

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

**Diagrama de perforación smooth blasting para el control y
estabilidad en la Cámara Grizzlys #01 Nv 1170 de la Unidad
de Acumulación Yauricocha, 2024**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach. Saul ANGULO MENDEZ

ASESOR:

Msc. Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO

AYACUCHO - PERÚ

2024

Dedicatoria

Este trabajo de investigación dedico primordialmente a Dios, por darme fuerza de voluntad y espiritual para así poder llegar cumplir mi objetivo.

En especial a mi esposa María a quien amo mucho y es el pilar de mi hogar por a verme acompañado en mis altos y bajo a lo largo de mi vida Universitaria, a mis hijos: Thiago Saúl Fernando y Kriztel Thabby Kaory; quienes son el sustento que me impulsan a seguir avanzando en la vida y por todo el apoyo que me dan cada día, lo cual me alienta a seguir superándome y ser mejor persona cada día.

A mi madre Epifania y a mi abuela María, quien con su inmenso amor y sabiduría direcciono y encamino mis pasos en la vida; a mi padre Hugo que ya no está con nosotros quien fue mi copiloto en la vida anticipando que es lo que boyo encontrar en la ruta o que hizo el en situaciones parecidas y así poder avanzar con libertad y cumplir mis metas.

Con fraternal afecto a mis hermanos quienes me dirigieron por el camino de la excelencia: Dr. Abimael, Dra. Diana, Floriza, Hilder y mi hermana Elva; por su cariño, inmenso amor, enseñanzas, aliento, consejos y por haber apostado, confiado y nunca dejaron de creer en mi para que este trabajo pueda ser una realidad

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga quien me albergó todos estos años e hizo posible en poder alcanzar uno de mis objetivos.

A los catedráticos de la Facultad de Ingeniería de Minas, que compartieron sus saberes y me dieron las herramientas aportando en el bien de mi línea de carrera académica y profesional.

Agradezco al Ing. Kelvis Berrocal Argumedo como asesor de la presente investigación por su disposición y asistencia; al Ing. Camber Alvarez ore, por su desprendimiento y apoyo en la recolección de data, así mismo, por la delegación de responsabilidad en el área de perforación y voladura, dando facilidades para realizar las pruebas oportunas para el desarrollo de esta tesis

Agradezco también a la Unidad de Acumulación Yauricocha-Sierra Metals Corona, hoy en día Alpayana, contrata Pegama, Área de Perforación y Voladura Ingenieros por haberme dado la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación.

Por último, agradezco a Dios por acompañarme en la ejecución de cada proyecto planeado en mi vida, por brindarme salud e iluminación con el conocimiento necesario para continuar hacia adelante hasta alcanzar mis metas

Resumen

La presente investigación tiene el propósito de determinar como un nuevo diagrama de perforación Smooth Blasting, minimiza el daño a la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha Yauricocha, a fin de evitar en esta manera generar subsidencia y fractura miento de las infraestructural cercanas al Pique y también evitar que el pique Yauricocha no se desvíe de su eje principal pues es la labor principal de extracción y traslado de personal, en tal sentido, se utilizó una metodología aplicada correlacional pre experimental, donde la población se consideró a los disparos de las labores horizontales de la Unidad de Acumulación Yauricocha, y la muestra fue no probabilística de los disparos en las cámaras Grizzlys en el mes de setiembre. Los principales resultados muestran que los valores emitidos de la VPP son en promedio de 10.68 mm/s menor a los exigido por USBM RI8507 And OSMRE (19 mm/s), se disminuyó la cantidad de carga explosiva utilizada anteriormente es 171.28 Kg, a 162.51kg. Con respecto al avance se incrementó de un promedio de avance de 3.09 se obtuvo un promedio de 3.20, haciendo 11 centímetros más que la malla anterior, respecto a la sobre rotura de una sobre rotura en promedio de 13% se optimizo a 9% .

Palabra clave: Smooth Blasting, Vibraciones, Diagrama de perforación, Control y estabilidad de labor

Abstract

The purpose of this research is to determine how a new Smooth Blasting drilling pattern, minimizes damage to the infrastructure of the Grizzlys Chamber #01 of the Yauricocha mining unit, in order to avoid in this way generate subsidence and fracture miento of the infrastructures near the Pit and also prevent the Yauricocha pit does not deviate from its main axis as it is the main work of extraction and transfer of personnel, In this sense, an applied correlational methodology was used pre experimental, where the population was considered to the shots of the horizontal workings of the Mining Unit Yauricocha, and the sample was non-probabilistic of the shots in the Grizzly chambers in the month of September. The main results show that the values emitted from the VPP are on average 10.68 mm/s lower than those required by USBM RI8507 And OSMRE (19 mm/s), the amount of explosive charge previously used was reduced from 171.28 Kg to 162.51kg. Regarding the feed rate, was increased from an average feed rate of 3.09 to an average of 3.20, making 11 centimeters more than the previous mesh, regarding the over breakage from an over breakage in average of 13% was optimized to 9%.

