



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA DE MINAS**

“Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña”.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero de Minas**

**AUTORES:**

Br. Miranda Olivos Anwar Millague (ORCID: 0000-0002-7559-5008)

Br. Vergara Saldaña Airton Ronaldo (ORCID: 0000-0001-9636-9934)

**ASESOR:**

Ing. Salazar Ipanaqué Javier Ángel (ORCID: 0000-0002-7909-6433)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Perforación y Voladura de Rocas

**Chiclayo – Perú**

**2019**

## **Dedicatoria**

A Dios por darnos la vida, salud y sobre todo estar presente en cada etapa de nuestras vidas guiándonos por un buen camino, por darnos la sabiduría necesaria para el desarrollo de este informe de tesis y permitirnos culminar esta bonita experiencia que se desarrolló dentro de la Universidad César Vallejo.

A nuestros padres por ser guías en el desarrollo de nuestra vida personal y universitaria, por habernos brindado valores, libertades, limitaciones y motivaciones para cumplir nuestras metas, forjando las buenas personas que somos en la actualidad, a ellos le debemos todos nuestros logros.

A nuestros familiares por acompañarnos en este largo camino universitario, por el apoyo brindado en los momentos difíciles en nuestra etapa universitaria y en el desarrollo de nuestro informe de tesis.

Airton y Anwar

## **Agradecimiento**

A Dios por darnos vida, fuerza, coraje y claridad en las decisiones tomadas para realizar este sueño.

A nuestros padres por el amor infinito, la dedicación, la paciencia y la preocupación brindada día a día en el desarrollo de nuestro informe de tesis, por ser los principales impulsores para cumplir nuestras metas y sueños, por la confianza y la compañía brindada en cada larga y agotadora noche de estudios.

A la Universidad César vallejo por habernos aceptado a ser parte de esta familia universitaria, en la cual se logró culminar una etapa muy bonita y llena de conocimientos que nos servirán para el desempeño de nuestras vidas laborales.

A nuestros docentes por ser guías en el desarrollo de toda nuestra etapa universitaria, en especial al Ing. Salazar Ipanaqué Javier Ángel y Mg. Aguinaga Vásquez Silvia Josefina, por habernos brindado su capacidad, paciencia y conocimientos durante la realización de todo el informe de tesis.

Airton y Anwar

## **Página del jurado**

## Declaratoria de autenticidad

Yo, Miranda Olivos Anwar Millague, identificado con el DNI 70584672, y Vergara Saldaña Airton Ronaldo identificado con el DNI 77464481, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, autores de la tesis la cual lleva como título Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña, declaramos lo siguiente:

El contenido de esta tesis es original, es el resultado del trabajo diario, no ha sido imitado, se usaron ideas, formulaciones, imágenes, etc., propias del autor. Se ha empleado contenido importante el cual se ha extraído de libros he incluso de otros proyectos de tesis, los cuales han sido citados según los derechos de autor.

Considerando lo anterior somos responsables de que el hecho de no respetar los derechos de autor y el hacer copia, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que tomamos cualquier responsabilidad que pudiese haber con respecto a esa tesis.

De tal modo nos hacemos responsables ante la Universidad o terceros, de cualquier anomalía que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado.

Chiclayo, Julio del 2019



Br. Miranda Olivos Anwar Millague

DNI: 70584672



Br. Vergara Saldaña Airton Ronaldo

DNI: 77464481

## Índice

<b>Dedicatoria</b> .....	<b>ii</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>iii</b>
<b>Página del jurado</b> .....	<b>iv</b>
<b>Declaratoria de autenticidad</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de ilustraciones</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Realidad problemática .....	1
1.1.1. A nivel internacional.....	3
1.1.2. A nivel nacional.....	6
1.1.3. A nivel local .....	8
1.2. Trabajos previos .....	12
1.2.1. A nivel internacional.....	12
1.2.2. A nivel nacional.....	14
1.2.3. A nivel local .....	15
1.3. Teorías .....	16
1.3.1. Ciencias.....	16
1.3.2. Teoría de la variable independiente.....	18
1.3.3. Teoría de la variable dependiente.....	39
1.3.4. Marco legal.....	42
1.3.5. Impacto ambiental .....	43
1.3.6. Seguridad y salud ocupacional .....	43
1.3.7. Prevención de desastres y Gestión de riesgos. ....	44
1.3.8. Definición de términos.....	44
1.4. Formulación del problema .....	45
1.5. Justificación.....	45
1.6. Hipótesis .....	46
1.7. Objetivos .....	46
1.7.1. General.....	46
1.7.2. Específicos .....	47
<b>II. MÉTODO</b> .....	<b>47</b>

2.1.	Tipo y diseño de investigación.....	47
2.2.	Operacionalización de variables.....	48
2.2.1.	Definición .....	48
2.2.2.	Tabla de Operacionalización de variables.....	49
2.3.	Población y muestra.....	53
2.3.1.	Población.....	53
2.3.2.	Muestra .....	53
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	53
2.4.1.	Instrumento de recolección datos .....	53
2.4.2.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad: ...	56
2.5.	Procedimientos .....	57
2.5.1.	Diagrama de los procesos .....	57
2.5.2.	Descripción de procesos .....	58
2.6.	Método de análisis de datos .....	65
2.6.1.	Método analítico.....	65
2.6.2.	Método sistémico.....	65
2.7.	Aspectos éticos .....	65
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>66</b>
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>121</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>124</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>126</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>127</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>134</b>
	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS.....	184
	REPORTE DE TURNITIN .....	185
	AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV .....	186
	AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN....	188

## Índice de tablas

Tabla N° 01: Acceso a la cantera Proven III .....	10
Tabla N° 02: Toma de coordenadas UTM WGS84 de la concesión. ....	11
Tabla N° 03: Constante Kv. ....	21
Tabla N° 04: Tipo de explosivo y roca .....	22
Tabla N° 05: Corrección por el tipo de depósito.....	26
Tabla N° 06: Correcciones para estructura geológica.....	26
Tabla N° 07: Geología Regional.....	67
Tabla N° 08: Geología Local – Unidades estratigráficas .....	70
Tabla N° 09: Coordenadas del área de aplicación .....	74
Tabla N° 10: Clasificación RQD .....	75
Tabla N° 11: Propiedades físicas de los testigos. ....	76
Tabla N° 12: Resistencia a la compresión simple .....	76
Tabla N° 13: Valoración de la masa rocosa según el sistema de clasificación geomecánica RMR – Bieniawski 1989. ....	77
Tabla N° 14: Análisis del modelo matemático Pearse.....	79
Tabla N° 15: Análisis del modelo matemático Ash .....	79
Tabla N° 16: Análisis del modelo matemático Langerfors .....	80
Tabla N° 17: Análisis del modelo matemático López Jimeno. ....	80
Tabla N° 18: Análisis del modelo matemático Konya.....	81
Tabla N° 19: Cuadro de resultados de los modelos matemáticos más utilizados en minería a cielo abierto .....	81
Tabla N° 20: Factor de carga.....	82
Tabla N° 21: Insumos del sistema fuego.....	82
Tabla N° 22: Parámetros de voladura .....	84
Tabla N° 23: Insumos del sistema no eléctrico .....	86
Tabla N° 24: Accesorios de voladura .....	97
Tabla N° 25: Índice de factor de roca.....	98
Tabla N° 26: Evaluación de la fragmentación.....	100
Tabla N° 27: Tiempos y egresos iniciales de perforación y voladura de rocas aplicando el sistema convencional. ....	111
Tabla N° 28: Longitud de total de perforación.....	111
Tabla N° 29: Costo de mano de obra .....	112
Tabla N° 30: Costos de perforación.....	112
Tabla N° 31: Costo de voladura .....	112
Tabla N° 32: Costo de voladura secundaria .....	113
Tabla N° 33: Chancado manual.....	113
Tabla N° 34: Costo total de los procesos de perforación, voladura y chancado .....	113



Tabla N° 35: Producción.....	114
Tabla N° 36: Tiempo de procesos. ....	114
Tabla N° 37: Costos de perforación y voladura .....	115
Tabla N° 38: Costo de mano de obra.....	115
Tabla N° 39: Costo de perforación. ....	115
Tabla N° 40: Costo de voladura .....	116
Tabla N° 41: Costo de voladura secundaria .....	116
Tabla N° 42: Chancado manual.....	116
Tabla N° 43: Costo total de los procesos de perforación, voladura y chancado .....	117
Tabla N° 44: Costo de producción.....	117
Tabla N° 45: Tiempo de procesos .....	118
Tabla N° 46: Costo general de costos.....	118
Tabla N° 47: Registro de boloneras.....	118
Tabla N° 48: Costo de chancado. ....	119
Tabla N° 49: Costo total de los procesos de perforación, voladura y chancado .....	119
Tabla N° 50: Producción.....	119
Tabla N° 51: Comparación de los tiempos y costos. ....	120

## Índice de figuras

<i>Figura N° 01:</i> Ubicación de la cantera Proven III .....	10
<i>Figura N° 02:</i> Acceso a la cantera Proven III .....	11
<i>Figura N° 03:</i> Sistema de perforación y voladura de rocas.....	19
<i>Figura N° 04:</i> Geometría de diseño.....	28
<i>Figura N° 05:</i> Nomenclatura del banco de voladura .....	29
<i>Figura N° 06:</i> Anfo.....	30
<i>Figura N° 07:</i> Características del anfo.....	30
<i>Figura N° 08:</i> Dinamita.....	31
<i>Figura N° 09:</i> Características técnicas de la dinamita.....	31
<i>Figura N° 10:</i> Mecha de seguridad.....	32
<i>Figura N° 11:</i> Características técnicas.....	32
<i>Figura N° 12:</i> Fulminante común N° 8.....	33
<i>Figura N° 13:</i> Características Técnicas del fulminante común N° 8 .....	33
<i>Figura N° 14:</i> Cordón detonante .....	34
<i>Figura N° 15:</i> Características Técnicas del cordón detonante.....	34
<i>Figura N° 16:</i> Características del detonador no eléctrico.....	35
<i>Figura N° 17:</i> Presentación del Mininel .....	36
<i>Figura N° 18:</i> Mininel y accesorios.....	36
<i>Figura N° 19:</i> Secuencia de salida – mallas de perforación.....	37
<i>Figura N° 20:</i> Mallas cuadradas de perforación.....	37
<i>Figura N° 21:</i> Parámetros de diseño de voladura .....	38
<i>Figura N° 22:</i> Fragmentación.....	39
<i>Figura N° 23:</i> Modelo predictivo de fragmentación Kuz Ram .....	40
<i>Figura N° 24:</i> Análisis granulométrico Kuz Ram .....	41
<i>Figura N° 25:</i> Análisis de fragmentación SigmaFrag.....	42
<i>Figura N° 26:</i> Geomorfología de la zona de estudio .....	69
<i>Figura N° 27:</i> Mapa de depósitos minerales de caliza.....	71
<i>Figura N° 28:</i> Estratos de caliza en la cantera PROVEN III.....	72
<i>Figura N° 29:</i> Pliegue sinclinal en la zona de estudio .....	72
<i>Figura N° 30:</i> Curvas de nivel en el software libre RecMin, del área de la concesión, de la zona de estudio y área de aplicación.....	73
<i>Figura N° 31:</i> Curvas de nivel exportadas al software Google Earth pro.....	74
<i>Figura N° 32:</i> Caracterización in situ del material rocoso.....	78
<i>Figura N° 33:</i> Distribución de taladros.....	83
<i>Figura N° 34:</i> Representación de los parámetros de perforación y voladura de rocas.....	83
<i>Figura N° 35:</i> Diseño de carga.....	84
<i>Figura N° 36:</i> Propiedades del Explosivo.....	86
<i>Figura N° 37:</i> Propiedades de la roca.....	86
<i>Figura N° 38:</i> Caracterización Geomecánica.....	87
<i>Figura N° 39:</i> Configuración de Tiempos de Retardo .....	87
<i>Figura N° 40:</i> Polígono de Voladura .....	88
<i>Figura N° 41:</i> Polígono plasmado .....	88

<i>Figura N° 42: Distribución de taladros.....</i>	89
<i>Figura N° 43: Ajustamos los taladros al área del polígono de voladura.....</i>	89
<i>Figura N° 44: Carga de taladros.....</i>	90
<i>Figura N° 45: Análisis y configuración de carga.....</i>	90
<i>Figura N° 46: Zona Geomecánica a los Taladros.....</i>	91
<i>Figura N° 47: Dirección de salida de los taladros.....</i>	92
<i>Figura N° 48: Inicio de secuenciamiento.....</i>	92
<i>Figura N° 49: Final de secuenciamiento.....</i>	93
<i>Figura N° 50: Secuencia de detonación.....</i>	94
<i>Figura N° 51: Dirección de detonación.....</i>	94
<i>Figura N° 52: Tiempos de retardo.....</i>	95
<i>Figura N° 53: La herramienta del Histograma muestra los taladros acoplados en el tiempo.....</i>	95
<i>Figura N° 54: Detonación de cada fila.....</i>	96
<i>Figura N° 55: Generación de ondas.....</i>	97
<i>Figura N° 56: Predicción granulométrica del sistema convencional.....</i>	99
<i>Figura N° 57: Predicción de fragmentación del sistema pirotécnico.....</i>	100

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Instrumentos para realizar el levantamiento topográfico.....	159
Ilustración 2: Toma de coordenadas con GPS Garmin Etrex 30x .....	159
Ilustración 3: Uso de la cinta métrica y GPS.....	160
Ilustración 4: Identificación de parámetros de tabla RMR.....	160
Ilustración 5: Muestras extraídas del área de aplicación de la cantera PPROVEN III.....	161
Ilustración 6: Medición de las muestras obtenidas en campo .....	161
Ilustración 7: Extracción de testigos de las muestras.....	162
Ilustración 8: Evaluando el diámetro de la perforación. ....	172
Ilustración 9: Compresora ingersoll rand 180. ....	172
Ilustración 10: Marcado de malla de perforación y voladura de rocas. ....	173
Ilustración 11: Adquisición de Mininel en la cantera PROVEN III.....	173
Ilustración 12: Adquisición de dinamita gelatina 80. ....	174
Ilustración 13: Adquisición de mecha de seguridad. ....	174
Ilustración 14: Accesorios en campo de aplicación.....	175
Ilustración 15: Anfo en la zona de aplicación .....	175
Ilustración 16: Amarre del sistema de iniciación.....	176
Ilustración 17: Resultado de la voladura de la cantera PROVEN III.....	176
Ilustración 18: Tiro cortado.....	177
Ilustración 19: Tiro soplado .....	177
Ilustración 20: Voladura por el sistema convencional aplicado por los tesistas. ....	178
Ilustración 21: Voladura por el sistema pirotécnico aplicado por los tesistas.....	178
Ilustración 22: Acceso unió hacia la cantera PROVEN III.....	179
Ilustración 23: Geología del terreno .....	179
Ilustración 24: Topografía de la cantera PROVEN III .....	180
Ilustración 25: Presencia de fly rocks .....	180
Ilustración 26: Fragmentación inadecuada y chancado manual de la roca caliza .....	181
Ilustración 27: Distribución de bancos sin un orden.....	181
Ilustración 28: Horno de calcinación .....	182
Ilustración 29: Área de aplicación sección 10 m x 10 m. ....	182
Ilustración 30: Perforación de taladros. ....	183

## RESUMEN

El presente informe de investigación tuvo por finalidad diseñar un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña. La investigación surgió de la observación de un problema vinculado a la fragmentación de la roca, se contrataba mucho personal para el chancado manual. Para dicha investigación se trabajó con una muestra, área de perforación y voladura en la cantera PROVEN III, en el nivel II que está conformada por el bloque de extracción B, utilizando como tipo y diseño de investigación cuantitativa, cuasi experimental. Asimismo, para el recojo de información se utilizaron los métodos, analítico, sistémico y técnicas de observación, análisis documental y entrevista junto a instrumentos empleados como guía de observación, método de análisis documental y cuestionario al gerente. Se utilizó el programa Arcgis, RecMin, Google Earth pro, Pirkap OP, Sigma Frag. Toda esta metodología da el respaldo, sustento y seriedad respectiva. Finalmente, se obtuvo como resultado la eliminación de tiros cortados, voladuras secundarias y chancado manual, ahorrando un S/. 8.097/m<sup>3</sup>, se redujo un 65% en los tiempos de extracción por lo que se incrementó el volumen por requerimiento obteniendo ganancias de S/.25,000.00, los mismos que se presentan por medio de cuadros, tablas, gráficos enumerados, cada una con sus respectivos análisis que contribuyeron a comprobar la hipótesis, si se realiza el diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos permitirá optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña. Todo este trabajo permitió concluir que el diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas mediante el modelo matemático Konya optimizó la fragmentación de la roca caliza conforme al P80 de 6.71 pulgadas (17.04 cm).

**PALABRAS CLAVES:** Sistema, optimización, diseño, perforación, voladura.

## ABSTRACT

The purpose of this research report was to design a drilling and rock blasting system applying mathematical models to optimize limestone fragmentation in the PROVEN III quarry in Cerro Collique - Zaña. The investigation arose from the observation of a problem linked to the fragmentation of the rock, many personnel were hired for the manual crushing. For this investigation we worked with a sample, drilling and blasting area in the PROVEN III quarry, in level II, which is made up of extraction block B, using quasi-experimental quantitative research type and design. Likewise, for the collection of information the methods, analytical, systemic and observation techniques, documentary analysis and interview were used together with instruments used as an observation guide, method of documentary analysis and questionnaire to the manager.

Arcgis, RecMin, Google Earth pro, Pirkap OP, Sigma Frag were used. All this methodology gives to this research report the support, sustenance and respective seriousness. Finally, it was obtained as a result the elimination of cut shots, secondary blasting and manual crushing saving S/. 8.097/m<sup>3</sup>, it was reduced by 65% in the extraction times so the volume per requirement was increased obtaining gains of S/.25,000.00, the same ones that are presented by means of tables, enumerated graphs, each one with their respective analysis that contributed to verify the hypothesis, if the design of a system of perforation and blasting of rocks is made applying mathematical models it will allow to optimize the fragmentation of the limestone rock in the PROVEN III quarry in hill Collique - Zaña.

All this work allowed to conclude that the design of a drilling and rock blasting system using the mathematical model Konya optimized the fragmentation of the limestone rock according to the P80 of 6.71 inches (17.04 cm).

**KEYWORDS:** System, optimization, design, drilling, blasting.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Realidad problemática

Los recursos minerales abarcan gran importancia en el crecimiento de la economía peruana, el gran potencial de yacimientos no metálicos como la caliza tiene una gran demanda en distintas industrias como cementeras ubicadas en torno a nuestro territorio. En la investigación de Chávez, (2015) da a conocer la importancia de la caliza, menciona que al transcurrir el tiempo este mineral ha ido en crecimiento en las agroindustrias y las distintas inversiones mineras un ejemplo de ellos es el sector minero y metalúrgico de Cajamarca.

La roca caliza es abundante en la corteza terrestre, lamentablemente su riqueza no es aprovechada al 100% debido a distintos factores al momento de ser explotada.

La economía del Perú está basada en sectores como la minería, agrícola y Construcción, en este informe de tesis se enfocó netamente en la minería, donde se realizaron estudios previos para poder lograr su viabilidad. En la investigación de Correa, (2016). Menciona que en la región de Cajamarca ha surgido el interés por la extracción de la roca caliza, motivo por el cual la región es enriquecida geológicamente por esta roca, las formaciones calcáreas son óptimas para la producción de óxido de calcio, pero no en su totalidad, por este motivo se debe realizar un cálculo en el que consiste en un examen de laboratorio químico (cálculo de ley de carbonato), el resultado de este examen determinará su comercialización. Las minas artesanales en los distintos sectores dentro del Perú tienen diferente calidad de mineral la cual atraerá el interés de distintos consumidores. Por lo tanto, es necesario determinar la concentración del mineral para que estos sean los más aprovechables posibles, con la finalidad de tener la confianza de inversión.

Los yacimientos no metálicos en la región Lambayeque han tenido un gran crecimiento debido a la influencia que tiene la roca caliza en los sectores de construcción y agroindustrias. En la investigación de Urday, (2013). Menciona que el desarrollo de la minería al igual que la construcción han tenido un desarrollo imparables en el Perú, esto se ha logrado debido a la consecuencia de los altos precios

de los minerales a través del mercado mundial y la gran demanda del cemento en los mercados internos. Pero no todo es desarrollo, cuando nos enfocamos en temas como minas artesanales y estudiamos más de ellas nos podemos dar cuenta que la mayoría de estas se encuentran en una etapa de formalización esto perjudica grandemente a la población en general, ya que estas empresas no aportan un canon minero correspondiente como empresa formalizada, las minas artesanales son de gran importancia pero no son aprovechadas de forma correcta, por eso el gobierno debería implementar técnicas mucho más eficientes para generar el intercambio de bienestar económico para ambas partes y así beneficiar a los distintos pueblo aledaños al sector minero.

La operación minera a cielo abierto en la rama de perforación y voladura basado en un sistema, es muy empleado para la extracción de diferentes tipos de minerales en una gran variedad de canteras ubicadas alrededor de todo el Perú. En la investigación de Leiva, (2007). La perforación y voladura de rocas es la base para generar la fragmentación, por tal motivo el impacto de esta, es muy significativo en la rentabilidad de la mina, por eso es muy necesario realizar estudios previos con el fin de maximizar el efectivo desarrollo de todos los procesos posteriores.

Pero aun así en las canteras y minas artesanales en la región Lambayeque se pueden apreciar distintas problemáticas una de ellas es la manera empírica de ejecutar tareas de extracción mediante explosivos, en términos generales realizan un trabajo operacional mediante prueba y error mas no con un proceso científico. Existen distintos métodos y modelos para ayudar a diseñar dichas mallas de manera eficiente como por ejemplo los modelos matemáticos que se pueden encontrar en una gran variedad dentro de algunos manuales, como son manual López Jimeno, Konya, Enaex, Exsa. Los cuales calculan las variables de diseño para el desarrollo eficiente de un sistema de perforación y voladura de rocas. Estos manuales están basados principalmente en diseños de voladura a tajo abierto y subterránea con parámetros científicamente comprobados teniendo una mayor certeza al ser aplicados. Los distintos diseños basados en modelos matemáticos que contienen dichos manuales mencionados hacen mucho énfasis en el desarrollo en la extracción de recursos minerales de pequeñas canteras y mineras artesanales, ya que en gran minería estos



modelos matemáticos son empleados en software, estos modelos matemáticos y software facilitan dichos diseños dando predicciones más eficientes y así lograr una fragmentación óptima y por el mismo motivo reducirá costos y tiempos que se están empleando de forma innecesaria, mejorando así la producción en distintas empresas mineras encargadas a la extracción de este mineral tan requerido.

La voladura de rocas de manera ingenieril es un trabajo en el cual se aplica diseños matemáticos y ajustes experimentales, ya que genera un gran efecto operacional que son como, mala fragmentación, boloneras, proyección de fragmento de roca (fly rocks), inestabilidad de taludes.

En la investigación de Yahuana, (2015). Menciona tres problemas principales en la cantera Cerro Negro. La fragmentación inadecuada que presenta la cantera esto genera voladura secundaria, en otros términos, incremento de costos operacionales. La altura de apilamiento del material que es muy alto lo cual genera desprendimientos al momento del carguío de mineral. La proyección de fragmentos de roca debido al mal diseño de voladura, lo cual debe ser controlado puesto que ocasiona daños a las instalaciones, equipos y poblaciones aledañas, donde la empresa perdería horas de trabajo y paradas de equipos al igual que ser responsable a los daños ocasionados a los sectores aledaños. En la cantera Proven III, se logra apreciar similitud a los distintos problemas mencionados el trabajo de investigación de Yahuana. Actualmente los modelos matemáticos y las tecnologías disponibles generan un adecuado diseño de voladura, lo cual permite controlar estos problemas operacionales, ajustando mediante técnicas en el área de estudio.

#### 1.1.1. A nivel internacional

Al desarrollar el sistema de perforación y voladura, fue necesario evaluar distintos procedimientos lo cual ayudo a diseñar la malla de perforación, en donde se realizó la operación, ya que gracias a esto dependió la productividad del proyecto en general, evitando realizarse gastos innecesarios y ahorrando tiempos de extracción para generar una mayor producción. En la investigación de Correa, (2016). El diseño de la voladura en la mina el tesoro es ejecutada por procedimientos, los cuales consideran los siguientes aspectos: Avance del

disparo, el volumen movido del material, fragmentación y costo total del disparo. Pero todo el desarrollo de la voladura no siempre se desarrolla con el fin de obtener ganancias que beneficiarán a la empresa que desarrolla dichas operaciones sino también para no perjudicar temas correspondientes al medio ambiente y la población en general.

En la mayoría de casos en las canteras se puede apreciar que no existe mallas de perforación adecuadas para dicha explotación, las mallas existentes son llamadas empíricas las cuales constan de una distribución irregular donde no se tienen en cuenta las condiciones geológicas de la roca o sector en general y mucho menos los datos de algún modelo matemático que ayude a la distribución de taladros de manera adecuada para cada terreno a explotar, por tal motivo se obtuvieron resultados múltiples de dicha operación en diferente sectores dentro de la misma cantera, dificultando la producción en general ya que la fragmentación de la roca no es la adecuada, generando mayores gastos en mano de obra para poder fragmentar dicha roca y así poder ser transportadas, lo que obligaba a perder tiempo en la producción.

En la investigación de Correa, (2017). El trabajo realizado por los trabajadores encargados de temas de voladuras o más conocidos como explosivitas consiste en colocar a criterio los explosivos, obviando las propiedades del macizo rocoso (físicas y químicas), su estado geológico, dimensiones geométricas de los bancos y las condiciones de los explosivos.

Las propiedades del macizo rocoso tanto químicas y físicas, como son la dureza, densidad de la roca, entre otras, así como también la geología en la depositación de los estratos, fallas, tipos de mineral, son parámetros no controlables vitales en la elaboración de un diseño de malla de perforación y voladura de rocas. También existen parámetros controlables como las propiedades de los explosivos, características geométricas del área de explotación, modelos matemáticos, simulaciones computarizadas.

En la mina el Tesoro la fragmentación existente luego del proceso de voladura es muy deficiente, a pesar de que se hizo seguimientos al 91% de las

voladuras, estas mostraron resultados no accesibles ya que el tamaño medio de las aristas era mayor a 1 metro (...) esto genera un costo adicional por que será necesario realizar voladuras secundarias para continuar con la conminación de la roca y esta pueda ser accesible para su transporte hacia la planta de beneficio.

La cal (Oxido de calcio, hidróxido de calcio), es un producto muy comercializado y solicitado por varias empresas de gran jerarquía por eso se es necesario realizar la extracción de este mineral de la manera más adecuada, en la mayoría de las canteras se puede notar que la roca caliza no es aprovechada como se debería, a pesar de su alta riqueza en distintas zonas.

¿Cuán importante son los explosivos para el proceso de voladura?, Los explosivos con el transcurrir el tiempo, han ido mejorando gracias a la tecnología brindando así una mejor eficiencia en su uso, por eso fue tan importante realizar este estudio para identificar el tipo, cantidad y calidad de explosivo para el desarrollo en las operaciones de voladura.

Romero, (2009). La evolución de la industria de los explosivos ha mejorado increíblemente (...) Los países de Sudamérica realizan fabricaciones de explosivos basándose en la mejor tecnología, y esta tecnología va referente a temas de voladura y operaciones en el campo vial. Los explosivos se pueden entender como un punto crítico en el desarrollo de un plan de minado, estos ayudaran en la optimización de distintos tipos de recursos que se necesitan extraer. La optimización es un proceso muy complejo ya que las condiciones físicas en las que se realizarán son cambiantes o variables y esto puede afectar a temas económicos incluso más allá temas correspondientes a daños estructurales, por eso se es necesario tener un conocimiento amplio para manipular distintos tipos de explosivos, existen distintos manuales que orientarán su versatilidad y así facilitar su operatividad.

Cisternas, (2016). Incentivar una mejora continua en apoyo a la eficiencia en las operaciones del sistema de perforación y voladura en Mina Rajo Sur, por tal motivo se subdividió cada sector por lo que se designó la implementación de un sistema de gestión llamado LEAN (...) al aplicar de manera eficaz el

procedimiento de trabajo asegura la calidad del material volado con el objetivo de optimizar el beneficio en equipos como carguío y transporte.

La optimización para el proceso de carguío y transporte es debido a un buen proceso de la perforación y voladura realizada, gracias a esta operación y al estudio previo se logró una fragmentación adecuada, al igual que los anteriores estudios se tuvo muy en cuenta los indicadores de voladura con respecto a la secuencia de minado al igual que los modelos matemáticos y su método de aplicación con respecto a sus estándares, decisiones operativas e indicadores. etc.

#### 1.1.2. A nivel nacional

El proceso de perforación y voladura es la etapa más importante durante la extracción del mineral en distintos tipos de yacimientos, donde incluyen los mayores costos y presupuestos, fue preciso estudiar, organizar y controlar cada etapa de perforación y voladura, así como sus variables dependientes. El resultado de una buena fragmentación está en función del diseño de malla, diseño de explosivo (carga) y diseño del amarre del disparo, estructura geológica, tipo de roca, caracterización estructural.

Mamani, (2016). Menciona en su tesis que para la construcción de carreteras (accesos), voladura en canteras, minas a tajo abierto y todo tipo donde se realice voladura, se necesita realizar estudios previos y tener en cuenta las variables las cuales son de ayuda para la toma de decisiones de grandes proyectos, como por ejemplo el explosivo óptimo, el tiempo de operación de minado, modelos matemáticos, entre otros, por ejemplo, los modelos matemáticos son importantes para el desarrollo de sistemas de perforación y voladura de rocas. Gracias a estos modelos se puede optimizar la fragmentación del mineral generando desarrollos eficientes y así su transporte puede ser adecuado para los siguientes procesos.

En gran parte de las operaciones de compañías mineras (metálicas o no metálicas) la voladura se encarga de obtener una fragmentación óptima del macizo rocoso en términos de adecuación secuencial de minado para que este

material pueda ser transportado y procesado de manera eficiente.

En la investigación de Carhuacho, (2011). La voladura existe con el fin de fragmentar el macizo rocoso, pero si esta no se desarrolla de manera adecuada la fragmentación no será óptima, por lo tanto, en la obligación de realizar la fragmentación de manera óptima se es necesario realizar voladuras secundarias, las cuales son conocidas como cachorreos generando un gran costo al proceso. Por tal motivo es importante realizar estudios previos o que toda empresa minera mantenga un enfoque técnico - sistemático de una malla de perforación y voladura con ayuda de enfoques tecnológicos o modelos matemáticos los cuales ayudaran a una mejor interpretación sobre una malla de perforación con un orden en la secuencia de voladura, lo cual evitara las voladuras secundarias y gasto de mano de obra innecesaria ahorrando tiempo, dinero y una mejor producción para la empresa.

En el informe de tesis de Mendoza, (2014). Identifico la mala voladura que se realizaba en Paraíso (unidad minera – Ecuador), debido a que el material fragmentado es inadecuado para lo que requiere la chancadora, la cantidad de material producto de la voladura es inferior o mayor a lo esperado y el avance requerido por disparo no era el ideal era menor de lo esperado. Lo que ocasionó bajo rendimiento en los equipos (transporte y acarreo), tiros cortados ocasionando voladuras secundarias y el incremento del costo de voladura.

En la minería no metálica peruana se puede observar con facilidad la falta de herramientas técnicas para desarrollar los procesos de perforación y voladura, es muy común encontrar canteras en la región Lambayeque que para el sistema de perforación y voladura empleen métodos convencionales o realizados por experiencia del personal lo cual son métodos que generan resultados aceptables, pero de una u otra manera con grandes desventajas con respecto a costos innecesarios y fragmentación del material no muy óptimas.

Nuestro país está lleno de riquezas minerales, existe una gran diversidad de minerales ya sean metálicos o no metálicos, los yacimientos encontrados en

las distintas partes del Perú son en su mayoría satisfactoriamente económicos y rentables para su extracción, en la riqueza no metálica entre ellas se puede mencionar a la roca caliza, existe una gran abundancia en las distintas regiones del Perú, las cuales han sido muy requeridas para las industrias de la construcción, la disponibilidad de estas rocas son muy extensas. En la investigación de Correa, (2016). El Perú cuenta con grandes extensiones de roca caliza, por lo tanto, se puede entender la riqueza que posee el país, estas extensiones son aprovechadas por empresas de gran dimensión las cuales se dedican en su mayoría a la fabricación de cemento.

Pero existe un problema que afecta considerablemente a su extracción y es que los procesos de extracción en su mayoría son muy convencionales por lo tanto los esquemas que desarrollan para la perforación y voladura no son lo todo satisfactorios, los cuales provocan gastos innecesarios, contaminación al medio ambiente, debilidad en la roca.

#### 1.1.3. A nivel local

El sector minero es fundamental para el desarrollo económico en el Perú, por el mismo hecho la economía peruana depende mucho de su buen funcionamiento, aparte de ello la actividad minera brinda la vida laboral de muchos peruanos, la minería representa más del 60% de las exportaciones, a pesar de las deficiencias que viene trayendo consigo el desarrollo de esta actividad minera como son los temas con carácter ambiental, ingenieril y social. Esto ha afectado mucho en temas como el atraso económico y educacional en algunos sectores del Perú con mucha actividad minera, la ausencia del gobierno que no brindar soluciones oportunas o políticas sin claridad que perjudican el progreso de dichos sectores del Perú.

Este informe de tesis es referente a la cantera PROVEN III ubicada en cerro Collique – Zaña, tiene como problemática la inadecuada fragmentación ya que el tamaño que obtienen a partir del diseño de perforación y voladura de rocas no es el deseable (bolonería) con dimensiones que varían entre 20 pulgadas a 50 pulgadas, por tal motivo se contrata personal para reducir la fragmentación

a tamaños deseables de 6 pulgadas a 9 pulgadas por medio de golpes (combas y barretas), con casos extremos, se realiza voladura secundaria para rocas con dimensiones de 50 pulgadas a 80 pulgadas. Esto se debe a que sus procesos de extracción son de forma no científica, por el hecho que no poseen un conocimiento técnico – ingenieril sobre temas referente a la perforación y voladura con sub temas como la evaluación geológica, litológica, geomecánica y explosiva. Los cuales son muy esenciales para dar un desarrollo adecuado a la malla de perforación y voladura de rocas, esto ha ocasionado impactos negativos para el desarrollo de la producción de dicha empresa generando pérdida de tiempo, costos, material y una mala seguridad.

La cantera está ubicada en Collique bajo a 5 kilómetros de la ciudad de Cayalti, el cual pertenece al centro poblado Saltur en el distrito de Zaña a una altitud comprendida entre los 60 msnm. El recorrido para poder ingresar al área de producción es posible desde Chiclayo hasta llegar al pueblo de Mocupe nuevo (cruce Zaña, carretera panamericana norte Km. 750), luego se continua hacia el oeste siguiendo la Carretera asfaltada de Oyotún hasta llegar al centro poblado de Cayalti, para luego seguir por la carretera Collique bajo, donde se encontrará una tranquera por la cual se seguirá por un camino de trocha hacia la cantera PROVEN III, de acuerdo a la tabla, siguiente:

Tabla N° 01: Acceso a la cantera Proven III.

RECORRIDO	TIPO DE VÍA	DISTANCIA
Chiclayo – Cayalti	Carretera Asfaltada	51.5 Km.
Cayalti - cantera	Trocha	5 km.

Fuente: elaboración propia.

TITULAR: Irma Apaestegui Llatas, CONCESIÓN: PROVEN III, HECTAREAS: 100,00,  
ESTADO: TITULADO, CATASTRO MINERO: 030002209.

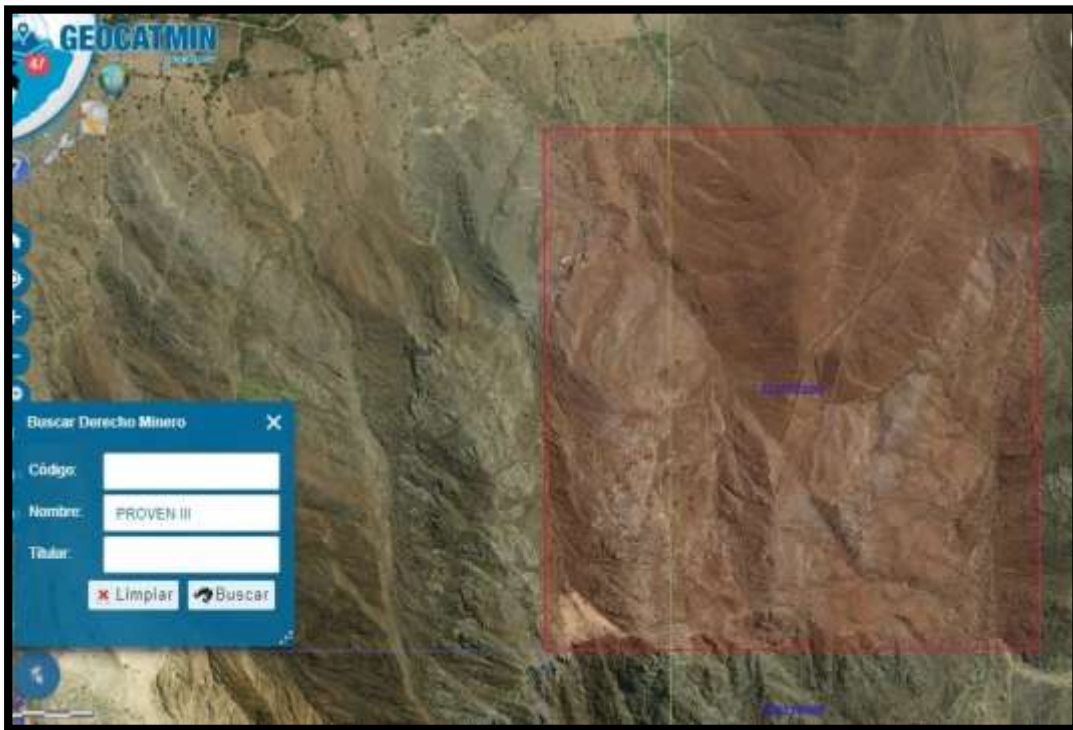


Figura N° 01: Ubicación de la cantera Proven III.

Fuente: Geocatmin, Ingemmet, 2018.



Tabla N° 02: Toma de coordenadas UTM WGS84 de la concesión.

Puntos N°	Coordenadas	
	NORTE	ESTE
1	9,243,635.87	658,745.34
2	9,243,635.89	659,745.33
3	9,242,635.89	659,745.33
4	9,242,635.88	658,745.34

Fuente: Google Maps, 2019.

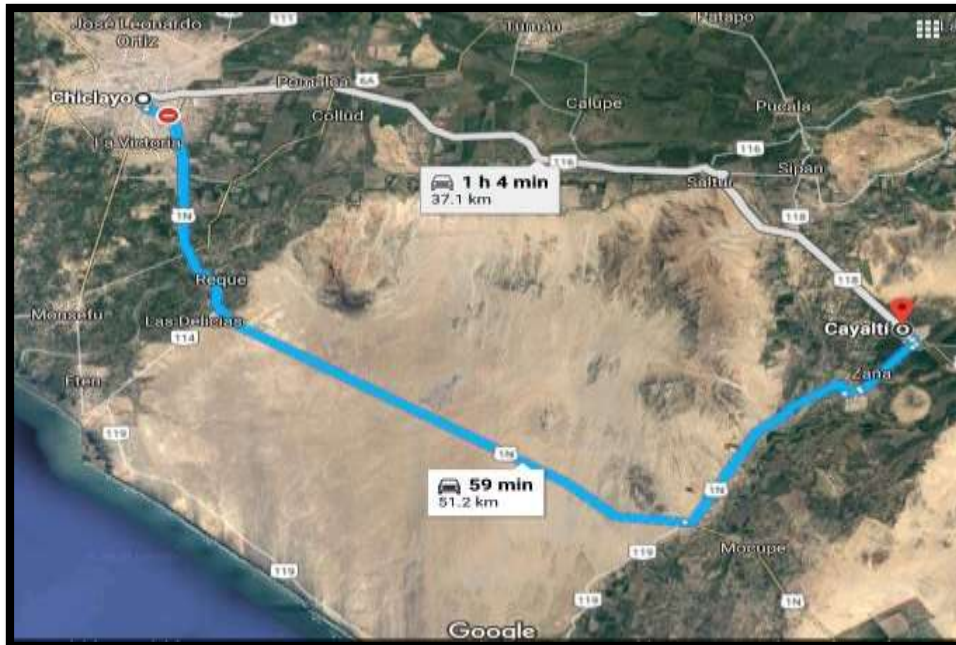


Figura N° 02: Acceso a la cantera Proven III.

