19***Fragmentación en mineral (P80) Vs DigRate*

**Nota.** - En la figura 10 donde las barras celestes (malla estándar) y barras verdes (malla propuesta), muestran los resultados en la mejora y/o incremento del DigRate a causa de la mejora/reducción de la fragmentación en la zona de mineral, dando como resultado el aumento de la productividad de los procesos de carguío y acarreo, con un aumento de 146 Tn/hr pasando de 1637 Tn/h (malla estándar) a 1783 Tn/h (malla propuesta).

Figura 20

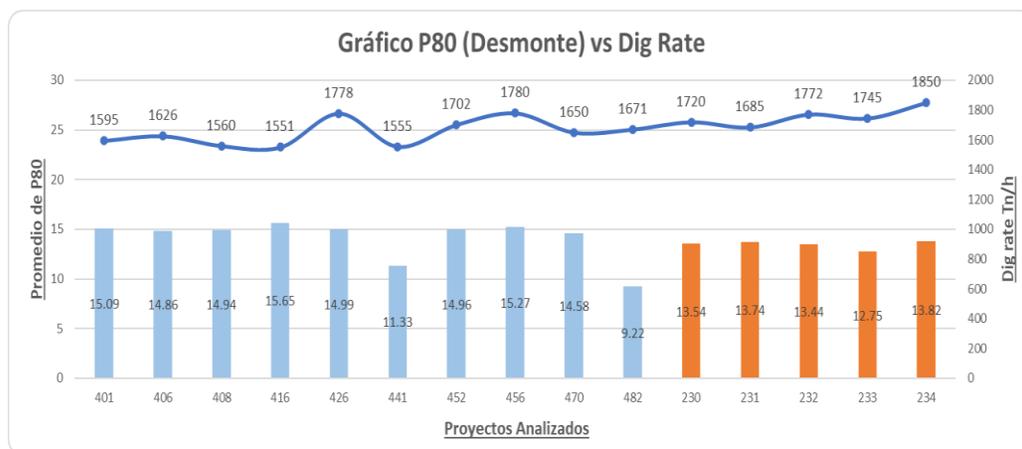
*Fragmentación en Desmorte (malla estándar Vs malla propuesta)*



**Nota.-** La figura 11 muestra los proyectos que se dieron seguimiento a la fragmentación, barras celestes (malla estándar) y barras doradas (malla propuesta) donde se evidencia la mejora y homogeneidad en la fragmentación (P80) en los proyectos disparados con la nueva propuesta, teniendo mejora al reducir la fragmentación en 4.5% de 14.09 a 13.46 cm. en las zonas de desmorte, teniendo un target <15 cm, establecido por el cliente, mejorando significativamente los procesos posteriores de carguío y acarreo a los botaderos.

Figura 21

*Fragmentación en desmonte (p80) Vs DigRate*



**Nota.-** En la figura 12 donde las barras celestes (malla estándar) y barras naranjas (malla propuesta), muestran los resultados en la mejora y/o incremento del DigRate a causa de la mejora/reducción de la fragmentación así como de un material más homogéneo en toda la pila de material disparado en las zonas de desmonte, dando como resultado el aumento de la productividad de los procesos de carguío y acarreo, con un aumento de 94 Tn/hr pasando de 1646 Tn/h (malla estándar) a 1740 Tn/h (malla propuesta).

Tabla 8

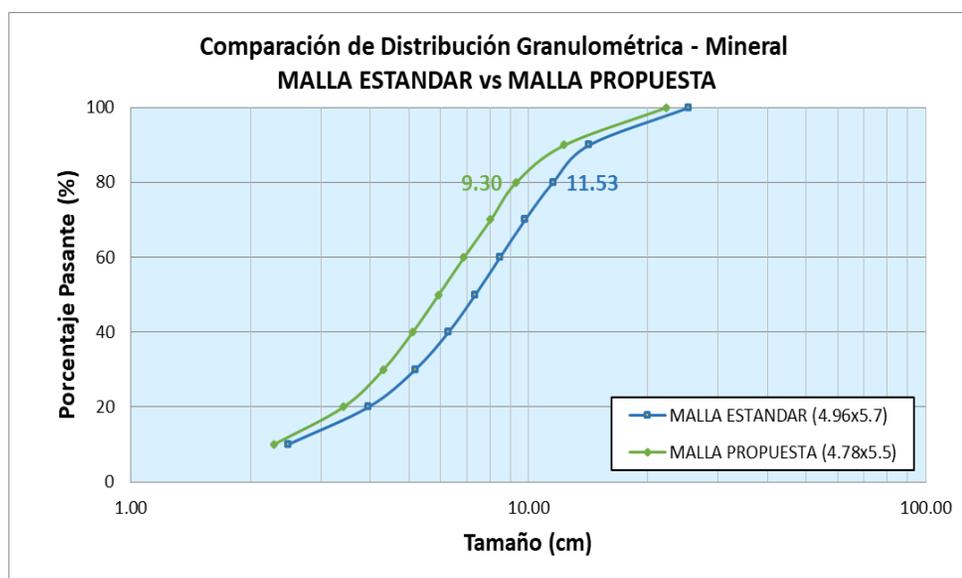
*Valores promedio de curva de distribución granulométrica*