Keyword: Smooth Blasting, Vibrations, Drilling Diagram, Control and work stability.

Índice

Resumen	vi
Abstract.....	vii
Índice	viii
CAPITULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Formulación del problema general	2
1.2.2 Formulación del problema específico	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación	3
1.4.1 Justificación teórica	3
1.4.2 Justificación práctica	4
1.5 Importancia	4
1.6 Alcance y limitaciones	4
1.6.1 Alcance de la investigación	4
1.6.2 Limitaciones de la investigación.....	4
1.7 Hipótesis	5
1.7.1 Hipótesis general	5
1.7.2 Hipótesis específicas.....	5
1.8 Variables e indicadores	5
1.8.1 Variables independientes	5
1.8.2 Variables dependientes	5
Operacionalización de variables.....	6
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes	7
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2 Antecedentes Nacional	9
2.1.3 Antecedentes Local.....	11
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Voladura controlada	12
2.2.2 Smooth Blasting	16

2.2.3	La naturaleza cíclica de las vibraciones:	20
2.2.4	Sismicidad por voladura.	21
2.2.5	Características de las vibraciones	28
2.2.6	Instrumentación para monitoreo de vibraciones.....	28
2.2.7	Alteración Sísmica Por Voladuras	29
2.2.8	Variables que influyen en las vibraciones	30
2.2.9	Diseño de mallas de perforación en minería subterránea	33
2.2.10	Método de Roger Holmberg	34
2.3	Definición de términos.....	35
2.3.1	Cámara Gryzzly	35
2.3.2	Malla de Perforación:	35
2.3.3	Voladura:	36
2.3.4	Modelo Matemático de Holmberg:	36
2.3.5	VPP.- La Velocidad Pico de Partícula (VPP).....	36
2.3.6	USBM.....	36
2.3.7	OSMRE	36
2.3.8	SUBTEK.- (SUBTEK CHARGE).....	36
2.3.9	RQD	37
2.3.10	ANFO, o AN/FO,.....	37
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS		38
3.1	Materiales	38
3.1.1	Ubicación.....	38
3.1.2	Accesibilidad	39
3.1.3	Clima y Vegetación	40
3.1.4	Geología	40
3.1.5	Tipo de mineralización	45
3.2	Metodología de Investigación	45
3.2.1	Tipo de investigación.....	45
3.2.2	Nivel de investigación.	45
3.2.3	Diseño de investigación.....	45
3.2.4	Población y muestra.....	46
3.2.5	Criterios de inclusión y exclusión.....	46
3.2.6	Técnicas e instrumentos para la recolección, procesamiento y análisis de datos...46	
3.2.7	Instrumentos de investigación.....	46

CAPITULO IV RESULTADO Y DISCUSIÓN	48
4.1 Resultados.....	48
4.1.1 Aplicación de modelos matemáticos.....	48
4.1.2 Monitoreo y análisis de vibraciones.....	54
4.1.3 Monitoreo de vibración.....	58
4.1.4 Eficiencia relativa del explosivo	62
4.1.5 Análisis de distribución de carga explosiva y Simulación con JKSimblast.....	64
4.1.6 Análisis de los avances	69
4.1.7 Análisis de línea base de sobre rotura	74
4.1.8 Análisis Post sobre rotura	75
4.2 Contraste de la hipótesis	77
4.2.1 Hipótesis General	77
4.2.2 Hipótesis Especifico 1	77
4.2.3 Hipótesis Especifico 2	79
4.2.4 Hipótesis Especifico 3	81
4.3 Discusión de resultados.....	82
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
Referencias bibliográficas	86