Fuente: Ingemmet, 2018.

## 1.2. Trabajos previos

Tras la búsqueda de bibliografías entre internacionales, nacionales y locales con respecto a la relación para sustentar la presente investigación científica encontramos los siguientes:

### 1.2.1. A nivel internacional

En la tesis de AGUIRRE GARCIA, Andrés (2016). Titulada: Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el abra. Para optar al título de ingeniero civil de minas, por la universidad de Chile, en la cual tiene como objetivo la aplicación de distintos explosivos en su mayoría de alta energía de manera estandarizada al momento en que se realiza la voladura de determinadas zonas específicas en la compañía minera esto ayudará a tener resultados óptimos referente al proceso de fragmentación y costos aledaños al diseño.

En la tesis de ZÚÑIGA TORRES, Pablo (2015). Titulada: Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de compañía minera cerro negro. Para optar al título de ingeniero civil de minas en la universidad de Chile en la cual su objetivo principal implementación de metodologías operacionales que dan como resultado roca fragmentada con sus debidas características granulométricas. La cual concluye: En un tiempo determinado (6 meses) que estuvo en el tajo cerro negro, el objetivo se logró luego de realizado el estudio planteado, y como resultado de las voladuras la obtención de la fragmentación de forma adecuada para los siguientes procesos (...) los temas netamente de perforación y voladura luego de pasar los 3 meses se pudo concluir que los mejores resultados se obtuvieron debido a la ubicación del sector y la litología.

En la tesis de CAGUANA GUTIÉRREZ, Andrés y TENORIO TUPACYUPANQUI, Manuel (2013). Titulada: Optimización de los parámetros y voladura en la cantera las victorias. Previo a la obtención del título de ingeniero civil, el objetivo principal consiste analizar los patrones de

perforación y voladura de rocas utilizados en la cantera las victorias. En la que concluye: Que el diámetro del taladro de 36 milímetros no es recomendable, para los tipos de trabajos que se realizan en la cantera. Para obtener los parámetros de perforación y voladura se estableció que el modelo matemático López Jimeno es el más óptimo, por tal motivo fue necesario reducir la distancia entre taladros y disminuir la cantidad de energía explosiva para lograr la fragmentación adecuada.

En el manual de CASTILLA GÓMEZ, Jorge y HERRERA HERBERTH, Juan (2013). Titulada: Perforación y voladura de rocas en minería, en la que se sintetiza lo siguiente: Para la extracción de la roca en terrenos competentes es necesario realizar técnicas de perforación y voladura aun así no se utilicen medios mecánicos por el motivo de que muchas veces estos no son rentables, una vez planteado este concepto se puede entender que cada método de explotación debe tener un estudio previo a su desarrollo.

En la tesis de BARRERA PALACIOS, Luis Damián (2017). Titulada: Validación del modelo Kuz – Ram para optimizar la fragmentación de roca por voladura, para la obtención del título profesional de ingeniero de minas y metalurgista, en la cual tiene como objetivo principal es explicar la función del modelo predictivo de fragmentación Kuz – Ram y plasmar a través de un caso y contrastar los resultados para demostrar su eficiencia, en la que concluyó: que al utilizar el modelo Kuz – Ram se evitará la voladura secundaria, aunque existe un mínimo porcentaje de error entre la fragmentación real que la simulada, esto se debe a que las características del material suelen ser variables in situ.

### 1.2.2. A nivel nacional

En la tesis de QUEQUE ARIAS, Marco Antonio Martin (2017). titulada: Estudio técnico – económico para la reducción de tiros cortados y tiros fallados en minería superficial, para optar el título de ingeniero de minas en la universidad nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna en la que se tiene por objetivo: Realizar un estudio técnico – económico en una explotación minera superficial para eliminar tiros cortados y tiros fallados, en la que llego a la conclusión: Que las causas más relevantes para que existan tiros fallados y cortados, con respecto a un estudio ingenieril son por causas operacionales, practicas mal ejecutadas e incumplimiento de los procedimiento de la perforación y voladura.

En la tesis de GAOMA GONZALES, Jesús (2015). Titulada: optimización de la voladura, mina la virgen – de la compañía minera san simón s.a. – Huamachuco

– Trujillo, para la obtención del título profesional de ingeniero de minas en la universidad nacional de Piura la cual tiene como objetivo optimización en el proceso del desarrollo de la perforación y voladura de rocas para conseguir la disminución de costos en distintas operaciones de los tajos de explotación. En la cual justifica lo siguiente: El estudio es realizado por motivos de los problemas constante presentados en el desarrollo de la actividad, la fragmentación no se obtenía de manera óptima en los resultados. El transporte del material era muy costoso además de esto los costos generados por voladuras secundarias para poder así fragmentar la roca a tamaños accesibles.

En la tesis de BECERRA TERAN, Rogger y HERNÁNDEZ SUÁREZ, Wilde Alonso, (2016). Titulada: Estudio y selección del método de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca, en la cantera Mitopampa, Cajamarca, 2016. Para obtener el título profesional de ingeniería de minas en la universidad Privada del Norte. La cual tiene como objetivo principal: Optimizar los procesos de perforación y voladura de rocas

por medio de un método adecuado. Y concluye: El método de perforación y voladura optimiza la fragmentación de la roca siendo el más confiable el método de López Jimeno, para el cálculo de un eficiente parámetro de voladura.

En la tesis de VILLEN ALEGRE, Cristhiam Daniel, (2013). Titulada: modelos matemáticos para predecir el lanzamiento de fragmentos de rocas en minería superficial. Para obtener el título profesional de ingeniería de minas, en la universidad nacional de ingeniería, en la que se tiene como objetivo principal: Lograr una comunicación efectiva con la comunidad minera y dar a conocer la variedad de impactos producidos por las voladuras principalmente en el tema ambiental esto es debido al mal diseño de esta y a partir de eso promover la tecnología de las voladuras con responsabilidad socio-ambiental, haciéndola viable y protegiendo sus bienes y/o vidas. Y concluye: Que el material homogéneo en la mayoría de casos o siempre es afectado por la variedad de estructuras geológicas lo que ocasiona que los cálculos de las velocidades sean muy difíciles.

En la tesis de ALFARO SULCA, Rene, (2016). Titulada: Diseño de malla de perforación y voladura en la cantera sur para producción de roca escollera en la Cía. Minera El Brocal Cerro de Pasco. Para obtener el título profesional de ingeniero de minas en la universidad Nacional del Altiplano. La cual tiene como objetivo principal: Determinar el diseño de la malla de perforación y voladura en la cantera sur de caliza para producir roca escollera para generar enrocado. Y concluye: El cálculo de los parámetros fue mediante la fórmula Pearse, Burden 4 m y espaciamiento 4 m, obteniendo una fragmentación característica que requiere la empresa.

### 1.2.3. A nivel local

No se encontraron trabajos previos a nivel local relacionados con el tema propuesto en este proyecto.

### 1.3. Teorías

Las teorías y ciencias que se presentan a continuación amparan el desarrollo de este informe de tesis.

#### 1.3.1. Ciencias

##### ❖ **Geología**

Esta teoría estudia el ámbito general de la corteza terrestre en indicadores de deformaciones, pliegues, orogénesis, epirogénesis, fuerzas de desplazamiento de la tierra, procesos endógenos, exógenos, evolución e historia de los materiales, en si esta teoría es de sumo interés para comprender los procesos y causas que tiene la corteza terrestre y como uno acoge esta información para un análisis descriptivo de las zonas a estudiar (Duque, 2017).

El objetivo principal de esta ciencia en este informe de tesis fue la identificación de las unidades geológicas del pasado y los procesos de sedimentación de los distintos ambientes de estudio pertenecientes a Zaña, la relación con la litología, morfología y yacimiento mineral.

##### ❖ **Topografía**

Esta ciencia estudia el conjunto de procesos para establecer puntos, cotas, áreas, distancias sobre la superficie terrestre. Esta teoría se familiariza con los instrumentos y métodos de precisión con sus respectivos indicadores topográficos como coordenadas, relieve y geometría, etc. Llamamos levantamiento topográfico a la delimitación de puntos dentro del área que se requiere estudiar (norte, este y elevación) Entonces en el ámbito minero tiene gran importancia, esto permitirá un control estructurado de los avances y plasmar los diseños en áreas determinadas para establecer un orden de extracción (Castillo, 2015).

Esta ciencia fue utilizada con el fin de sectorizar el área de trabajo donde se realizó el sistema de perforación y voladura de rocas a través de los límites y las

coordenadas de ubicación del lugar, dando así la facilidad para para la aplicación de la misma, además también ayuda a definir la secuencia de extracción del material.

#### ❖ **Mecánica de rocas**

Es una ciencia que engloba teorías de entendimiento práctico basados en las propiedades y conductas de la roca y la reacción ante esfuerzos aplicados. La aplicación de esta ciencia se agrupa en: excavaciones de túneles, galerías, taludes, área de explotación. La geomecánica tiene asociación a esta ciencia debido a que las masas rocosas aparecen afectadas al tipo y calidad de mineral o roca de un cuerpo mineralizado. El cambio estructural y superficial como las fallas, discontinuidades, permeabilidad, porosidad, etc., modifica el comportamiento en esfuerzos y presiones tensionales o compresivos y esto puede afectar al rendimiento de los trabajos mineros tanto superficiales como subterráneos en áreas como perforación y voladura, sostenimiento, estabilidad de taludes, etc. (Canahua, 2018).

Cuando se diseña una malla de perforación, la geomecánica juega un papel muy importante, debido a que las características que se relacionan con la conducta del material rocoso se tomaron en cuenta para poder analizar profundamente cada modelo matemático mencionado, así como el índice de volabilidad que necesita el macizo rocoso para ser fragmentado. Las características mecánicas que posee la roca tienen un límite a fin de lograr una fragmentación requerida producto de una voladura.

#### ❖ **Matemática**

La matemática ayuda a resolver los problemas de operaciones básicas y complejas, por medio de un razonamiento cuantitativo, en los distintos parámetros informativos que se tiene en relación a la perforación y voladura de rocas. Esta ciencia forma parte de una competitividad en función de hallar, expresar e interpretar con claridad la posibilidad real de una solución, basado en

técnicas, procesos y análisis (Santamaría, 2012).

La matemática es de mucha utilidad para los cálculos realizados en este informe de tesis, un ejemplo de ello son los modelos matemáticos donde se utilizó mucho razonamiento cuantitativo y el desarrollo de operaciones básicas para poder hallar el Burden, espaciamiento, taco, sobre perforación, longitud de perforación y longitud de carga y así se pudo realizar una comparación entre todos los modelos matemáticos mencionados y así se eligió el más óptimo para la zona de estudio.

#### ❖ **Perforación y voladura de rocas**

Esta ciencia se puede entender como una habilidad practica que es desarrollada mayoritariamente en compañías mineras y civiles para la extracción de material rocoso.

La técnica se basa en abrir un hoyo en la roca por medio de una máquina perforadora en la cual al término de la perforación en cada hoyo se situará masa explosiva que al momento de realizar la detonación la energía emitida por el explosivo se transmitirá a lo largo de la roca provocando la fragmentación de esta (Cáceres, 2018).

La perforación y voladura de rocas es la primera ejecución de extracción donde tiene un conjunto de procesos como elegir el tipo de máquinas manuales o mecánicas de perforación, elección de explosivos, secuencia de salida en la voladura, etc. Por ende, los costos son muy elevados y críticos, así como también la seguridad de esta ciencia.

### 1.3.2. Teoría de la variable independiente

#### ❖ **Teoría de diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas**

El desarrolló para un sistema de perforación y voladura de rocas consiste en un conjunto de procesos que nos guiaran hacia el resultado de este trabajo de investigación los cuales han sido analizados detalladamente para lograr de manera óptima su viabilidad.



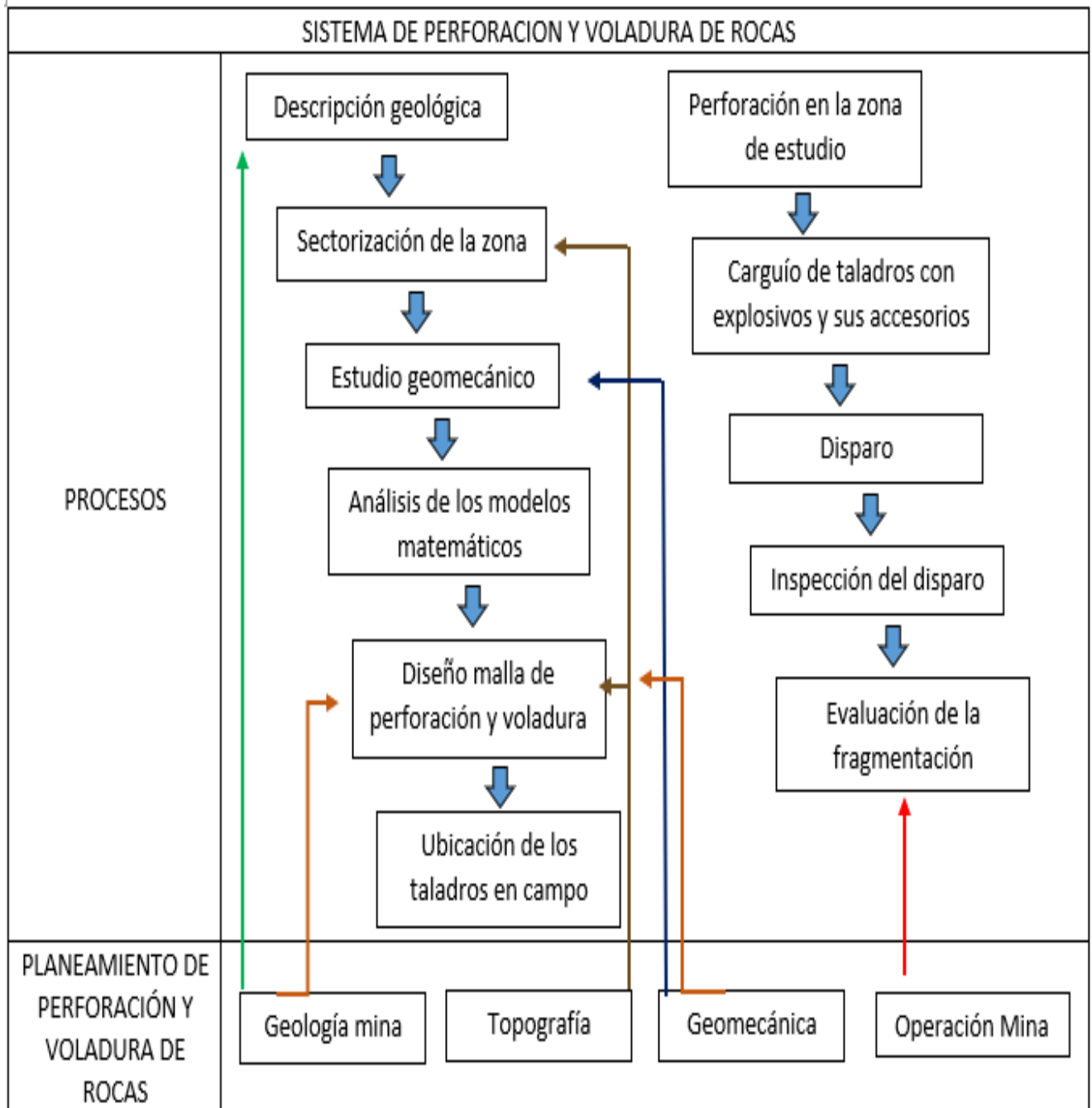


Figura N° 03: Sistema de perforación y voladura de rocas.

Fuente: Elaboración propia.

### Clasificaciones geomecánicas:

La efectividad de la fragmentación está basada en las propiedades mecánicas y caracterización del material rocoso.

Según, (Calcina, 2018):

✓ **Rock Mass Rating (RMR):** Se usó en unidades estructurales particulares en el sector de preparación donde se pudo definir la calidad del material rocoso por medio de puntajes, lo que engloba seis parámetros usados para su clasificación, RQD, espaciado de juntas, condiciones juntas, presencia de aguas freáticas y orientación de las discontinuidades.

✓ **Rock Quality Designation (RQD):** Es un instrumento que cumple la función de cuantificar el grado de fracturación que se encuentra la región de estudio, definiendo de esta manera el número juntas encontradas por metro lineal y da como resultado un porcentaje referente a su calidad, donde se incorpora en las tablas del índice RMR.

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} * (1 + 0.1\lambda)$$

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{distancia (m)}}$$

✓ **Módulo de Young:** Se le conoce también como módulo de elasticidad, es un parámetro el cual se caracteriza por el comportamiento que presenta los materiales a lo largo de su eje longitudinal, como resultado de fuerzas tensionales. Ayuda a determinar el índice de volabilidad del material rocoso.

Se ha determinado por medio de fórmulas empíricas que se relacionan con la calidad del macizo rocoso.

$$EM \text{ (GPa)} = 2 * RMR - 100$$

Bieniawski (1978)

Esta ecuación tiene validez para rangos de  $55 < RMR < 100$ .

✓ **Coefficiente de Poisson:** Define la deformación entre la transversal y axial, este varía por lo general entre  $0.10 < \nu < 0.50$ .

✓ **Resistencia a la compresión uniaxial:** Consiste en la medición de la resistencia de la roca en Mpa, este ensayo se realiza mediante la compresión de dos prensas de acero sobre el eje central de la roca, por tal motivo es necesario utilizar testigos cilíndricos y se realizan según la norma ASTM D2938 (Vásquez, 2015).

**Modelos matemáticos**

(Manual López Jimeno, 2014)

**Pearse (1955)**

Emplea el significado de la energía de deformación por unidad de volumen con lo cual se obtuvo la siguiente formula:

$$B = K_v \times 10^{-3} \times D \times \left(\frac{PD}{RT}\right)^{1/2}$$

Dónde:

B = Burden

$K_v$  = Constante que depende de las características de las rocas (0,7 a 1,0). D = Diámetro del barrenado (m m)

PD = Presión de detonación del explosivo ( $Kg/cm^2$ )

RT = Resistencia a tracción de la roca ( $Kg/cm^2$ )

Tabla N° 03: Constante  $K_v$ .

ESTIMACIÓN DE LA ROCA	JSF	RQD
Fuerte	1	75-90
Media	0.9	50-75
Débil	0.8	25-50
Muy débil	0.7	0-25

Fuente: Manual López Jimeno, 2014, pp.541.

$$K_v = 1.96 - 0.27 \ln (ERQD)$$

$$ERQD = RQD \times F_c (JSF)$$

### Resistencia a la tracción

$$RT = \frac{RC - 280}{21}$$

Dónde:

RC= Resistencia a la compresión de la roca.

RT = Resistencia a la tracción

Parámetros:	
Espaciamiento (S):	S=B
Sobreperforación (J):	J= B x 0.08
Taco (T):	T= 0.3 x B
Altura de Banco (H):	H= 2m
Longitud de perforación (Lp):	Lp= H+J
Longitud de carga (Lc):	Lc= (L+J) - T

### ASH (1963)

$$B = \frac{K_B \times D}{12}$$

Donde  $K_B$  depende de la clase de roca y tipo de explosivo empleado.

Tabla N° 04: Tipo de explosivo y roca.

TIPO DE EXPLOSIVO	TIPO DE ROCA		
	Blanda	Intermedia	Tenaz
Baja densidad (0,8 a 0,9 g/cm <sup>3</sup> ) y baja potencia	30	25	20
densidad media (1,0 a 1,2 g/cm <sup>3</sup> ) y potencia media	35	30	25
Alta densidad (1,3 a 1,6 g/cm <sup>3</sup> ) y alta potencia	40	35	30

Fuente: Manual López Jimeno, 2014, pp.541.

D= Diámetro

B= Burden

Profundidad de barrenos:  $L = K_L \times B$  ( $K_L$  entre 1,5 y 4)

Sobre perforación:  $J = K_J \times B$  ( $K_J$  entre 0,2 y 0,4)

Retacado:  $T = K_t \times B$  ( $K_t$  entre 0,7 y 1)

Espaciamiento:  $S = K_s \times B$

Longitud de perforación (Lp):  $L_p = H + J$

Longitud de carga (Lc):  $L_c = (L + J) - T$

$K_s = 2.0$  para iniciación simultánea.

$K_s = 1.0$  para barrenos secuenciados con mucho retardo.

$K_s =$  entre 1.2 y 1.8 para barrenos secuenciados con pequeño retardo.

### **López Jimeno, E (1980)**

El enfoque de López Jimeno denomina voladuras de pequeño diámetro a aquellas que se encuentran en el rango de 65mm a 165mm de diámetro de perforación.

Altero la ecuación de Ash donde añadió la velocidad sísmica del material rocoso, con lo que resulto la siguiente fórmula.

$$B = 0,76 \times D \times F$$

Dónde:

B= Burden (m)

D= diámetro del barreno (pulg.)

F= Elemento correctivo en función del tipo de roca y explosivo  $F = F_r \times F_e$

$$f_r \left[ \frac{2,7 \times 3500}{p_r \times VC} \right]^{0,33}$$

$$f_e \left[ \frac{p_e \times VD^2}{1,3 \times 3660^2} \right]^{0,33}$$

Siendo:

$p_r$  = densidad de la roca ( $g/cm^3$ )

VC= velocidad sísmica de propagación del macizo rocoso (m/s)

$p_e$ = densidad de la carga de explosivo ( $g/cm^3$ )

VD = velocidad de detonación del explosivo (m/s)

Espaciamiento:  $E=1.3*B$

Factor de carga (Fc):  $Fc= \text{Varía entre } 250 \text{ y } 700 \text{ g/m}^3$

### **LANGEFORS (1963)**

Langefors y Kihlstrom propone la siguiente ecuación para determinar el valor de la Burden Máximo " $B_{max}$ ".

$$B_{max} = \frac{D}{33} \sqrt{\frac{\rho c \times PRP}{C \times f \times \left(\frac{S}{B}\right)}}$$

Dónde:

$B_{max}$ , = Burden máximo (m).

D = Diámetro del barreno (mm).

C' = Constante de roca (calculada a partir de c).

F= Factor de fijación. Barrenos verticales  $f = 1$ . Barrenos inclinados 3:1  $f = 0,9$ .

Barrenos inclinados 2:1  $f = 0,85$ .

Ev:  $S/B$  = Relación Espaciamiento/Burden; puede estar entre 1 a 2.

$\rho c$  = Densidad de carga ( $Kg/dm^3$ ).

PRP = Potencia Relativa en Peso del explosivo (1 - 1,4).

La constante «c» es la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar 1 m<sup>3</sup> de roca, normalmente en voladuras a cielo abierto y rocas duras se toma c = 0,4. Ese valor se modifica de acuerdo con:

$$B = 1,4 \sim 15 \text{ m} \qquad c = c + 0,75$$

$$B < 1,4 \text{ m} \qquad c = 0,07/B + c$$

El Burden máx. Se determina a partir de:

$$B = B_{max} - e' - d_b \times H$$

Dónde:

H = Altura de banco (m).

e' = Error de emboquille (m/m).

d<sub>b</sub> = Desviación de los barrenos (m).

Espaciamiento: S=Ev\*B

Taco: T=B

Sobreperforación: J=0.3 \* B

Profundidad del taladro: L=(H+J) / Sen α

Dónde:

α = Inclinación del hoyo respecto a la horizontal.

Longitud de carga (Lc):  $Lc = (L+J) - T$

### **KONYA (1983)**

$$B = \left( \frac{2Pe}{Pr} + 1.5 \right) \times d$$

Dónde:

B = Burden (pies).

Pe = Densidad del explosivo.

Pr = Densidad de la roca.

d = Diámetro de la carga (pulg).

**Correcciones por factores geológicos:** La geología es una variable que genera más exactitud al Burden, debido a que el macizo rocoso tiene características variables como su resistencia, densidad, estructuras geológicas, depositación de los estratos y fracturas.

Tabla N° 05: Corrección por el tipo de depósito

Orientación de los estratos	Kd
Estratos perpendiculares al corte	1.18
Estratos hacia a la cara	0.95
Otros tipos de depósitos	1.00

Fuente: Manual Konya, 2010, pp. 281.

Tabla N° 06: Correcciones para estructura geológica

Estructura Geológica	Ks
Altamente fracturada, juntas frecuentes y débiles, capas poco resistentes.	1.3
Capas delgadas competentes con juntas estrechas.	1.10
Roca intacta y masiva	0.95

Fuente: Manual Konya, 2010, pp. 281.

Burden corregido = B x Kd x Ks.

Otras variables de diseño determinadas a partir de la piedra son:

- Espaciamiento (pies):



- ✓ Barrenos de una fila instantáneos

$$H < 4B \quad S = \frac{H+2B}{3}$$

$$H \sim 4B \quad S = 2B \quad S = 2B$$

- ✓ Barrenos de una fila secuenciados

$$H < 4B \quad S = \frac{H+7B}{8}$$

$$H \sim 4B \quad S = 1,4 B$$

- Retacado (pies)  $T = 0,7 B$

- Sobre perforación (pies)  $J = 0,3 B$ .

- ✓ Longitud de perforación ( $L_p$ ):  $L_p = H+J$

- ✓ Longitud de carga ( $L_c$ ):  $L_c = (L+J) - T$

Los modelos matemáticos de perforación y voladura de rocas de minería a cielo abierto analizados por este informe de tesis no son los únicos existentes, se puede encontrar 13 modelos matemáticos más en el manual López Jimeno, al igual que en otros manuales como Exsa y Konya, El motivo por el cual se eligió estos 5 modelos matemáticos fue porque son los más utilizados actualmente, debido a que al aplicarlos dieron resultados óptimos, se realizó un análisis detallado a cada modelo matemático, los cuales consideran distintos parámetros para un diseño de malla de perforación, al término del análisis de cada modelo matemático se eligió el más completo y adaptable para la creación de una nueva malla de perforación y voladura de rocas que dio solución al problema que estuvo perenne en la zona de explotación por muchos años.

**Parámetros de diseño de Perforación y voladura de rocas, (Manual Konya, 2010):**

El diseño de perforación y voladura de rocas tiene conceptos fundamentales con la finalidad que al desarrollar la voladura sea ideal, el diseño posee parámetros que pueden

ser modificados cuando es necesario con el fin de compensar las condiciones geológicas, geomecánicas y materia explosiva, del lugar donde se requiera realizar el disparo, Para evaluar un diseño se debe tomar cada variable como crítica estas variables son: Burden, espaciamiento, taco, sobre perforación, longitud de carga y longitud de perforación, factor de carga.

Estimación del índice de volabilidad (BI) con el postulado Lilly (1986) (Manual López Jimeno, 2003) para más detalle (Ver Anexo N° 2, índice de la roca a la voladura).

$$BI = 0.5 * ((RMD + JPS + JPO + SGI + RSI) \dots (KG/TM))$$

- ✓ **Geometría de diseño:** El diseño empírico que maneja el proceso de extracción de la cantera en estudio tiene como parámetros, Burden y espaciamiento (3 m), longitud de taladro (2.2 m), retacado (1.5 m), longitud de carga (0.6 m), Sobreperforación (0.10 m) y factor de carga (0.5 Kg/tal), por lo que genera problemas de fragmentación.

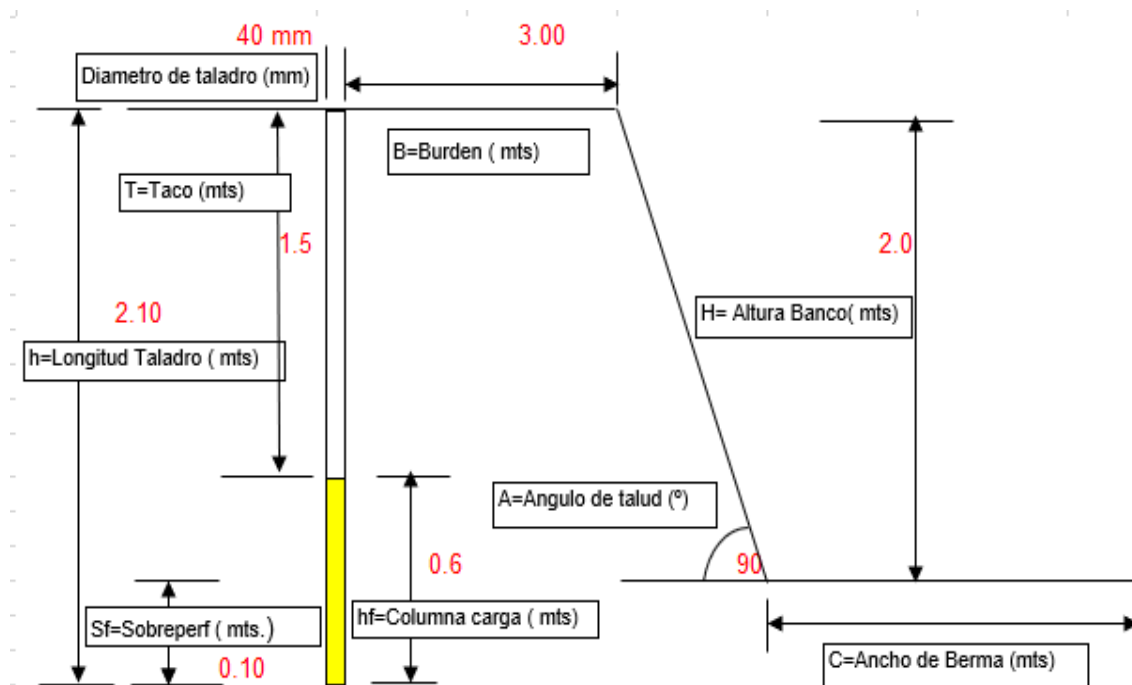


Figura N° 04: Geometría de diseño

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Nomenclatura de diseño:**

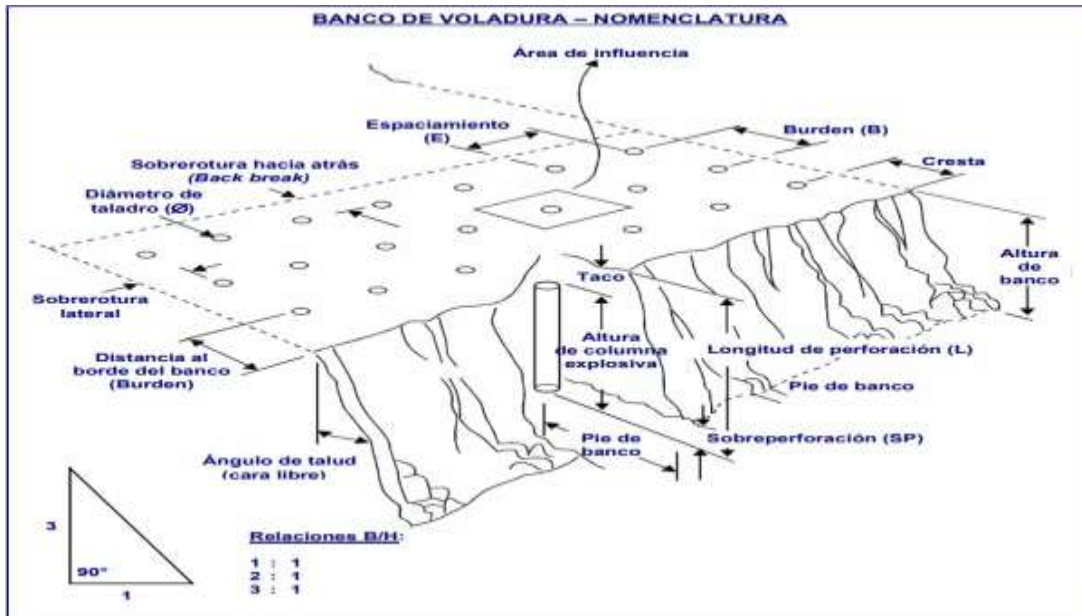


Figura N° 05: Nomenclatura del banco de voladura

Fuente: Manual Exsa.

En la nomenclatura de diseño se logra representar la distribución de taladros de manera científica, teniendo en cuenta los indicadores de perforación y voladura de rocas y descripción del desarrollo del disparo de forma teórica.

✓ **Explosivo de voladura:** Son mezclas estables de oxidantes y combustibles, provocan una gran cantidad de energía y presiones de gases que se utilizan para poder fragmentar la roca, el explosivo debe generar confiabilidad bajo condiciones geológicas, geomecánicas y ambientales, debe resultar lo más económico posible para los resultados deseados

❖ **Anfo – Superfam Dos:** Es un agente de voladura de forma granular compuesto de nitrato de amonio en Prills grado Anfo.



Figura N° 06: Anfo.

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		SUPERFAM DOS®
DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )		0,80
VELOCIDAD DE DETONACIÓN * (m/s)		3 000
ENERGÍA TEÓRICA	Por peso (cal/g)	900
	Por volumen (cal/cm <sup>3</sup> )	738
ENERGÍA RELATIVA	Por peso (%)	100
	Por volumen (%)	100
PRESIÓN DETONACIÓN (kbar)		32

Figura N° 07: Características del anfo.

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

**Primado de explosivos:** Conocidos como cebo, que cumple la finalidad de iniciar un taladro concentrado con carga explosiva rompedora, está conformado principalmente por un cartucho de dinamita el cual contiene un fulminante insertado, este conjunto genera la activación de la carga principal (Anfo). Si no se inicia la carga del barreno con forme a lo planeado y se produce tiros cortados o quemados la fragmentación sería de grandes dimensiones.



Figura N° 08: Dinamita.

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

Características técnicas	DINAMITA FAMESA GELATINA® 75	DINAMITA FAMESA GELATINA® 80
Densidad relativa (g/cm <sup>3</sup> )	1,20 ± 0,1	1,22 ± 0,1
Velocidad de detonación (m/s)	5 700 ± 300	5 800 ± 300
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>confinado *</span> <span>s/confinar **</span> </div>	4 000 ± 300	4100 ± 300
Presión de detonación (kbar)	97	105
Potencia relativa en peso *** (%)	75	78
Fuerza hess (mm)	23	25
Volumen normal de gases (l/kg)	860	890
Resistencia al agua	Excelente	Excelente
Categoría de humos	Primera	Primera

Figura N° 09: Características técnicas de la dinamita.

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

### Sistema de iniciación:

Los sistemas de iniciación son dispositivos que nos ayudan a transferir una señal de cada taladro cargado en un determinado tiempo para empezar la detonación. Es importante y muy crítico seleccionar el sistema de iniciación, debido a que los resultados permiten

ver: La cantidad de vibraciones generadas por la voladura, fragmentación óptima y minimizar el daño al talud (Manual de tronadura Enaex, 2014).

- ✓ **Sistema fuego:** Ofrece mayor seguridad en la operación, pero un gran porcentaje de error en la detonación por taladros debido a que el tiempo de combustión de la mecha de seguridad varia de 150 a 165 s/m lo que ocasiona tiros cortados y como resultado una mala fragmentación, consta de; mecha de seguridad (mecha blanca), acoplado con una mecha rápida con mecha rápida de combustión (igniter cord), fulmínate simple.



*Figura N° 10:* Mecha de seguridad.

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Color de recubrimiento de plástico	Blanco
Núcleo de pólvora (g/m)	6
Tiempo de combustión a.n.m. (s/m)	150 A 165
Longitud de la chispa a.n.m. (mm)	50
Diámetro externo (mm)	5,2
Impermeabilidad	Muy buena
Resistencia a la tensión durante 3 minutos (kg)	30

*Figura N° 11:* Características técnicas.

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.



Figura N° 12: Fulminante común N° 8

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
	FULMINANTE COMÚN N° 6	FULMINANTE COMÚN N° 8
LONGITUD DEL FULMINANTE (mm)	45	45
DIÁMETRO DEL FULMINANTE (mm)	6,3	6,3
PRUEBA DE ESOPLO, DIÁMETRO DE PERFORACIÓN (mm)	9,0	10,0
VOLUMEN TRAUZL (cm <sup>3</sup> )	20	23
RESISTENCIA A LA HUMEDAD RELATIVA DEL 100% POR 24 HORAS	Detona	Detona
RESISTENCIA AL IMPACTO 2 kg/1m	No Detona	No Detona
SENSIBILIDAD A LA CHISPA DE LA MECHA DE SEGURIDAD	Buena	Buena

Figura N° 13: Características Técnicas del fulminante común N° 8

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

✓ **Sistema no Eléctrico:** Detonador no eléctrico, sistema tradicional, sistema silencioso, conector de retardo o de superficie. Este tipo de sistema está basado en un elemento pirotécnico que da a conocer el tiempo de cada serie de retardo en un tiempo preciso que dependerá de su velocidad de ignición de la mezcla pirotécnica, consta de;

mecha rápida de ignición, conectores, carmex (mecha de seguridad y fulminante), Cordón detonante de alto gramaje y detonador no eléctrico. La ventaja de este sistema es que existe un tiempo óptimo y más preciso entre la explosión de taladro a taladro, lo que genera un agrietamiento radial que forma la cara subsiguiente dando una mejor salida de disparo, lo que ocasiona mejores resultados de fragmentación.

- **Cordón detonante:** Es un accesorio de voladura también llamado Pentacord, tiene una alta velocidad de detonación, su manipulación es fácil y activa a los detonadores no eléctricos como es el Fanel y Mininel.



Figura N° 14: Cordón detonante

Fuente: Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		3 P	3 PE	5 P	5 PE	8 P	8 PE	10 P	10 PE
PESO DE CARGA	(g/m)	4	4	5	6	8	8	10	10
	(granos / pie)	19	19	24	28	38	38	47	47
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	(kg)	60	70	60	70	60	70	60	70
	(kb)	132	154	132	154	132	154	132	154
VELOCIDAD DE DETONACIÓN	(m/s)	6 800	6 800	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000
	(pie/s)	22 309	22 309	22 965	22 965	22 965	22 965	22 965	22 965

Figura N° 15: Características Técnicas del cordón detonante

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.



- **Mininel:** Es un producto de Famesa que mejora la eficiencia de las voladuras de producción, es un sistema de iniciación no eléctrica y es una alternativa ventajosa frente al uso de la iniciación a fuego, consta de; Manguera Mininel con su etiqueta (indica el número de serie y el tiempo de retardo) y conector simple (conecta al cordón detonante) y fulminante de retardo (Famesa Explosivo, 2019).



## SISTEMAS DE INICIACIÓN

# MININEL®

### DETONADOR NO ELÉCTRICO

**Características técnicas**

DE LA ETIQUETA	MININEL®	DEL CONECTOR PLÁSTICO TIPO "J"	MININEL®
Material	Plástico	Material	Plástico
Color de letra	Negro	Color	Amarillo
Color de fondo	Anaranjado		

#### ESCALA DE TIEMPOS NOMINALES DE RETARDO

N° de serie	Tiempo de retardo (milisegundos)	N° de serie	Tiempo de retardo (milisegundos)
1	40	10	600
2	80	11	800
3	120	12	1 000
4	160	13	1 400
5	200	14	1 800
6	250	15	2 400
7	300	16	3 000
8	400	17	3 600
9	500	18	4 200

Figura N° 16: Características del detonador no eléctrico.

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

<b>Presentación</b>					
Embalaje 1.1B:	Material de caja	Capacidad de caja	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
MININEL® 2,1 m	Cartón	250	7,2	8,1	56,0 x 30,5 x 18,0
MININEL® 2,4 m	Cartón	250	7,6	8,4	56,0 x 30,5 x 18,0
MININEL® 2,8 m	Cartón	250	8,3	9,0	56,0 x 30,5 x 18,0
MININEL® 3,0 m	Cartón	250	8,7	9,5	56,0 x 30,5 x 18,0

*Figura N° 17: Presentación del Mininel*

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.



*Figura N° 18: Mininel y accesorios*

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

### **Secuencia de salida:**

Un indicador primordial cuando se genera la explosión de los taladros es que siempre se forme la cara libre ya que proporciona un espacio de reflexión para la onda de choque, lo cual es fundamental para la fragmentación del material rocoso. La secuencia del disparo decide el movimiento y dirección de la roca para la obtención de la cara libre para los siguientes barrenos y filas donde la fuerza rompedora del explosivo tiende a proyectarse, existen diseños de voladura en bancos en el cual se pueden aplicar trazos

distintos, pueden realizarse mallas de forma cuadrada, rectangulares y triangulares donde nos proporciona salidas de fila a fila, diagonal o tipo v.