DISTRIBUCION GRANULOMETRICA MINERAL				DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DESMONTE			
MALLA ESTANDAR (4.96x5.7)		MALLA PROPUESTA (4.78x5.5)		MALLA ESTANDAR (4.96x5.7)		MALLA PROPUESTA (4.78x5.5)	
% Pasante	Tamaño (cm)	% Pasante	Tamaño (cm)	% Pasante	Tamaño (cm)	% Pasante	Tamaño (cm)
10.00	2.49	10.00	2.29	10.00	2.56	10.00	1.81
20.00	3.96	20.00	3.42	20.00	4.28	20.00	3.33
30.00	5.19	30.00	4.31	30.00	5.78	30.00	4.83
40.00	6.29	40.00	5.11	40.00	7.18	40.00	6.30
50.00	7.36	50.00	5.93	50.00	8.58	50.00	7.79
60.00	8.49	60.00	6.87	60.00	10.09	60.00	9.36
70.00	9.81	70.00	8.02	70.00	11.85	70.00	11.17
80.00	11.53	80.00	9.30	80.00	14.09	80.00	13.46
90.00	14.22	90.00	12.30	90.00	17.42	90.00	16.87
100.00	25.28	100.00	22.18	100.00	30.01	100.00	29.28

**Nota.** - En la Tabla 7, se evidencia los valores promedio de los pasantes posteriores al análisis de fragmentación en los materiales de mineral y desmonte, donde se evidencia una mejora como resultado de la aplicación de la propuesta de la reducción de los patrones de perforación estándar, aumentado así la productividad de los procesos de carguío, acarreo y procesamiento de minerales.

**Figura 22**

*Curvas de distribución granulométrica en Mineral - (malla estándar Vs malla propuesta).*

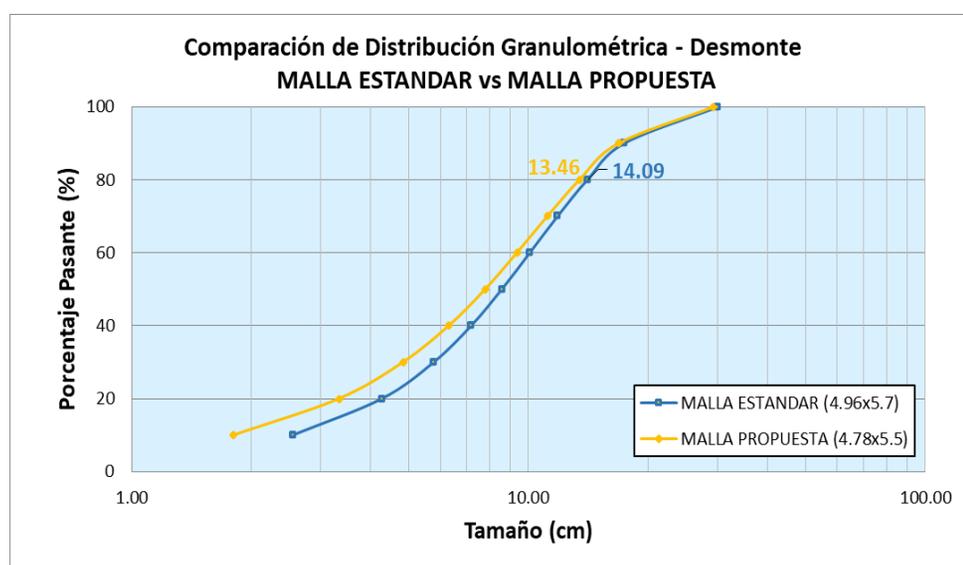


**Nota.** - En figura 13, se muestran las curvas de distribución granulométrica obtenidas del promedio de todos los análisis realizados en las zonas de mineral a los proyectos en los que se tenía material disparado con patrones de perforación estándar y propuesta, se evidencia de forma gráfica que la

curva verde (malla propuesta) de la izquierda tiene menores valores en los pasantes a la curva de azul hacia la derecha (malla estándar).