Lista de tablas

Tabla 1.	Operacionalización de Variables	6
Tabla 2.	Fracciones de cooperación de detonadores según Persson	31
Tabla 3.	Accesibilidad	39
Tabla 4.	Vibraciones en la cámara Grizzly	56
Tabla 5.	Tabla de control de avances por guardia mes de Agosto.....	69
Tabla 6.	Control de avances por guardia mes de Setiembre.....	70
Tabla 7.	Tabla de control de sobre rotura por guardia mes de Agosto	74
Tabla 8.	Tabla de control de sobre rotura por guardia mes de Setiembre	75
Tabla 9.	Tabla Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk	78
Tabla 10.	Prueba de muestras relacionadas de explosivo.....	79
Tabla 11.	Tabla Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk	80
Tabla 12.	Prueba de muestras relacionadas de avance	80
Tabla 13.	Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk	81
Tabla 14.	Prueba de muestras relacionadas de sobre rotura y avance	82

Lista de figuras

Figura 1.	Penalidades por avance lineal	2
Figura 2.	Smooth blasting, Mc Kown 1986.	17
Figura 3.	Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión	21
Figura 4.	Sismógrafo Instantel, y geófono	22
Figura 5.	Historial del tiempo de vibración.....	23
Figura 6.	<i>Frecuencia en el tiempo</i>	24
Figura 7.	<i>Comportamiento de la onda de compresión</i>	26
Figura 8.	Comportamiento de la onda transversal	26
Figura 9.	Comportamiento de la onda love	27
Figura 10.	Comportamiento de la onda rayleigh	27
Figura 11.	<i>Equipos para el análisis de vibraciones Instantel</i>	29
Figura 12.	Método de Roger Holmberg	35
Figura 13.	Ubicación de la mina	38
Figura 14.	Panorama de la Mina Yauricocha	39
Figura 15.	Geología regional	42
Figura 16.	Geología local.....	44
Figura 17.	<i>Diseño de malla de perforación de sección 4.0*4.0 m</i>	49
Figura 18.	Sistema de arranque del frente Hexagonal	49
Figura 19.	<i>Diseño de arranque</i>	53
Figura 20.	Diseño de malla de perforación y voladura propuesta y desarrollada en campo ...	53
Figura 21.	Malla de perforación con arranque hexagonal	54
Figura 22.	Equipo sismográfico INSTANTEL MINIMATE PRO 6	55
Figura 23.	Equipo sismográfico INSTANTEL MINIMATE PRO 6 en el pique Yauricocha.	55
Figura 24.	Equipo sismográfico INSTANTEL MINIMATE PRO 6 en el pique Yauricocha.	55
Figura 25.	Síntesis del daño predictivo	57
Figura 26.	Ley de atenuación del terreno	57
Figura 27.	Registro de monitoreo 06:19 am 31-08-2024.....	58
Figura 28.	Registro del monitoreo con sismógrafo Instantel	59
Figura 29.	Registro de monitoreo 18:06 del 02-09-2024.....	60
Figura 30.	Registro del monitoreo con sismógrafo Instantel	60
Figura 31.	Registro de monitoreo 6:05 am del 03-09-2024.....	61
Figura 32.	Registro del monitoreo con sismógrafo Instantel	62
Figura 33.	Registro de monitoreo 06:19 am 31-08-2024.....	63

Figura 34.	Registro de monitoreo 18:06 del 02-09-2024.....	63
Figura 35.	Registro de monitoreo 6:05 am del 03-09-2024.....	64
Figura 36.	Distribución de carga.....	65
Figura 37.	Diagrama de malla de 6.0*6.0 y secuencia de salida	65
Figura 38.	Secuencia de salida.....	66
Figura 39.	Análisis de energía.....	66
Figura 40.	Distribución de carga.....	67
Figura 41.	Diagrama de malla de 6.0*6.0 y secuencia de salida	67
Figura 42.	Secuencia de salida.....	68
Figura 43.	Análisis de energía.....	68
Figura 44.	Control de avances real VS programado agosto 2024.....	70
Figura 45.	Control de avances real VS programado setiembre 2024.....	72
Figura 46.	<i>Plantilla de fierro de arranque</i>	73
Figura 47.	<i>Columna de carga en la corona</i>	73
Figura 48.	Control de sobre rotura real VS programado agosto 2024	75
Figura 49.	Control de sobre rotura real VS programado agosto 2024	76
Figura 50.	Evaluación de daño hacia la infraestructura.....	77

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La minería subterránea enfrenta numerosos desafíos, siendo uno de los más significativos la gestión del daño y la fragmentación del macizo rocoso, que garantiza la estabilidad del macizo rocoso que es crucial para garantizar, la eficiencia operativa y la viabilidad económica de las operaciones mineras.