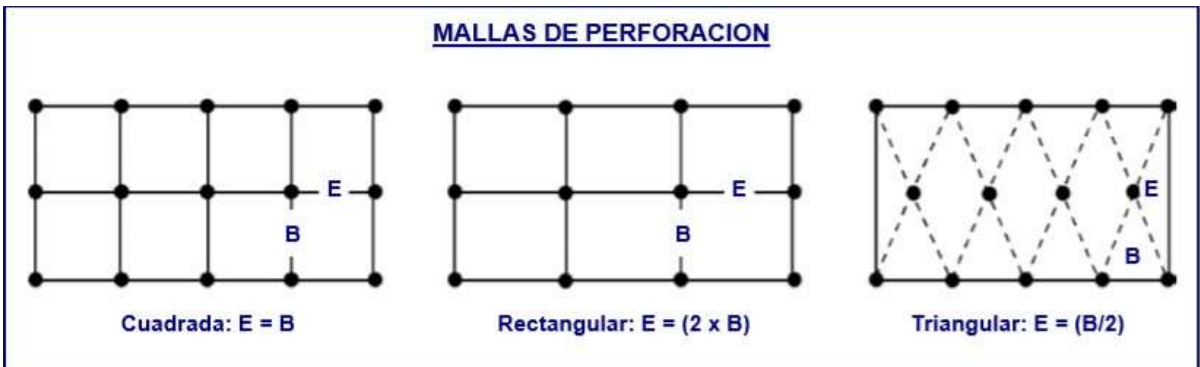


Figura N° 19: Secuencia de salida – mallas de perforación

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

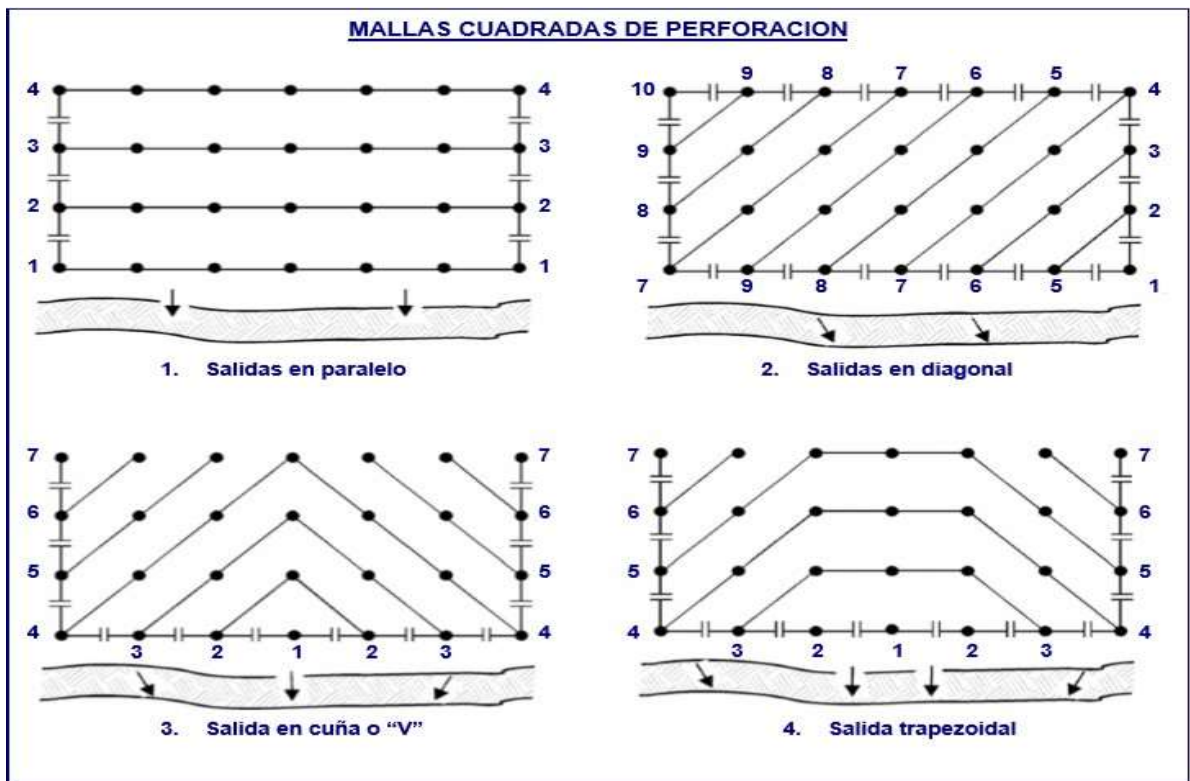


Figura N° 20: Mallas cuadradas de perforación

Fuente: Famesa Explosivo, 2019.

**Software de simulación de voladura (PirKap):** El software PirKap es desarrollado en base al diseño y simulación de voladura mediante modelos de detonación de los cuales abarca parámetros geológicos, geomecánicos, topográficos, modelos matemáticos y explosivos. Con el fin de que las operaciones unitarias de extracción sean las mejores, el software está respaldado por pruebas de campo en mineras alrededor de todo el Perú, este software da soporte a la investigación en voladura y explosivos, (Cosmos Blasting Innovation, 2016).

❖ **Factor de roca:** Hace referencia a la descripción de la masa rocosa, espaciamiento de fracturas, influencia de la densidad, dirección de los bloques, caracterización geomecánica y factor de dureza.

❖ **Índice de volabilidad:** Indica que tan fácil es fragmentar un macizo rocoso respecto a sus características en conjunto con el explosivo a utilizar (tipo de explosivo, densidad del explosivo, potencia relativa por peso, energía calorífica y velocidad de detonación).

❖ **Parámetros de diseño de voladura:** Hace referencia al tipo de secuenciamiento, orden de salida por retardos, Burden, espaciamiento, taco, Sobreperforación, longitud de carga y longitud de perforación.



*Figura N° 21:* Parámetros de diseño de voladura

Fuente: Cosmos Blasting Innovation, 2019.

### 1.3.3. Teoría de la variable dependiente

#### ❖ Optimización de la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III

#### Teoría de la voladura

Esta teoría abarca un conjunto de ciencias: Química, matemática, geomecánica, física, entre otras. El resultado de la fragmentación del material rocoso es producido mediante la acción de explosivos y la masa rocosa muestra respuesta a esto, generando la fragmentación debido a la energía, tiempo y masa debido a la voladura (Torres, 2015).

**Fragmentación:** La fragmentación generada por la voladura se basa en la acción de un explosivo y la interacción que tiene con la roca. El propósito de romper la roca a fragmentos deseados se basa en criterios sobre fuerzas de compresión - tensión, reflexión de ondas de choque en la cara libre, efectos de corte, presión de gases que ocasiona agrietamiento radial y rotura por colisión (Manual López Jimeno, 2014).

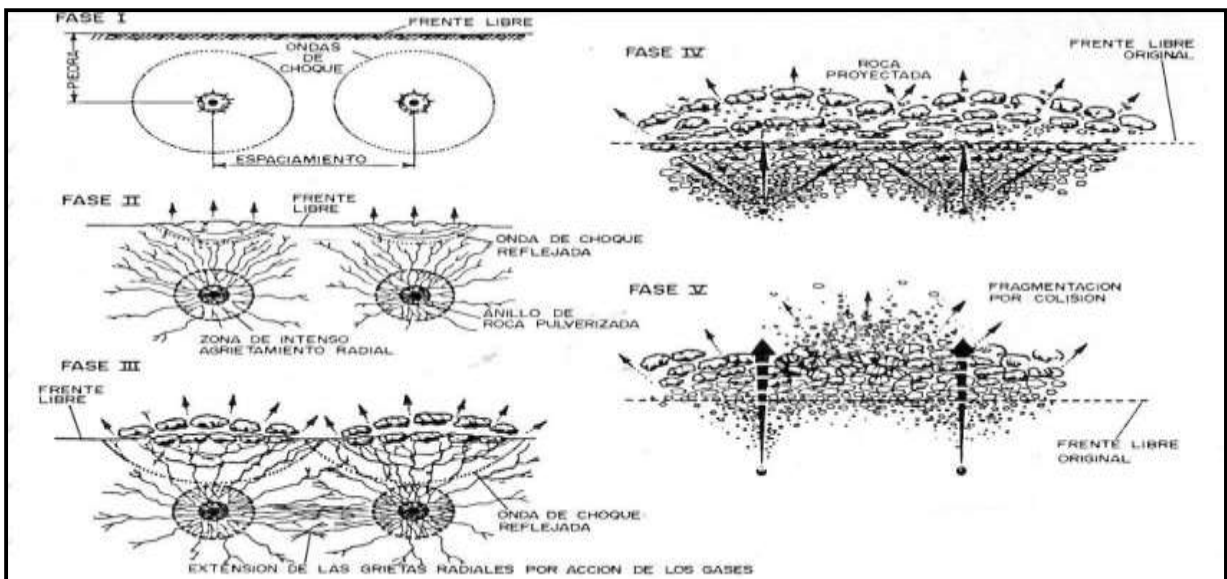


Figura N° 22: Fragmentación

Fuente: Manual López Jimeno, 2003, pp.541.

### Modelo predictivo de fragmentación (Kuz Ram):

Este modelo de fragmentación considera propiedades del explosivo, así como los parámetros de roca, determina la distribución granulométrica de una voladura, si esta es la más adecuada en el diseño preliminar de voladura, es realizado por Cunningham en 1993 y sus contribuyentes en sus parámetros generales es Kuznetsov y Rosin – Rammler.

Parámetros geomecánicas para estimar el factor de roca “A” por Cunningham para más detalle (Ver anexo N° 2, factor de roca).

$$A = 0.06 * (RMD + JPS + JFA + RDI + HF)$$

Se puede entender que esta se divide en varios procesos ya sea voladura, chancado, molienda, cualquiera de esto procesos produce la dispersión de los materiales, todos estos procesos pueden caracterizarse en una curva de distribución de tamaños teniendo en cuenta que el eje X será el porcentaje pasante y el eje Y tamaño de la roca pasante.

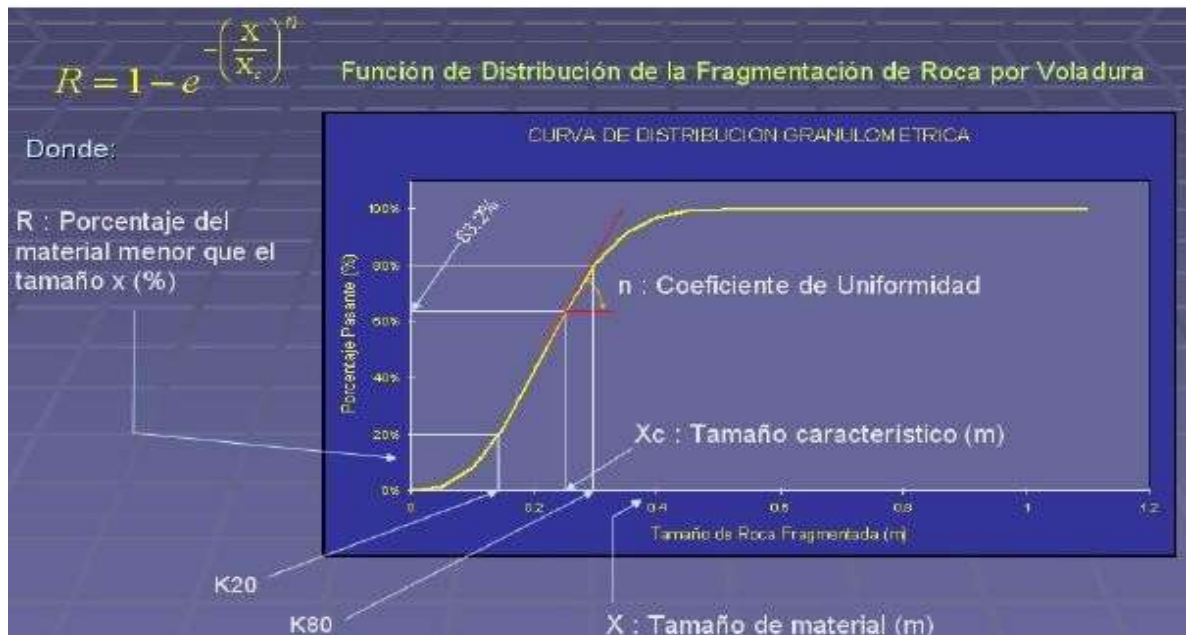


Figura N° 23: Modelo predictivo de fragmentación Kuz Ram

Fuente: Alberto Leiva Torres, 2017, pp. 102.

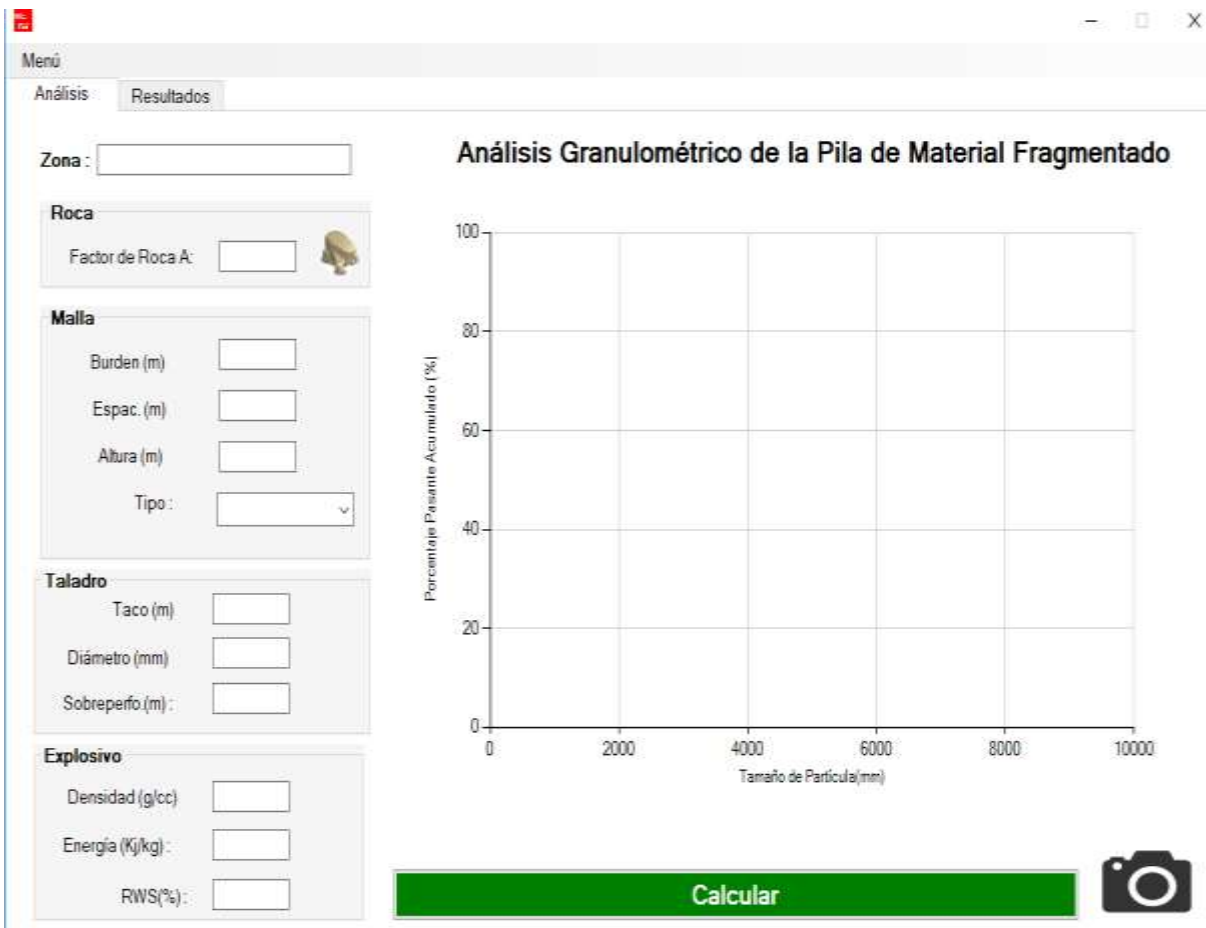
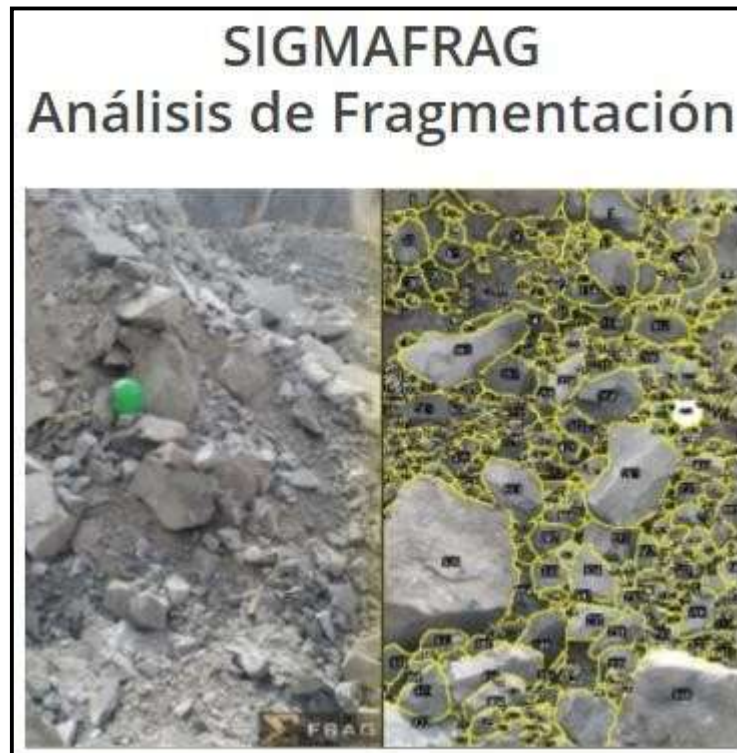


Figura N° 24: Análisis granulométrico Kuz Ram.

Fuente: Víctor Hugo Paredes, 2018.

**Software Sigmafrag:** Es un software que tiene como finalidad validar el tamaño de fragmentación de la voladura, genera como resultado una curva granulométrica estableciendo el P80 y el P50 esto quiere decir que contabiliza el número de fragmentos que el 80% o el 50% del material fragmentado en análisis tiene una dimensión establecida. Este análisis se realiza mediante fotografías de la fragmentación obtenida luego de una voladura realizada con una escala referencial, esta ayuda a medir los fragmentos.



*Figura N° 25: Análisis de fragmentación SigmaFrag*  
Fuente: Cosmos Blasting Innovation, 2019.

#### 1.3.4. Marco legal

##### **a. Normativa ambiental**

- ❖ D.S. N° 040-2014 – EM Reglamento de protección y gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero.
- ❖ D.S. N° 042 – 2017 EM. Reglamento de protección ambiental para actividades de exploración minera.
- ❖ “PAMA” (Programa de Adecuación y Manejo Ambiental).

##### **b. Normativa de seguridad**

- ❖ D.S. N° 024 – 2016, Reglamento de seguridad y salud ocupacional, y su modificatoria D.S. N°023 – 2017 – EM.
- ❖ LEY N°29783 y su modificatoria la LEY N° 30222, “Ley de



seguridad y salud en el trabajo”.

### **c. Normativa legal**

❖ TUO (D.S. N°014 – 92 – EM).

#### **1.3.5. Impacto ambiental**

El impacto ambiental en la cantera PROVEN III es muy leve ya que las poblaciones aledañas se encuentran a gran distancia del centro de operaciones de la cantera con un aproximado de 5 km, la flora y fauna en la zona es muy escasa por tal motivo no presenta impactos ambientales en las mencionadas, la calidad del macizo roco es de dureza media a dura, pero debido al proceso de voladura que no es la más eficiente en dicha cantera se produce agrietamientos en distintas zonas de las rocas sedimentarias produciendo su debilidad. La contaminación producida por el esparcimiento de partículas en suspensión producto de la perforación y voladura y de la roca caliza cuando es calcinada, se trata de mitigar los efectos negativos por procedimientos medio ambientales.

#### **1.3.6. Seguridad y salud ocupacional**

El diseño del sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos ayudo a dar solución al problema que existía en la cantera PROVEN III con respecto a la inadecuada fragmentación de la roca caliza, pero no solo dio solución al problema de la fragmentación si no que a la vez se pudo obtener una mejor producción en un menor tiempo, al igual mejoro la seguridad ya que no se contratara mano de obra para realizar una segunda fragmentación de la roca y evitara lesiones cotidianas que se venían presentando en la cantera. La nueva malla y el nuevo sistema de iniciación brindo más seguridad en el desarrollo de la problemática (Fly rocks, inestabilidad de taludes, tiros cortados y manipulación de explosivos), ayudando así a los trabajadores a no exponerse a situaciones peligrosas en el transcurso del proceso voladura de

rocas.

### 1.3.7. Prevención de desastres y Gestión de riesgos.

El estudio realizado en la cantera PROVEN III ayudo a poner un orden al proceso de explotación estableciendo el sector por bancos y dando más seguridad y estabilidad del macizo rocoso para que en el caso de algún desastre natural este no sea afectado de manera muy drástica y los trabajadores puedan evacuar de manera más segura.

### 1.3.8. Definición de términos

(Manual De Tronadura Anaex, 2014, Pág.4).

- ❖ **Burden:** Es una distancia perpendicular entre los taladros en dirección a la cara libre.
- ❖ **Espaciamiento:** Es la distancia adyacente del taladro que forma una fila, es paralelo a la cara libre.
- ❖ **Anfo:** Es un agente explosivo el cual posee un precio bajo en el mercado, tiene una composición de 94.3% de Nitrato de amonio y un 5.7% de gas-oíl.
- ❖ **Índice de rigidez:** Es la relación de la altura con el Burden, según Konya varía entre 2 a 4 y en zonas regulares se puede usar valores de 1.4. Estos valores dan como resultado una fragmentación óptima.
- ❖ **Densidad:** Es la acumulación de macizo rocoso contenida en una unidad de volumen se representa en la siguiente unidad de medida, TM/m<sup>3</sup>

- ❖ **Deflagración:** Es una reacción química demasiado lenta para producir ondas de choque. Su reacción es opuesta al de la detonación, generalmente no supera los 1000 m/s.
- ❖ **Longitud del taladro:** Es la profundidad del agujero que es perforado causando la inclinación de este, puede ser hasta más largo que la altura del banco.
- ❖ **Factor de carga:** Es la porción de carga explosiva usada para quebrar un cuerpo rocoso. Sus unidades son Kg/ m<sup>3</sup>.
- ❖ **Sistema:** Es un conjunto de procesos con la finalidad de realizar un proyecto o tarea, mediante un estudio científico a base de teorías y experiencias en campo.

#### 1.4. Formulación del problema

¿Cómo se puede optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera Proven III en cerro Collique – Zaña?

#### 1.5. Justificación

- A. En lo social;** la cantera PROVEN III brinda ofertas de trabajo para las áreas aledañas lo cual muchas personas están disfrutando de este proyecto que apenas va comenzando y creciendo de a pocos, el material que se extrae es de fácil obtención para la población, se busca un desarrollo sostenible para la explotación de este recurso no renovable.
- B. En lo económico;** la riqueza que existe en la cantera de caliza PROVEN III de la ciudad de Zaña es impresionante, tiene una extensión muy grande de yacimientos de caliza que sin embargo no era aprovechada ni explotada como se debería debido a la falta de conocimiento científico con respecto a temas de perforación y voladura de rocas y la realización de una explotación empírica por eso se realizó sistema de perforación y voladura de rocas con la ayuda de un modelo matemático que fue útil para la optimización de la fragmentación, la producción y tiempo. ya que antes de realizar esta nueva malla de perforación se

encontraron una serie de deficiencias al momento de explotar el material. Al haber mejorado el diseño de voladura la fragmentación logro ser apropiada para el transporte y la calcinación de dicha roca además se redujo el tiempo y los costos de las operaciones unitarias existentes, aumentando las ganancias de la empresa.

**C. En lo tecnológico;** se aplicó diseños de perforación y voladuras orientados a temas tecnológicos los cuales nos permitieron realizar un desarrollo eficiente al momento de la explotación y producción en general, lo que ayudo a no maltratar el medio físico.

**D. En lo ambiental;** En la explotación de la cantera de caliza no genera ningún impacto negativo con las poblaciones aledañas ya que se encuentra en una zona lejana del centro poblado, los trabajos de extracción no contaminan el suelo, aire y agua ya que la población más cercana a la zona de explotación se encuentra a unos 5 kilómetros de distancia. Además, no existe ningún tipo de flora y fauna cerca de la zona de explotación que pueda salir afectada.

## 1.6. Hipótesis

Si se realiza el diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos permitirá optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña.

## 1.7. Objetivos

### 1.7.1. General

Diseñar un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña.

### 1.7.2. Específicos

- ✓ Describir geológicamente la cantera PROVEN III.
- ✓ Realizar un levantamiento topográfico de la zona de estudio.
- ✓ Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso.
- ✓ Analizar los modelos matemáticos de perforación y voladura de rocas más utilizados en minería a cielo abierto.
- ✓ Diseñar una nueva malla de perforación y voladura de rocas con el modelo matemático más óptimo para la zona de estudio.
- ✓ Predecir la fragmentación con el modelo Kuz Ram.
- ✓ Evaluar la fragmentación de la roca a través del software Sigma Frag.
- ✓ Determinar los tiempos, costos y ganancias operacionales.

## II. MÉTODO

### 2.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación según sus objetivos e Hipótesis, corresponden al tipo de investigación cuantitativa con un diseño cuasi experimental porque todo lo investigado se pudo corroborar en la elección del modelo matemático más completo y adecuado para el diseño de perforación y voladura de rocas en la cantera PROVEN III en la zona B, cabe precisar que en dicha investigación se trabajó en el nivel II que está conformada por los bloques de extracción A Y B siendo este último el grupo experimental que fue sometido al estímulo respectivo.

## 2.2. Operacionalización de variables

### 2.2.1. Definición

#### ❖ **Variable independiente**

##### **Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos**

El sistema de perforación y voladura de rocas es indispensable para ordenar el conjunto de procesos de extracción basado en una serie de estudios, este diseño se basa en la aplicación de modelos matemáticos los cuales fueron analizados detalladamente, eligiendo al que más se adecua a la zona de estudio, pudiendo determinar la nueva malla de perforación y voladura de rocas.

#### ❖ **Variable dependiente**

##### **Optimizar la fragmentación de la roca caliza**

La optimización de la fragmentación se basa en obtener el tamaño requerido del material rocoso que ha sido volado para los siguientes procesos con el fin de incrementar la producción, ordenar los procedimientos, prosperar la rentabilidad, para aumentar los beneficios económicos del sistema de extracción y reducir los riesgos operacionales.

El material rocoso reacciona a las presiones que ejerce el explosivo al ser detonado lo que ocasiona la fragmentación. Por ende, si se habla de mejorar la fragmentación se debe tomar en cuenta parámetros de diseño de voladura.

2.2.2. Tabla de Operacionalización de variables

<b>Variable independiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Sub indicador</b>	<b>Índice</b>	<b>Técnicas de recolección de datos</b>	<b>Instrumento de recolección</b>
Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos	Estudio geológico	Geología regional	Unidades estratigráficas	Descripción litológica	Observación	Guía de observación
		Geología local	Caracterización geomorfológica y litológica	Descripción geomorfológica y litológica		
			Yacimiento	Roca sedimentaria		
		Geología estructural	Fallas	Estructuras geológicas		
	Pliegues					
	Topografía	Levantamiento topográfico	Coordenadas	UTM WGS84	Observación	Guía de observación

			Cotas	m.s.n.m		
Clasificaciones geomecánicas	RMR	Resistencia de compresión uniaxial	Mega pascales	Observación  Análisis documental	Guía de observación  Método de análisis documental	
		RQD	Porcentaje			
		Espaciado entre las discontinuidades	Metros			
		Condiciones de las discontinuidades	Metros			
		Orientación de las discontinuidades	Grados			
	Perforación y voladura de rocas	Parámetros de perforación	Diámetro del taladro	Pulgadas	Observación	Guía de observación
		Longitud del taladro	Metros	Entrevista	Cuestionario	



			Longitud de carga	Metros		
			Velocidad de detonación	m/s		
			Densidad de explosivo	$g / m^3$		
			Presión detonación	Kbar		
			Iniciación	convencional No eléctrico		
			Tipo de explosivo	Anfo		
			Factor de carga	$Kg/m^3$		
			Altura de banco	Metro		
	Matemáticas	Modelos matemáticos	Pearse	Burden		
			Langefors	Espaciamiento		
			López Jimeno	Taco		
			Ash	Sobreperforación		
			Konya	Longitud de carga		

<b>Variable dependiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Sub Indicador</b>	<b>Índice</b>	<b>Técnicas de recolección de información</b>	<b>Instrumento de recolección</b>
Optimización de la fragmentación de la roca caliza	Predicción de la fragmentación	Curva granulométrica	Kuz - Ram	centímetros	Observación	Guía de observación
	Evaluación de la fragmentación	Curva granulométrica	Sigma Frag	P80	Observación	Guía de observación
	Optimización de tiempos	Tiempo de chancado	Roca caliza	TM / día	Observación	Guía de observación
		Tiempo de carguío y acarreo				
	Evaluación económica	Costos de producción.	Perforación	Soles / taladro		
			explosivo	Soles / Kg Anfo		
			accesorios	Soles / taladro		
Ingresos			S/.			
Egresos						

## 2.3. Población y muestra

### 2.3.1. Población

En el caso de esta investigación, la población es la cantera PROVEN III ubicada en cerro Collique – Zaña.

### 2.3.2. Muestra

- ❖ Área de perforación y voladura en la cantera PROVEN III, nivel II que está conformada por el bloque de extracción B.

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Técnicas de recolección de datos **Observación:** La observación orientó y ayudó a la identificación de rasgos geológicos, geomecánicas y topográficos.
- **Análisis documental:** A través de las bibliografías encontradas y el análisis de ellas se pudo relacionar conocimientos relacionados encontrados en la cantera.
- **Entrevista:** Ayudó a tener una idea referente a la extracción que existía en la cantera.

### 2.4.1. Instrumento de recolección de datos

#### a) Guía de observación:

Realizada en los siguientes estudios, el cual resultó de beneficio a la interpretación y fácil entendimiento.

- ✓ **Estudio geológico:** El estudio geológico ayudó a analizar todas las características geológicas correspondientes a la cantera PROVEN III donde se tomó en cuenta la geología regional, local y estructural, esto ayudó a tener a determinar la litología, la geomorfología, la mineralización y las estructuras de la cantera. Se

utilizó un formato que permitió el análisis del estudio geológico (Ver en Anexo N° 1, guía de observación N° 1).

- ✓ **Topografía:** En la topografía se tomó en cuenta el levantamiento topográfico el cual se desarrolla para determinar posiciones en la tierra en este caso la cantera PROVEN III. Se utilizó un formato en el cual se plasmó el levantamiento topográfico de la cantera PROVEN III (Ver en Anexo N° 1, guía de observación N° 2).
- ✓ **Clasificaciones geomecánicas:** Las clasificaciones geomecánicas ayudaron a determinar las características mecánicas del terreno donde se desarrolló el proyecto (Cantera PROVEN III). Se utilizó un formato en el cual detalla los procedimientos de las clasificaciones geomecánicas (Ver Anexo N° 1, guía de observación N° 3).
- ✓ **Modelos matemáticos:** Los modelos matemáticos ayudo a determinar el burden, espaciamiento, la sobre perforación, retacado y longitud de carga que represento el mejoramiento del diseño de una nueva malla perforación y voladura de rocas, logrando optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III, se tendrá en cuenta los siguientes modelos matemáticos: Konya, Langefors, López Jimeno, Ash, Pearse, los cuales se analizaron detalladamente. Se utilizó un formato en el cual detalla los procedimientos de los modelos matemáticos (Ver Anexo N° 1, guía de observación N° 5).
- ✓ **Perforación y voladura de rocas:** Fue el punto medio para desarrollar eficientemente este proyecto de investigación, a través de los modelos matemáticos y enfoque técnicos que se tomaron en cuenta se pudo diseñar la nueva malla de perforación y voladura de rocas y así se logró optimizar la fragmentación de la roca caliza, en la perforación y voladura se tomó en cuenta los parámetros siguientes: Diámetro del taladro, longitud del taladro, Longitud de carga, Velocidad de detonación, Densidad de explosivo, Presión detonación y

caracterización geomecánica. Se utilizó un formato en el cual detalla los procedimientos que se utilizaron para el desarrollo de la perforación y voladura de rocas (Ver Anexo N° 1, guía de observación N° 6).

- ✓ **Análisis granulométrico:** El análisis granulométrico ayudó a determinar si la fragmentación es la adecuada que requiere el siguiente proceso como transporte y calcinación, se tuvo en cuenta estándares para determinar este análisis granulométrico. Se utilizó un formato en el cual se detalló el uso del análisis granulométrico y sus resultados (Ver Anexo N° 1, guía de observación N° 7).
- ✓ **Optimización de tiempos:** En la optimización de tiempos se tendrá en cuenta el chancado, carguío y acarreo, lo cual ayudará a saber por el proceso que pasa la roca caliza desde su extracción. Se utilizará un formato en el cual se detallará la optimización de tiempos (Ver Anexo N° 1, guía de observación N° 8).
- ✓ **Evaluación económica:** La evaluación económica ayudó a tener un enfoque claro respecto a los costos de producción y el flujo de caja, referente a la realización del sistema de perforación y voladura de rocas, explosivos y accesorios de este, teniendo en cuenta los egresos e ingresos de la cantera PROVEN III. Se utilizó un formato en el cual se detalla la evaluación económica (Ver Anexo N° 1, guía de observación N° 9).

**b) Método de análisis documental:**

Este método se realizó en conjunto con las guías de observación teniendo una relación coherente.

- ✓ **Clasificaciones Geomecánicas:** Poseen indicadores que ayudaron al desarrollo del sistema de perforación y voladura de rocas en el contexto referente a las características del material rocoso. Se utilizará un formato en el cual se detalla las clasificaciones geomecánicas (Ver Anexo N° 1, Método de análisis documental N° 4).

c) Entrevista

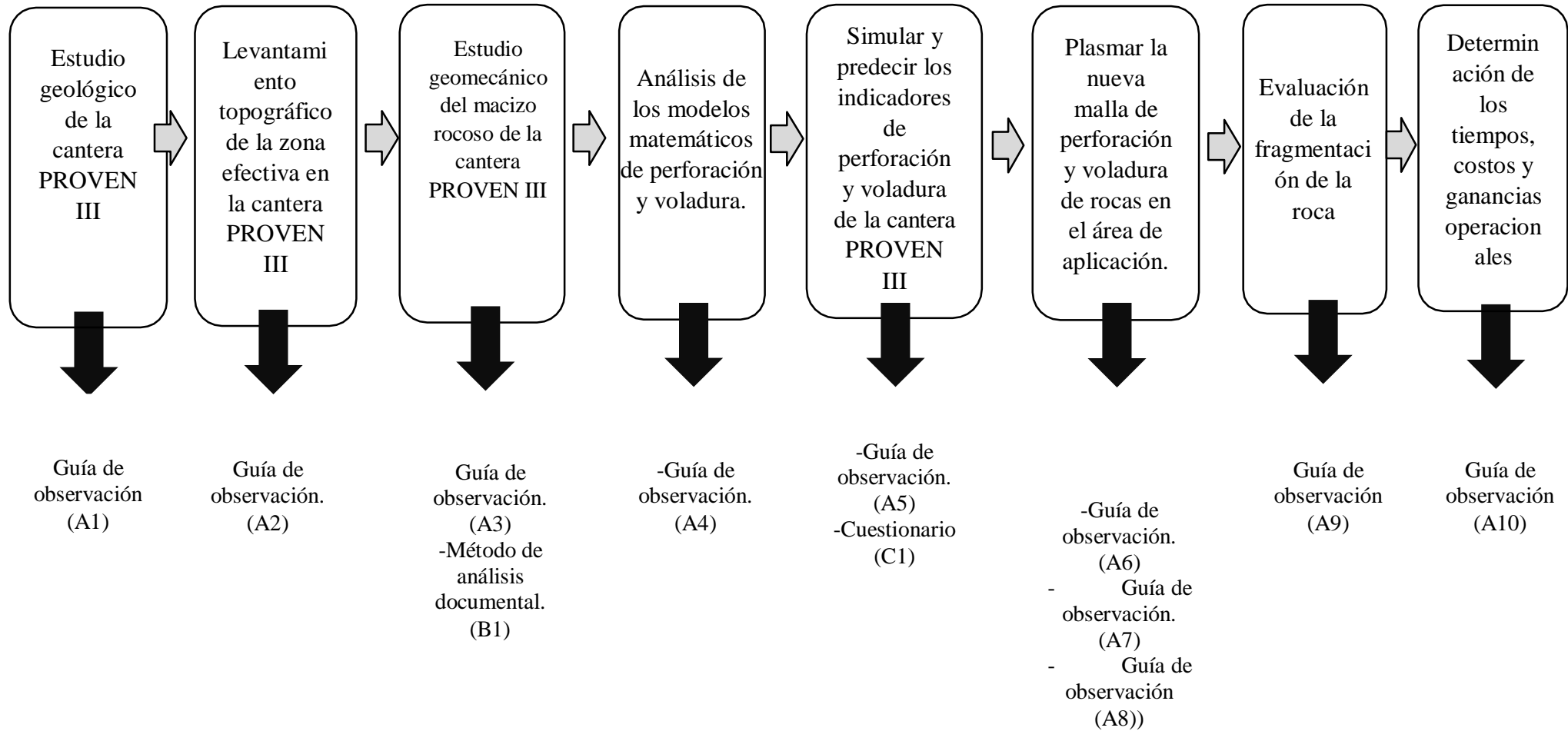
La entrevista ayudo a tener una noción del contexto que presenta la cantera Proven III actualmente al igual que el desarrollo de todas sus actividades. Se utilizó un formato en el cual se detalla la entrevista (Ver Anexo N° 1, Cuestionario).

2.4.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:

En este informe de tesis se ha utilizado para la primera variable (Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos) los instrumentos, siendo la guía de observación, método de análisis documental y cuestionario, así como también se ha utilizado para la segunda variables (Optimización de la fragmentación de la roca caliza) el instrumento, siendo la guía de observación, dichos instrumentos presentan un alto grado de confiabilidad, por el mismo hecho que se ha utilizado indicadores teniendo en cuenta la problemática dada en la cantera PROVEN III, conllevando este informe a presentar una validez con la ayuda de especialistas metodológicamente y expertos en nuestra línea de investigación enfocados para el buen desarrollo de este informe de tesis, aclarando que la elaboración de estos instrumentos son de mi autoría (Ver Anexo N° 1, Validación de instrumentos).

## 2.5.Procedimientos

### 2.5.1. Diagrama de los procesos



## 2.5.2. Descripción de procesos

### ❖ **Estudio geológico del macizo rocoso existente en la cantera PROVEN III**

- ✓ **Principio:** Se entiende por geología al conocimiento científico sobre todos los materiales rocosos y suelos existentes en la tierra, esto ayudó a que cada unidad de roca se pueda diferenciar de las demás y del suelo se considera su origen o génesis. Y es de vital importancia tener en cuenta para identificar el tipo de yacimientos existentes en las operaciones mineras.
- ✓ **Objetivo:** Consistió en identificar las diversas unidades geológicas tanto regionales, locales y estructurales las cuales están desarrolladas en la zona de estudio y la relación de una serie de procesos como son los tectónicos, mineralógicos y sobre todo el valor económico en relación a los rasgos litológicos y morfológicos, plasmados en mapas cartográficos a escala adecuada.
- ✓ **Materiales:** Se usó materiales que fueron proporcionadas por el INGEMMET del departamento de Lambayeque a partir de la información de las cartas geológicas 1/100 000.
- ✓ **Equipos:** Receptor GPS, Picota, Brújula.
- ✓ **Procedimientos**
- ❖ **Etapas pre-campo (gabinete):** Se basó en la busca de bibliografías de la variedad de estudios de la geología en distintos proyectos similares al tema de investigación.
- ❖ **Etapas de campo:** Con el desarrollo de la etapa del gabinete se constató en campo lo analizado en bibliografías con ayuda de equipos perteneciente al proyecto de investigación, se implementó la exploración en el lugar del desarrollo teniendo en cuenta las unidades lito estratigráficas, geomorfológicas y estructurales de la zona.



❖ **Etapas de gabinete:** En esta etapa se procesó la indagación del campo de estudio, reajustando y cotejando las referencias bibliográficas de unidades litoestratigráficas, geomorfológicas, estructural y la mineralización de valor económico. Finalmente se elaboró el mapa geológico a escala especificando todos esos rasgos del área de estudio (cantera PROVEN III).

❖ **Levantamiento topográfico de la zona efectiva en la cantera PROVEN III**

✓ **Principio:** El levantamiento topográfico es un requisito necesario que debe incluir todo proyecto técnico de obra, es una ciencia que estudia los diferentes métodos para medir, procesar y transmitir datos del terreno fue muy relevante para la planificación y ejecución de operaciones como perforación y voladura.