### Figura 23

*Curvas de distribución granulométrica en Desmote - (malla estándar Vs malla propuesta).*



**Nota.** - En figura 14, se muestran las curvas de distribución granulométrica obtenidas del promedio de todos los análisis realizados en las zonas de desmote a los proyectos en los que se tenía material disparado con patrones de perforación estándar y propuesta, se evidencia de forma gráfica que la curva dorada (malla propuesta) de la izquierda tiene menores valores en los pasantes a la curva de azul hacia la derecha (malla estándar).

#### 4.2.7. *Discusión de resultados*

Mostraremos los resultados obtenidos posteriores a los análisis de fragmentación en las zonas de mineral y desmonte.

En la tabla 8, se muestra que para el caso de las zonas de mineral teniendo un target establecido de  $P80 < 13$  cm, se logró reducir el tamaño de todos los pasantes en especial el P80 en un 19.3% de 11.53 a 9.30 cm, además de llegar a tener un 42.11% de finos para malla propuesta comparado a los 10.53% de la malla estándar. Para ambos casos se cumplió con los objetivos planteados, todo esto con la finalidad de aumentar la productividad reduciendo los costos de los procesos de carguío, transporte y procesamiento de minerales

**Tabla 9**

*Parámetros de análisis de fragmentación y resultados en zona de mineral*

PARAMETROS DE ANALISIS							RESULTADOS								
Equipo	Fase	Proyecto	Clasificación	Tipo de malla	Nro. De fotos	Xc (cm)	n	% Finos < 2"	P20 (cm)	P50 (cm)	P80 (cm)	P90 (cm)	Xmax (cm)	power factor	Dig rate
PH-03	8	437	Mineral	Estándar	4	5.1	0.85	12.02%	3.61	6.88	11.23	13.94	24.84	0.239	1,620
PH-03	8	420	Mineral	Estándar	4	4	0.653	12.31%	3.51	6.45	10.11	12.70	26.01	0.239	1,602
PH-03	8	438	Mineral	Estándar	6	4.8	0.742	5.91%	5.08	8.53	12.52	14.88	24.08	0.239	1,561
PH-03	8	427	Mineral	Estándar	6	7.3	0.841	9.20%	4.17	7.49	11.71	14.20	23.11	0.239	1,592
PH-03	8	445	Mineral	Estándar	8	6.3	0.75	11.64%	3.63	6.65	10.41	12.85	25.86	0.239	1,557
PH-06	8	436	Mineral	Estándar	8	7.5	0.89	9.79%	4.09	7.49	11.71	14.40	26.52	0.239	1,703
PH-03	8	463	Mineral	Estándar	8	6.5	1.04	11.61%	3.61	6.60	11.15	15.09	31.27	0.239	1,616
PH-03	8	485	Mineral	Estándar	8	5.3	0.799	8.90%	4.37	8.08	12.12	14.38	22.45	0.239	1,684
PH-03	8	422	Mineral	Estándar	4	4.6	0.57	11.19%	3.99	8.13	12.67	15.39	25.27	0.239	1,650
PH-03	8	430	Mineral	Estándar	4	7.3	0.841	12.76%	3.58	7.24	11.66	14.40	23.39	0.239	1,789
PH-05	8	251	Mineral	Propuesta	9	8.3	0.936	42.10%	2.64	4.90	8.90	12.50	22.70	0.257	1,765
PH-06	8	252	Mineral	Propuesta	8	4.9	0.822	39.70%	3.35	5.92	9.68	12.60	21.80	0.257	1,765
PH-06	8	253	Mineral	Propuesta	9	5.3	0.796	43.15%	3.28	5.79	9.40	11.73	22.32	0.257	1,805
PH-06	8	254	Mineral	Propuesta	9	6.1	0.513	40.90%	3.81	6.43	9.12	12.47	21.45	0.257	1,763
PH-06	8	255	Mineral	Propuesta	9	5.4	0.702	44.70%	4.01	6.63	9.38	12.22	22.63	0.257	1,790

En la tabla 9 se muestra que para el caso de las zonas de desmonte se tiene un target establecido de  $P80 < 15$  cm, se logró reducir el tamaño de todos los pasantes en especial el P80 en un 4.5% de 14.09 a 13.46 cm, y de acuerdo a las observaciones en

campo y resultados se tiene una fragmentación más homogénea en las pilas de material a minar, mejorando así la productividad y reduciendo costos en los procesos de carguío y transporte de material.