El presente trabajo de investigación nominada “Diagrama de perforación smooth blasting para el control y estabilidad en la Cámara Grizzlys #01 Nv 1170 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024”, se desarrolló en la empresa minera Volcán con el propósito de determinar como el diagrama de perforación smooth blasting, minimiza el daño a la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024.

En la minería subterránea los problemas que se presentan en sus diversos procesos de producción son diversos, hablando específicamente del proceso de perforación y voladura que es tema de esta tesis vemos que los problemas que se presentan de diferente índole como: desviación de taladros, sobre perforación, tiros cortados, taladros sopladados, fracturamiento de las cajas, dilución, fragmentación alta, factor de potencia no correcto, costos altos, etc

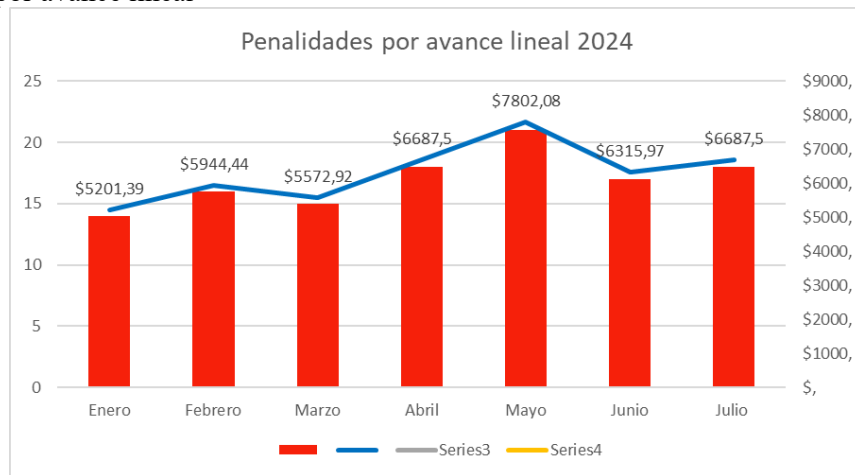
El diseño de la malla de perforación es considerado como un factor predisponente para obtener fragmentos de la roca de forma adecuada, además presenta factores intervinientes como la cantidad de carga de explosivos, tipo de corte y la calidad de la roca, de tal manera que el diseño de malla que se utiliza cambia de acuerdo al tipo de terreno en el que se va ejecutar, siendo así una máxima eficiencia, sin embargo la correcta distribución de carga explosiva permite tener un control de estabilidad del macizo rocoso, el estudio de la frecuencia y nivel de vibración permite tener un mayor control de la estabilidad de la labor en ejecución y de las labores cercanas en este caso como el Pique Yauricocha, dicha labor vertical a la fecha viene realizándose constante mantenimiento por personal especializado debido a que viene sufriendo desviaciones del eje principal por la subsidencia que es producto del método de explotación Sub Level Caving.

En la Unidad de Acumulación Yauricocha, la contrata Pegama Ingenieros, asume aun este reto debido a que a la fecha viene afrontando penalidades en un promedio de 6455.3 dólares, esto debido a la sobre rotura que llego a un tope máximo de 24%, eficiencia de avance teniendo como promedio de 3.082 metros y tiros sopladados.

Sin embargo, este problema se agudiza debido a que los trabajos de voladura en las Cámaras Grizzlys. Están a 30 metros de la infraestructura del pique Yauricocha que actualmente tiene

90° de inclinación, y que esta infraestructura viene presentando una inclinación, debido a la subsidencia, para lo cual se desarrolló la rehabilitación y reforzamiento con cable bolting que permita estabilizar la labor y para el monitoreo se instaló puntos de convergencia, razón por la cual el control de estabilidad es de importancia en toda excavación alrededor del pique y no solo de la Cámara Grizzlys #01 y 02, si no que dichos controles de estabilidad se deben de enfocar en el control de vibración y frecuencia de las voladuras a fin de no dañar al pique principal de Yauricocha. Por esta razón se considera que el Smooth Blasting es un método de voladura trascendental e importante para trabajos de un contorno liso de la labor, también disminuye (reduce) la inestabilidad de la masa rocosa

Figura 1.
Penalizaciones por avance lineal



1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

¿Cómo el diagrama de perforación smooth blasting, minimiza el daño a la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha?

1.2.2 Formulación del problema específico

- ¿De qué manera la distribución de carga explosiva, minimiza la vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024?
- ¿Cómo el diagrama de perforación smooth blasting, optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024?