✓ **Objetivo:** El levantamiento topográfico se realizó con el fin de posicionar las áreas del terreno de estudio a través de puntos sobre un plano horizontal. En este punto se va obtener mapas y planos que serán gracias a los resultados obtenidos con la finalidad de calcular volúmenes, delimitar zonas, crear accesos, etc.

✓ **Materiales:** Libreta de campo, Lapicero.  
Software RecMin (Equipo informático).

✓ **Equipos**

- GPS.
- Cinta métrica (50 metros).
- Brújula.
- Equipos de protección personal.

✓ **Procedimientos**

- Primero se identificó las coordenadas de la concesión y se ubicó los puntos de la poligonal con la ayuda de una estaca o pintura.
- Segundo, Con la ayuda del GPS se delimito el área de operación y los niveles de extracción.

➤ Tercero, los puntos obtenidos se transportaron al software Rec Min.

✓ **Tiempo:** El desarrollo de este estudio tomó un tiempo de 15 días hábiles programados. Que se distribuye en: tiempo de movilización hacia la cantera, tiempo que tomó realizar el levantamiento topográfico y tiempo en el desarrollo de los planos.

#### ❖ **Estudio geomecánico del macizo rocoso de la cantera PROVEN III**

✓ **Principio:** Este estudio es de gran importancia para el procedimiento de perforación y voladura de rocas, debido a que se determinó la calidad del material rocoso por medio de los estudios realizados en campo, así como ensayos a la roca para determinar su resistencia y así se logró tener un análisis de rotura para la voladura y perforación, el ensayo realizado para este estudio fue el ensayo de compresión uniaxial.

✓ **Objetivo:** Obtener la calidad mecánica del material rocoso de la cantera PROVEN III.

✓ **Materiales:** Tablas geomecánicas, Libreta de campo, Planos topográficos.

#### ✓ **Equipos**

➤ Picota.

➤ Brújula.

➤ Equipos de protección personal.

➤ Perforadora diamantina Saca testigos.

➤ Aparato de compresión uniaxial.

➤ Máquina de corte directo.

✓ **Procedimientos:** Para el ensayo mecánico el procedimiento fue:

➤ Se llevó las muestras específicas al laboratorio, se perforo la roca con la perforadora saca testigos y se obtuvo los testigos.

➤ Con los testigos obtenido, se limpiaron ambas caras tanto inferior como superior

con una sierra de corte directo

- Luego se aseguró el testigo en el asiento esférico de la máquina de prueba de compresión uniaxial, la carga es aplicada de forma continua y constante mediante una programación del mismo equipo compresivo.
- Ese parámetro que hemos hallado solo se registra en las cartillas geomecánicas, luego en el campo se obtuvo los demás indicadores que nos pidió la tabla geomecánicas.

#### ❖ **Análisis de los modelos matemáticos de perforación y voladura**

- ✓ **Principio:** Este basado en ecuaciones que definen el diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas, si no se hubiera analizado estos modelos no se podía obtener los parámetros críticos del diseño (Burden, espaciamiento, retacado, Sobreperforación y longitud de carga) por ende es requisito indispensable para obtener buenos resultados.
- ✓ **Objetivo:** El objetivo de este proceso fue determinar los parámetros de cada modelo matemático para tener en cuenta las diferencias de resultados y así se eligió el modelo más eficiente.
- ✓ **Materiales:** Libreta de campo, Manual López Jimeno, Bibliografía.
- ✓ **Equipos:** Laptops.
- ✓ **Procedimientos:** Se realizó a través de bibliografía correspondiente a temas de perforación y voladura de rocas. Y se analizó los parámetros de cada modelo matemático.

#### ❖ **Diseñar de la voladura en la cantera PROVEN III:**

Se obtuvo los indicadores en campo de acción de la perforación y voladura lo cual se simuló y se predijo en el software Pirkap mostrando los resultados que deseamos obtener para su aplicabilidad estos parámetros se obtuvieron mediante las fórmulas

que establecen los modelos matemáticos seleccionados, así como guías de análisis documental e instrumento de guías de observación.

- ✓ **Principio:** Estos parámetros como, taladros perforados, factores de potencia, secuencia de salida y sistema de iniciación, incidirán en la utilización de recursos, como son cantidades de explosivos, aceros de perforación, combustibles y energía. Estos indicadores fueron claves para una idea de ejecución en la operación así se pudo plasmar los parámetros necesarios para cada modelo matemático.
- ✓ **Objetivo:** El objetivo fue obtener los indicadores y sus variantes con la finalidad disimularlo y tener un panorama amplio de operación y así se pudo aplicar.
- ✓ **Materiales:** Libreta de campo, manual López Jimeno, Konya, Anaex y Exsa.
- ✓ **Procedimientos:**
  - Luego de elegir el modelo matemático óptimo para el área de estudio se plasmó los parámetros en el software PIRKAP OP.
  - Se predijo la fragmentación mediante los indicadores del software.
- ✓ **Normativa:** La normativa está establecida por la empresa en los trabajos de perforación y voladura, cuenta con un reglamento interno y tienen un procedimiento emperico de trabajo.
- ❖ **Plasmar la nueva malla de perforación y voladura en la cantera PROVEN III**
  - ✓ **Principio:** El principio de plasmar y ejecutar la nueva malla de perforación y voladura de rocas se basó en secuencias estándar de extracción en la operación minera.
  - ✓ **Objetivo:** Se Plasmó la nueva malla de perforación y voladura de rocas que en el área de aplicación adecuada que permitió la optimización de la fragmentación y

minimización de los costos.

✓ **Materiales:** Formato de malla de perforación y voladura de rocas, clasificación geomecánicas, barras, aceite, combustible, explosivos, accesorios de voladura.

✓ **Equipos**

- Máquina perforadora manual Jack Hammer (modificada).
- Compresora ingersoll rand 185.
- Saca barrenos.
- Barreta.
- Alicata.
- Cinta.
- Lampa.
- Equipos de protección personal.

✓ **Procedimientos**

- Se preparó el área de aplicación, delimitando la zona en base al reglamento de seguridad.
- Se marcó la ubicación de taladros en campo.
- Se perforó utilizando los juegos de barrenos.
- Se midió las longitudes de perforación y revisión de los taladros que no se hallan derrumbado.
- Cargué de taladros con explosivos.
- Revisión en el amarre de los accesorios.
- Disparo.

❖ **Evaluación de la fragmentación de la roca**

Se realizó la evaluación granulométrica por medio del software SIGMA FRAG obteniendo datos estadísticos y así se optimizó los tiempos en los siguientes procesos (Chancado y transporte) y se evaluó el flujo de caja teniendo en cuenta el salario mensual de los trabajadores que trituran la roca y asimismo la venta mensual del mineral en bruto. Los procedimientos son los siguientes: el volumen fragmentado

deberá tener un 80% de material con una dimensión específica y el 20% de irregularidades.

- ✓ **Principio:** Esta evaluación nos dio origen en como interactuó las propiedades mecánicas de la roca y el cálculo de porcentaje de los correspondientes tamaños previstos por una escala granulométrica.
- ✓ **Objetivo:** Saber el % pasante del análisis realizado por un software.
- ✓ **Materiales:** Libreta de campo.
- ✓ **Software SIGMAFRAG.**
- ✓ **Equipos**
  - Cámara fotográfica.
  - Laptops.
  - Equipos de protección personal.
  - Objeto de escala.
- ✓ **Procedimientos:** Se analizó la fragmentación por medio del software Sigmafrag.
- ✓ **Normativa:** En la actualidad no existe normativa que defina el contenido correspondiente.
- ✓ **Valores permitidos:** Se estableció que la dimensión de la roca será de 15 a 20 centímetros, esto quiere decir que un 80% del material fragmentado debe estar en esas dimensiones.
- ✓ **Tiempo:** El desarrollo de este estudio duró un tiempo de 3 días hábiles programados. Que se distribuyeron en: En realizar el desarrollo de la curva granulométrica a través del software.

#### ❖ **Determinación de la reducción de costos.**

- ✓ **Principio:** El principio es de balance económico que requieren las empresas en sus actividades de operación.
- ✓ **Objetivo:** El objetivo es obtener un costo beneficio al incrementar los costos de perforación y voladura, pero disminución de los importes en el proceso de

- chancado manual, transporte y calcinación del material
- ✓ **Materiales:** Guías de documentales
- ✓ **Equipos:** Laptops (Excel)
  
- ✓ **Procedimiento**
  - Se obtuvo los reportes de costos de perforación y voladura y se comparó con los nuevos costos del nuevo diseño.
  - Se obtuvo los reportes de costos chancado manual, transporte y calcinación. Y se comparó con los nuevos costos del nuevo diseño
  - Se Analizó todos los indicadores obtenidos.

## 2.6. Método de análisis de datos

### 2.6.1. Método analítico

Es una forma de investigación la cual separar o descompone en partes un todo para poder contemplar y analizar las causas y efectos presentes en la zona de estudio, por tal motivo fue necesario conocer el ámbito in situ del acontecimiento y el elemento de aprendizaje para comprender la esencia, este método nos admite comprender más del objeto de estudio con el fin de llegar a la conclusión de que está compuesto la muestra para que se pueda comprender mejor el comportamiento del problema.

### 2.6.2. Método sistémico

Este método de investigación es lo contrario al método analítico, se centra en algo más general, se puede entender como un proceso de razonamiento en el cual en vez de separar los componentes trata de hacer un breve resumen de lo ya planteado, lo que significa la reconstrucción del todo.

## 2.7. Aspectos éticos

Lo establecido por el centro de estudios y el desarrollo de este informe de tesis, los aspectos éticos que utilizan son: fuentes de consulta, transparencia en los objetivos, transparencia de los datos que se han obtenido, confidencialidad y análisis aplicativo en

el desarrollo de toda la investigación.

**Manejo de fuentes de consultas:** Se ha tenido en cuenta fuentes bibliográficas, las cuales han sido consultadas y referidas en citas en el proyecto de investigación.

**Claridad de objetivos en la investigación:** De acuerdo a la problemática que tenemos, se tuvieron claros los objetivos desde el inicio, también se quiere dar a conocer los objetivos que se quiere llegar a demostrar.

**Transparencia de los datos obtenidos:** Describir las actividades tal y como se realizan en el campo aplicativo, tener cuidado que las ideas personales de los autores no confundan los hechos, determinando límites de investigación.

**Confidencialidad:** Se respetó el anonimato que se requiera y los interesados deberán respetar su divulgación.

**Análisis aplicativo:** Se analizó las diferentes ideas y se logró plasmar lo requerido con respecto al desarrollo al tema de investigación al mismo tiempo tener dominio del tema mencionado y constante actualización sobre temas de investigación innovadores.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Descripción geológica de la cantera PROVEN III

**3.1.1. Geología regional:** La geología a nivel regional se encuentra ligada a etapas de orogénesis, denudación y sedimentación de los materiales, correspondientes al geosinclinal continental. La era de cenozoico, representa los procesos geológicos sedimentarios que se inició con la depositación, litificación de sedimentos y las diferentes representaciones del relieve actual (Geoformas), las cuales cubren gran extensión sobre el territorio lambayecano. La gran variedad de los depósitos sedimentarios corresponden al pleistoceno y holoceno, los depósitos presentes en la región lambayecana son sedimentos de diferente procedencia, resaltando los sedimentos de origen eólico los cuales están constituidos en su mayoría por



arenas de granulometría fina, estas son trasladadas a velocidades altas y medias por vientos que van de sur a norte, los cuales se almacenan por gravedad en las distintas áreas costeras de la región lambayecana, las formas de los depósitos son: dunas clásicas, corredores de dunas, mantos de arena y colinas de arena, la altitud promedio de estas estructuras de depósitos es variante entre 10 - 100 e incluso hasta 150 m.s.n.m. Estos depósitos se encuentran desde Chepén, Ucupe (Chiclayo), Mocupe, Puerto Eten y ciudad Eten.

Tabla N° 07: Geología Regional

SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
PALEOGENO	OLIGOCENO	Volcánico Porculla	Po-vp	Compuesta por roca dacítica con fenocristales.
	PALEOCENO	Volcánico Llama	Pp-vll	Compuestas por dacitas, andesitas y tobas.
JURÁSICO	MEDIO	Volcánico Oyotún	J-vo	Intercalaciones sedimentarias de toba.
	INFERIOR	Formación Sávila	Ji-s	constituidas por areniscas de grano grueso.
TRIÁSICO	SUPERIOR	Formación La Leche	Tr-l	Arcilla común, caliza.
PERMICO	SUPERIOR	Grupo Mitu	Ps-m	Fragmentos de filita y cuarzo lechoso.
ORDOVICIANO	INFERIOR	Formación Salas	Pi-s	Abundancia de carbonatos, cloritas y sílice.
		Complejo Olmos	Pi-co	Cuarcitas grises negruzca a blanquecinas.

Fuente: Elaboración Propia

**Era paleozoico:** Encontramos al **complejo olmos (Pi-co)** esta unidad está conformada por rocas metamórficas que afloran en su mayoría en Olmos, Salas y Motupe. Su litología está identificada por material rocoso compuesta de filitas negras con un brillo muy resaltante, viene acompañada de cuarcitas negruzcas a blanquecinas de ambiente marino, también existe abundancia de vetillas de cuarzo.

**Formación Salas (Pi-s)**, aflora hacia el lado oriental de la región Lambayeque, su formación litológicamente está conformada por filitas, pizarras, esquistos grises en la mayoría de casos de color verdosos con presencia de cuarzo y mica, la cual está impregnada y da una tonalidad de óxido de hierro pardo rojizo.

**Grupo mitu (Ps-m)**, Los mejores afloramientos están ubicados en la franja que va desde el río la leche, La litología del río la leche se determina a partir de la sucesión de mantos de color rojo alternados con conglomerados finos que la caracteriza, en su mayoría se encontró fragmentos de filita y cuarzo lechoso con una gran abundancia de material volcánico, para más detalles referente a los rasgos litológicos ver (Ver Anexo N° 2, mapa geológico de la región Lambayeque)

- **Era Mesozoico:** Está conformado por **Formación la Leche (Tr-l)**, la litología de esta formación corresponde a una secuencia menor de areniscas con granos finos que progresivamente pasan a calizas negras, gris oscuras silicificadas. **Formación Sávila (Ji-s)**, su litología está compuesta en su mayoría por areniscas de forma laminar con grano grueso a medio, su potencia varía entre 250 a 300 metros. **Formación Oyotún (J-vo)**, La litología perteneciente a esta formación está compuesta por rocas andesíticas y dacítica, con calidad de piroclastos y generan una secuencia de estratos, dichos estratos contienen magnesio, fierro, sílice y cuarzo.
- **Era Cenozoico: Formación Llama (Pp-vll)**, La litología presente en esta formación son las Tobas volcánicas, Tobas de lava y Tobas brechosas, las tonalidades que las rocas presentan son de color grises y morado, también se hallan andesitas y dacitas, pero en menor proporción. **Formación Porculla (Po-vp)**, La litología común de esta formación volcánica es la roca dacita por fenocristales y cuarzo.

### 3.1.2 Geología local

➤ **Geomorfología:** Al igual que la geología perteneciente a gran parte de la región Lambayeque, la geología Local también está vinculada a ciclos de sedimentación y orogénesis, en la actualidad la superficie en estudio se encuentra con abundancia de depósitos con unidades formacionales – mesozoico y depósitos de estado detríticos los cuales sus orígenes parten de la siguiente manera: marino, eólico, fluvial, aluvial y depósitos de origen denudaciones, al igual que zonas de colinas y montañas.

Los avistamientos de Geo formas de gran tamaño de los cerros corbacho y la calera (Zaña), son de origen magmático, estructurado por roca magmática gabro denso y de tono oscuro, igualmente se logra apreciar depósitos evaporitas, carbonatos al igual que depósitos de roca caliza con diferente tipos de estructuras y colores, las de más abundancia es la de color gris claro junto a la de color marrón claro tipo oxidación, los cuales han sido erosionados con una intensa corriente de viento con la que incluso se observa una peculiar arquitectura en los estratos rocosos con posibles depósitos de aguas subterráneas.



*Figura N° 26:* Geomorfología de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia.

- **Litología:** En Zaña la litología predominante son las calizas arcillosas de colores grises claros, oscuros y oxidados. Presenta capas medianas a grandes y regularmente estratificadas, también existen lutitas verdosas que intemperizan a marrón oscuro. Los depósitos de esta zona están constituidos por cantos rodados, graba y dunas que fueron transportados por vientos de velocidades medias a altas. Para más detalle sobre la litología presente en Zaña detalle (Ver Anexo 2, Unidades estratigráficas).

Tabla N° 08: Geología Local – Unidades estratigráficas

Era	Sistema	Serie	Unidades Estratigráficas	
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Deposito eólico reciente	Qr - e
		Holoceno	Depósito aluvial	Qr - al
	Paleógeno	Paleoceno	Pórfido Cuarzófero	T - pc
			Volcánico llama	Ti - vl
Mesozoico	Cretáceo	Medio	Grupo pulluicana y Quilquiñan	Km- pq
			Adamelita	Kti- ad
			Formaciones incas, Chulec y Pariatambo	Km - ichp

Fuente: Elaboración propia.

- **Yacimiento de la zona de estudio:** Es un depósito calcáreo y silíceo, con una formación de estratos, producto de una precipitación química, por la decantación de sustancias mineralizadas, existen rocas calizas grises claras a oscuras con altos contenidos de fósiles, en estratos gruesos a medianos, entre 0.6 a 4 m de espesor, con venillas de calcita recristalizada compactas, óxidos en venillas, intercambiadas con calizas marmolizadas y/o silicificadas, presencia de granates y piroxenos, se estima un grosor total de 30 m. Tienen un rumbo de N70 °E y un buzamiento de 30 SE. Las secuencias sedimentarias que predominan son: clástica, areniscas, cuarcitas, calizas y menos proporción lutitas, que representan el interés económico del área de estudio.

La cantera ha realizado en su etapa de prospección sondeos, cuyos análisis químicos determinaron el valor promedio 98% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y óxido de calcio un valor promedio de 54% (CaO), lo que permitió considerar al depósito no metálico, como factible de ser aprovechado económicamente.

- **Mineralización:** El mineral predominante es Carbonato de calcio compuesto por calcita, también conocido como caliza la cual es una roca sedimentaria, las impurezas más comunes son las arcillas, sílice, minerales orgánicos y óxidos de hierro.

La pureza y otras características de rocas carbonatadas dependen de su ambiente de depósito e historia diagenética.

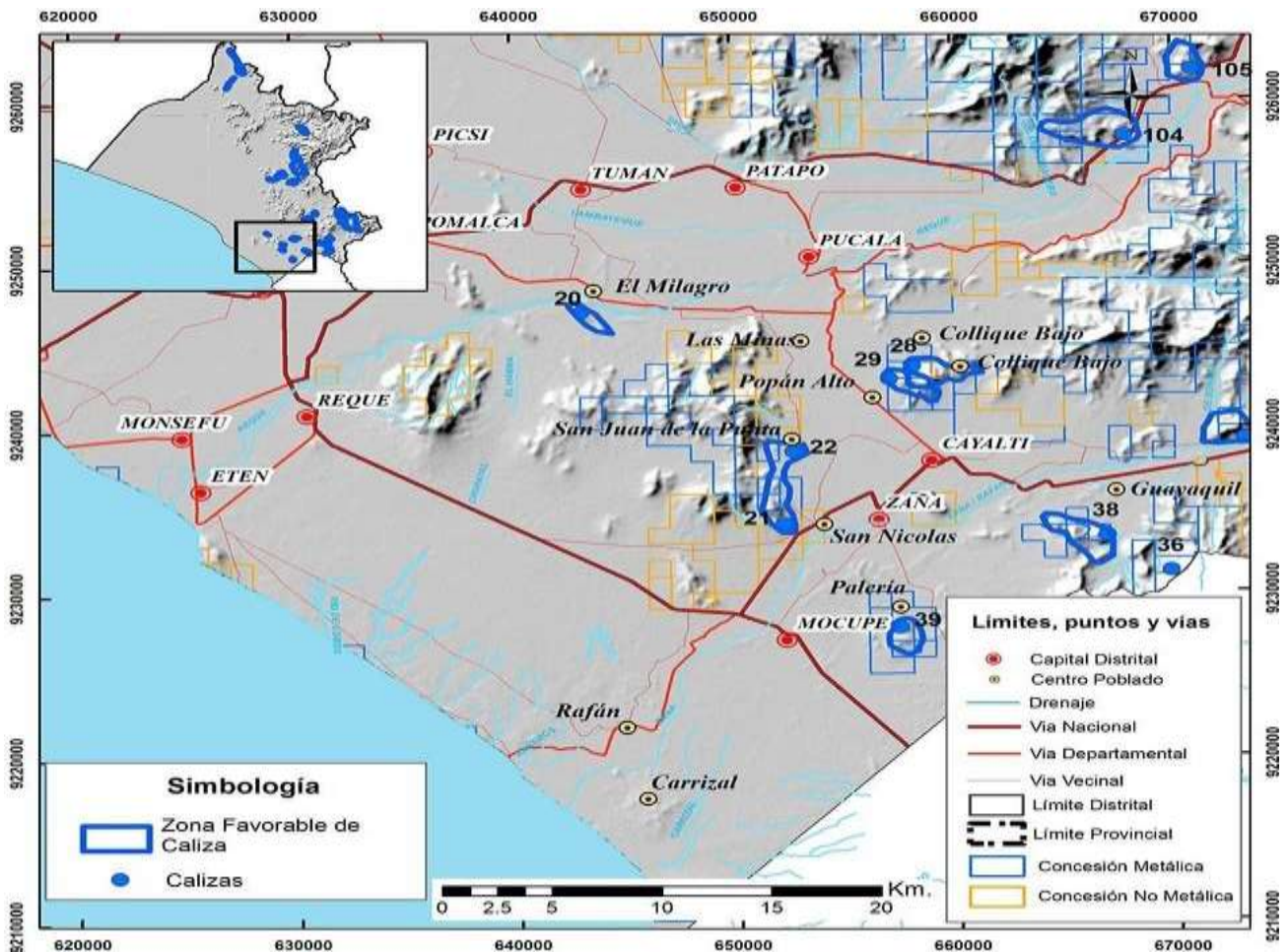


Figura N° 27: Mapa de depósitos minerales de caliza.

Fuente: Ingemmet, 2018.

**3.13. Geología estructural:** En el área de estudio se encontró calizas plegadas esto se puede entender como pliegues, así como fallas inversas inferidas, para que se pudiera entender la geología estructural de la zona de estudio se recurrió a informaciones sobre los dominios morfoestructurales del sector, el dominio morfoestructural se extiende a lo largo de la cordillera occidental, la cual se extiende en toda la región Lambayeque, el dominio característico de la morfoestructura presente a lo largo de Cayalti y Zaña es la actividad volcánica la cual pertenece a la era cenozoica (challaviento – llama), su estructura tectónica fue producida en diferentes periodos y los diferentes procesos de intemperismo han generado los rasgos morfoestructurales de la zona de estudio los cuales se aprecian en la actualidad. Para más detalle (Ver anexo, N° 2, dominio estructural).



*Figura N° 28:* Estratos de caliza en la cantera PROVEN III

Fuente: Elaboración propia

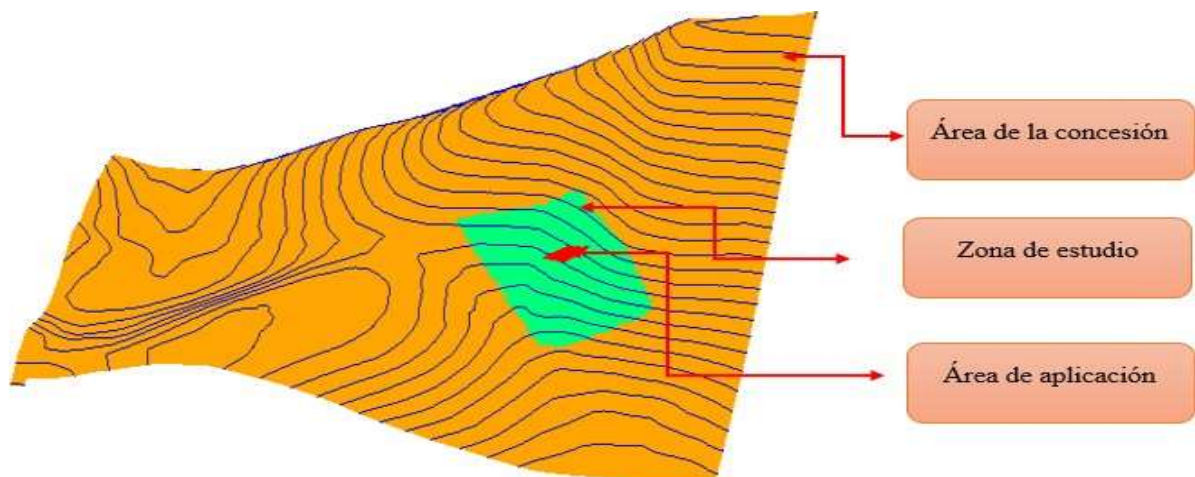


*Figura N° 29:* Pliegue sinclinal en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Levantamiento topográfico de la zona de estudio:

Se logró sectorizar las zonas de estudio de extracción y de aplicación por medio de planos y dibujos plasmados en software a partir de ello se obtuvo una secuencia de explotación en base al área de perforación y voladura a largo plazo. Se registró la toma de coordenadas Norte y Este de la zona de estudio con un GPS Garmin Etrex 30X y con la ayuda de una cinta métrica se dio distancias a los puntos con la que se realizó la poligonal, instrumento y herramientas topográficas que brinda precisiones en la toma de dichas coordenadas, estas coordenadas fueron importadas al software con licencia libre RecMin, para poder determinar las curvas de nivel presentes en la zona de estudio estas fueron modeladas cada 10 metros, al finalizar el proceso de generar las curvas de nivel estas fueron exportadas al software Google Earth pro donde termino por representarse la zona de estudio, teniendo en cuenta que la cantera PROVEN III cuenta con una cuadrícula de concesión, de las cuales 1 hectárea ya ha sido extraída. Las coordenadas tomadas en campo y los instrumentos utilizados se pueden (Ver en el Anexo N°2, levantamiento topográfico)



*Figura N° 30:* Curvas de nivel en el software libre RecMin, del área de la concesión, de la zona de estudio y área de aplicación

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 09: Coordenadas del área de aplicación

Puntos	Este	Norte	Elevación (m)
P1	9243326.67	658883.36	170
P2	9243322.55	658892.05	170
P3	9243313.85	658889.16	170
P4	9243318.41	658879.31	170

Fuente: Elaboración propia.

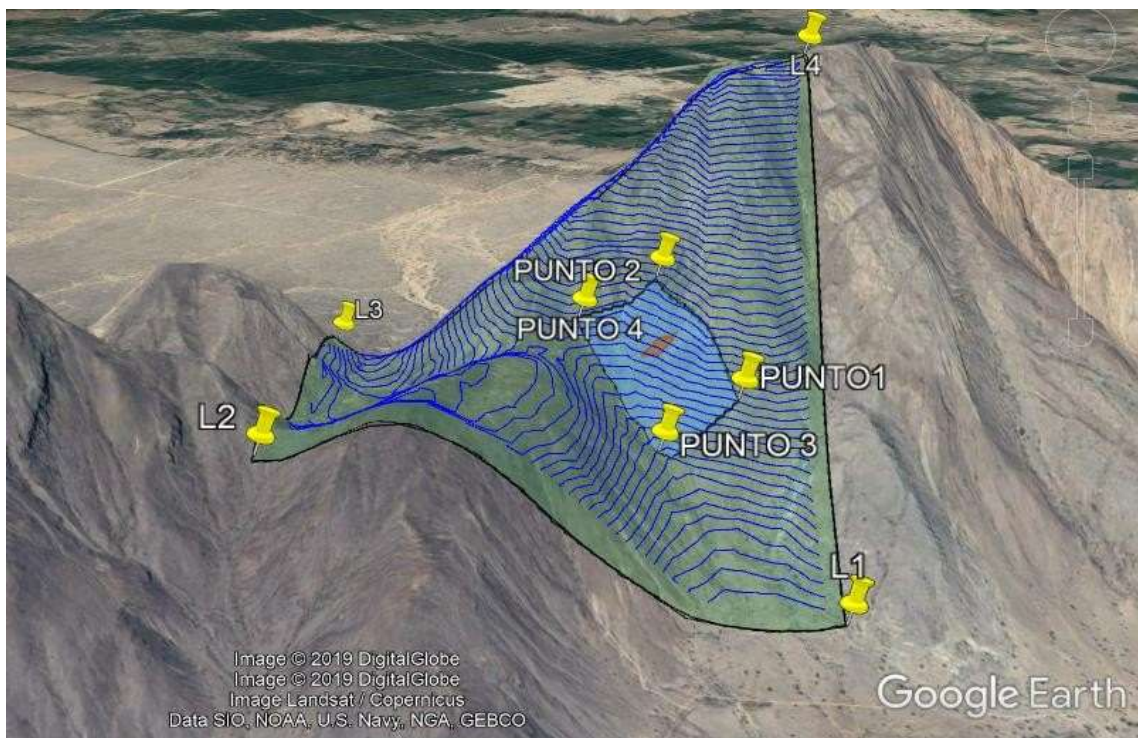


Figura N° 31: Curvas de nivel exportadas al software Google Earth pro

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Determinación de las características Geomecánicas del macizo rocoso:

La representación de los parámetros del material rocoso fue realizada desde los datos obtenidos en la zona de explotación, que en específico es el talud de extracción, se establecieron los indicadores relacionados al número de familias de discontinuidades, orientación y particularidad característica, que nos permitió determinar la estructura de las dimensiones que forman el material rocoso, grado de fracturación, etc. Entre otras



causas que implican a la conducta de los resultados de la voladura y al comportamiento del talud al momento de las explosiones. La caracterización del macizo rocoso final dependió de la valorización apropiada de cada indicador (Ver Anexo N° 2, Informe de resultado, ensayo de compresión uniaxial).

Se realizó el cálculo del RQD mediante la contabilización del número de discontinuidades. Se tomó una distancia lineal con la ayuda de un flexómetro, en el talud de extracción por ende se reemplaza los datos obtenidos en campo en la ecuación de PRIEST & HUDSON y nos dio como resultado:

$$\lambda = 9/1$$

$$\lambda=9$$

$$RQD = 100 * e^{-0.1(9)} * (1 + 0.1(9))$$

$$RQD = 77.7$$

Tabla N° 10: Clasificación RQD.

<b>RQD</b>	<b>CALIDAD DE ROCA</b>
<b>&lt;25%</b>	<b>MUY MALA</b>
<b>25 - 50 %</b>	<b>MALA</b>
<b>50 - 75 %</b>	<b>REGULAR</b>
<b>75 - 90 %</b>	<b>BUENA</b>
<b>90 - 100 %</b>	<b>MUY BUENA</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 11: Propiedades físicas de los testigos.

<b>PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TESTIGOS</b>				
<b>Código de las muestras</b>	<b>T01</b>	<b>T02</b>	<b>T03</b>	<b>T04</b>
<b>Diámetro (mm)</b>	54	54	54	54
<b>Altura (mm)</b>	125	131	131	135
<b>Peso del testigo (g)</b>	788	823.5	834.2	885.1
<b>Relación A/D</b>	2.3	2.4	2.4	2.5
<b>Carga Máxima (KN)</b>	116.509	151.923	125.996	135.667
<b>Resistencia Máxima de compresión (Mpa)</b>	50.837	66.335	55.015	59.237
<b>APLICACIÓN</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Se Tomó muestras de dos sectores (sector de aplicación y sector de extracción) de la cantera PROVEN III.</li> <li>❖ Se extrajeron testigos cilíndricos de las muestras por medio de una máquina perforadora diamantina con un diámetro de 54 mm en el laboratorio de mecánica de rocas, mineralogía y petrología en la Universidad Cesar Vallejo.</li> <li>❖ Se niveló las caras de los testigos por medio de una máquina de cierra de corte directo.</li> <li>❖ Se registró las medidas y el pesaje de cada una de las muestras obtenidas.</li> <li>❖ Se realizó el ensayo de compresión uniaxial a cada muestra por medio de la máquina de compresión uniaxial (Matest), con lo que se obtuvo la resistencia máxima de compresión uniaxial a cada muestra obteniendo diferentes resultados.</li> </ul>				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 12: Resistencia a la compresión simple

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)</b>
Extremadamente dura	>250
Muy dura	100 – 250
<b>Dura</b>	<b>50 – 100</b>
Moderadamente dura	25 – 50
Blanda Muy blanda	5 -25 1 – 5 < 1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 13: Valoración de la masa rocosa según el sistema de clasificación geomecánica RMR – Bieniawski 1989.

1	Resistencia de la roca intacta (Mpa)	Resistencia de compresión uniaxial	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	<b>RQD</b>		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	<b>Separación entre diaclasas</b>		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	<b>Longitud de la discontinuidad</b>	<1 m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		<b>Abertura</b>	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		<b>Rugosidad</b>	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		<b>Relleno</b>	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		<b>Alteración</b>	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	<b>Estado general</b>	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

<b>Σ Resultado</b>	<b>1+2+3+4+5</b>	<b>67</b>
--------------------	------------------	-----------

Calificación	Clase	I	II	III	IV	V
	Calidad	Muy buena	Buena	Regular	Pobre	Muy pobre
	Valuación	100 - 81	80 - 61	61 - 41	40 - 21	≤ 20

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, del cuadro, clasificamos la roca (RMR = 67)

Clase	Calidad	Valuación
II	Buena	80 - 61

La caracterización geomecánica nos ayudó a determinar la influencia que tiene la voladura hacia la estabilidad del talud lo que englobo estimar el factor de roca postulado por Cunningham, ya que trabaja con parámetros geomecánicos de campo con finalidad de predecir el tamaño óptimo de fragmentación post voladura.



*Figura N° 32: Caracterización in situ del material rocoso.*

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Análisis de los modelos matemáticos de perforación y voladura de rocas más utilizados en minería a cielo abierto:

➤ **Modelo matemático Pearse:**

Tabla N° 14: Análisis del modelo matemático Pearse

PRESIÓN DE DETONACIÓN				
VOD [m/s]	DENSIDAD [G/CM3]	PRESIÓN DE DETONACIÓN		
		[KBar]	[MPa]	[Kg/cm2]
3000	0.83	<b>32.0</b>	<b>3200.0</b>	<b>32630.9</b>
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN				
	RC	<b>673.013</b>	kg/cm2	
	RT	<b>18.71</b>	kg/cm2	
CONSTANTE Kv				<b>0.82</b>
ESTIMACIÓN DE LA ROCA		JSF		RQD
	FUERTE	1		75-90
	MEDIA	0.9		50-75
	DÉBIL	0.8		25-50
	MUY DÉBIL	0.7		0-25
BURDEN (M)	ESPACIAMIENTO (M)	SOBREPERFORACIÓN (M)	TACO (M)	LONGITUD DE CARGA (M)
1.4	1.4	0.2	0.6	1.6
LONGITUD DE PERFORACIÓN				2.2

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Modelo matemático Ash:**

Tabla N° 15: Análisis del modelo matemático Ash

TIPO DE EXPLOSIVO	CLASE DE ROCA		
	BLANDA	MEDIA	DURA
BAJA DENSIDAD (0.8 a 0.9 g/cm3) Y BAJA POTENCIA	30	<b>25</b>	20
Kb	DIÁMETRO [Pulg]	BURDEN [Pies]	BURDEN [m]
<b>25</b>	1 1/2	<b>3.1</b>	<b>1</b>
DATOS OBTENIDOS A PARTIR DEL BURDEN	LONGITUD DE PERFORACIÓN		2.2
	SOBREPERFORACIÓN		0.2
	RETACADO		0.7
	ESPACIAMIENTO		1.2
	LONGITUD DE CARGA		1.5

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Modelo matemático Langefors:**

Tabla N° 16: Análisis del modelo matemático Langerfors

DIÁMETRO DEL TALADRO [MM]	DENSIDAD DE LA CARGA [KG/DM3]	POTENCIA RELATIVA DEL EXPLOSIVO [1 - 1.4]	CONSTANTE [C']	FACTOR DE FIJACIÓN	S/B	BURDEN MÁX. [M]
40	0.83	1.4	1.15	1	1	1.2
ERROR DE EMBOQUILLE [M/M]	ALTURA DE BANCO [M]	DESVIACIÓN DE LOS BARRENOS [M]	BURDEN [M]	TACO		1
				SOBREPERFORACIÓN		0.33
				LONGITUD DE PERFORACIÓN		2.33
				LONGITUD DE CARGA		1.33
0.03	2	0.05	1.1	ESPACIAMIENTO		1.1

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Modelo matemático López Jimeno**

Tabla N° 17: Análisis del modelo matemático López Jimeno.

DENSIDAD DE LA ROCA [G/CM3]	VELOCIDAD SÍSMICA DE LA ROCA (M/S)	DENSIDAD DE LA CARGA EXPLOSIVA (G/CM3)	VELOCIDAD DE DETONACIÓN DEL EXPLOSIVO (M/S)	fr	fe	F
2.6	4000	0.83	3000	1.0	0.8	0.7
DIÁMETRO DEL BARRENO (PULG)		FACTOR DE CORRECCIÓN (F)	BURDEN (M)	ESPACIAMIENTO		1
1 4/7		0.7	0.9			

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Modelo matemático Konya**

Tabla N° 18: Análisis del modelo matemático Konya

DENSIDAD DE LA ROCA [G/CM3]	DENSIDAD DEL EXPLOSIVO [G/CM3]	DIÁMETRO DE LA CARGA [PULG]	BURDEN	BURDEN CORREGIDO
			[M]	[M]
2.6	0.83	1 4/7	<b>1.0</b>	<b>1.2</b>
CORRECCIÓN POR EL TIPO DE DEPOSITO	CORRECCIÓN POR ESTRUCTURA GEOLÓGICA	ESPACIAMIENTO		<b>1.3</b>
		RETACADO (M)		<b>0.8</b>
KD	KS	SOBREPERFORACIÓN (M)		<b>0.3</b>
1.18	1.1	LONGITUD DE PERFORACIÓN (M)		<b>2.3</b>
		LONGITUD DE CARGA (M)		<b>1.5</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19: Cuadro de resultados de los modelos matemáticos más utilizados en minería a cielo abierto

RESULTADOS DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS	PEARSE	ASH	LANGERFORS	LÓPEZ JIMENO	KONYA
ALTURA DE BANCO (M)	2	2	2	2	2
BURDEN (M)	1.4	1	1.1	0.9	1.2
ESPACIAMIENTO (M)	1.4	1.2	1.1	1	1.3
SOBREPERFORACIÓN (M)	0.2	0.2	0.33		0.3
RETACADO (M)	0.6	0.7	1		0.8
LONGITUD DE PERFORACIÓN (M)	2.2	2.2	2.33		2.3
LONGITUD DE CARGA (M)	1.6	1.5	1.33	0.7	1.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 20: Factor de carga

ÍNDICE DE VOLABILIDAD	RESULTADO	FACTOR DE POTENCIA (Kg/TM)	FACTOR DE CARGA		
			(Kg/tal)		(Kg/m3)
RMD = 30	54	0.216	PEARSE	1.76	0.45
JPS = 30			ASH	1.10	0.46
JPO = 30			LANGERFORS	1.29	0.53
SIGI = 15			LÓPEZ JIMENO	1.09	0.6
RSI = 3.3			KONYA	1.48	0.47

Fuente: Elaboración propia

Luego del análisis que se realizó a cada modelo matemático, se eligió el más óptimo para el área de aplicación por lo cual se tuvo en cuenta los parámetros de cantidad de taladros, predicción de la fragmentación, consumo de explosivos, accesorios y costos de diseño. siendo este el modelo matemático Konya, con el cual se realizó la nueva malla de perforación y voladura de rocas.

- 3.5. Diseño de una nueva malla de perforación y voladura de rocas con el modelo matemático más óptimo para la zona de estudio:

❖ **Sistema convencional:**

Tabla N° 21: Insumos del sistema fuego

ANÁLISIS			INSUMOS			
MODELOS MATEMÁTICOS	N° TALADROS	LONGITUD DE PERFORACIÓN (M)	DINAMITA GELATINA 80 7/8" X 7"	FULMINANTE N°8	ANFO (KG)	MECHA LENTA 3M/TAL
KONYA	64	147.2	64	64	94.72	192
<b>DESARROLLO</b>						
El diseño se aplicó mediante el sistema a fuego, debido a que la empresa extraía el mineral de esa forma (no convencional), y se tuvo que manejar el diseño de la nueva malla de perforación y voladura de rocas con los accesorios y herramientas que pudo brindar la empresa, los parámetros obtenidos del modelo matemático Konya previo análisis se plasmó gráficamente, que posteriormente se llevó a campo para su aplicación, a continuación, se muestra la distribución de taladros en la zona de aplicación.						