**Tabla 10**

*Parámetros de análisis de fragmentación y resultados en zona de desmonte*

PARAMETROS DE ANALISIS						RESULTADOS									
Equipo	Fase	Proyecto	Clasificación	Tipo de malla	Nro. De fotos	Xc (cm)	n	% Finos < 2"	P20 (cm)	P50 (cm)	P80 (cm)	P90 (cm)	Xmax (cm)	power factor	Dig rate
PH-05	8	441	Desmonte	Estándar	6	4.6	0.737	9.37%	4.01	7.14	11.33	14.05	24.23	0.239	1,555
PH-06	8	470	Desmonte	Estándar	6	6.3	0.826	11.79%	3.94	8.53	14.58	18.14	30.35	0.239	1,650
PH-03	8	482	Desmonte	Estándar	6	3.6	0.712	13.10%	3.30	5.92	9.22	11.40	20.29	0.239	1,671
PH-03	8	452	Desmonte	Estándar	6	7.7	0.91	11.71%	4.11	9.35	14.96	17.98	27.74	0.239	1,702
PH-03	8	456	Desmonte	Estándar	8	6.9	0.791	10.72%	4.34	9.50	15.27	18.82	32.94	0.239	1,780
PH-06	8	426	Desmonte	Estándar	8	7.8	0.789	9.92%	4.42	9.14	14.99	18.08	26.52	0.239	1,778
PH-05	8	406	Desmonte	Estándar	6	7.1	0.827	11.89%	3.76	7.70	14.86	19.33	33.45	0.239	1,626
PH-06	8	401	Desmonte	Estándar	6	11.1	1.174	9.22%	4.62	9.37	15.09	18.47	36.09	0.239	1,595
PH-03	8	416	Desmonte	Estándar	6	9.64	0.82	7.59%	5.16	9.98	15.65	19.30	36.88	0.239	1,551
PH-03	8	408	Desmonte	Estándar	4	6.7	0.903	6.23%	5.13	9.17	14.94	18.67	31.60	0.239	1,560
PH-05	8	230	Desmonte	Propuesta	8	7.1	0.829	15.73%	2.74	7.59	13.54	17.04	30.51	0.257	1,720
PH-05	8	231	Desmonte	Propuesta	6	7.4	0.821	16.20%	2.18	7.01	13.74	17.37	31.42	0.257	1,685
PH-06	8	232	Desmonte	Propuesta	7	7.8	0.922	12.52%	3.78	8.28	13.44	16.33	24.97	0.257	1,772
PH-05	8	233	Desmonte	Propuesta	6	6.3	0.703	14.90%	4.95	8.41	12.75	15.82	27.31	0.257	1,745
PH-06	8	234	Desmonte	Propuesta	8	6.7	0.852	16.50%	3.00	7.65	13.82	17.75	32.21	0.257	1,850