- ¿Cómo la implementación del diagrama de perforación smooth blasting, minimiza la sobre rotura en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar como el diagrama de perforación smooth blasting, controla la estabilidad de la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la distribución de carga explosiva, minimiza la vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024.
- Diseñar el diagrama de perforación smooth blasting, que optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024.
- Implementar el diagrama de perforación smooth blasting, para minimizar la sobre rotura en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación teórica

Las ciencias de la perforación y voladura son dinámicas y busca una mejora continua, razón por el cual se debe de profundizar los conocimientos teóricos que permita mejorar la eficiencia de las perforaciones y voladuras en roca en distinto tipo de rocas. En este marco, se profundiza fundamentos científicos y conceptuales como la teoría de la perforación y voladura en minería se explica los principios de las voladuras y cómo la perforación controlada influye en la fragmentación del material y en la estabilidad de las estructuras subterráneas, la teoría sobre el control de vibraciones y la estabilidad en túneles, permite describir cómo el control de las voladuras mediante el uso de diagramas específicos puede minimizar las vibraciones y tensiones que afectan la estabilidad de las galerías y túneles subterráneos, respecto a algoritmos numéricos ideados por Roger Holmberg, junto con las fórmulas postuladas por Alan Bauer y Peter Calder para la elección idónea de agentes explosivos, así mismo de las teorías de las vibraciones como

son los principios de presión detonante y la resistencia acústica de la roca constituirán el cimiento para definir la clase de explosivo más apto, la evaluación de las velocidades pico de las partículas se realizará utilizando el software JkSimblast, siguiendo el modelo creado por Holmberg y Persson (1978).

1.4.2 Justificación práctica

La investigación está orientado a la aplicación de técnicas de perforación y voladura con el objetivo de controlar y estabilizar la zona de la cámara Grizzlys, que esta cercana al pique principal, y los resultados servirán también para comentar, desarrollar o apoyar la utilidad y viabilidad de la temática de tal manera que los futuros investigadores puedan aplicarlos y comprobar los beneficios que traen respecto a la seguridad y eficiencia en las operaciones como el avance , minimiza los costos operacionales , así mismo, optimiza los recursos , reduciendo el material no deseado y mejorando la productividad, esta metodología puede aplicarse en diversas minas y en diversas situaciones geotécnicas.

1.5 Importancia

La relevancia del trabajo de tesis se enfoca con el propósito principal es minimizar los daños a la masa rocosa en las labores cercanas a partir del control de las magnitudes de la velocidad pico partícula de cada onda sísmica, que sin duda es un factor importante que incide en el daño a la roca circundante. Por otro lado, el conocimiento pleno de la carga operante permite el control de la magnitud de la velocidad pico partícula a fin que no afecte e incida en la estabilidad de las labores cercanas como el Pique principal y Estaciones principales, cumpliendo sin duda las normativas dispuestas en el D.S. 024-EM-2016 y su modificatoria el D.S. 023-EM-2017.

1.6 Alcance y limitaciones

1.6.1 Alcance de la investigación

El trabajo de investigación abarca al análisis sobre perforación y voladura de la Cámara Grizzly N^a 01 y 02. Los resultados del trabajo de investigación serán implementados en aquellas excavaciones que tengan las mismas dimensiones y calidad de la masa rocosa en estudio

1.6.2 Limitaciones de la investigación

El estudio no abarca otras labores de avance, así mismo los disparos realizados en los otros meses como de octubre y noviembre.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis general

El diagrama de perforación smooth blasting, controla la estabilidad de la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024

1.7.2 Hipótesis específicas

- La distribución de carga explosiva, minimiza la vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024.
- El diagrama de perforación smooth blasting, que optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha.
- El diagrama de perforación smooth blasting, minimiza la sobre rotura en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2025.

1.8 Variables e indicadores

1.8.1 Variables independientes

Diagrama de perforación smooth blasting.

Indicadores

- Parámetros geomecánicas.
- Parámetros de perforación y voladura
- Secuencia de salida de taladros.

1.8.2 Variables dependientes

Control y estabilidad.

Indicadores

- Análisis de frecuencia y vibración
- Distribución de energía de explosivos.
- Índices de sobre rotura de las labores de desarrollo

Operacionalización de variables.