Fuente: Elaboración propia



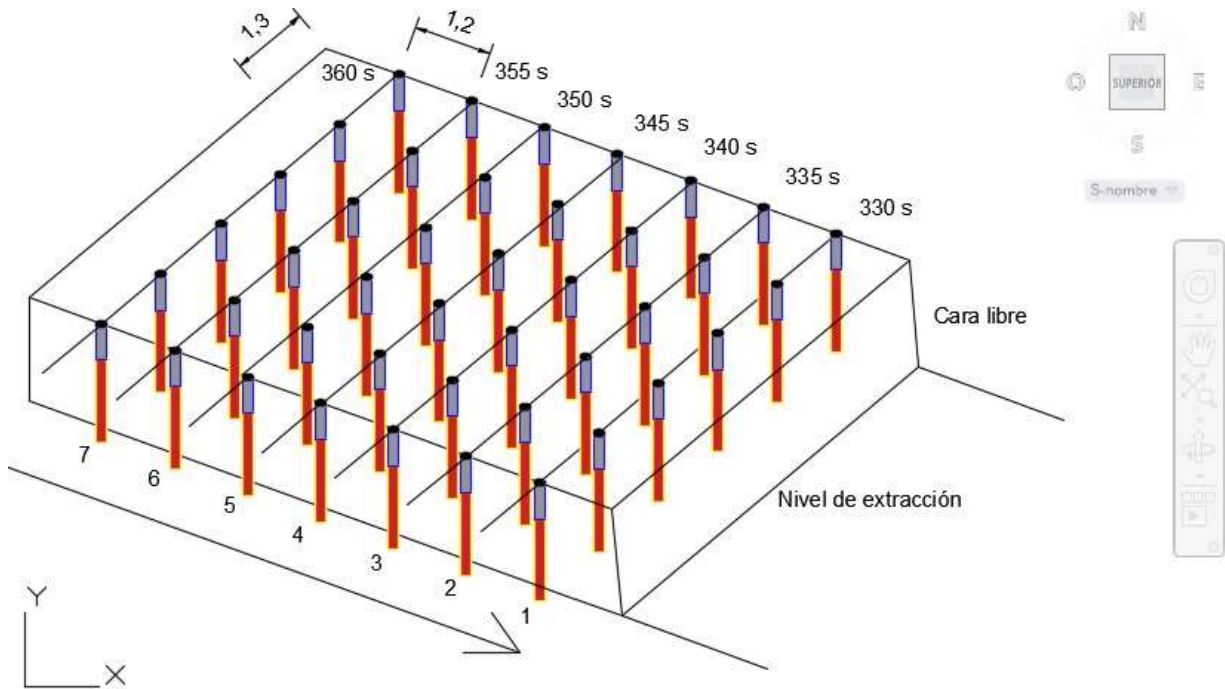


Figura N° 33: Distribución de taladros

Fuente: Elaboración propia

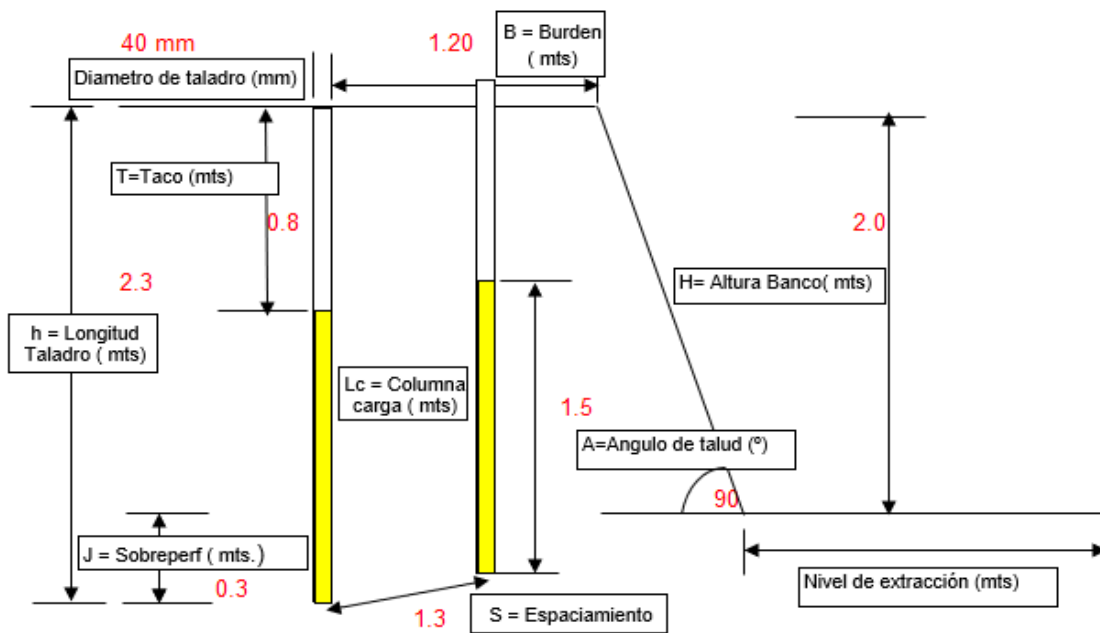


Figura N° 34: Representación de los parámetros de perforación y voladura de rocas.

Fuente: Elaboración propia.

## DISEÑO DE CARGA Y PARÁMETROS DE VOLADURA(KONYA)

Tabla N° 22: Parámetros de voladura.

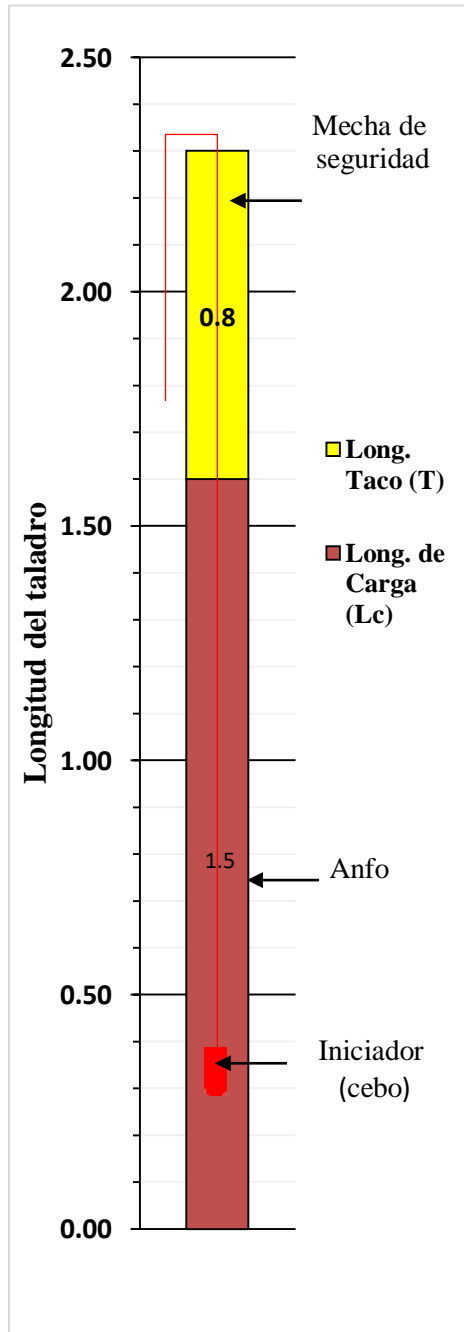


Figura N° 35: Diseño de carga

Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Valor
Altura de banco (m)	2
Burden (m)	1.2
Espaciamiento (m)	1.3
Taco (m)	0.8
Sobre perforación (m)	0.3
Longitud de taladro (m)	2.3
Longitud de carga (m)	1.5
Tipo de explosivo para columna de carga	Superfam dos
Tipo de explosivo para cebo	Gelatina de 75 7/8'' x 7''
Densidad del explosivo en columna (g/cm <sup>3</sup> )	0.83
Densidad del explosivo en cebo (g/cm <sup>3</sup> )	1.22
Densidad de roca (g/cm <sup>3</sup> )	2.6
Factor de carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.47
Cantidad de Anfo por taladro (kg)	1.48
Cantidad de Anfo por voladura (kg)	94.72
Volumen por taladro (m <sup>3</sup> )	3.12

Fuente: Elaboración propia.

Índice de rigidez:  $IR= 1.7$ , el valor obtenido indica fragmentación y un control regular en la voladura.

### ❖ **Sistema Pirotécnico**

El diseño y la simulación en términos de predicción de la granulometría, Isolíneas y Dirección predominante de la Onda P de parámetros de voladura para la cantera “PROVEN III” se utilizó el software Pirkap OP desarrollado por la empresa Cosmos Blasting Innovation con el fin de obtener un tamaño óptimo de fragmentación.

La distribución espacial de los taladros correspondió a un Burden (B) de 1.2 m y al espaciamiento (S) de 1.3 m.

(T) La configuración del taladro fue dado a una profundidad (SP + HB) promedio de 2.3 metros con diámetros (D) de 40mm (1.57’’) y la configuración de carga contuvo un taco (T) de 0.8 metros con 1.5 metros de columna explosiva (LC). El explosivo a utilizar fue el ANFO con densidad (de) de 0.83 g/cc.

Diseñamos la secuencia de salida de la voladura en forma paralela desde la cara libre en dirección al talud. La malla estuvo conformada por 8 filas y 8 columnas, donde los taladros de cada fila fueron iniciados al mismo instante con el tiempo configurado para dicha fila. Los taladros de la primera fila son iniciados a 250ms, de la segunda en 300ms, de la tercera en 400ms, la cuarta en 500ms, la quinta en 600ms, la sexta en 800ms, la séptima a 1000ms y la octava en 1400ms.

La roca predominante de la zona a explotar posee una densidad ( $d_r$ ) de 2.6 g/cc con una resistencia a la compresión ( $R_c$ ) de 66 Mpa y un Módulo de Young (Y) de 45 Gpa. Gracias a la información geológica y la caracterización del macizo rocoso, estimamos que el índice de volabilidad (BI) para la zona a explotar es de 58 y el factor de roca de 6.96. Hallamos las direcciones predominantes de las ondas liberadas por la detonación, con el fin de analizar la velocidad pico de la partícula en dicha dirección a una cierta distancia si es que hubiese una estructura o macizo rocoso inestable para cuidar.

Tabla N° 23: Insumos del sistema no eléctrico

MODELOS MATEMÁTICOS	INSUMOS					
	Mininel (3.0 m) Serie (6-12)	Dinamita gelatina 80 7/8" x 7"	Pentacord 3P (m)	fulminante N°8	Anfo (kg)	Mecha lenta (m)
Konya	64	64	70	2	101.36	6

Fuente: Elaboración propia

Item	Nombre	Densidad [g/cc]	VOD [m/s]	RWS	Energia [kcal/kg]	Color	Costo [\$/ton]
1	ANFO	0.84	3000	100	0	{124,255,128,64}	0
3	DETRITUS	2.23	0	0	0	{121,128,128,0}	0
4	AIRDECK	1	0	0	0	{68,128,255,255}	0
5	SANG-GAPU	1.11	5500	90	805	{174,196,15,97}	0

Figura N° 36: Propiedades del Explosivo

Fuente: Elaboración propia.

Item	Nombre	Densidad [g/cc]	Módulo_Poisson	Compresión [Mpa]	Módulo_Young [Gpa]	Color
1	Roca01	2.35	0.45	75	40	{150,128,64,64}
4	Roca02	2.35	0.45	75	40	{82,255,128,64}
5	Roca_Prueba	2.6	0.45	66	45	{111,128,128,0}

Figura N° 37: Propiedades de la roca

Fuente: Elaboración propia.

Seleccionamos la roca pre configurada para utilizar sus características físicas en la caracterización Geomecánica, además se ingresan valores como el RMD, JPS, JPO, ALT y ABU por cada junta.

Id	Nombre	Valor
1	Zona05	0
3	Zona04	0
4	Zona02	7
5	Zona_Prueba	7

Zona: Zona\_Prueba    Densidad [g/cc]: 2.60    R. Compresión [Mpa]: 66.00  
Roca: Roca\_Pruet    Modulo Young [Gpa]: 45.00    Dirección Cara Libre [°]: 0

Factor Roca: 6.96    Indice Volabilidad: 58.00

RMD: Fracturado    JPS: <1m    JPO: Perpendicular a l...    ALT: Caolinita    ABU: Moderado

Figura N° 38: Caracterización Geomecánica

Fuente: Elaboración propia

Ingresamos los tiempos 50ms, 100ms, 200ms y 400ms para utilizarlos en el secuenciamiento progresivo.

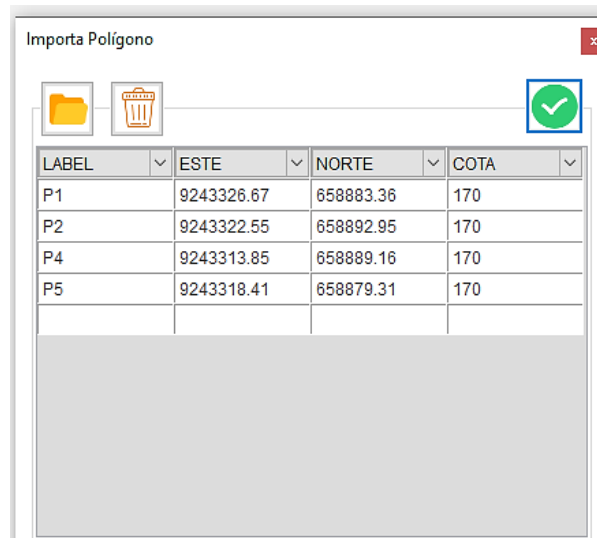
Item	Nombre	Superficie [ms]	Fondo [ms]	VOD [m/s]
16	304ms	304	0	0
17	30ms	30	0	0
18	122ms	122	0	0
19	5ms	5	0	0
20	180ms	180	0	7500
21	Mininel-50ms	50	0	7500
22	Mininel-100ms	100	0	7500
23	Mininel-200ms	200	0	7500

Figura N° 39: Configuración de Tiempos de Retardo

Fuente: Elaboración propia

## Diseño de voladura

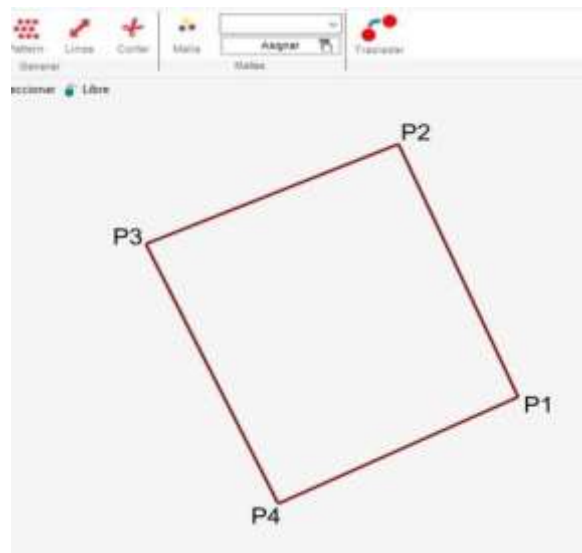
Ingresamos las coordenadas del polígono donde se realizará la voladura para generar el patrón de perforación.



LABEL	ESTE	NORTE	COTA
P1	9243326.67	658883.36	170
P2	9243322.55	658892.95	170
P4	9243313.85	658889.16	170
P5	9243318.41	658879.31	170

*Figura N° 40: Polígono de Voladura*

Fuente: Elaboración propia



*Figura N° 41: Polígono plasmado*

Fuente: Elaboración propia

✓ **Distribución Espacial de los Taladros**

Generamos un patrón de taladros con Burden y Espaciamento de 1.2 y 1.3 metros respectivamente y le asignamos la dirección de la pendiente P1-P2.

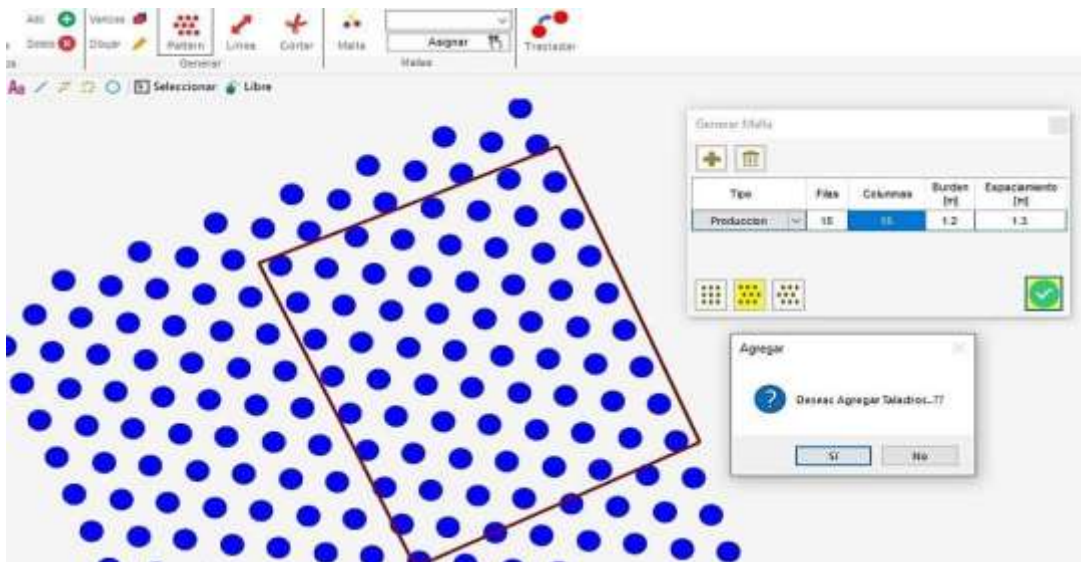


Figura N° 42: Distribución de taladros

Figura: Elaboración propia.

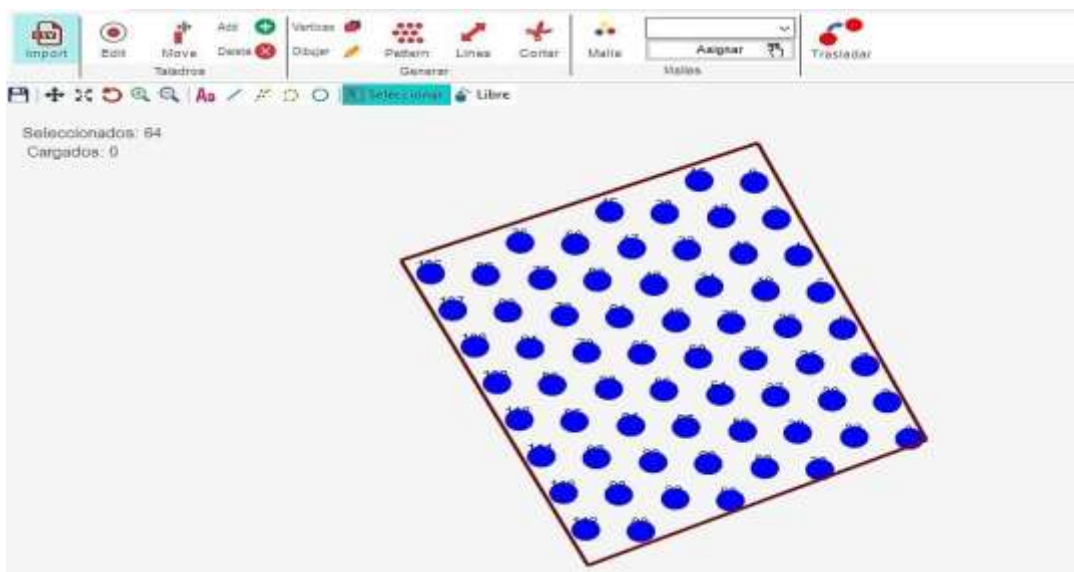


Figura N° 43: Ajustamos los taladros al área del polígono de voladura.

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Propiedades y Carga del Taladro**



Figura N° 44: Carga de taladros.

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Configuración de Carga**

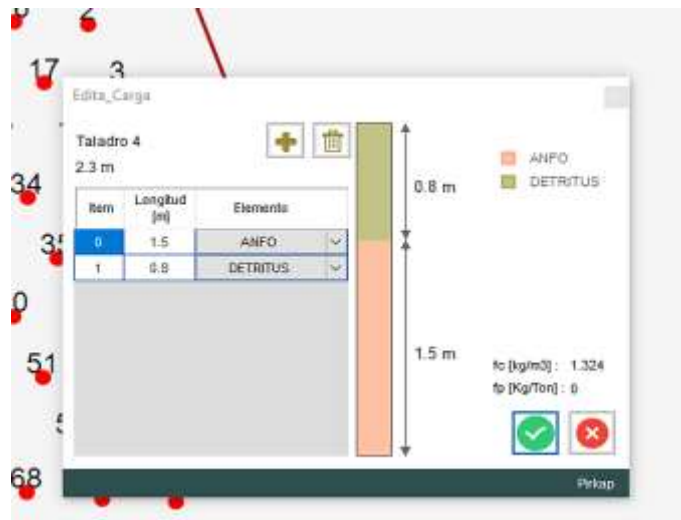


Figura N° 45: Análisis y configuración de carga.

Fuente: Elaboración propia



### ✓ Asignación de Zona Geomecánica a los Taladros

En este módulo, se asigna la Caracterización Geomecánica a cada taladro en la malla. Es decir, el factor de roca y el índice de volabilidad son configurados en cada propiedad del taladro para su posterior ingreso al modelo de KuzRam.

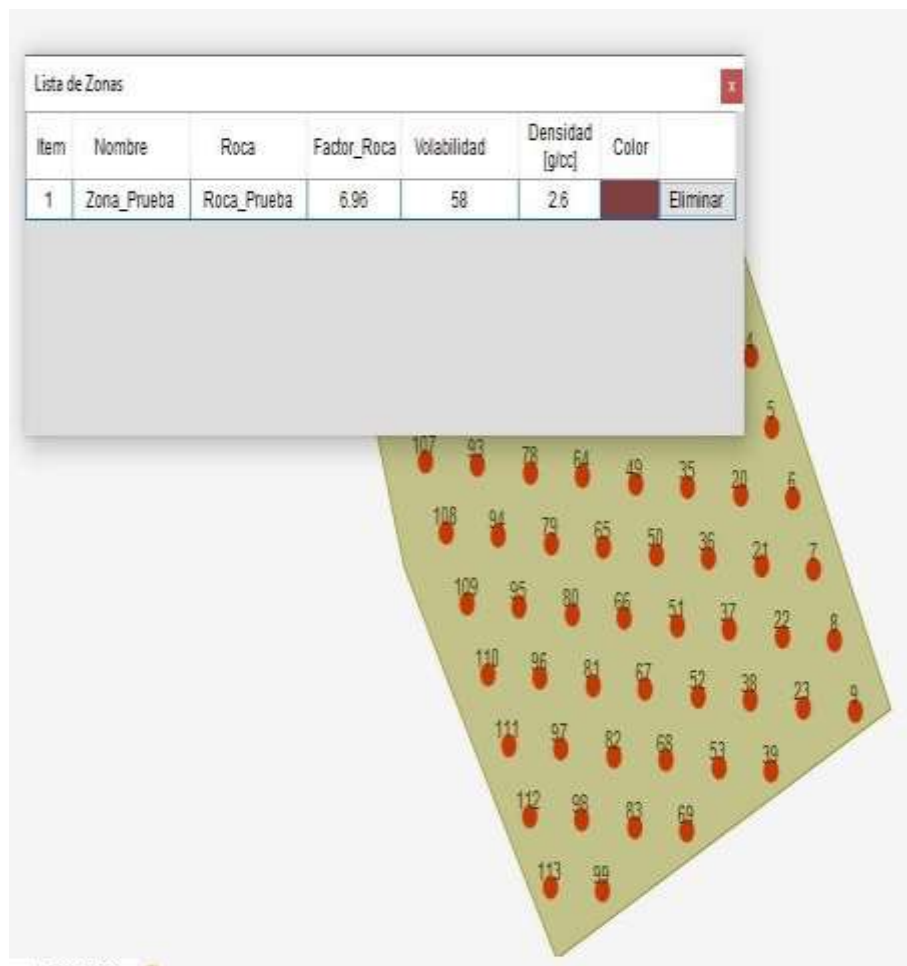


Figura N° 46: Zona Geomecánica a los Taladros.

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, definimos la ubicación de la cara libre y el talud para ubicar la dirección de salida de la voladura y su respectivo desplazamiento.

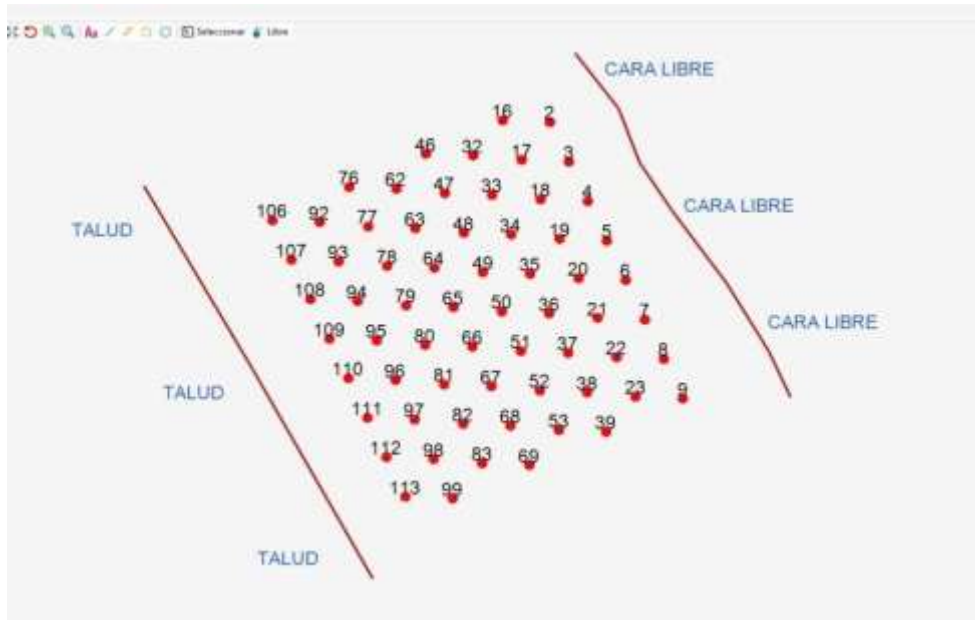


Figura N° 47: Dirección de salida de los taladros

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Secuenciamiento**

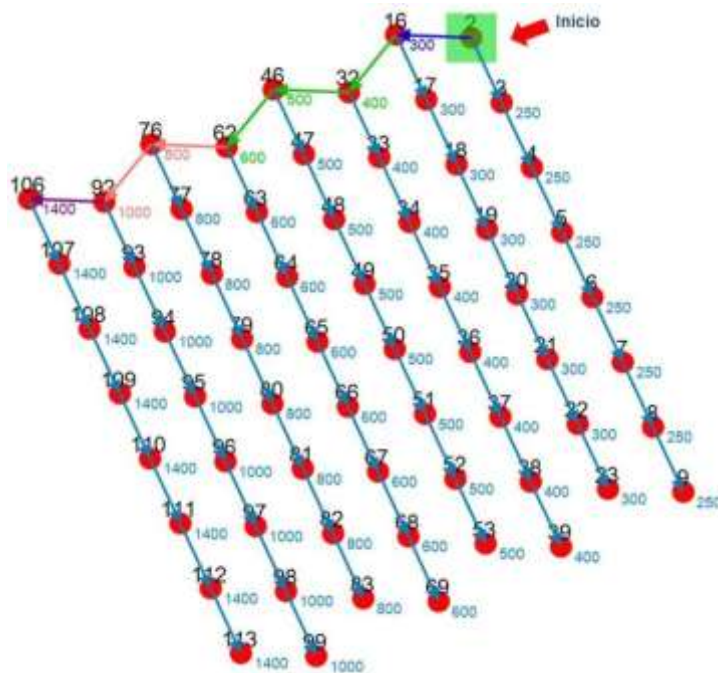


Figura N° 48: Inicio de secuenciamiento

Fuente: Elaboración propia.

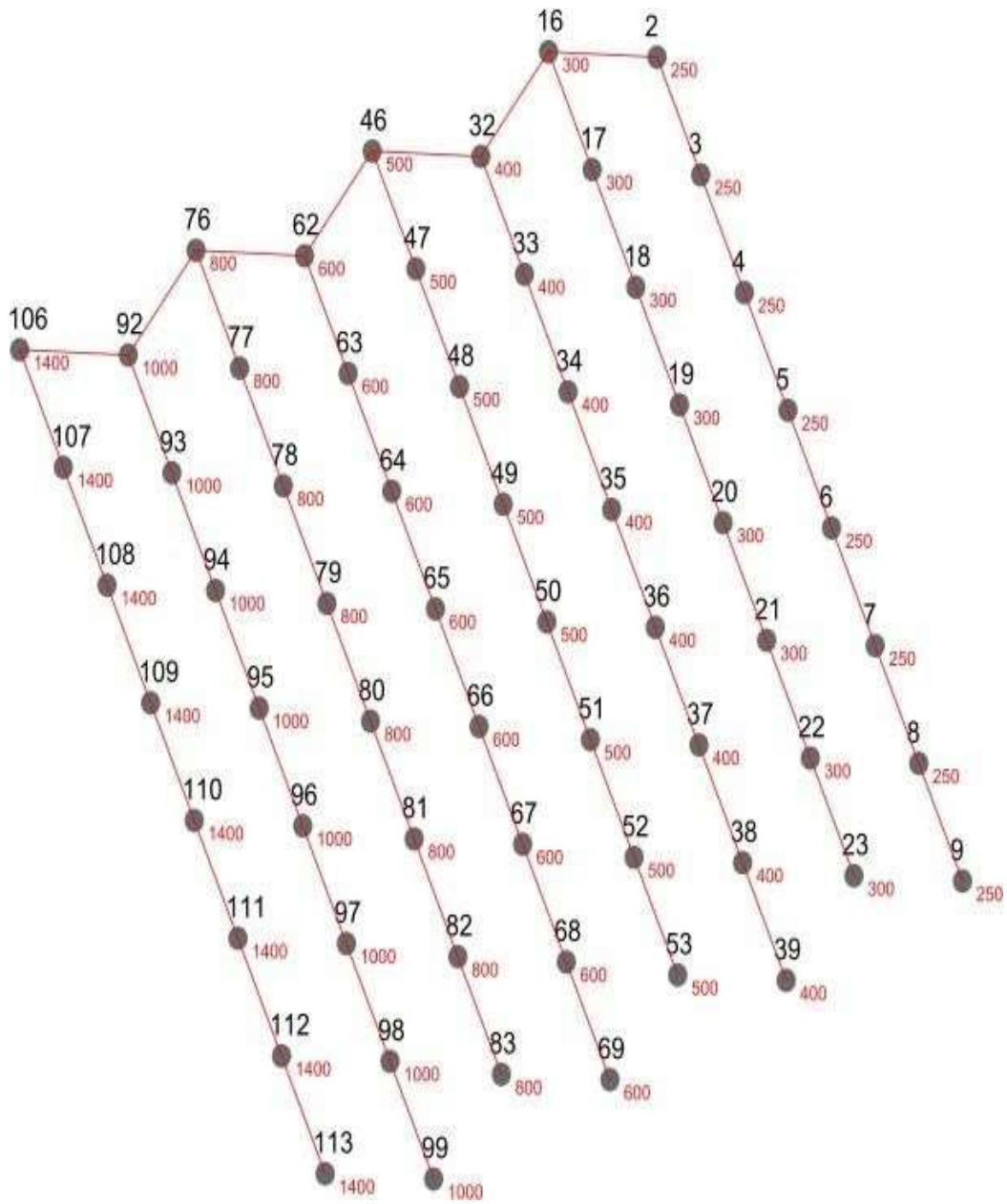


Figura N° 49: Final de secuenciamiento

Fuente: Elaboración propia

## SIMULACIÓN

### ✓ Secuencia de Detonación e Histograma

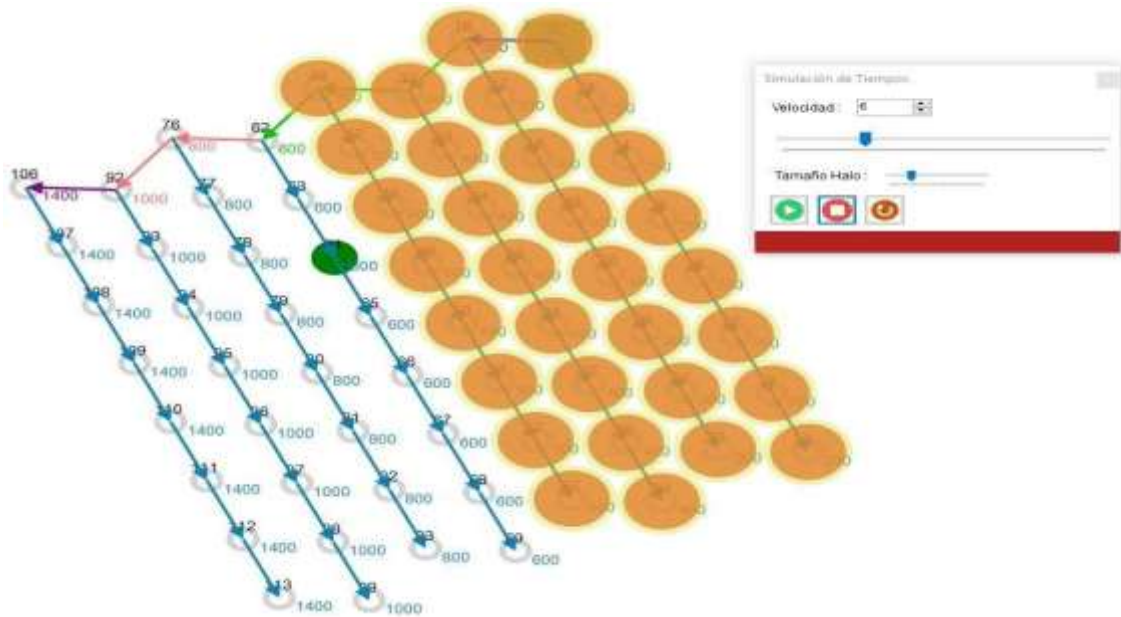


Figura N° 50: Secuencia de detonación

Fuente: Elaboración propia.

### ✓ Desplazamiento

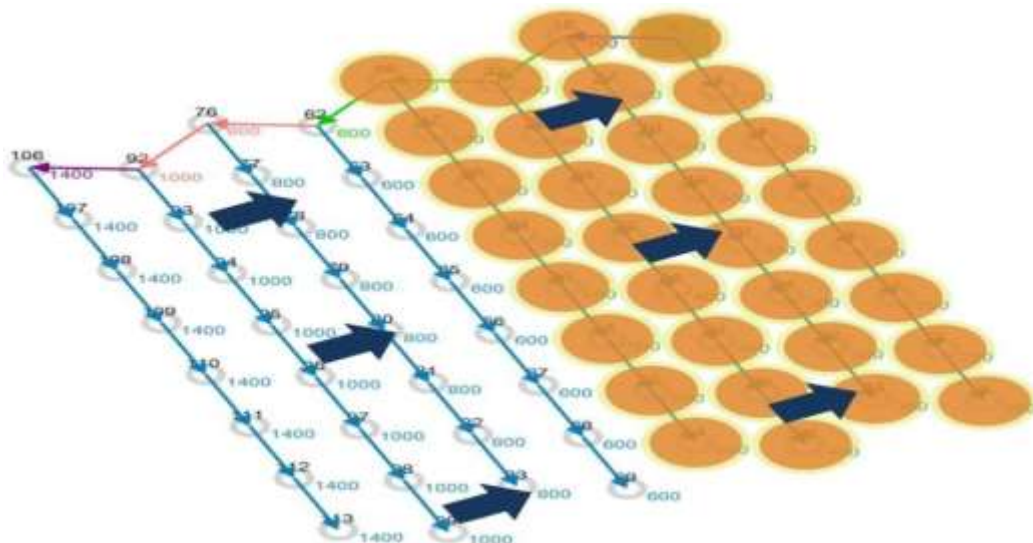


Figura N° 51: Dirección de detonación.

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Histograma**

En el histograma podemos observar que se acoplan 8 taladros para generar 12.67 kg/fila. La cantidad de explosivo utilizada en el proyecto es de 101.36Kg. Siendo el factor de carga 0.507 Kg/m<sup>3</sup>

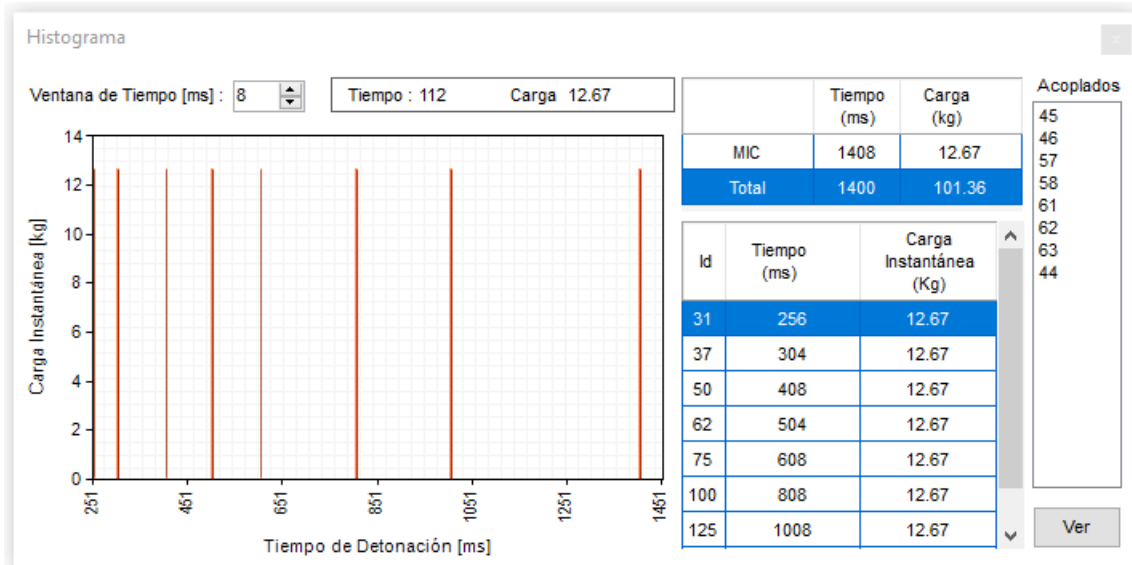


Figura N° 52: Tiempos de retardo.

Fuente: Elaboración propia.

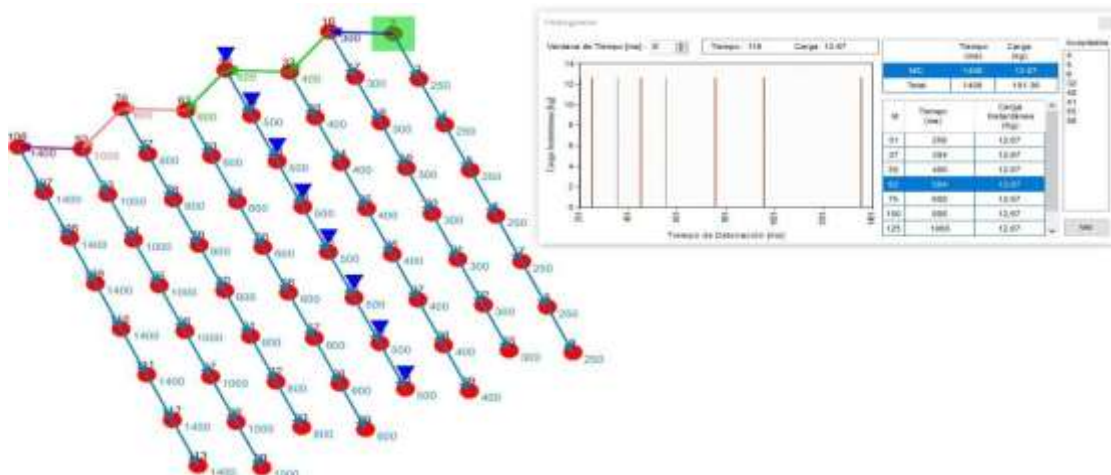


Figura N° 53: La herramienta del Histograma muestra los taladros acoplados en el tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Isotiempos**

Las curvas de Isotiempos toman la forma paralela y perpendicular al desplazamiento.