## CONCLUSIONES

1. Se realizó el nuevo diseño de perforación para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021, indicando que la malla de perforación y voladura encontrada estándar fue  $B \times E = 4.96 \times 5.7$  m y se propuso la siguiente malla:  $B \times E = 4.78 \times 5.5$  m, obteniendo como resultado una mejor fragmentación, en mineral ( $P_{80}=9.31$  cm) y desmonte ( $P_{80}=13.46$  cm), respecto a la que se obtenía con la malla estándar, en mineral ( $P_{80}=11.53$  cm) y en desmonte ( $P_{80}=14.09$  cm), lo cual aumento la productividad y redujo los costos operativos de las actividades de transporte y acarreo y procesamiento de minerales, pero incrementó ligeramente en 1,5 % los costos de voladura por el aumento del factor de potencia.
2. La tasa de excavación (DigRate) se incrementó debido a la reducción y homogenización de la granulometría de los materiales de mineral y desmonte, teniendo una mejor productividad en las palas de 146 Tn/h y 94 Tn/h respectivamente.
3. Se determinó el factor de potencia y su influencia en la fragmentación de la roca, determinándose que para la malla propuesta  $B \times E = 4.78 \times 5.5$  m. el factor de potencia se incrementó variando de 0.24 a 0.26 (Kg/ton.), este factor influyo directamente en la mejora de la fragmentación y aumento de % de finos en mineral.
4. Con el nuevo diseño de la malla de perforación y voladura se logró reducir la granulometría del material, aumentando el % de finos en mineral, de un valor de 10.53% en las mallas estándar, a 42.11% con la malla propuesta, además de homogeneizar la granulometría para el desmonte, evidenciando una mejor tasa de excavación (DigRate) para ambos materiales.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el nuevo diseño de malla de perforación solo en el mineral y el tipo de roca semidura a dura, válidos para la fase 8.
2. Se recomienda hacer nuevos estudios y/o diseños de mallas de perforación y voladura diferenciando el tipo de material (mineral o desmonte)
3. Para lograr un resultado más efectivo, se recomienda capacitar a los trabajadores directamente involucrados en la perforación y voladura.
4. Se recomienda un seguimiento continuo de los costos de perforación y voladura.
5. Se recomienda preparar una estimación de costos para cada actividad unitaria para identificar posibles mejoras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bravo, I. (2018). *Estudio de vibraciones inducidas por tronadura en minera Spence*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas. Santiago de Chile.
- Chávez, I. . (2019). *Análisis de vibraciones inducidos por el uso de plasma en la fragmentación de rocas en el proyecto óxidos Insitu Compañía Minera Volcan – E.A. óxidos de Pasco S.A.C.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas. Cerro de Pasco, Perú.
- Chávez, Y. . (2018). *Mejora de la granulometría mediante el diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de Holmberg en la galería 370 de la zona Coturcan en la mina Huancapeti – año 2015*. (Tesis de pregrado). Universidad nacional santago antunez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia Escuela Académico Profesional de Ingeniería De Minas. Huaraz, Perú.
- Chugá, R. (2017). Proyecto integrador “*Análisis comparativo entre el método de voladura convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú*”. (Trabajo de Titulación para obtener el Título de Ingeniero de Minas). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Carrera de Ingeniería en Minas. Quito, Ecuador.
- Correa, A. P. y Martínez, D. D. (2017). *Diseño del sistema de perforación y voladura en los bancos D, E Y F en la Mina de caliza el Tesoro, Contrato de Concesión Ill-16111 Ubicada en la Vereda las Caleras del Municipio de Nobsa - Boyacá*.

(Modalidad Monografía). Universidad Pedagógica Tecnológica de Colombia. Facultad Sede Seccional Sogamoso Escuela de Ingeniería de Minas. Boyacá, Colombia.

energiminas.com. (s.f.). *Minera la arena modifica su frecuencia de voladuras de interdiaria a diaria.*

Fabián, J. (2017). *Determinación de la flota de acarreo óptima a largo plazo, utilizando Software Minehaul en mina la Arena.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Trujillo, Perú.

Guillen, W. (2020). *Optimización del diseño de malla de perforación para la estimación de costos operacionales en la zona de Pucaurco - Unidad Minera Pachancoto – Minas de Pachancoto S. A. 2019.* Tesis de pregrado). Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú. 2020.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. . (2006). *Metodología de la Investigación.* Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición. México.

Hinostroza, J. (2014). *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. E.A.P. de Ingeniería de Minas. Lima, Perú. .

- <https://sisbib.unmsm.edu.pe>. (2021). *Yacimientos de Oro y plata en areniscas – cuarcitas - pizarras*. <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/data/libros/2007/cyamientos/cap10.pdf> recuperado el día 02 / de julio de 2021.
- Leiva, A. (2007). *Influencia de la optimización de la fragmentación de roca en la rentabilidad de las operaciones mina-molienda*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú.
- Méndez, M. . (2019). *Mejoramiento de la perforación y voladura en la construcción de la Rampa 2705 de la unidad minera Parcoy Consorcio Minero Horizonte S.A.* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas. Ayacucho, Perú.
- Ricse, K. . (2020). *Diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en mina paola de Compañía Minera San Lucas S.A.C.* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas Huancayo – Perú.
- Soto, M. (2020). *Cambio de los parámetros de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de la roca en la Mina Santa Clotilde, Chongoyape*. (Tesis de pregrado). Universidad César vallejo. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Chiclayo, Perú. .