Tabla 1. Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones
Diagrama de perforación Smooth Blasting	Es la técnica que permite obtener un el fracturamiento a partir de la barrenación a barrenación por la menor oposición a la resistencia a lo largo de su trayecto como un plano de corte que minimiza o evita fracturas radiales (Parra, 2018).	Es la secuencia en la tronadura secuenciada predefinida y que permite crear cortes o grietas , teniendo en cuenta los parámetros geomecánicas, distribución de la carga operante	Parámetros geomecánicos Parámetros de perforación y voladura Secuencia de salida de taladros Distribución de carga explosiva
Control y estabilidad	Dentro de la geomecánica minera que se encarga de evaluar, diseñar y monitorear las condiciones del macizo rocoso con el fin de garantizar la seguridad, funcionalidad y sostenibilidad de las excavaciones subterráneas. Este proceso implica la caracterización geomecánica del terreno, la modelación del comportamiento del macizo ante las excavaciones, y la implementación de sistemas de soporte y sostenimiento adecuados para prevenir colapsos, deformaciones excesivas y riesgos geotécnicos asociados (Hoek & Brown, 1997; Brady & Brown, 2004).	El control y estabilidad de la labor se realiza mediante el cálculo del índice de sobre rotura, la eficiencia del avance, el nivel de vibración y frecuencia para evitar daño	Índices de sobre rotura Eficiencia de avance Nivel de frecuencia y vibración

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Los estudios realizados por Hong, et al., 2023, Experimental and numerical studies of the blast-induced overbreak and underbreak in underground roadways, fue con el propósito profundizar la sobrerotura y el sub-rotura inducidos por las tronaduras en galerías. Para lo cual desarrollaron una metodología combinando mediciones in situ y modelado numérico, en las labores en profundidad de la mina de fosfato de Kaiyang, China, el equipo utilizado es un escáner láser Focus S_150 que permitió el análisis y distribución y extensión del sobrerompimiento y sub-rompimiento en el contorno de la labor. Así mismo, mediante desarrollaron simulaciones de un modelo tridimensional para simular en la galería en voladuras usando el código de análisis dinámico explícito LS-DYNA. Los resultados indicaron que los coeficientes de presión lateral y la magnitud del estrés in situ influyen significativamente en la distribución y extensión de la sobrerotura y sub-rotura, encontrando que los parámetros óptimos para minimizar estos efectos fueron un espaciamiento de taladros de 0.70 m, una concentración de carga de 0.9 kg/m y un coeficiente de desacople de 2.5. Uno de los aportes menciona que los tacos con arena en los taladros de contornos mejoran distribución de energía del explosivo y minimizan el daño al macizo rocoso.

Las publicaciones realizadas por Chen et al., 2021, titulada “Experimental and numerical investigation on overbreak control considering the influence of initial support in tunnels”, tuvieron el objetivo de controlar la sobrerotura en el túnel del metro Qingdao, China utilizando modelamiento numérico y pruebas de campo, utilizando patrones de taladros de contorno largos y cortos (LSACB). Concluyeron que el patrón LSACB controla eficientemente la sobrerotura en relación con otros modelos convencionales de taladros de contorno (TCB), donde se el patrón LSACB fue de aproximadamente 110 mm, mientras que con el patrón TCB fue de hasta 380 mm, en las excavaciones excediendo el valor permitido de 150 mm. Concluyeron que el patrón LSACB es más eficiente para controlar la sobrerotura, reduciendo con ello los costos y factor de seguridad de las labores.

En la memoria de investigación de (González & Rivera, 2018) denominada “Reducción de la sobre excavación mediante explosivo SUBTEK en Mina Esmeralda, El Teniente –

Codelco Chile”, tuvieron como objetivo reducir la sobre excavación en desarrollos horizontales sustituyendo el explosivo ANFO por emulsión explosiva SUBTEK. La metodología que desarrollaron es en campo y modelo Mechanistic Blasting Model (MBM) de ORICA. Dentro de los resultados evidenciaron reducir en un 10% con el uso de emulsión SUBTEK, pasando de un promedio del 30% con ANFO a un 20% con SUBTEK. Se aprecia una reducción del tiempo de ciclo de desarrollo y minimización de los costos en sostenimiento.