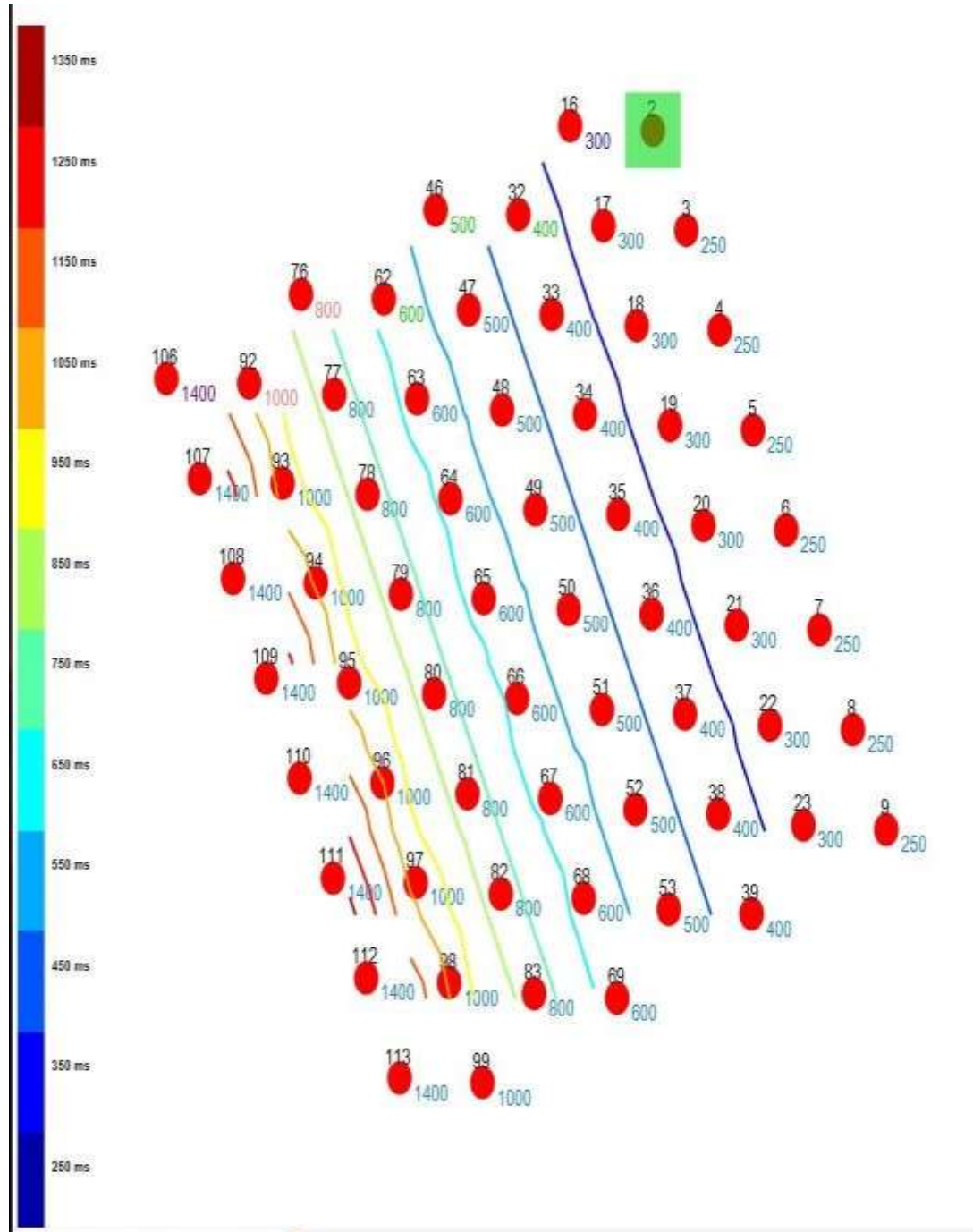


Figura N° 54: Detonación de cada fila.

Fuente: Elaboración propia.

### ✓ Ondas de Detonación

Las ondas P presentan mayor acoplamiento en la dirección que indica la flecha, por lo que se recomienda colocar un sismógrafo en dicha dirección por si hubiese una estructura o zona para cuidar.

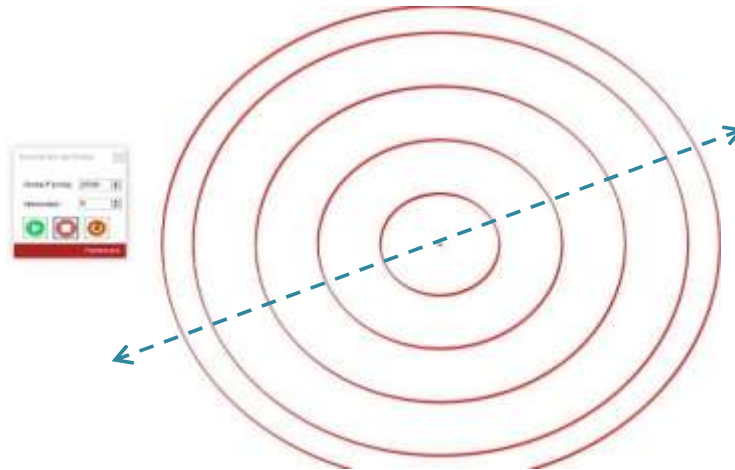


Figura N° 55: Generación de ondas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 24: Accesorios de voladura.

Insumo	Descripción	Unidad de medida	Cantidad
Mecha lenta	3 m x iniciación	metros	3
Pentacord	3P Longitud	metros	70
Mininel	1 x taladro (2.8m)	Unidad	64
Mecha rápida	Longitud	metros	1
Conector	1 x disparo	Unidad	1

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Predicción de la fragmentación con el modelo predictivo Kuz Ram.

Tabla N° 25: Índice de factor de roca.

FACTOR DE ROCA	RESULTADO
RMD = 40	7.08
JPS = 20	
JPA = 30	
SGI = 15	
HF = 13	

Fuente: Elaboración propia.

#### ✓ **Modelo KuzRam (1983)**

Se predijo el tamaño óptimo de fragmentación por medio del modelo KuzRam, esta predicción fue para cada modelo matemático con la finalidad de que el modelo matemático utilizado englobe las exigencias que requiere la cantera PROVEN III, se utilizaron los parámetros obtenidos en los estudios previos de los modelos matemáticos para lograr esta predicción.

El tamaño de fragmentación de la roca caliza que requiere la cantera PROVEN III varia en dimensiones de 15 cm a 25 cm, la predicción de la fragmentación se realizó con el fin aplicar lo teórico en campo con el sistema fuego.



Item	Análisis	Burden (m)	Esp. (m)	Altura (m)	Sobre Perfo (m)	Taco (m)	Diam. tal (mm)	Densi.Explo (g/cc)	RWS (%)	n	X50 (mm)	X80 (mm)	X95 (mm)	malla
1	PEARSE	1.4	1.4	2	0.2	0.6	40	0.83	100	1.38	167	308	483	Cuadrada
2	ASH	1	1.2	2	0.2	0.7	40	0.83	100	1.46	117	209	319	Cuadrada
3	LANGERF...	1.1	1.1	2	0.33	1	40	0.83	100	1.21	127	255	426	Cuadrada
4	LOPEZ JI...	0.9	1	2	0.2	1.2	40	0.83	100	0.97	121	287	543	Cuadrada
5	KONYA	1.2	1.3	2	0.3	0.8	40	0.83	100	1.37	145	268	421	Cuadrada

### Análisis Granulométrico de la Pila de Material Fragmentado

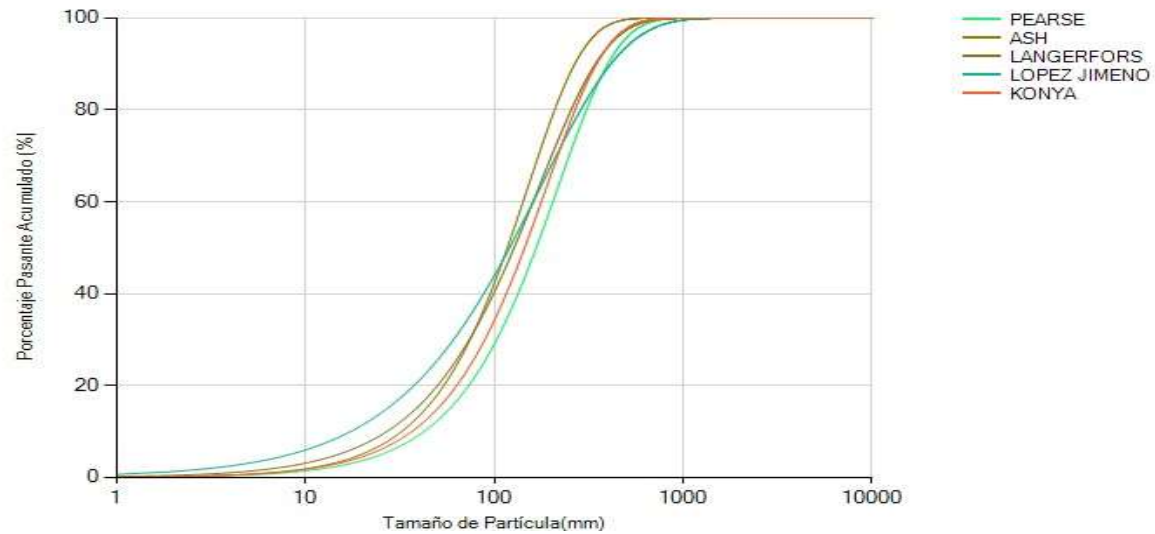


Figura N° 56: Predicción granulométrica del sistema convencional.

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de fragmentación de Pirkap utiliza el modelo matemático de KuzRam 1983 para predecir la granulometría de la pila fragmentada. Con los parámetros geométricos del taladro, parámetros geométricos de la malla, la configuración de carga del taladro, las características físicas del explosivo y las características físicas de la roca calculamos un tamaño de promedio de partícula de 14.46cm y un P80 de 22.57cm.

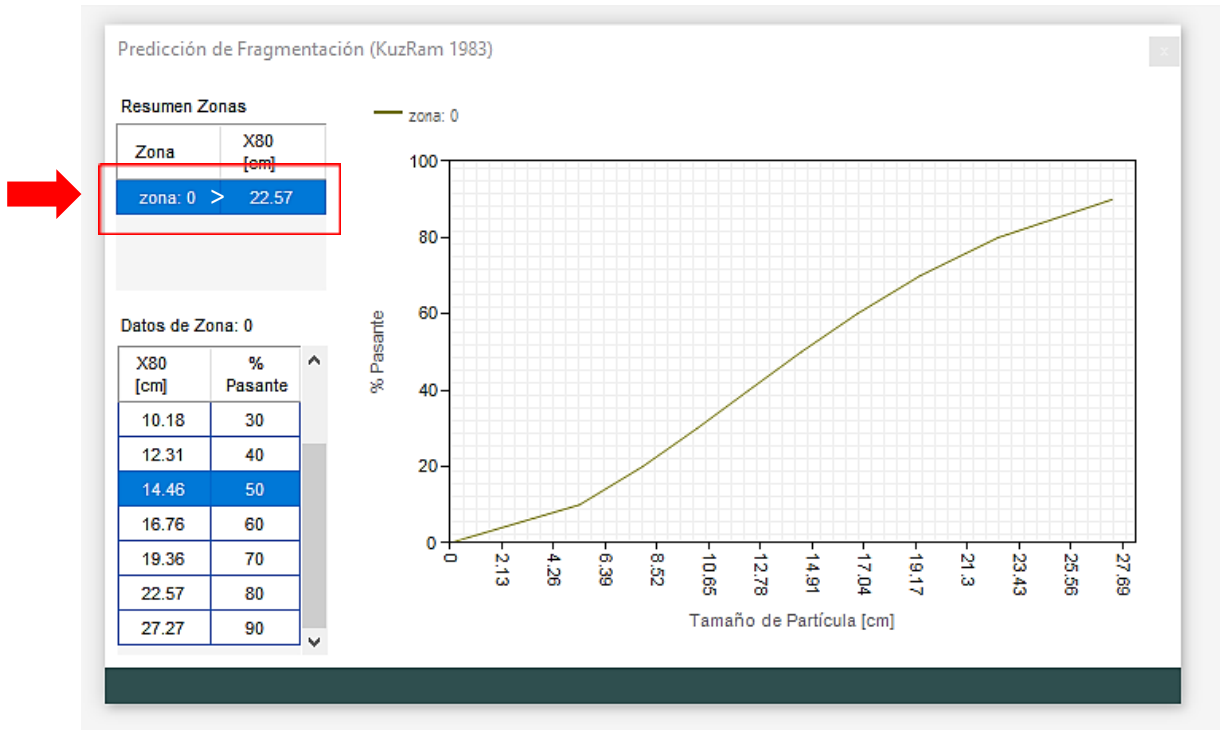


Figura N° 57: Predicción de fragmentación del sistema pirotécnico.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7. Evaluación de la fragmentación de la roca a través del software Sigma Frag.

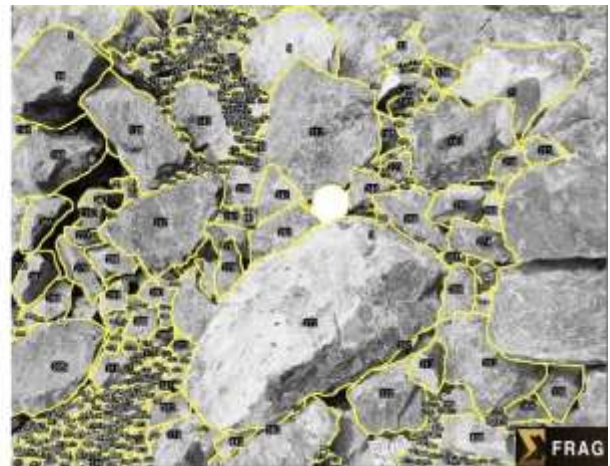
Tabla N° 26: Evaluación de la fragmentación

SISTEMA CONVENCIONAL		SISTEMA PIROTÉCNICO
Malla de perforación y voladura empírica	Nueva malla de perforación y voladura	

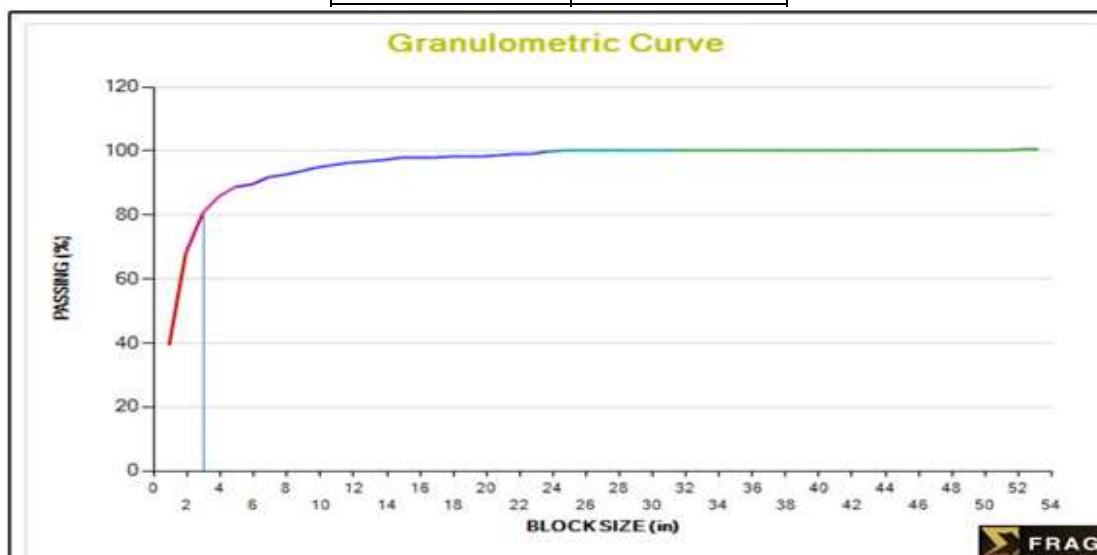
Fuente: Elaboración propia.

# GRANULOMETRIC REPORT

<b>SITE / MINE:</b>	Cerro Collique – Zaña, PROVEN III
<b>BLASTING NUMBER:</b>	VOLADURA EMPÍRICA – ZONA A
<b>DATE:</b>	25/05/2019
<b>UTM:</b>	9243104.6 m N, 659038.5 m E
<b>FILE:</b>	Fragmentación 01.jpg
<b>ANALYZED BY:</b>	Ing. Johannes Valdiviezo Chamorro

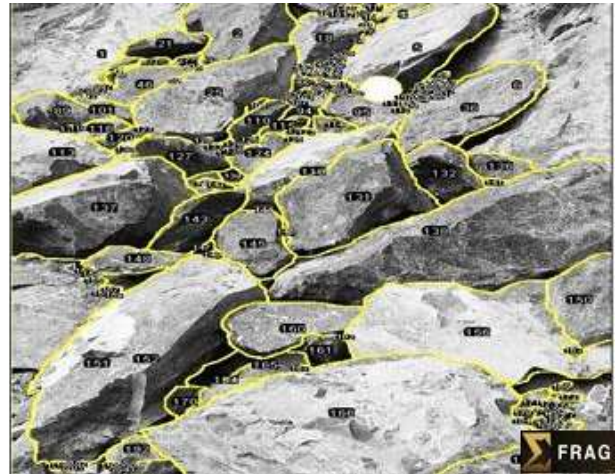


<b>Image Size:</b>	166.57 x 124.93 in
<b>Scale:</b>	9.84 in
<b>N° Blocks:</b>	547
<b>Passing 50% (P50):</b>	1.36 in
<b>Passing 80% (P80):</b>	2.97 in
<b>Uniformity Index:</b>	1.082

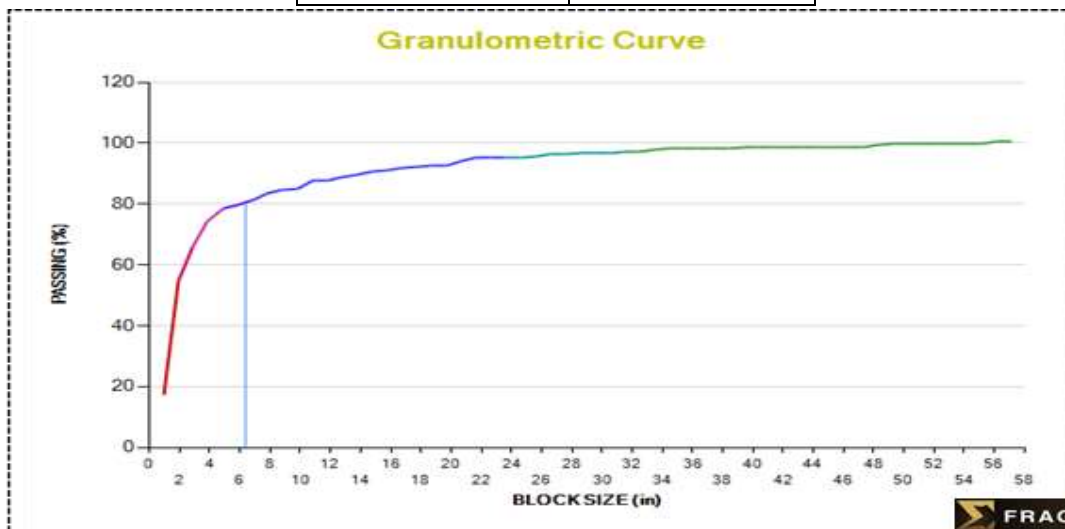


# GRANULOMETRIC REPORT

<b>SITE / MINE:</b>	Cerro Collique – Zaña, PROVEN III
<b>BLASTING NUMBER:</b>	VOLADURA EMPÍRICA – ZONA A
<b>DATE:</b>	25/05/2019
<b>UTM:</b>	9243104.6 m N, 659038.5 m E
<b>FILE:</b>	Fragmentación 02.jpg
<b>ANALYZED BY:</b>	Ing. Johannes Valdiviezo Chamorro

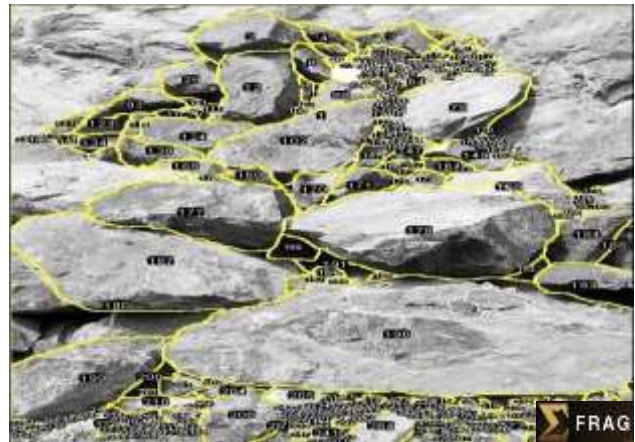


<b>Image Size:</b>	138.59 x 184.78 in
<b>Scale:</b>	9.84 in
<b>N° Blocks:</b>	198
<b>Passing 50% (P50):</b>	1.85 in
<b>Passing 80% (P80):</b>	6.37 in
<b>Uniformity Index:</b>	0.682
<b>Characteristic Size:</b>	3.16 in

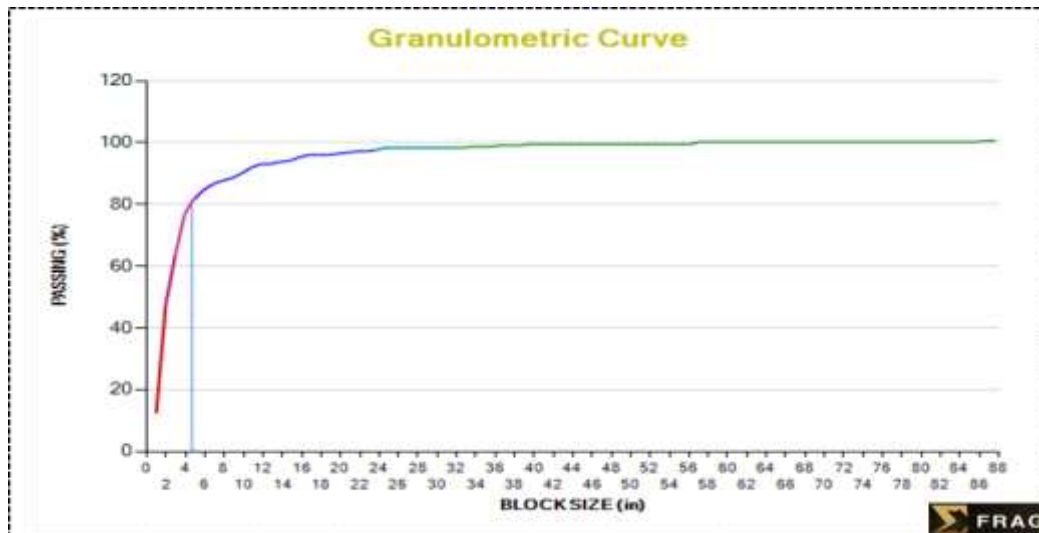


# GRANULOMETRIC REPORT

<b>SITE / MINE:</b>	Cerro Collique – Zaña, PROVEN III
<b>BLASTING NUMBER:</b>	VOLADURA EMPÍRICA – ZONA A
<b>DATE:</b>	25/05/2019
<b>UTM:</b>	9243104.6 m N, 659038.5 m E
<b>FILE:</b>	Fragmentación 03.jpg
<b>ANALYZED BY:</b>	Ing. Johannes Valdiviezo Chamorro



<b>Image Size:</b>	184.94 x 246.59 in
<b>Scale:</b>	9.84 in
<b>N° Blocks:</b>	360
<b>Passing 50% (P50):</b>	2.14 in
<b>Passing 80% (P80):</b>	4.65 in
<b>Uniformity Index:</b>	1.085
<b>Characteristic Size:</b>	3.00 in



# GRANULOMETRIC ANALYSIS OF COMPOSITE SAMPLE

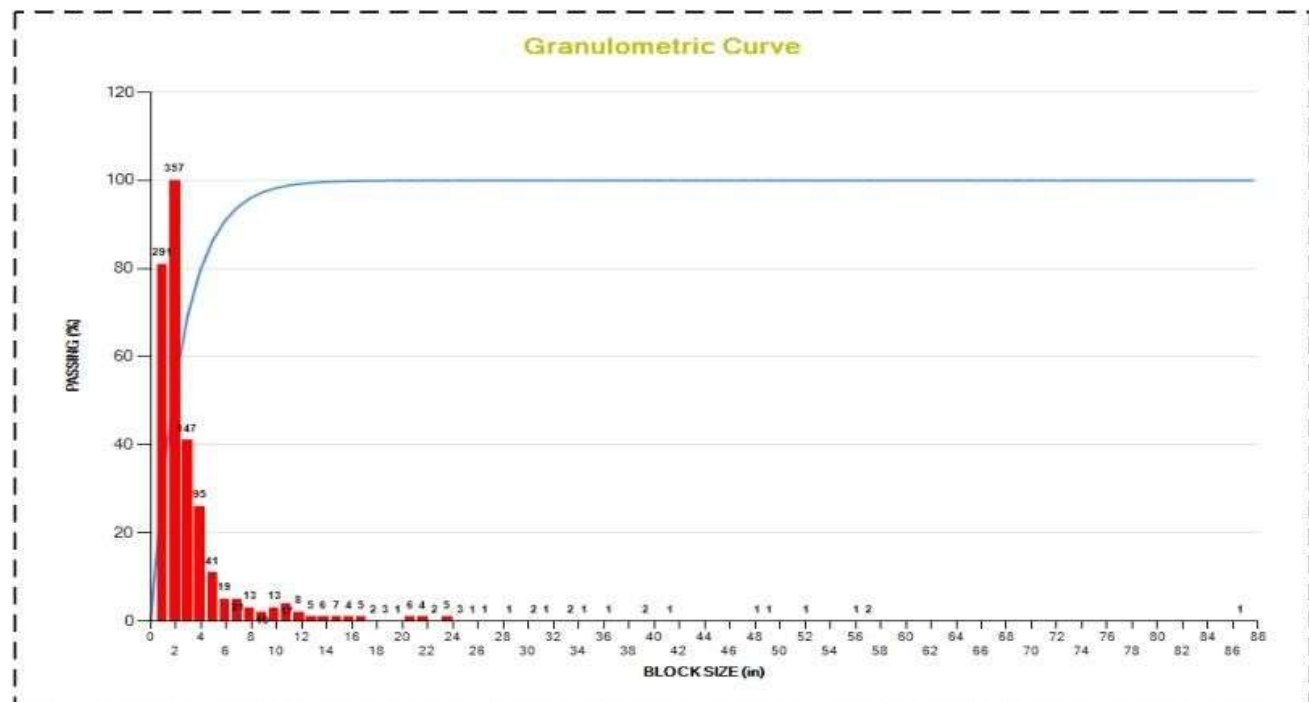
<b>PROJECT:</b>	Informe de tesis
<b>APPLICANTS:</b>	Anwar Miranda Olivos y Airton Vergara Saldaña
<b>SITE / MINE:</b>	Cerro Collique – Zaña, PROVEN III
<b>ÁREA</b>	Zona A - 9243104.6 m N, 659038.5 m E
<b>REVISED BY:</b>	Ing. Romel Villanueva
<b>ANALYZED BY:</b>	Ing. Johannes Valdiviezo Chamorro

## COMPOSITE SUMMARY

N° Photos	N° Blocks	P80 (in)	Uniformity Index	Characteristic Size (in)
3	1105	4.13	1.01	2.49

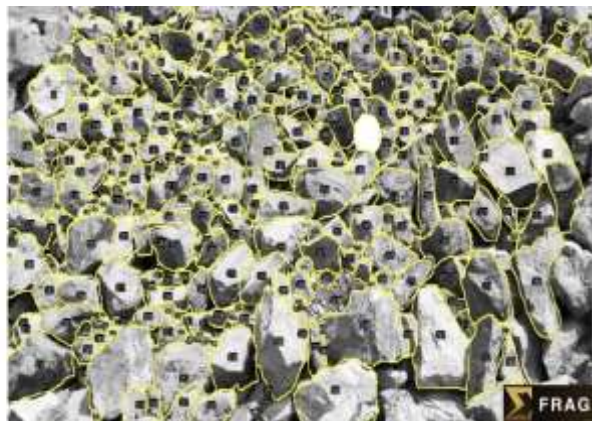
## DETAIL OF ANALYZED PHOTOS

File	P80 (in)	Uniformity Index	Characteristic Size (in)
Fragmentación 01.jpg	2.97	1.082	1.91
Fragmentación 02.jpg	6.37	0.682	3.16
Fragmentación 03.jpg	4.65	1.085	3

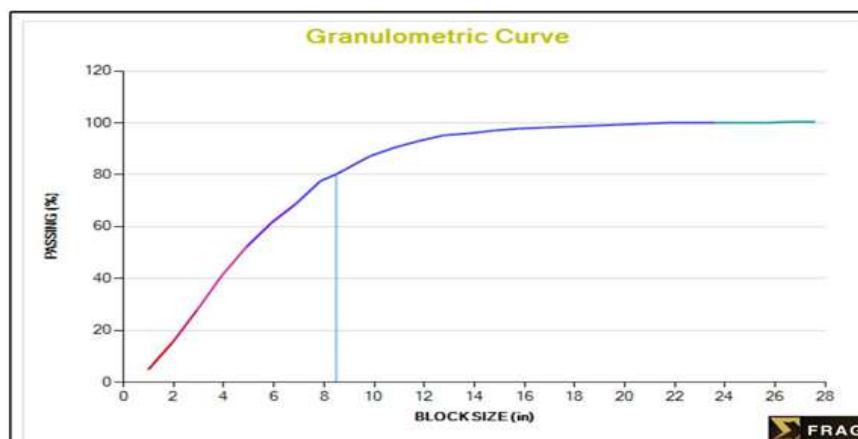


# GRANULOMETRIC REPORT

<b>SITE / MINE:</b>	Cerro Collique – Zaña, PROVEN III
<b>BLASTING NUMBER:</b>	NUEVA VOLADURA – ZONA B
<b>DATE:</b>	25/05/2019
<b>UTM:</b>	9243104.6 m N, 659038.5 m E
<b>FILE:</b>	Fragmentación 01.jpg
<b>ANALYZED BY:</b>	Ing. Johannes Valdiviezo Chamorro

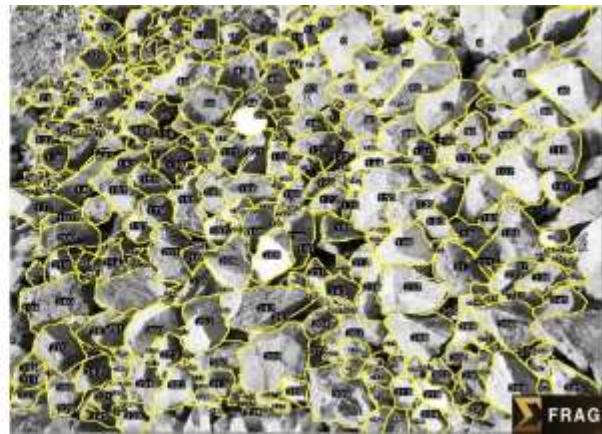


<b>Image Size:</b>	222.78 x 108.48 in
<b>Scale:</b>	9.84 in
<b>N° Blocks:</b>	350
<b>Passing 50% (P50):</b>	4.74 in
<b>Passing 80% (P80):</b>	8.49 in
<b>Uniformity Index:</b>	1.446
<b>Characteristic Size:</b>	6.11 in

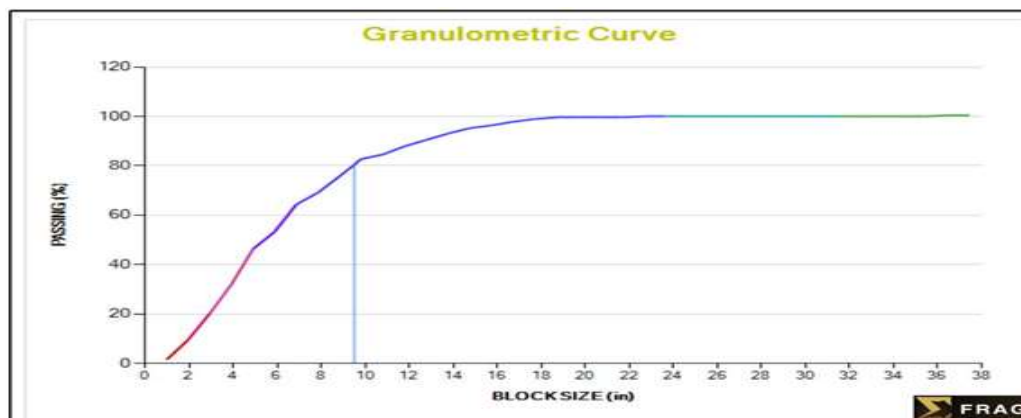


# GRANULOMETRIC REPORT

**SITE / MINE:** Cerro Collique – Zaña, PROVEN III  
**BLASTING NUMBER:** NUEVA VOLADURA – ZONA B  
**DATE:** 25/05/2019  
**UTM:** 9243104.6 m N, 659038.5 m E  
**FILE:** Fragmentación 02.jpg  
**ANALYZED BY:** Ing. Johannes Valdiviezo Chamorro



<b>Image Size:</b>	167.2 x 155.36 in
<b>Scale:</b>	9.84 in
<b>N° Blocks:</b>	336
<b>Passing 50% (P50):</b>	5.48 in
<b>Passing 80% (P80):</b>	9.51 in
<b>Uniformity Index:</b>	1.528
<b>Characteristic Size:</b>	6.96 in



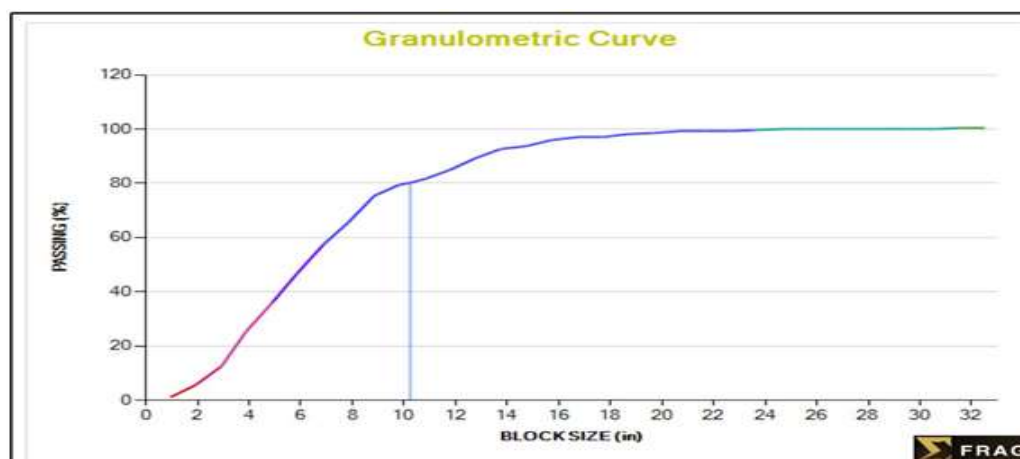


# GRANULOMETRIC REPORT

<b>SITE / MINE:</b>	Cerro Collique – Zaña, PROVEN III
<b>BLASTING NUMBER:</b>	NUEVA VOLADURA – ZONA B
<b>DATE:</b>	25/05/2019
<b>UTM:</b>	9243104.6 m N, 659038.5 m E
<b>FILE:</b>	Fragmentación 03.jpg
<b>ANALYZED BY:</b>	Ing. Johannes Valdiviezo Chamorro



<b>Image Size:</b>	142.46 x 194.82in
<b>Scale:</b>	9.84 in
<b>N° Blocks:</b>	245
<b>Passing 50% (P50):</b>	6.23 in
<b>Passing 80% (P80):</b>	10.24 in
<b>Uniformity Index:</b>	1.695
<b>Characteristic Size:</b>	7.73 in



# GRANULOMETRIC ANALYSIS OF COMPOSITE SAMPLE

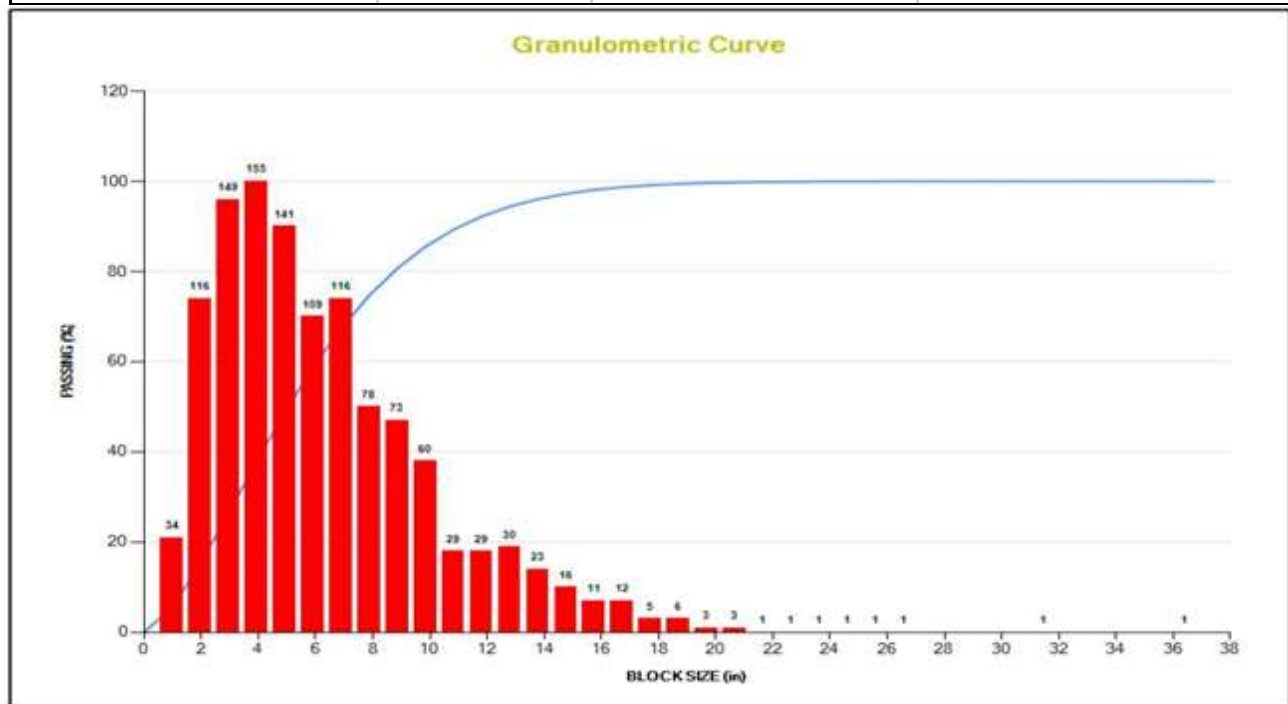
<b>PROJECT:</b>	Informe de tesis
<b>APPLICANTS:</b>	Anwar Miranda Olivos y Airton Vergara Saldaña
<b>SITE / MINE:</b>	Cerro Collique – Zaña, PROVEN III
<b>ÁREA</b>	Zona B - 9243104.6 m N, 659038.5 m E
<b>REVISED BY:</b>	Ing. Romel Villanueva
<b>ANALYZED BY:</b>	Ing. Johannes Valdiviezo Chamorro

### COMPOSITE SUMMARY

N° Photos	N° Blocks	P80 (in)	Uniformity Index	Characteristic Size (in)
3	1206	9.5	1.523	6.93

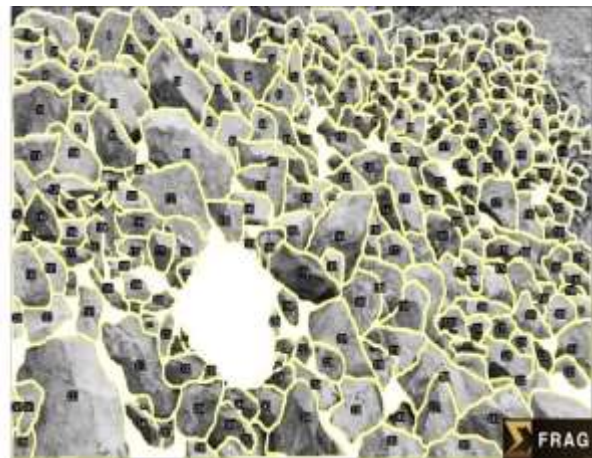
### DETAIL OF ANALYZED PHOTOS

File	P80 (in)	Uniformity Index	Characteristic Size (in)
Fragmentación 01.jpg	8.49	1.446	6.11
Fragmentación 02.jpg	9.51	1.528	6.96
Fragmentación 03.jpg	10.24	1.595	7.73

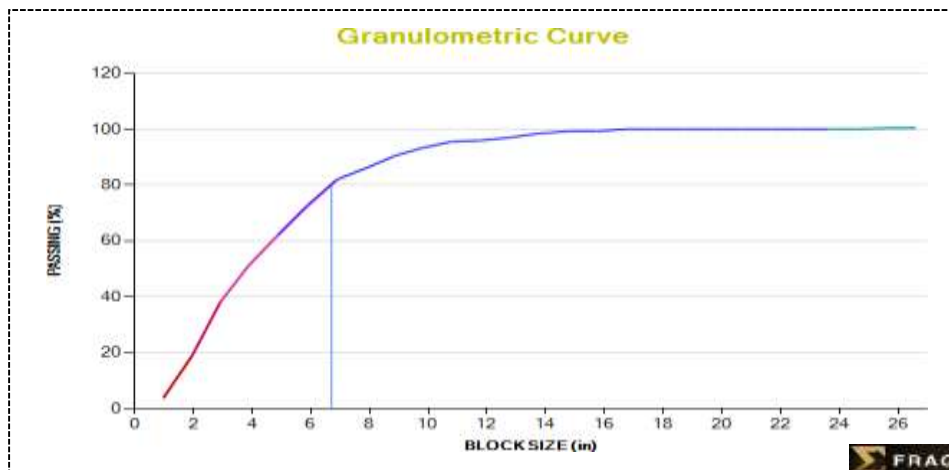


# GRANULOMETRIC REPORT

**SITE / MINE:** Cerro Collique – Zaña, PROVEN III  
**BLASTING NUMBER:** VOLADURA NO ELÉCTRICA – ZONA B  
**DATE:** 18/06/2019  
**UTM:** 9243104.6 m N, 659038.5 m E  
**FILE:** No eléctrica 01.jpg  
**ANALYZED BY:** Ing. Claudia Machuca chacón **REVISED BY:** Ing. Romel Villanueva

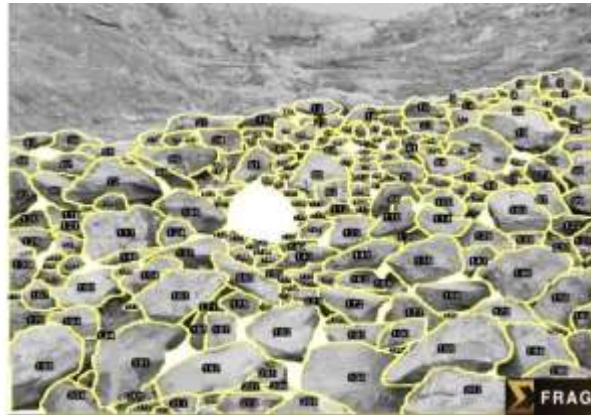


<b>Image Size:</b>	193.64 x 108.75 in
<b>Scale:</b>	9.84 in
<b>N° Blocks:</b>	275
<b>Passing 50% (P50):</b>	3.84 in
<b>Passing 80% (P80):</b>	6.71 in
<b>Uniformity Index:</b>	1.512
<b>Characteristic Size:</b>	4.90 in

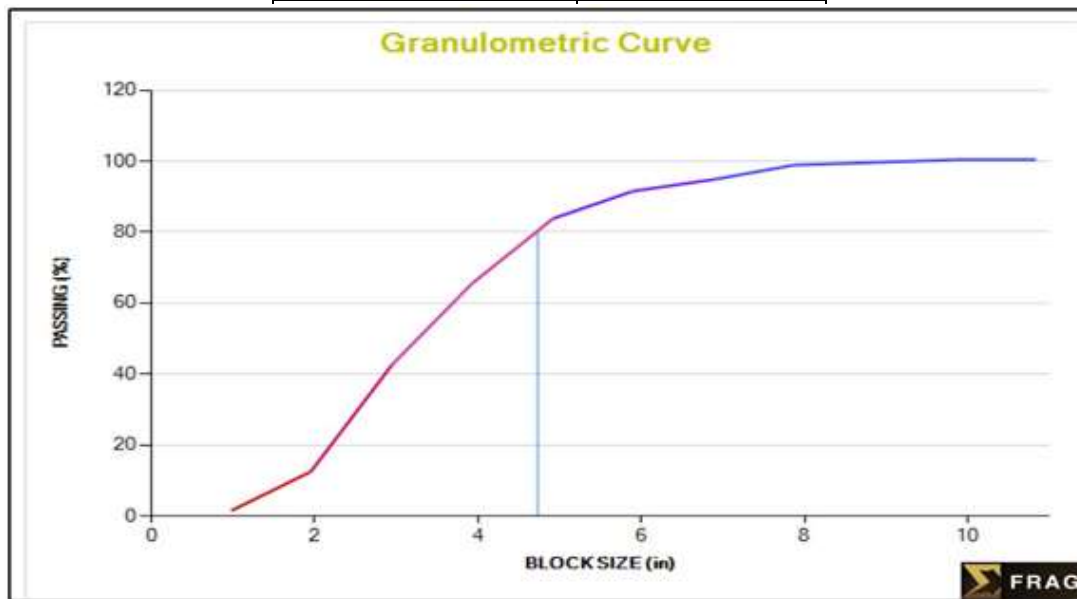


# GRANULOMETRIC REPORT

**SITE / MINE:** Cerro Collique – Zaña, PROVEN III  
**BLASTING NUMBER:** VOLADURA NO ELÉCTRICA – ZONA B  
**DATE:** 18/06/2019  
**UTM:** 9243104.6 m N, 659038.5 m E  
**FILE:** No eléctrica 01.jpg  
**ANALYZED BY:** Ing. Claudia Machuca chacón      **REVISED BY:** Ing. Romel Villanueva



<b>Image Size:</b>	67.99 x 47.17 in
<b>Scale:</b>	8,66 in
<b>N° Blocks:</b>	146
<b>Passing 50% (P50):</b>	3,28 in
<b>Passing 80% (P80):</b>	4,95 in
<b>Uniformity Index:</b>	2,301



3.8. Determinación de tiempos, costos y ganancias operacionales.

Se debe tener presente que los costos utilizados en este informe de tesis son en base a los brindados por el gerente de la cantera Proven III.