# ANEXOS



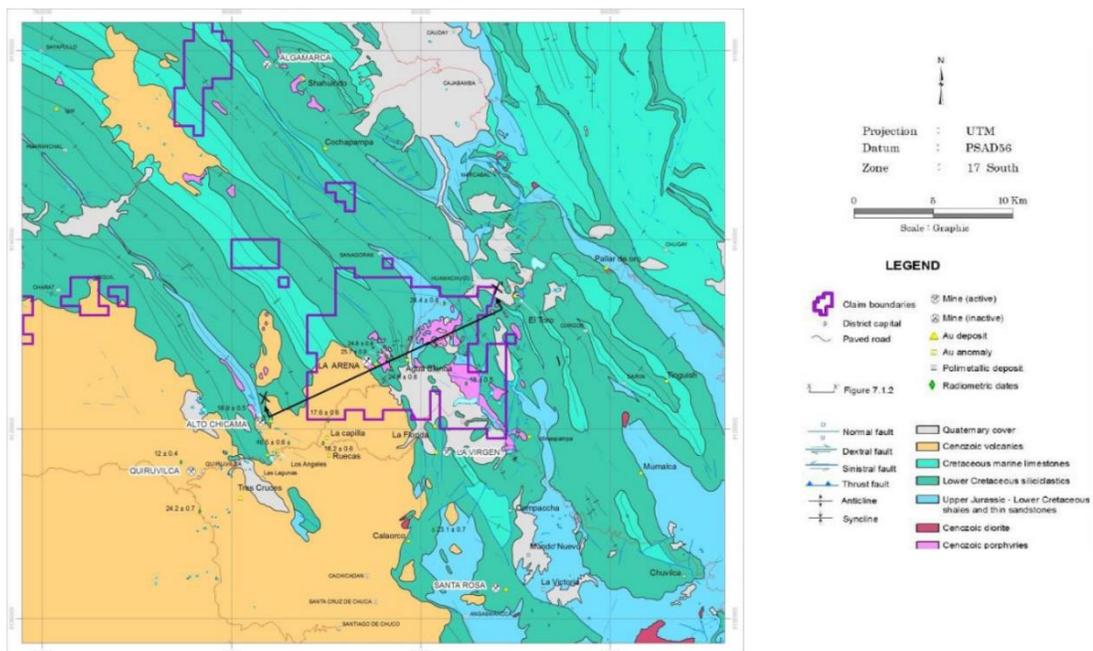
## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIAS

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	POBLACION
<b>Problema General</b> ¿Cómo realizar el diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021?	<b>Objetivo General</b> Realizar el diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021	<b>Hipótesis General</b> El diseño de la malla de perforación y voladura mejora la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021.  <b>Hipótesis Nula</b> El diseño de la malla de perforación y voladura NO mejora la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021.	La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo porque las variables se pueden medir. Es un estudio de investigación aplicado, ya que permite plantear una o más alternativas de solución de acuerdo con la problemática que acontece en la mina La Arena – 2021. Es de tipo descriptivo, porque analiza e interpreta los resultados obtenidos del diseño de la malla de perforación y voladura. Es de corte transversal ya que se realizó en un	<b>Población</b> Integrado por el conjunto de mallas de perforación y voladura que hayan sido disparados bajo el patrón estándar, pertenecientes a la Fase 8, en la mina La Arena – 2021.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>			<b>Muestra</b>
¿Cómo calcular el nuevo diseño de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca en la mina La Arena – 2021?	Calcular el nuevo diseño de perforación y voladura para mejorar la fragmentación de roca.			Conformado por el conjunto de mallas de perforación y voladura que hayan sido disparadas bajo el patrón estándar,
¿Cómo determinar el factor de potencia y su influencia en la fragmentación de la roca?	Determinar el factor de potencia y su influencia en la fragmentación de la roca.			
¿Como determinar el porcentaje pasantes, a través del análisis granulométrico; después de aplicar el nuevo diseño de malla de perforación y voladura en la mina La Arena?	Determinar el porcentaje pasante, a través del análisis granulométrico; posterior al uso del nuevo diseño de malla de perforación y voladura en la mina.			