En el artículo científico desarrollado por Hossaini et al., 2015, denominada Causes of Dynamic Overbreak and Control Measures Taken at the Alborz Tunnel, Iran, con el objetivo de los orígenes de la sobrerotura dinámica y desarrollar controles en el Túnel Alborz de Irán. Se desarrollo utilizando una metodología 11 rondas de voladura por smooth blasting y 10 rondas de voladura por presplitting. Los hallazgos indicaron que las condiciones del terreno, el tipo de macizo rocoso, estado de las juntas, la orientación, el espaciamiento, el RQD (Rock Quality Designation), predominan en las voladuras y las sobrerotura. En particular, la sobrerotura fue significativa en zonas con RQD inferior al 70% y juntas con orientación menor a 15°. La investigación concluyó que debido a las características del terreno, se debe utilizar la técnica de smooth blasting para los próximos 500 metros del túnel por las condiciones geológicas presentes.

En publicación científica de (Sellers, 2011) denominada “Controlled blasting for enhanced safety in the underground environment”, se propusieron analizar cómo las prácticas de voladura controlada mejoran significativamente la seguridad en las excavaciones mineras subterráneas. Utilizó una metodología basada en el análisis de estudios de caso y modelos numéricos del Hybrid Stress Blasting Model (HSBM) con el objetivo de mostrar los beneficios de la voladura controlada. Los resultados permiten la distribución correcta de carga explosiva, el tipo de explosivo, la secuencia de salidad, que definen la cantidad exacta de roca a extraer requerida y evitar daños en el contorno al macizo rocoso. Específicamente, la investigación destacó que al cambiar de ANFO a explosivos en cartuchos, la sobrerotura se redujo significativamente, mejorando las condiciones del colgante en un 30%. La conclusión principal fue que las prácticas de voladura controlada no solo mejoran la seguridad minera al minimizar la exposición a condiciones peligrosas, sino que también reducen costos operativos y mejoran la viabilidad a largo plazo de los proyectos mineros.

2.1.2 Antecedentes Nacional

Ticlia (2019) en su investigación optimiza el uso de explosivo y carga máxima para reducir los costos por voladura en la RP Patrick V zona Valeria V NV 220 – Marza 20218. La metodología utilizada es de tipo experimental, donde la población de esta investigación comprende las labores lineales de la empresa MARSA, teniendo de nuestros la RP Patrick V, NV 220 Zona Valeria V. Concluye que el el proceso de seguimiento de las voladuras se observo una reducción de porcentaje de sobre excavación, en consecuencia, se logró la reducción de los gastos por voladura. Entre los resultados so obtuvo mediante la comparación entre el Emulnor 1000 y ExaBlock Lite, donde se aprecia una reducción significativa en el porcentaje de sobre rotura de 19% al 11%. En conclusión, este resultado trajo una disminución mensual por los gastos de voladura, obteniendo un ahorro de 103.1\$/disparo. Estos antecedentes contienen información para medir el factor de carga y la selección correcta de explosivos para un correcto control de estabilidad que serán adaptadas a la presente tesis.

Baca y Hinostraza (2021), en sus tesis, establecen el diseño adecuado de la malla de perforación y voladura que pueda avalar un control y estabilidad en el macizo rocoso de la unidad minera, para ello, emplearon el método experimental inductivo–deductivo. La población considerada por todas las labores de preparación y desarrollo de la UM San Cristóbal; mientras tanto, la muestra fue la labor de avance del tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia. Asimismo, se utilizaron instrumentos de recolección de datos, mediante técnicas observacionales y procesamiento de datos. Finalmente, los resultados mostraron una eficiencia de disparo del 93 %, en comparación con el 86.2 %; el tonelaje roto por disparo incrementó de 103.47 toneladas a 142.67 toneladas; el factor potencia incrementó de 0.24 kg/t a 0.28 kg/t; el factor de carga lineal aumentó de 9.96 kg/m a 10.35 kg/m; la sobre excavación disminuyó de 47.03 m³ a 40.04 m³, lo que resulta en un 0.5 % de sobre rotura. En conclusión, un elemento importante para la obtención de la reducción de la carga operante es el empleo de detonadores secuencia-dadores. Asimismo, es importante no confundir la carga operante con la carga específica. Los valores que se obtienen por encima de la velocidad crítica

significan que se está dañando la periferia de la labor. De acuerdo con el análisis, los taladros de contorno con explosivos de baja potencia, como los cartuchos Emulnor 1000 con diámetro menor que el taladro, se utilizaron para controlar de una mejor manera el contorno de la labor y, así, evitar la sobre excavación, reduciendo también los niveles de vibración.