### **Sistema de iniciación convencional aplicado por la cantera PROVEN III**

Tabla N° 27: Tiempos y egresos iniciales de perforación y voladura de rocas aplicando el sistema convencional.

<b>Tiempo de procesos</b>	
Traslado de equipos y accesorios / preparación de terreno	1 día
Perforación y voladura	1 día
Chancado	10 días
Acarreo	
Tiempo total de las actividades	12 días
Disparos mensuales	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 28: Longitud de total de perforación.

Longitud de perforación (m)	2	<b>Metros perforados</b>	<b>Pies perforados</b>
disparos	1		
Volumen de material roto ( $m^3$ )	200	32	104.98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 29: Costo de mano de obra.

Personal	Hrs x dsp.	Nro. Trabajadores	jornada	Costo por disparo
perforista	8	1	S/. 100.00	S/. 100.00
ayudante	8	2	S/. 60.00	S/. 120.00
<b>Herramientas</b>				S/. 20.00
<b>Sub total</b>				S/. 240.00
<b>Costo total S/. / m<sup>3</sup></b>				1.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 30: Costos de perforación.

Equipos y Herramientas	precio S./	vida útil (pies)	P. Unit	Costo por disparo
Perforadora	S/. 9,000.00	100000	S/. 0.09	S/. 9.45
Compresora	S/. 40,000.00	500000	S/. 0.08	S/. 8.40
<b>Traslado de los equipos</b>				S/. 50.00
barreno 4 pies	S/. 300.00	1500	S/. 0.20	S/. 21.00
barreno de 8 pies	S/. 350.00	1500	S/. 0.23	S/. 24.49
<b>mangueras y accesorios</b>			S/. 0.35	S/. 36.743
<b>Total</b>				S/. 150.083
<b>Costo total S/. / m<sup>3</sup></b>				0.750

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 31: Costo de voladura.

Insumos	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo por unidad	Costo por disparo
Dinamita gelatina 75	1 x taladro	unidad	16	S/. 4.00	S/. 64.00
fulminante N°8	1 x taladro	unidad	16	S/. 2.00	S/. 32.00
Anfo	1 kg x taladro	Kilogramos	15	S/. 5.00	S/. 75.00
Mecha lenta	3 m x taladro	metros	80	S/. 1.00	S/. 80.00
<b>Total</b>					S/. 251.00
<b>Costo total de mano de obra S/m<sup>3</sup></b>					1.255

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 32: Costo de voladura secundaria.

Indicadores	Costo/disparo	Se registró bolonería con medidas superiores a 80 pulgadas con un % alto en la cantidad de material extraído
Perforación	S/. 25.00	
Explosivos	S/. 50.00	
Agente de voladura	S/. 0.00	
Accesorios de iniciación	S/. 30.00	
<b>Sub total</b>	S/. 105.00	
<b>Costo total S/. / m<sup>3</sup></b>	0.525	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 33: Chancado manual

Proceso	Costo por disparo
Jornada	S/. 60.00
N° trabajadores	4
Días	10
Herramientas	S/. 100.00
<b>Sub total</b>	S/. 2500
<b>Costo total S/. / m<sup>3</sup></b>	12.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 34: Costo total de los procesos de perforación, voladura y chancado

Proceso	Costo por disparo
Mano de obra	1.20
Perforación	0.750
Voladura	1.255
Voladura secundaria	0.525
<b>Chancado</b>	12.50
<b>Costo total S/. / m<sup>3</sup></b>	16.23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 35: Producción

<b>Elemento</b>	<b>Unid.Med.</b>	<b>Cantidad</b>
Toneladas totales de cal hidratada del contrato	TM	100
Plazo de ejecución	meses	1
Fragmentación requerida	cm	15
<b>Etapa de excavación</b>	<b>Bancos</b>	
Volumen por disparo	m3	200
Capacidad del horno	TM	30
Calcinación	TM/día	15
Toneladas de material al ser quemado	50%	

Fuente: Elaboración propia.

### **Sistema de iniciación convencional Aplicado por testistas**

Tiempos, egresos e ingresos de perforación y voladura de rocas aplicando el sistema fuego de testistas.

Tabla N° 36: Tiempo de procesos.

Traslado de equipos y accesorios / preparación de terreno	1 día
Perforación y voladura	2 días
Chancado	6 días
Acarreo	
Tiempo total de las actividades	9 días
Disparos mensuales	2

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 37: Costos de perforación y voladura

Tipo de roca	Caliza	Metros	Pies
Nro. Taladro	64	perforados	perforados
Longitud de perforación (m)	2.3	147	482
Disparos mensuales	3	Cal hidratada	
Volumen roto ( $m^3$ )	200	TM	200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 38: Costo de mano de obra

Personal	Hrs x disp.	N° días	Nro. Trabajadores	jornada/día	Costo x disp.
Perforista	8	2	1	S/. 100.00	S/. 200.00
Ayudante	8	2	3	S/. 60.00	S/. 360.00
<b>Herramientas</b>					S/. 40.00
<b>Sub total</b>					S/. 600.00
<b>Total, S/.<math>m^3</math></b>					2.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 39: Costo de perforación.

Equipos y herramientas	precio S./	vida útil (pies)	P. Unit	costo x disparo
Perforadora (martillo)	S/. 9,000.00	100000	S/. 0.09	S/. 43.46
Compresora	S/. 30,000.00	500000	S/. 0.06	S/. 28.97
Traslado de equipos				S/. 50.00
barreno 4 pies	S/. 300.00	2000	S/. 0.15	S/. 15.00
barreno de 8 pies	S/. 350.00	2000	S/. 0.18	S/. 23.60
<b>Mangueras y accesorios</b>			S/. 0.35	S/. 168.7
<b>Sub total</b>				S/. 329.73
<b>Total, S/.<math>m^3</math></b>				1.648

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 40: Costo de voladura.

Insumos	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo por unidad	Costo por disparo
Dinamita gelatina 75	1 x taladro	unidad	64	S/. 4.00	S/. 256.00
fulminante N°8	1 x taladro	unidad	64	S/. 2.00	S/. 128.00
Anfo	1.4 kg x taladro	Kilogramos	94	S/. 5.00	S/. 470.00
Mecha lenta	3 m x taladro	metros	200	S/. 1.00	S/. 200.00
<b>Sub total</b>					S/. 1054
<b>Total, S/. m<sup>3</sup></b>					5.27

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 41: Costo de voladura secundaria.

Indicadores	Costo/disparo	Se registró boloneras en pequeño porcentaje, con un tamaño de 30 pulgadas
Perforación	S/. 20.00	
Explosivos	S/. 20.00	
Agente de voladura	S/. 0.00	
Accesorios de iniciación	S/. 10.00	
<b>Sub total</b>	S/. 50.00	
<b>Total, S/.m<sup>3</sup></b>	0.25	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 42: Chancado manual

Proceso	Costo por disparo
Jornada	S/. 60.00
N° trabajadores	3
Días	2
Herramientas	S/. 30.00
<b>Sub total</b>	S/. 360.00
<b>Total, S/.m<sup>3</sup></b>	S/. 1.8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 43: Costo total de los procesos de perforación, voladura y chancado

<b>Proceso</b>	<b>Costo por disparo</b>
Mano de obra	2.00
Perforación	1.648
Voladura	5.27
Voladura secundaria	0.25
Chancado	1.8
Costo total S/. / m <sup>3</sup>	10.968

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 44: Costo de producción.

<b>Elemento</b>	<b>Unid.Med.</b>	<b>Cantidad</b>
Toneladas totales de cal hidratada del contrato	TM	200
Plazo de ejecución	meses	1
Fragmentación requerida	cm	15
<b>Etapas de excavación</b>	<b>Bancos</b>	
Volumen por disparo	m <sup>3</sup>	200
volumen mensual requerida	m <sup>3</sup>	400
Capacidad del horno	TM	30
Calcinación	TM/día	15
Reducción de la roca al quemarla	50%	

Fuente: Elaboración propia.

### **Sistema de iniciación pirotécnico aplicado por testistas**

Tiempos, egresos e ingresos de perforación y voladura de rocas aplicando el sistema no eléctrico con el modelo matemático Konya de testistas.

Tabla N° 45: Tiempo de procesos

Traslado de equipos y accesorios / preparación de terreno	2 días
Perforación y voladura	
Chancado	0 días
Acarreo	2 días
Tiempo total de las actividades	4 días
Disparos mensuales	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 46: Costo general de costos.

<b>Costo mano de obra S/. / m<sup>3</sup></b>			2.00			
<b>Costo de perforación S/. / m<sup>3</sup></b>			1.648			
<b>Voladura</b>	<b>Insumos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unit</b>	<b>Costo por disparo</b>
	Dinamita gelatina 75	1 x taladro	unidad	64	S/. 3.00	S/. 256.00
	fulminante N°8	1 x guía	unidad	2	S/. 1.50	S/. 3.00
	Anfo	1.6 kg x taladro	Kilogramos	101	S/. 3.00	S/. 303.00
	Mecha lenta	3 m x iniciación	metros	3	S/. 1.00	S/. 3.00
	Pentacord 3P	Longitud	metros	70	S/. 2.00	S/. 140.00
	Mininel	1 x taladro	Unidad	64	S/. 3.00	S/. 192.00
	<b>Sub total</b>					S/. 897.00
	<b>Total, S/.m<sup>3</sup></b>					4.485

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 47: Registro de boloneras.

Costo voladura secundaria	No se registró bolonería	S/. 0.00
---------------------------	--------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 48: Costo de chancado.

costo de chancado	Fragmentación adecuada para ser transportada al horno de calcinación
-------------------	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 49: Costo total de los procesos de perforación, voladura y chancado

<b>Costo total de los procesos de perforación, voladura y chancado</b>	<b>Proceso</b>	<b>Costo por disparo</b>
	Mano de obra	2.00
	Perforación	1.648
	Voladura	4.485
	Voladura secundaria	0
	Chancado	0
	Costo total S/. / m <sup>3</sup>	8.133

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 50: Producción

<b>Elemento</b>	<b>Unid.Med.</b>	<b>Cantidad</b>
Toneladas totales de cal hidratada del contrato	TM	200
Plazo de ejecución	meses	1
Fragmentación requerida	cm	15
<b>Etapas de excavación</b>	<b>Bancos</b>	
Volumen por disparo	m3	200
volumen mensual requerida	m3	400
Reducción de la roca al quemarla	50%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 51: Comparación de los tiempos y costos.

<b>Procesos de Extracción</b>	<b>Sistema de iniciación convencional aplicado por la cantera</b>	<b>Sistema de iniciación convencional aplicado por tesisistas</b>	<b>Sistema de iniciación pirotécnico aplicado por tesisistas</b>
Tiempos procesos (días)	12	9	4
Reducción de tiempos	65 %		
Extracción	200 m <sup>3</sup>	400m <sup>3</sup>	400m <sup>3</sup>
Producción	Referencial	200%	200%
Costo de procesos de extracción (S/. /m <sup>3</sup> )	16.23	10.968	8.133
Ahorro (S/. /m <sup>3</sup> )	8.097		
Cal hidratada S/. / TM	250		
Requerimiento Mayo	S/. 25,000.00		
Requerimiento Junio	S/. 50,000.00		
Ganancia por requerimiento	S/. 25,000.00		

Fuente: Elaboración propia

La operación unitaria de perforación incremento desde 0.750 S/. /m<sup>3</sup> hasta 1.648S/. /m<sup>3</sup>, igualmente, la operación unitaria de voladura incremento de 1.255 S/. /m<sup>3</sup> hasta 4.485 S/. /m<sup>3</sup>; el ahorro obedece a que en el ciclo de minado se eliminó básicamente las operaciones de chancado manual de 8.097 S/. /m<sup>3</sup> por ende se redujo los tiempos a un 40% y aumento el parámetro de productividad por requerimientos de 200 m<sup>3</sup> a 400 m<sup>3</sup> con ganancias por requerimiento de S/. 25,000.00

#### IV. DISCUSIÓN

- ❖ La hipótesis planteada fue comprobada por los resultados que se obtuvieron. Se optimizó la fragmentación de la roca caliza en un p80 de 6.71 pulgadas (17.04 cm) mediante el nuevo diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando el modelo matemático Konya. En vista que para desarrollar una malla de perforación y voladura de rocas se debe elegir un modelo apropiado a las características y necesidades presentes en la zona de aplicación, se comparó los resultados con antecedentes que discuten las semejanzas como lo descrito por Becerra (2016) En la que dedujo que el modelo matemático López Jimeno es el más adecuado para el desarrollo de una nueva malla de perforación y voladura de rocas que tuvo como resultado la mejora de la fragmentación.
  
- ❖ Se concuerda con lo descrito por Castro (2018) respecto a la geología regional y local, lo cual menciona la identificación de unidades estratigráficas acorde al tiempo geológico de formación, identificando la formación de depósitos fluviales recientes y eólicos recientes, así también como formaciones Pariatambo, volcánico llama, en la cual menciona depósitos no metálicos con presencia de calizas, lutitas y cuarcitas.
  
- ❖ Según el proceso definido por Hurtado (2013) el levantamiento topográfico se realizó en la mina la Calera donde se sectorizó la zona de extracción para ubicar las diferentes áreas de aplicación y por eso existió una serie de procedimientos como evaluar la zona a perforar, ubicar y nivelar la estación total, orientación de la malla de perforación, registrar la toma de coordenadas UTM este, norte y elevación del área a perforar (x, y, z), transferir los puntos topográficos obtenidos al software Micro Survey Cad, generar curvas de nivel a partir de esos puntos y plasmarlos en un plano.
  
- ❖ La calidad de la roca de clase II, roca buena determino el factor de carga, en términos de resistencia del macizo rocoso para ser fragmentado y así evitar tiros sopladados y mala fragmentación se concuerda lo afirmado por Cáceres (2018) al señalar que los parámetros geomecánicos hallados permitió una aplicación aceptable en el diseño de la malla de perforación y voladura de rocas, demostrando que al reconocer la calidad del macizo

rocoso por medio de la geomecánica ha influido en la reducción de problemas en la voladura.

- ❖ El análisis de los modelos matemáticos más utilizados en minería a cielo abierto a partir de los indicadores o factores que manejan cada modelo, permitió la elección del modelo matemático que más se ajusta a las características de la cantera siendo este el modelo matemático Konya, obteniendo parámetros de voladura para su posterior diseño, sin embargo Calcina (2015) afirma que respecto al enfoque de cálculo de voladura donde considera que López Jimeno, Langefors y Ash se pueden determinar con mayor facilidad y grado de precisión. Esto no concuerda con las afirmaciones que los investigadores de esta tesis señalan, ya que según el autor considera la potencia del explosivo y la dureza de la roca como indicadores críticos y el modelo matemático Konya posee parámetros críticos como menciona el autor y su cálculo podría favorecer incluso más al diseño de voladura.
- ❖ Se concuerda lo afirmado por Gaona (2015) donde utilizó el modelo matemático Konya para diseñar una malla de perforación y voladura de rocas, eliminando voladuras secundarias y granulometría excesiva no planeada, en este caso se demostró que el modelo matemático Konya es el que brinda más confiabilidad para el diseño de voladura en la zona aplicativa, producto a que el resultado de la fragmentación fue la esperada.
- ❖ Al aplicar el diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas fue indispensable predecir el tamaño del fragmento post voladura en términos de que cantidad de material en porcentajes tiene una medida específica (centímetros o milímetros), por tal motivo fue necesario el uso del modelo Kuz Ram lo cual respalda Barrera (2017) que demostró en su resultado, que la fragmentación luego de la voladura en la zona de estudio fue semejantes a lo que se predijo por el modelo Kuz Ram.
- ❖ Se concuerda lo descrito por Chávez (2014) respecto a la evaluación de la fragmentación de la roca luego de realizada la voladura por medio del software Split Desktop el cual trabaja a partir de imágenes tomadas in situ, por lo que se obtiene un reporte de la distribución de tamaños en la pila del material fragmentado que fue de 8.17 pulgadas con



lo que validó el resultado del diseño de voladura que propuso, en este caso se evaluó la fragmentación de la roca a través del software Sigma Frag, donde se analizaron dos imágenes tomadas in situ luego de realizar la voladura, dando como resultado 6.71 pulgadas del material fragmentado validando así nuestro diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando el modelo matemático Konya.

- ❖ Se concuerda con lo mencionado por Calcina (2015) donde indica que su malla de perforación y voladura de rocas ( $B = 2\text{m}$  y  $E = 2.5\text{m}$ ) pudo cumplir con el objetivo de optimizar la fragmentación donde obtuvo una reducción de los costos de  $6.42 \text{ S/. } /\text{m}^3$  en los procesos de chancado y transporte, en este caso el sistema de perforación y voladura de rocas se logró contraer los costos de  $\text{S/. } 8.097/\text{m}^3$  en el proceso extractivo.

## V. CONCLUSIONES

- ❖ El diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas mediante el modelo matemático Konya permitió optimizar la fragmentación de la roca caliza que se encontraba en tamaños inadecuados en valores de 50 cm a 150 cm a tamaños requeridos de P80 de 6.71 pulgadas (17.04 cm).
- ❖ La descripción geológica de la cantera ayudo a identificar las unidades estratigráficas como volcánico llama, grupo pulluicana y Quilquiñan siendo estas las más representativas que están compuestas por características mineralógicas de carbonato de calcio, definiendo la cantera PROVEN III como un yacimiento sedimentario explotable de materiales calcáreos, la formación estructural de la cantera está compuesta por estratos de rocas calizas grises claras a oscuras con altos contenidos de fósiles, con un 98 % de carbonato de calcio y 54 % de óxido de calcio, lo que identifico la riqueza de la zona y represento el interés económico del área de estudio.
- ❖ Al realizar el levantamiento topográfico se sectorizo la cantera de estudio, área de extracción y área de aplicación, se determinó la ubicación norte, este y elevación del polígono a explotar, en el que se aplicó el diseño de voladura de rocas.
- ❖ Se determinó las características geomecánicas del macizo rocoso basado en el RMR que obtuvo como resultado un valor de 67 identificándose como una roca de clase II – calidad buena, los parámetros hallados de la clasificación geomecánica RMR como el ensayo de compresión uniaxial que tuvo como resultado 66 Mpa que se refiere a una resistencia moderadamente dura que sirvió para analizar los modelos matemáticos y el factor de carga.
- ❖ El modelo matemático Konya fue el elegido al realizar el análisis de los modelos matemáticos más utilizados en minería a cielo abierto, teniendo como resultado: Burden (1.2), espaciamiento (1.3), retacado (0.8), Sobreperforación (0.3), longitud de carga (1.5) y longitud de perforación (2.3), estos fueron los más completos y adaptables en una sección de 10 m x 10 m para el desarrollo de la nueva malla de perforación y voladura de

rocas aplicado en la cantera PROVEN III. El resultado del nuevo diseño evito los fly rocks y bolonerias.

- ❖ Los parámetros de la nomenclatura de diseño se plasmaron en el área de aplicación teniendo un cambio de la primera aplicación con voladura de sistema con iniciación convencional a voladura con sistema de iniciación pirotécnico evitando tiros cortados y mejorando el desplazamiento de material fragmentado, este nuevo diseño se plasmó en el software Pirkap OP, el cual consiste en simular la secuencia y dirección de salida de los taladros y así se cumplió el objetivo de fragmentación.
- ❖ El modelo predictivo de fragmentación Kuz Ram demostró una similitud en los resultados reales, se predijo que el 80% del material fragmentado sería menor de 26.8 cm, los resultados del diseño de voladura estuvieron basados en los parámetros del modelo matemático Konya. En la simulación en el software Pirkap OP de la nueva malla de perforación con el sistema de iniciación pirotécnico predijo que el 80% de material fragmentado sería menor de 22.57 cm debido a que el software tiene incorporado el modelo predictivo Kuz Ram más completo y actualizado.
- ❖ El software SIGMA FRAG valido el objetivo del diseño del sistema de perforación y voladura de rocas, en base a imágenes fotográficas de la fragmentación obtenida luego de realizar la voladura en la cantera PROVEN III, se obtuvo una fragmentación con un promedio de 9.5 pulgadas (24.13 cm) realizado con el sistema de iniciación convencional con presencia de bolonerias y tiros cortados, logrando mejoras con el sistema de iniciación pirotécnico obteniendo una fragmentación de 6.71 pulgadas (17.04 cm), se descartó los tiros cortados, las voladuras secundarias y chancado manual, se incrementó el número de disparos mensuales generando mayor productividad para los requerimientos.
- ❖ Al aplicar el diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando el modelo matemático Konya con un sistema pirotécnico se logró ahorrar los costos de extracción S/. 8.097/m<sup>3</sup>, reduciendo los tiempos a un 65% aumentando la productividad por tal motivo los ingresos por requerimientos aumentaron considerablemente con una ganancia de S/. 25,000.00.

## VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Del estudio realizado en este informe de tesis se recomienda a la empresa PROVEN III, cambiar el sistema de explotación convencional (equipos manuales de perforación) a un sistema de explotación mecanizado (equipos trackdrill) para que el yacimiento pueda ser mejor aprovechado en producción con la finalidad de tener un trabajo más ordenado y seguro, al igual se le recomienda adquirir otro horno de calcinación para aumentar los requerimientos de cal hidratada ya que el nuevo diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas propuesto, redujo el tiempo de chancado, aumento los disparos mensuales y la productividad.
  
- ❖ Existen varias herramientas computacionales o llamados también software mineros como Ventsim, JK SimBlast, Pirkap, Wipfrag, entre otros, que requieren una licencia para su funcionamiento legal, por lo que se recomienda a la universidad cesar vallejo se interese por adquirir software que facilite al estudiante en el desarrollo de algún trabajo de investigación, logrando así que el ámbito investigador sea tecnológico y constituya un campo de diversas áreas de estudio del ámbito minero y no solo se enfoque en investigaciones recurrentes.
  
- ❖ En una investigación se deben cumplir los objetivos y que mejore a medida que surjan nuevas problemáticas o la exigencia que la investigación lo requiera.
  
- ❖ Se recomienda a los estudiantes en general de la carrera de ingeniería de minas que tomen interés en el ámbito de la investigación correspondiente de perforación y voladura de rocas, ya que es uno de los estudios más críticos operacionales en una actividad minera.

## REFERENCIAS

AGUIRRE, Andrés. Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el abra. Tesis (Título de Ingeniero civil en minas). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2016. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139156/Optimizacion-de-parametros-de-tronadura-en-funcion-de-explosivos-de-alta-energia.pdf?sequence=1>

ALFARO, Rene. Diseño de malla de perforación y voladura de rocas en la cantera sur para producción de roca escollera en la Cía. minera el Brocal cerro de Pasco. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Puno: Universidad Nacional del Antiplano, 2016. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3477>

AVALOS, Luis. Propuesta de mejora en la producción de cal viva para reducir costos operativos en la empresa Phuyu Yuraq II – Cajamarca. Tesis (Título profesional de ingeniero industrial). Trujillo: Universidad Privada del Norte, 2016. Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10262>

BARRERA, Luis. Validación del modelo Kuz – Ram para optimizar la fragmentación de la roca por voladura. Tesis (Título de ingeniero de minas y metalurgista). Ciudad universitaria: Universidad Nacional Autónoma de México, 2017. Disponible en: [www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.../Tesis.pdf?...1](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.../Tesis.pdf?...1)

BECERRA, Rogger y Hernández, Wilde. Estudio y selección de los métodos de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca, en la cantera Mitopampa, Cajamarca. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2016. Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7547>

CACERES, Carlos y DEPAZ, Lizeth. Geomecánica aplicada al diseño de malla de perforación de la GEA – 475E del nivel 2050 en la unidad Alpacatay, Mysac año 2016. Tesis (Título

profesional de ingeniería de minas). Huaraz: Universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2016. Disponible en: [repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2387](http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2387)

CAGUANA, Andrés y TENORIO, Manuel. Optimización de parámetros de perforación y voladura en la cantera “LAS VICTORIAS”. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cuenca: Universidad de Cuenca, 2013. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4390/3/tesis.pdf>

CALCINA, José. Optimización de la voladura en la cantera caliza – Minsur. Tesis (Título profesional de Ingeniero de minas). Tacna: Universidad nacional Jorge Basadre Grohmann, 2015. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2455>

CALDERON, Marco. Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala (unidad minera Macdesa). Tesis (Título de Ingeniero de minas). Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú, 2009. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3182>

CARHUANCHO, Erwin. Optimización de la fragmentación aplicando valores de energía en voladura al tajo Vidal, nivel 4190 cantera de caliza cerro palo cemento andino. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú, 2011. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3161>

CISTERNAS, Vladimir. Implementación de lean al proceso de perforación & tronadura del rajo sur - división el teniente-Codelco Chile. Tesis (Magister en gestión y dirección de empresas). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2016. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142798>

CHÁVEZ, Billy. Plan Estratégico para el desarrollo de la Industria de la Cal en la Región Cajamarca. Tesis (Magíster en administración estratégica de empresas). Surco: Pontificia universidad católica del Perú, 2015. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/10234>

CÓRDOVA, David. Geomecánica en el minado subterráneo caso mina condestable. Tesis (Maestría en ingeniería de minas). Lima: universidad nacional de ingeniería, 2008. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/595>

CORREA, Donny. Factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio en la concesión minera no metálica José Gálvez, Bambamarca, Cajamarca. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Cajamarca: Universidad privada del norte, 2016. Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7578>

CORREA, Pedro. Diseño del sistema de perforación y voladura en los bancos d, e y f en la mina de caliza el tesoro, contrato de concesión ili-16111 ubicada en la vereda las caleras del municipio de Nobsa - Boyacá. Tesis (Título profesional de ingeniería de minas). Sogamoso: Universidad pedagógica tecnológica de Colombia, 2017. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2242/1/TGT-782.pdf>

ENAEX. Manual de tronadura Enaex S.A [en línea]. Chile: [s.n.], 2012. [fecha de consulta: 30 de abril de 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/327450151/Manual-Enaex>

EXSA. Manual práctico de voladura [en línea]. 4ta edición. Lima: Sedna, 2005 [Fecha de consulta: 12 noviembre de 2018]. Disponible en: [https://www.academia.edu/8957420/LIBRO-Manual\\_PRACTICO\\_de\\_voladura](https://www.academia.edu/8957420/LIBRO-Manual_PRACTICO_de_voladura)

GAONA, Aderling. Optimización de la voladura, mina la virgen de la compañía minera san simón s.a. - Huamachuco Trujillo. Tesis (Título de ingeniero de minas). Piura: Universidad nacional de Piura, 2015. Disponible en: <https://docplayer.es/79170666-Universidad-nacional-de-piura-facultad-de-ingenieria-de-minas-escuela-profesional-de-ingenieria-de-minas.html>

GONZALO, Escobar. Manual de geología para ingenieros. Manizales: Universidad nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y arquitectura, 2017. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572>

HERNANDEZ, Roberto. Metodología de la investigación [en línea]. 6.<sup>a</sup> ed. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2014 [Fecha de consulta: 2 de diciembre de 2018]. Disponible en:  
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacionsextaedicion.compressed.pdf?fbclid=IwAR1QRek1alOahilbojtGYlhZ33OAXL8dCU2pNsCyoOVGZWkpokIPTxCva9I>  
ISBN: 978-1-4562-2396-0

JOSÉ, Alonso. Perforación y voladura de rocas en minería. (Manual). Madrid: Universidad politécnica de Madrid, 2013. Disponible en:  
[http://oa.upm.es/21848/1/20131007\\_PERFORACION\\_Y\\_VOLADURA.pdf](http://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf)

KONYA, Calvin [en línea], [Perú]: [s.n.], [2010?] [fecha de consulta: 17 mayo de 2019]. Disponible en: <https://vdocuments.mx/manual-de-voladura-konya.html>

LAZARTE, Juan. Diseño de voladuras para rocas calizas para la construcción de pedraplenes. Tesis (Título de ingeniero civil). Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan, 2017. Disponible en:  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNHE\\_76a2c0ba17d67632e814d0e5b423e854](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNHE_76a2c0ba17d67632e814d0e5b423e854)

LEIVA, Alberto. Influencia de la optimización de la fragmentación de roca en la rentabilidad de las operaciones mina-molienda. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Lima: Pontificia universidad católica del Perú, 2007. Disponible en:  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7629>

LOPEZ, Carlos y LOPEZ, Emilio. Manual de perforación y voladura de rocas [en línea]. 2.<sup>a</sup> edición. Madrid: Rústica, 2014 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2018]. Disponible en:  
<https://belliscovirtual.com/ingenieria-civil-y-obras-publicas-en-general/3679-manual-de-perforacion-y-voladura-de-rocas.html>  
ISBN: 8478401644



MAMANI, Irving. Análisis y optimización de costos de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de niña. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Puno: Universidad nacional del altiplano, 2016. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2988>

MENDOZA, Norma. “Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera paraíso-ecuador”. Tesis (Título profesional de ingeniera de minas). Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú, 2014. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1339>

MINISTERIO DEL AMBIENTE (Perú). Decreto supremo N° 040 – 2014 – EM. - Reglamento de protección y gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero. Lima, 2014. 32 pp. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-proteccion-gestion-ambiental-las-actividades-explotacion>

OSINERGMIN. Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería DECRETO SUPREMO N.º 024-2016-EM. Perú, 2016. 17 pp. Disponible en: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/DS-024-2016-EM.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/DS-024-2016-EM.pdf)

PANTOJA, Paúl. Diseño del sistema de explotación de calizas en el proyecto minero “SHOBOL NORTE 1” ubicado en el área minera “CALERITA SHOBOL” operado por “Cemento Chimborazo” (UCEM). Quito: Universidad Central del Ecuador, 2016. Disponible en: [www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5970](http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5970)

PÉREZ, Cesar. Reducción de las vibraciones por efectos de voladura superficial usando cámaras de aire en la columna explosiva en minera Corporación del Centro, la Libertad, 2016. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2016. Disponible en: [repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10255](http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10255)

PIÉROLA, Demetrio. Optimización del plan de minado de cantera de caliza la Unión distrito de baños del inca – Cajamarca 2015. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Puno: Universidad Nacional del Antiplano, 2017. Disponible en: [repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5634](http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5634)

POMA, José. Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill (caso minero Yanacocha). Tesis (Título de ingeniero de minas). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012. Disponible en: [tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1696](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1696)

QUEQUE, Marco Antonio. Estudio técnico – económico para la reducción de tiros cortados y tiros fallados en minería superficial. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2502>

QUIJANO, Jefry. Aplicación de la topografía en minería a cielo abierto mina la Calera – cementos argos Yumbo – Valle. Tesis (Título de tecnólogo en topografía). Armenia: Universidad del Quindío, 2013. Disponible en: [https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Topografia/15.pdf](https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Topografia/15.pdf)

RODRIGUEZ, Diego. Propuesta de un nuevo diseño para incrementar la producción de una cantera de agregados ubicada en el estado de México. Tesis (Título ingeniero de minas y metalurgista). Ciudad México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015. Disponible en: [www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/9460](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/9460)

ROMERO, Francisco. Manual técnico para el uso de explosivos utilizados en voladuras a cielo abierto en vías terrestres. Tesis (Magíster en vías terrestres). Ambato: Universidad técnica de Ambato, 2009. Disponible en: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/2165>

SALAZAR, Aldo. Descripción de modelos en predicción de fragmentación rocosa para minería y reducción del consumo de explosivos y accesorios. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2013. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3927>

SANTAMARIA, Alba. Presencia de las matemáticas en las demás asignaturas. Tesis (Máster en formación del profesorado de matemáticas). Madrid: Universidad de Cantabria, 2012. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/595>

URDAY, Diego. Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 tn/h. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Lima: Pontificia universidad católica del Perú, 2013. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5334>

VILLENA, Cristhiam. Modelo matemático para predecir el lanzamiento de fragmentos de roca en minería superficial. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. Disponible en: [cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1086/1/villena\\_ac.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1086/1/villena_ac.pdf)

YAHUANA, William. Control de fragmentación, proyección y apilamiento de roca en voladuras de canteras en la cantera cerro negro. Tesis (Título de ingeniero de minas). Piura: Universidad Nacional de Piura, 2015. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUMP\\_f4f25e3a9e6a4494db87a48e060b5322](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUMP_f4f25e3a9e6a4494db87a48e060b5322)

ZÚÑIGA, Pablo. Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de compañía minera cerro negro. Tesis (Título de Ingeniero civil en minas). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2015. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/137507/Diseno-de-tronaduras-y-su-impacto-en-el-costo-mina-de-Compania-Minera-Cerro-Negro.pdf>

# **ANEXOS**

**Anexo N° 1:** Instrumentos de recolección de datos

**Matriz de consistencia**

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>
¿Cómo se puede optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera de PROVEN III EN CERRO COLLIQUE - ZAÑA?	Diseñar un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III EN CERRO COLLIQUE – ZAÑA.	Si se realiza un diseño de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos nos va a permitir optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro COLLIQUE – ZAÑA.	<p><b>ANTECEDENTES:</b></p> <p><b>Primera variable:</b></p> <p><b>Internacionales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguirre (2016); Romero (2014); Zúñiga (2015); Tenorio (2013); Herrera (2013).</li> </ul>
<b>Problema específico 1</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específica 1</b>	<p><b>Nacionales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Navarro (2015); Gonzales (2015); Muñoz (2014); Villena (2013); Avalos (2016).</li> </ul> <p><b>Marco conceptual:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teorías</li> <li>• Ciencias</li> <li>• Modelos</li> <li>• Marco legal</li> </ul>
¿Cómo se puede optimizar la producción de la cantera PROVEN III EN CERRO COLLIQUE – ZAÑA?	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Describir geológicamente la cantera PROVEN III.</li> <li>✓ Realizar un levantamiento topográfico de la zona de estudio.</li> <li>✓ Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso</li> <li>✓ Analizar los modelos matemáticos de</li> </ul>	Si se realiza un diseño de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos nos va a permitir optimizar la producción de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro COLLIQUE – ZAÑA.	
<b>Problema específico 2</b>			

<p>¿Cómo se puede reducir el tiempo de extracción en la cantera PROVEN III EN CERRO COLLIQUE – ZAÑA?</p>	<p>perforación y voladura de rocas más utilizados en pequeña minería a cielo abierto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Diseñar una nueva malla de perforación y voladura de rocas con el modelo matemático más óptimo para la zona de estudio.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específica 2</b></p> <p>Si se realiza un diseño de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos nos va a permitir optimizar el tiempo de extracción de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro COLLIQUE – ZAÑA.</p>	
<p><b>Problema específico 3</b></p>		<p><b>Hipótesis específica 3</b></p>	
<p>¿Cómo se puede reducir el costo de mano de obra en la fragmentación de la cantera PROVEN III EN CERRO COLLIQUE – ZAÑA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Predecir la fragmentación con el modelo Kuz Ram.</li> <li>✓ Evaluar la fragmentación de la roca a través del software Sigma Frag.</li> <li>✓ Determinar los tiempos, costos y ganancias operacionales en relación al sistema de perforación y voladura de rocas.</li> </ul>	<p>Si se realiza un diseño de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos nos va a permitir optimizar el costo de mano de obra en la fragmentación de la cantera PROVEN III en cerro COLLIQUE – ZAÑA.</p>	

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
Chiclayo - 2019

**Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña**

**GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 1 (A1)**

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN: ESTUDIO GEOLÓGICO</b>		
<b>Ítems</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observación</b>
<b>GEOLOGÍA REGIONAL</b>		
<b>GEOLOGÍA LOCAL</b>		
<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b>		

Fuente: Elaboración propia

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**Chiclayo - 2019**

**Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña**

**GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 2 (A2)**

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN: TOMA DE PUNTOS TOPOGRÁFICOS DE LA CONCESIÓN</b>					
<b>LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</b>	<b>Puntos</b>	<b>Coordenadas UTM WGS84</b>		<b>Cotas</b>	<b>Observación</b>
	<b>1</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>		
	<b>2</b>				
	<b>3</b>				
	·				
	·				
	·				
<b>X</b>					

Fuente: Elaboración propia



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**Chiclayo - 2019**

**Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña**

**GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 3 (A3)**

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN: CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS</b>		
<b>TABLAS GEOMECÁNICAS RMR</b>	<b>RESULTADOS</b>	
	Resistencia a la roca intacta	
	RQD	
	Espaciamiento entre discontinuidades	
	Estado de discontinuidades	
	Aguas freáticas	
	Corrección por orientación de discontinuidades	

Fuente: Elaboración propia

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**Chiclayo – 2019**

**Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña**

**MÉTODO DE ANALISIS DOCUMENTAL N° 1 (B1)**

ENSAYO DE COMPRESIÓN POR COMPRESIÓN UNIAxIAL ASTM – D2938				
DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN			
MUESTRAS	1	2	....	X
DIÁMETRO				
ALTURA				
CARGA				
RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )				
RESISTENCIA PROMEDIO (MPA)				

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Chiclayo - 2019

**Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña**

**GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 4 (A4)**

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN: MODELOS MATEMÁTICOS</b>		
<b>Ítems</b>	<b>RESULTADOS</b>	
	Burden	Espaciamiento
KONYA		
LANGEFORS		
LOPEZ JIMENO		
ASH		
PEARSE		

Fuente: Elaboración Propia

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**Chiclayo - 2019**

**Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN**

**III en cerro Collique – Zaña**

**GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 5 (A5)**

<b>Guía de observación: Perforación y Voladura de rocas</b>		
<b>Parámetros de perforación y voladura</b>	<b>Observación</b>	<b>Descripción</b>
Burden		
Espaciamiento		
Díámetro de taladro		
Longitud de taladro		
Longitud de carga		
Velocidad de detonación		
Densidad de explosivo		
Presión de detonación		
Factor de carga		
Tipo de explosivo		
Iniciación		
Secuencia		

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Chiclayo - 2019

Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN

III en cerro Collique – Zaña

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 6 (A6)

GUÍA DE OBSERVACIÓN: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
Ítems	RESULTADOS A PARTIR DEL MODELO MATEMÁTICO KUZ RAM	
FRAGMENTACIÓN	KUZ RAM	
	X	
	R	

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Chiclayo - 2019

**Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña**

**GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 7 (A7)**

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN: OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS</b>		
<b>Ítems</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observación</b>
Tiempo de chancado		
Tiempo de carguío y transporte		
Tiempo de calcinación		

Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Chiclayo - 2019

**Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña**

**GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 8 (A8)**

<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN: EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>		
<b>Ítems</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observación</b>
Costos de producción		
Flujo de caja		

Fuente: Elaboración propia

**Cuestionario: Para el concesionario de la cantera PROVEN III**

1. ¿Cuál es la deficiencia de mayor interés como resultado de la perforación y voladura rocas para la obtención de la cal?