¿Cuáles son los resultados que se obtienen en la fragmentación y cuál es el incremento del porcentaje de finos?	Obtener resultados de fragmentación y cuál es el incremento del porcentaje de finos.		determinado periodo de tiempo.	pertenecientes a la Fase 8, nivel 3208, en la mina La Arena – 2021.
---	--	--	--------------------------------	---



### ANEXO 2: Mapa geológico regional mina la arena

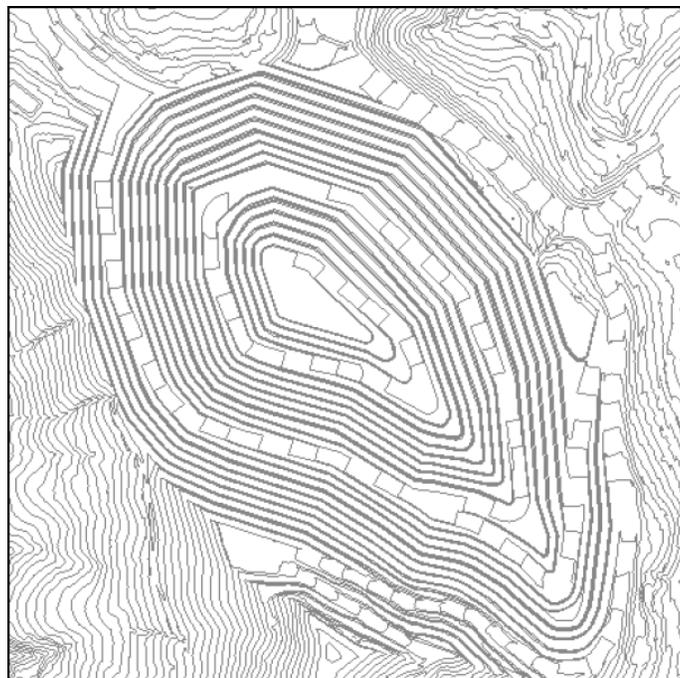


Fuente: Geología Mina La Arena

### ANEXO 3: Columna estratigráfica mina la arena

ERA	SIST.	SERIE	GRUPOS FORMACIONALES	ESPESOR metros	UNIDAD LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICO	PALEOGENO-NEOGENO	CUAT.	Reciente	0-140		Depósitos fluviales, glaciares, aluviales y coluviales.	
		Medio	Grupo Calipuy	500		Depósitos de flujos piroclásticos de pomas y cenizas dacíticas y andesíticas con algunas intercalaciones de lavas andesíticas.	
		Inferior		16 my			
MESOZOICO	CRETACICO	Inferior	Fm. Pariatambo	150-200		Calizas grises oscuras intercaladas con lutitas grises oscuras.	
			Fm. Chulec	200-250		Lutitas grises y margas intercaladas con calizas nodulosas.	
			Fm. Inca	150		Estratos delgados de areniscas, lutitas con cemento calcáreo y capas de calizas grises ferruginosas.	
			Grupo Goyllansquizga	Fm. Farrat	500		Areniscas cuarzosas, por lo general limpias y de color blanco amarillento, en cantidad mínima limolitas lenticulares.
				Fm. Carhuaz	500		Areniscas, limolitas grises e impuras, en menor proporción areniscas blancas de grano fino, algunos niveles de lutitas grises, areniscas y limolitas rojas.
				Fm. Santa	100-150		Lutitas grises oscuras intercaladas con niveles limoarcillitas.
				Fm. Chimu	80-600		Areniscas cuarzosas con algunas intercalaciones de lutitas, limolitas grises y algunos niveles de carbón en la parte inferior y medía.
			Fm. Oyón	80-120		Areniscas pardas, grises y blancas en estratos delgados, interestratificadas con lutitas y limoarcillitas grises, carbonosas.	
JURASICO	Superior	Fm. Chicama	800-1000	18 my	Lutitas grises oscuras, laminares, deleznales, con algunas intercalaciones delgadas de areniscas grises.		

Fuente: Geología Mina La Arena

**ANEXO 4: Vista en planta de avance de minado tajo Calaorco****ANEXO 5: Avance de minado tajo Calaorco**

**ANEXO 6: Minado en zonas de mineral.****ANEXO 7: Minado en zonas de desmonte.**