Almoharra de Fragmentar la Roca  
Salen boloneras

2. ¿Con que estudios cuentan para la aplicación de su malla de perforación y voladura y como analizan su fragmentación?

Estudio Geológico	Si:	<del>No:</del>
Estudio Topográfico	<del>Si:</del>	No:
Estudio Geomecánico	Si:	<del>No:</del>
Parámetros matemáticos	Si:	<del>No:</del>
Parámetros de fragmentación	Si:	<del>No:</del>

3. ¿Cuentan con parámetros de perforación y voladura de manera ingenieril en los sectores de extracción?

habia Pero Ahora no Existe.

4. ¿Qué tan importante es para usted tener un sistema de perforación y voladura de rocas para su extracción de la roca caliza?

Saldría Mayor Cantidad de Piedra Caliza  
no Saldría boloneras y Ahorramos Tiempo.

5. ¿Qué procedimiento siguen cuando el resultado de la voladura no es la óptima, en términos de medidas, no fragmenta al macizo rocoso y por ende salen rocas muy grandes?



balanzas Secundarias y Controlar mas  
Mano de Obra

6. ¿Cuenta con reportes de costos y tiempos de chancado manual? Si la respuesta es si  
¿Qué tiempo demoran en chancar un  $m^3$  de material y cuál es el costo de mano de  
obra? ¿si no tiene ese reporte como analiza la eficiencia de minado?

no Cuenta con Reportes de Costos

7. ¿Obteniendo un tamaño de fragmentación optima, optimizara el costo de mano de  
obra y tiempos en los siguientes procesos?

Si Optimizaria

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**Chiclayo – 2019**

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La docente Salazar Cabrejos Rosa Eliana con DNI: 41661370 Especialista en metodología de la investigación da conformidad a los instrumentos : Guía de observación, método de análisis documental y cuestionario que a continuación se presentan y que fueron sometidos a una evaluación y validación , con la finalidad de que sean aplicados por los estudiantes responsables: Miranda Olivos Anwar Millague y Vergara Saldaña Airtón Ronaldo en la investigación titulada DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA CALIZA EN LA CANTERA PROVEN III EN CERRO COLLIQUE – ZAÑA.

Dejamos, evidencia de lo evaluado firmando el presente documento para los fines que sean necesarios.

Chiclayo, 17 de Abril de 2019

Atentamente.

  
FIRMA Y DNI 41661370

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El docente Alvarado Castillo Wilder Ángel con DNI 17531294 Especialista en estadística da conformidad a los instrumentos : Guía de observación, método de análisis documental y cuestionario que a continuación se presentan y que fueron sometidos a una evaluación y validación , con la finalidad de que sean aplicados por los estudiantes responsables: Miranda Olivos Anwar Millague y Vergara Saldaña Airton Ronaldo en la investigación titulada DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA CALIZA EN LA CANTERA PROVEN III EN CERRO COLLIQUE – ZAÑA.

Dejamos, evidencia de lo evaluado firmando el presente documento para los fines que sean necesarios.

Chiclayo, 22 de Abril de 2019

Atentamente.



17531294

FIRMA Y DNI


## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El Ingeniero de minas Salazar Ipanaque Javier Ángel DNI 02859620 Especialista en el área de Perforación y voladura de rocas da conformidad a los instrumentos : Guía de observación, método de análisis documental y cuestionario que a continuación se presentan y que fueron sometidos a una evaluación y validación , con la finalidad de que sean aplicados por los estudiantes responsables: Miranda Olivos Anwar Millague y Vergara Saldaña Airton Ronaldo en la investigación titulada DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA CALIZA EN LA CANTERA PROVEN III EN CERRO COLLIQUE – ZAÑA.

Dejamos, evidencia de lo evaluado firmando el presente documento para los fines que sean necesarios.

Chiclayo, 22 de Abril de 2019

Atentamente.

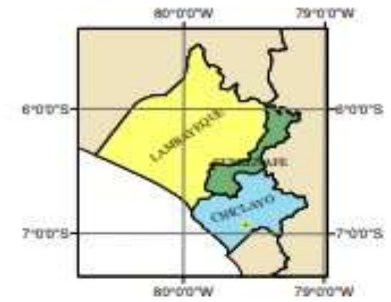
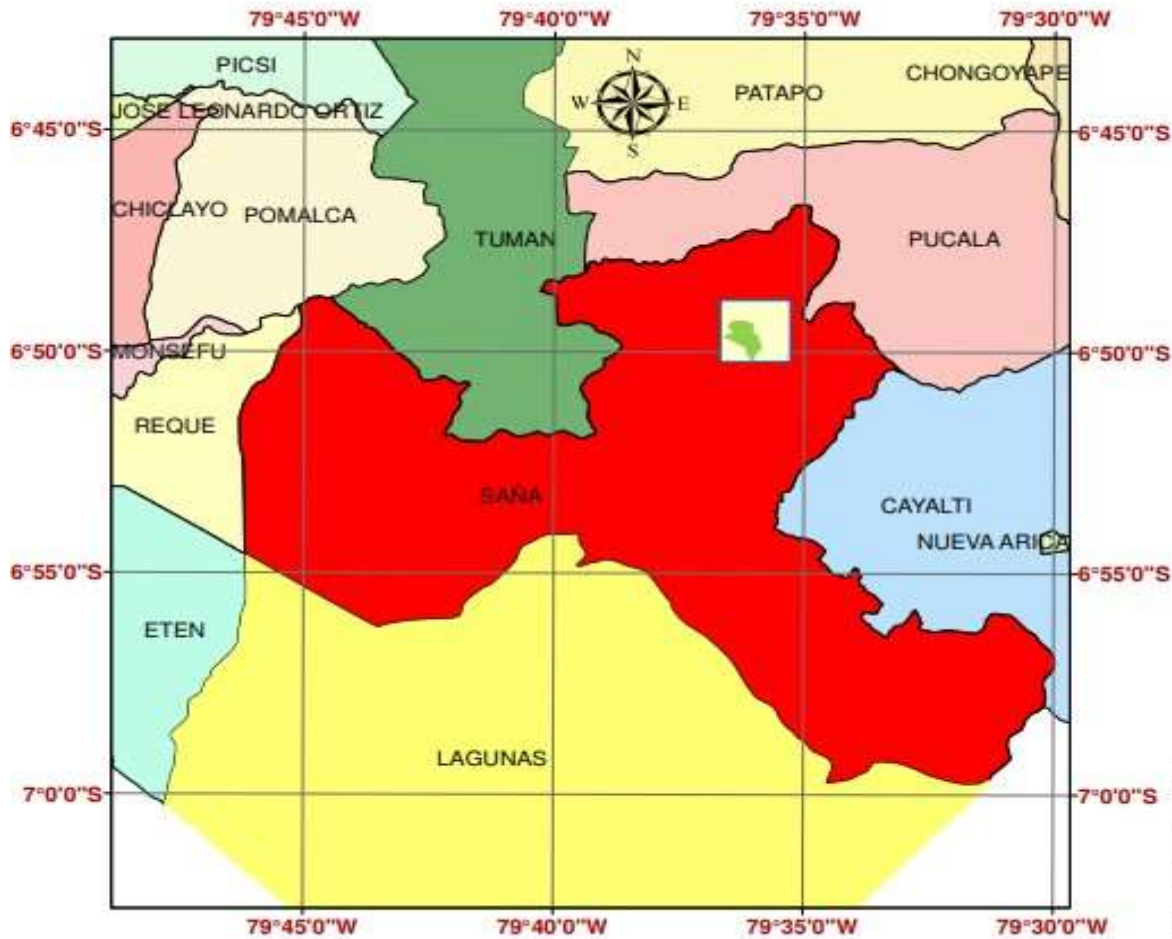
  
02859620

---

FIRMA Y DNI



## Ubicación de la cantera a nivel regional y local

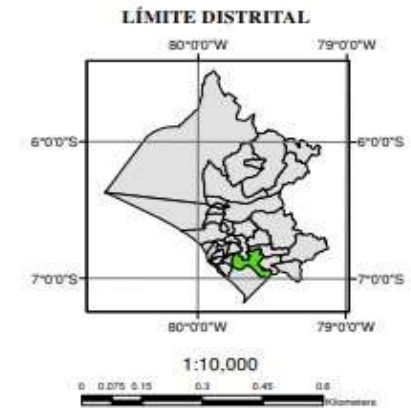
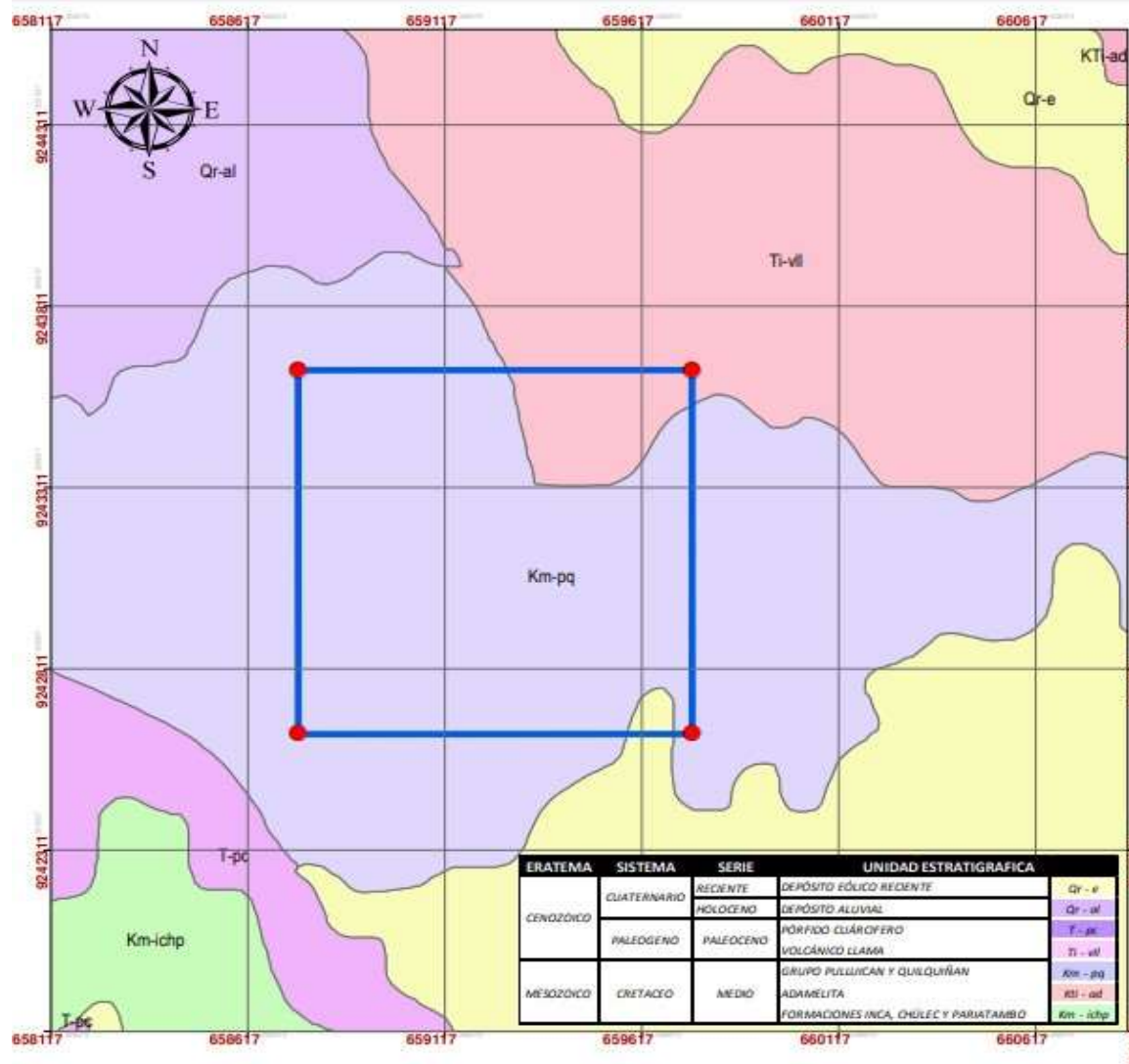


1:150,000

PROYECTO: TÍTULO DE UN SISTEMA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS APUNTES MEDIANTE ASISTENCIA PARA OPTIMIZAR LA MAGISTRACIÓN DE LA ZONA CALADA EN LA CIUDAD DE CHICLAYO (CANTÓN CHICLAYO) - 2018			UNIVERSIDAD CAYALTI
ETIQUETA: PLAN DE UBICACIÓN			
DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO	ESCALA	03
CHICLAYO	LAMBAYEQUE	REGIONAL	
ZONA	PROVINCIA	TAMAÑO	
271	CHICLAYO	A3	
RAZONAMIENTO	DISTRITO	LIMITES	
VERGARA SAGUEN, ARTETA ROMERO SERRANO GUTIERREZ, ANDRÉS VILLALBA	SAÑA		
FECHA	FECHA		
AGOSTO DE 2018	30/05/2018		

Fuente: Elaboración propia

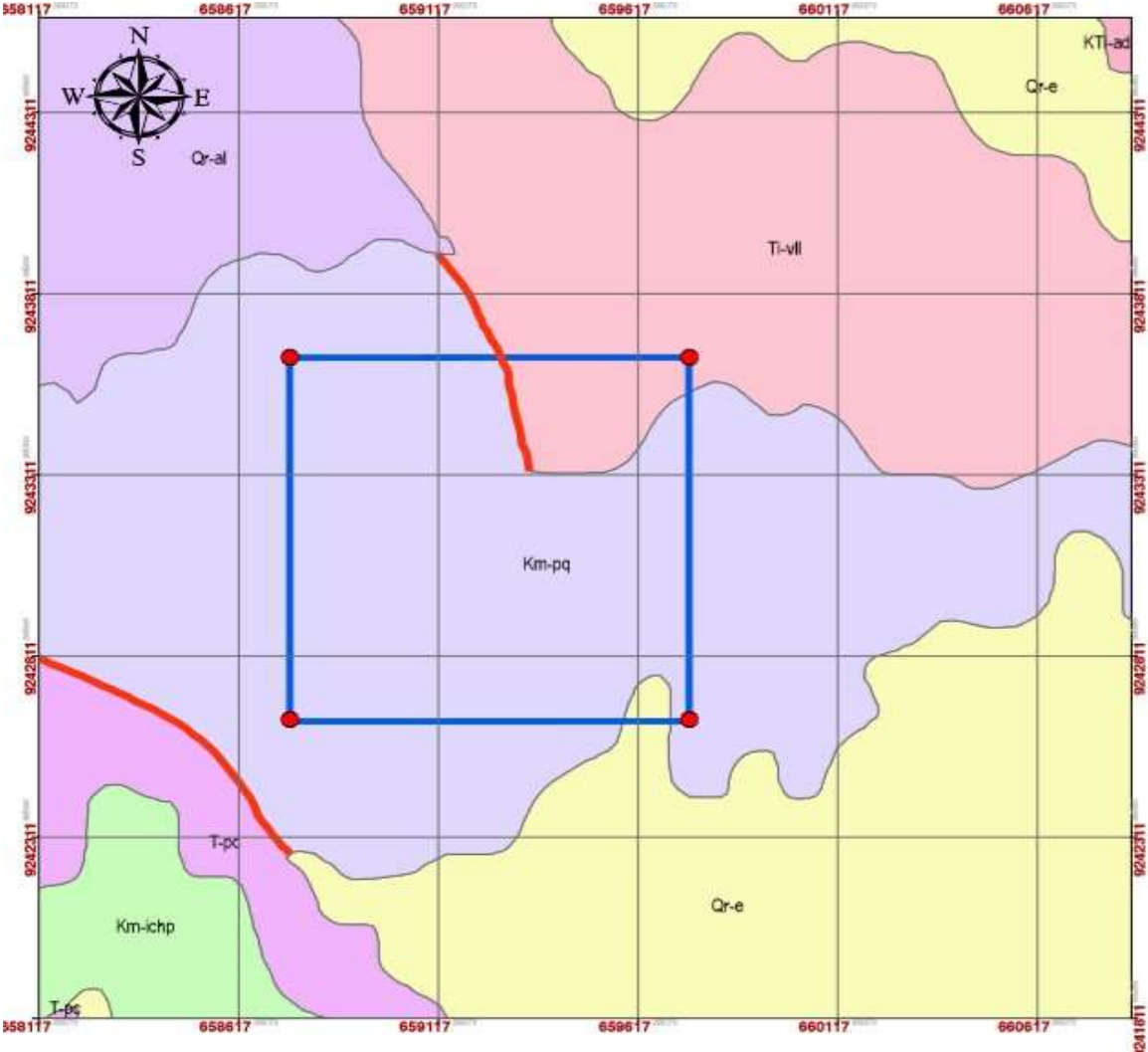
## Unidades estratigráficas, geología local



PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS APLICANDO ANGELOS MATERNI RODI PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA CALIZA EN LA CANTERA PROVEN SA EN CERRO COLUQUE - ZAJA			
TÍTULO: PLANO GEOLOGIA LOCAL			
DATUM	UTM WGS 84	DEPARTAMENTO	LOJA
ESCALA	INDICADA	PROVINCIA	TAMAYO
EDICIÓN	275	DISTRITO	ZAJA
LABORACIÓN	VERGARA SALDANA, ARTURO ROMERO	ESCALA	1:10,000
ESCUOLA	INGENIERIA DE MINAS	FECHA	20/05/2010

Fuente: Elaboración propia

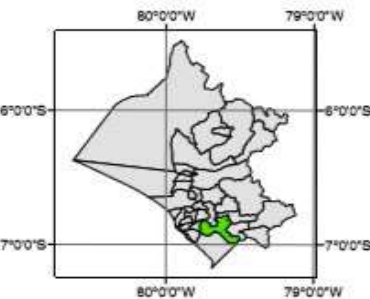
### Dominio estructural



#### LÍMITE DEPARTAMENTAL



#### LÍMITE DISTRITAL



1:10,000



PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN Y VALUACIÓN DE RISCOS ASOCIADO A MEDIDAS ANTIEMBUDOS PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA RUTA CALLE 30V LA CANTERA PREVENIR EN CERRO COLLOQUE - ZARÁ			
TÍTULO: PLANO GEOLOGÍA ESTRUCTURAL			
DATUM: UTM 80Q 04	DEPARTAMENTO: LA MORONA	ESCALA: INGENCADA	
ZONA: LTS	PROVINCIA: CHALUPE	TAMAÑO: A3	
ELABORACIÓN: MIREYRA SALDARÍA, ARTURO RONALDO AMINEMA OLIVEROS, ANIBAL MESAQUE		DISTRITO: ZARÁ	LÁMINA: <b>02</b>
ESCUELA: FACULTAD DE MINAS		FECHA: 20/05/2019	

Fuente: Elaboración propia



### Puntos topográficos de toda la concesión

PUNTOS	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
1	658775	9243596	129
2	658778	9243520	144
3	658778	9243445	160
4	658784	9243395	170
5	658786	9243356	179
6	658775	9243315	193
7	658770	9243270	208
8	658770	9243232	220
9	658770	9243195	230
10	658770	9243149	244
11	658775	9243102	261
12	658774	9243051	278
13	658766	9243011	292
14	658764	9242963	310
15	658771	9242907	326
16	658772	9242883	333
17	658769	9242864	339
18	658769	9242831	349
19	658765	9242805	357
20	658767	9242770	369
21	658765	9242746	378
22	658769	9242722	387
23	658768	9242694	398
24	658771	9242682	400
25	658783	9242658	396
26	658806	9242648	393
27	658809	9242670	397
28	658803	9242695	398
29	658809	9242727	386
30	658808	9242772	370
31	658809	9242811	357
32	658801	9242856	343
33	658802	9242899	330
34	658809	9242962	311
35	658816	9243004	297
36	658815	9243041	285

Fuente: Elaboración propia

PUNTOS	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
37	658818	9243087	271
38	658813	9243121	261
39	658817	9243168	246
40	658826	9243218	229
41	658832	9243255	214
42	658832	9243298	195
43	658830	9243331	180
44	658833	9243375	165
45	658836	9243413	152
46	658824	9243482	142
47	658822	9243549	132
48	658847	9243569	127
49	658912	9243591	125
50	658977	9243587	131
51	659004	9243609	131
52	659032	9243604	136
53	659067	9243601	148
54	659101	9243608	157
55	659152	9243596	174
56	659192	9243594	185
57	659223	9243588	196
58	659249	9243597	202
59	659299	9243602	216
60	659357	9243601	228
61	659402	9243612	236
62	659449	9243607	245
63	659508	9243596	250
64	659514	9243596	249
65	659554	9243607	246
66	659608	9243610	238
67	659659	9243618	226
68	659700	9243620	222
69	659724	9243617	221
70	659725	9243554	224
71	659679	9243569	220
72	659628	9243565	228

Fuente: Elaboración propia

PUNTOS	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
73	659557	9243556	240
74	659502	9243551	247
75	659473	9243555	248
76	659440	9243555	243
77	659394	9243559	236
78	659352	9243545	232
79	659297	9243548	225
80	659269	9243554	217
81	659226	9243541	210
82	659168	9243533	192
83	659124	9243548	173
84	659085	9243558	159
85	659039	9243558	145
86	659002	9243548	139
87	658963	9243553	133
88	658918	9243541	130
89	658877	9243538	131
90	658865	9243488	137
91	658862	9243453	141
92	658872	9243395	154
93	658872	9243317	181
94	658874	9243256	209
95	658870	9243214	228
96	658871	9243154	254
97	658865	9243113	266
98	658851	9243084	275
99	658850	9243047	285
100	658854	9243008	296
101	658853	9242981	305
102	658850	9242944	317
103	658832	9242885	335
104	658838	9242851	346
105	658835	9242801	362
106	658838	9242770	372
107	658845	9242730	386
108	658847	9242684	399
109	658848	9242643	388
110	658873	9242645	388

Fuente: Elaboración propia

### Puntos topográficos del área de estudio

Puntos	Este	Norte	Elevación
1	659027	9243209	196
2	659049	9243232	188
3	659067	9243254	183
4	659095	9243276	184
5	659120	9243281	187
6	659150	9243274	198
7	659160	9243225	200
8	659144	9243210	195
9	659123	9243194	190
10	659101	9243179	193
11	659078	9243151	203
12	659054	9243108	220
13	659068	9243052	230
14	659097	9243088	214
15	659120	9243105	205
16	659144	9243132	203
17	659164	9243142	206
18	659185	9243159	210
19	659191	9243082	222
20	659170	9243054	224
21	659156	9243032	228
22	659144	9243017	231
23	659126	9242993	235
24	659103	9242986	238
25	659088	9242954	250
26	659096	9242892	273
27	659113	9242907	263
28	659130	9242918	260
29	659150	9242942	254
30	659172	9242963	250
31	659194	9242991	245
32	659218	9243020	238

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 1: Instrumentos para realizar el levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 2: Toma de coordenadas con GPS Garmin Etrex 30x.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 3: Uso de la cinta métrica y GPS.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 4: Identificación de parámetros de tabla RMR.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 5: Muestras extraídas del área de aplicación de la cantera PPROVEN III.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 6: Medición de las muestras obtenidas en campo

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 7: Extracción de testigos de las muestras.

Fuente: Elaboración propia.



Testigos obtenidos

Fuente: Elaboración propia.



 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>LABORATORIO DE MECANICA          DE ROCAS, MINERALOGÍA Y          PETROGRAFÍA</b>	Tipo de documento:	Formato
		Fecha de aprobación:	10/05/19
		Página	1/1

### INFORME DE RESULTADOS: ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL ASTM.D 2938

**Proyecto:** Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera Proven III en Cerro Collique – Zaña

**Solicitante:** Miranda Olivos Anwar Millague – Vergara Saldaña Airton Ronaldo

**Sitio:** Universidad Cesar Vallejo – Filial Chiclayo

**Tipo de muestra:** Roca Caliza

**Dirección:** Carretera Pimentel Km. 3.5, Chiclayo 14001

**Nº de Muestra:** 2

**Fecha de elaboración de la muestra:** 06/05/2019

**Fecha del ensayo:** 10/05/2019

**Descripción de la muestra:** Roca caliza color gris claro con brechas de cuarzo

EQUIPOS PARA EL DESARROLLO DEL ENSAYO		
<b>Preparación</b>	Perforadora diamantina	Cierra de corte directo
<b>Ensayos de compresión uniaxial</b>	Máquina de compresión uniaxial	



PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TESTIGOS				
Código de las muestras	T01	T02	T03	T04
<b>Diámetro (mm)</b>	54	54	54	54
<b>Altura (mm)</b>	125	131	131	135
<b>Peso del testigo (g)</b>	788	823.5	834.2	885.1
<b>Relación A/D</b>	2.3	2.4	2.4	2.5
<b>Carga Máxima (KN)</b>	116.509	151.923	125.996	135.667
<b>Resistencia Máxima de compresión (Mpa)</b>	50.837	66.335	55.015	59.237
<b>Resistencia Promedio</b>	59 Mpa			

Fuente: Elaboración propia

## APLICACIÓN



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

---

Asistente de laboratorio: Diana Carolina Rodríguez Torres

-----  
CARLA MILAGROS MENA NEVADO  
INGENIERO GEOLOGO  
Reg. CIP N° 160158

Responsable del laboratorio de  
Mecánica de Rocas, Mineralogía y Petrografía.

Fuente: Elaboración propia

## Parámetros para el diseño de voladura

<b>ÍNDICE DE LA ROCA A LA VOLADURA</b>	
Parámetros geomecánicos	Clasificación
<b>1. Descripción de la masa rocosa (RMD)</b>	
Pulverulento / Quebradizo	10
Diaclasado vertical	20
masiva	50
<b>2. Espaciamiento entre fracturas (JPS)</b>	
< 0.1 m	10
0.1 a 1 m	20
> 1.0 m sobre tamaño de la malla	50
<b>3. Angulo del plano de fractura (JPA)</b>	
buza fuera de la cara	20
rumbo perpendicular a la cara	30
buza hacia la cara	50
4. influencia de la densidad (SGI)	$SGI = 25 * SG - 50$
5. Factor de dureza (HF)	influencia de la dureza $E/3$ para $E < 50$ GPA; $USC/5$ para $E > 50$ Gpa; ( $E =$ módulo de Young, $UCS =$ resistencia a la compresión uniaxial)
Factor de roca (A)	$A = 0.06 * (RMD + JPS + JFA + RDI + HF)$

Fuente: Elaboración propia.

<b>ÍNDICE DE LA ROCA A LA VOLADURA</b>	
Parámetros geomecánicos	Clasificación
1. Descripción de la masa rocosa (RMD)	
friable/poco consolidado	10
Diaclasado vertical	20
masiva	50
2. Espaciamiento entre fracturas (JPS)	
< 0.1 m	10
0.1 a 1 m	20
> 1.0 m sobre tamaño de la malla	50
3. Angulo del plano de fractura (JPO)	
buza fuera de la cara	20
rumbo perpendicular a la cara	30
buza hacia la cara	50
4. influencia de la densidad (SGI)	$SGI = 25 * SG - 50$
5. Radio de influencia de la resistencia (RSI)	$0.05 * Rc$ (Resistencia a la compresión Uniaxial)

<b>Índice de volabilidad (BI)</b>	
Factor de potencia (kg/TM)	$0.004 * BI$

Fuente: Elaboración propia

### Anexo N° 3: Permisos y constancia de validez



**COSMOS**  
BLASTING INNOVATION

[www.cosmosblasting.com](http://www.cosmosblasting.com)

#### LICENCIA DE INVESTIGACIÓN ASISTIDA - LIA

COSMOS otorga un tipo de licencia de software para fines únicamente académicos o de investigación científica. Esta licencia otorga a los usuarios toda la funcionalidad de nuestros productos de software. El uso debe ser siempre asistido por un ingeniero de COSMOS, mediante una terminal especialmente dedicada para este propósito.

Software con licencia LIA:

FameWare Ver. 1.2 Rel. May 2019

SigmaFrag Ver. 0.8 Rel. Jun 2109

Pirkap UG Ver. 1.0 Rel. Jul 2019

Usuarios con licencia LIA:

1. Gabriela Nataly Montoya Castillo, DNI: 71458785.  
Universidad "Cesar Vallejo", Chiclayo, Perú.
2. Claudia Naomi Machuca Chacón, DNI: 76463591.  
Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
3. Anwar Millague Miranda Olivos, DNI: 70584672.  
Universidad "Cesar Vallejo", Chiclayo, Perú.
4. Airton Ronaldo Vergara Saldaña, DNI: 77464481.  
Universidad "Cesar Vallejo", Chiclayo, Perú.
5. Freddy Colchado Medina, DNI: 43116544.  
Universidad Nacional San Agustín, Arequipa Perú.
6. Humberto Enrique Gamarra Escalante, DNI: 77473574.  
Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Vigencia LIA:

Se ha determinado una vigencia de 4 meses. Que tuvo inicio el 1ro de mayo y culminará el 31 de agosto del presente año.

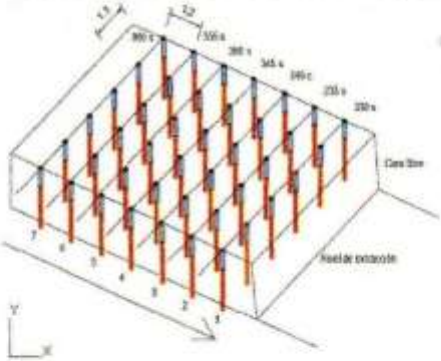
Trujillo, Junio del 2019

Romel B. Villanueva Luján  
GERENTE GENERAL  
COSMOS BLASTING INNOVATION

[www.cosmosblasting.com](http://www.cosmosblasting.com)

## EJECUCIÓN DE LA VOLADURA DE ROCAS EN CANTERA PARA EL CONTROL E INFORME

<b>PROTOCOLO PARA VOLADURA N°1</b>	
Fecha que se realizara la voladura	10/05/19
Hora de comienzo de la perforación	7:00 am
Hora de comienzo del carguío	2:00 pm
Tipo de voladura	Voladura a fuego
Lugar	Cantera PROVEN III, nivel II bloque B
Hora de voladura	4:00 pm
Supervisor de voladura	Apaestegui Muro Jhonny
Ejecutores	Miranda Olivos, Vergara Saldaña
Obreros	Montenegro Abel, Lozano Cesar

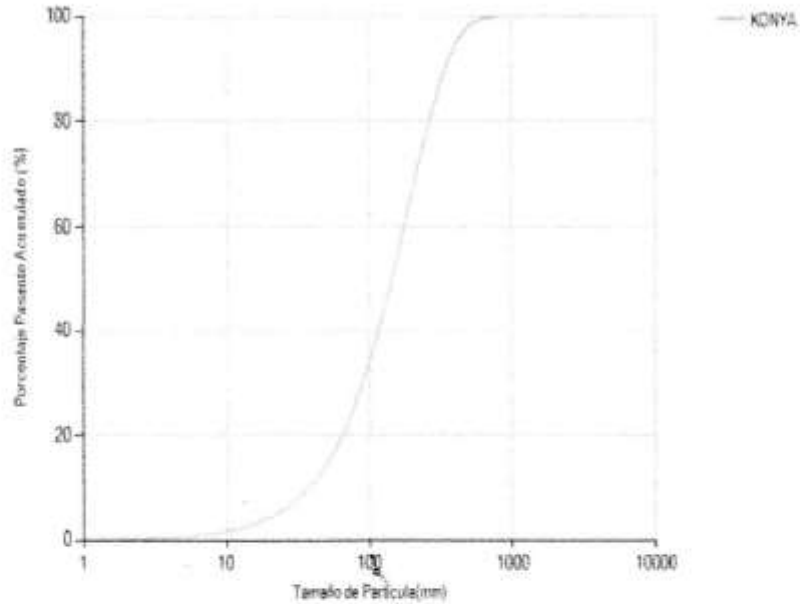
<b>DIAGRAMA DE DISPARO</b>		<b>CANTIDAD DE EXPLOSIVO A UTILIZAR</b>	
Altura de banco (m)	2	Dinamita gelatina 80	64
Burden (m)	1.2	Fulminante N°8	64
Espaciamiento (m)	1.3	Mecha de seguridad (m)	200
Taco (m)	0.8	Anfo (Kg)	94.72
Sobre perforación (m)	0.3		
Longitud de taladro (m)	2.3		
Longitud de carga (m)	1.5		
Densidad de roca (g/cm <sup>3</sup> )	2.6		
Factor de carga (kg/m <sup>3</sup> )	0.47		
Cantidad de Anfo por taladro (kg)	1.48		
Cantidad de Anfo por voladura (kg)	94.72		

### Resultados de los Análisis

Item	Análisis	Burden (m)	Esp. (m)	Altura (m)	Sobre Pafro (m)	Taco (m)	Dim. tal (mm)	Dens. Explo (g/cc)	RWS (%)	n	X50 (mm)	X80 (mm)	X95 (mm)	nota
1	MDRYA	1.2	1.3	2.2	0.3	0.8	42	0.83	100	1.41	144	262	407	Cuadrado

Fuente: Elaboración propia.

### Análisis Granulométrico de la Pila de Material Fragmentado



<b>RESPONSABLE DEL DISEÑO</b>	<b>FIRMA</b>
MIRANDA OLIVOS ANWAR MILLAGUE	
VERGARA SALDAÑA AIRTON RONALDO	
<b>APROBACIONES</b>	<b>FIRMA</b>
JEFE DE PERFORACION Y VOLADURA	 caputaz
GERENTE GENERAL	 JHONYMANUEL S.R.L. Jhonny Apaestegui Muro GERENTE
<b>SE HACE REFERENCIA ESTE DOCUMENTO POR TEMAS DE SEGURIDAD Y MALAS PRACTICAS</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**EJECUCIÓN DE LA VOLADURA DE ROCAS EN CANTERA PARA EL CONTROL E INFORME**

<b>PROTOCOLO PARA VOLADURA N°2</b>	
Fecha que se realizara la voladura	07/06/19
Hora de comienzo de la perforación	6:30 am
Hora de comienzo del carguío	1:00 pm
Tipo de voladura	Voladura no eléctrica
Lugar	Cantera PROVEN III, nivel II bloque B
Hora de voladura	4:00 pm
Supervisor de voladura	Apaestegui Muro Jhonny
Ejecutores	Miranda Olivos, Vergara Saldaña
Obreros	Montenegro Abel, Lozano Cesar






<b>DIAGRAMA DE DISPARO</b>		<b>CANTIDAD DE EXPLOSIVO A UTILIZAR</b>	
Altura de banco (m)	2	Dinamita gelatina 80	64
Burden (m)	1.2	Fulminante N°8	2
Espaciamiento (m)	1.3	Mecha de seguridad (m)	6
Taco (m)	0.8	Anfo (Kg)	101.36
Sobre perforación (m)	0.3	Mininel 3.0 m series (6-12)	64
Longitud de taladro (m)	2.3	Pentacord 3P (m)	70
Longitud de carga (m)	1.5		
Densidad de roca (g/cm3)	2.6		
Factor de carga (kg/m3)	0.507		
Cantidad de Anfo por taladro (kg)	1.58		

--	--

Fuente: Elaboración propia.



RESPONSABLE DEL DISEÑO	FIRMA
MIRANDA OLIVOS ANWAR MILLAGUE	
VERGARA SALDAÑA AIRTON RONALDO	
APROBACIONES	FIRMA
JEFE DE PERFORACION Y VOLADURA	 capetaz
GERENTE GENERAL	  <b>JHONYMANUEL S.R.L.</b> ..... <b>Jhonny Apaestegui Muro</b>
SE HACE REFERENCIA ESTE DOCUMENTO POR TEMAS DE SEGURIDAD Y MALAS PRACTICAS	

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N°4:** Imágenes del diseño de la nueva malla de perforación y voladura de rocas.



Ilustración 8: Evaluando el diámetro de la perforación.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 9: Compresora ingersoll rand 180.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 10: Marcado de malla de perforación y voladura de rocas.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 11: Adquisición de Mininel en la cantera PROVEN III.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 12: Adquisición de dinamita gelatina 80.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 13: Adquisición de mecha de seguridad.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 14: Accesorios en campo de aplicación.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 15: Anfo en la zona de aplicación

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 16: Amarre del sistema de iniciación.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 17: Resultado de la voladura de la cantera PROVEN III.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 18: Tiro cortado.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 19: Tiro soplado

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 20: Voladura por el sistema convencional aplicado por los testistas.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 21: Voladura por el sistema pirotécnico aplicado por los testistas

Fuente: Elaboración propia.



**Anexo N°5:** Ilustraciones de la cantera PROVEN III.



Ilustración 22: Acceso unió hacia la cantera PROVEN III

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 23: Geología del terreno

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 24: Topografía de la cantera PROVEN III

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 25: Presencia de fly rocks

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 26: Fragmentación inadecuada y chancado manual de la roca caliza

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 27: Distribución de bancos sin un orden

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 28: Horno de calcinación

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 29: Área de aplicación sección 10 m x 10 m.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 30: Perforación de taladros.

Fuente: Elaboración propia.