Rivera (2023), en su tesis, menciona la aplicación del diseño de malla de perforación y voladura y su dominio en la calidad del fraccionamiento del recurso mineral de la UM Andaychagua, para lo cual, empleó el método descriptivo. La población estuvo integrada por los tajos de producción de mineral de la UM; mientras tanto, la muestra está representada por el nivel 1400 a 1500, veta Salvadora. De la misma manera, utilizó instrumentos en la recolección de datos como checklist, entrevistas, observaciones y otros. Se evalúa el impacto del diseño de malla de perforación y voladura en la calidad del fraccionamiento del mineral. La cantidad de explosivo influye positivamente en la mejora del fraccionamiento, utilizando 95.5 kg de explosivo con base en las características geomecánicas del tipo de roca III. Del mismo modo, se tuvo en cuenta las propiedades físico-químicas del Emulnor 3000 y Emulnor 1000. La cantidad y distribución de taladros también mejora la fragmentación. Se perforaron 49 taladros: 37 cargados, 4 de alivio de arranque y 8 de alivio de alza y cuadrador en el frente de 4.5 x 4.5, evitando así la sobrerotura. En conclusión, se demostró que el nuevo diseño de malla de perforación y voladura mejora en gran medida la calidad del fraccionamiento del mineral. Asimismo, se determinó un burden de 30 cm y un espaciado de 40 cm, lo cual generó una muy buena fragmentación. Los taladros perforados mejoraron el proceso de chancado primario. Se utilizaron los explosivos Emulnor 3000, Emulnor 1000 y Famer corte, sumando un total de 95.5 kg de explosivo. Esto generó una fragmentación eficiente.

Quispe et al. (2023), en su tesis de diseño de la malla de perforación y voladura, buscan mejorar la fragmentación del macizo rocoso en la galería principal de la mina APMINAC Pulpera, Lima, Huancayo. A tal efecto, se empleó el método experimental. La población está representada por los frentes de avance de preparación y desarrollo de la mina APMINAC Pulpera; mientras tanto, la muestra fue la galería principal de la zona Ancasillo, veta Julia, mina APMINAC Pulpera. Asimismo, se utilizaron instrumentos de recolección de datos. Se empleó la técnica de la observación directa en campo;

adicionalmente, se consultaron fuentes documentales como informes técnicos, publicaciones especializadas y otros. El avance efectivo en campo de 1.17 metros se incrementó a 2.0 metros. Este resultado es producto de una eficiencia de perforación que pasó del 75 % al 88 %, y una eficiencia de la voladura del 85 % al 95 %, lo que anteriormente era muy deficiente. En conclusión, se optimizó el diseño de la malla de perforación y voladura en la galería principal de la zona Ancasillo, logrando mejorar la eficiencia operativa y reducir el costo por metro lineal, obteniéndose también una mejor fragmentación y mayor avance efectivo.

Castillo y Medina (2015), en la investigación: Aplicación de voladura controlada en labores de avance en sección de 2.5m x 3.0m para la reducción del factor de avance y porcentaje de sobrerotura en Compañía Minera Condestable S.A.A. concluyen que la aplicación de la voladura controlada ha disminuido el porcentaje de sobrerotura de 12.16% a 7.95%; mientras que el factor de avance se ha disminuido de 30.95 kg/m hasta 27.41 kg/m, lo que representa una reducción de 11%. Los daños ocasionados a la superficie circundante del frente se han disminuido, debido a que se ha usado una menor cantidad de explosivo, también por uso del ANFO Superfam L, de menor potencia; además que en los hastiales se ha aumentado un taladro mas en cada lado, lo que ayuda a una mejor distribución de la energía. La cantidad de explosivo promedio que se usa por disparo ha disminuido de 101.04 kg hasta 96.03kg; lo que representa una disminución de 5%. El avance promedio por disparo ha aumentado en un 3.5%, llegando hasta 3.51 metros, cuando inicialmente se tenía un promedio de avance por disparo de 3.99m. Se recomienda la aplicación de la voladura controlada en los frentes de la compañía minera Condestable, para mejorar los resultados obtenidos en porcentaje de sobre rotura y factor de avance. Para un buen control del daño a la superficie circundante se recomienda inspeccionar regularmente las pistolas de ANFO, ya que, si estas ya están muy deterioradas, variará la cantidad de ANFO que expulse por unidad de tiempo, ocasionando que se dificulte el buen control de la cantidad de explosivo que cargará cada taladro

2.1.3 Antecedentes Local

Quispe y Yupanqui (2023), en su tesis, realizan la aplicación del diseño de perforación y voladura de la galería principal 9080-SW, para aumentar el avance lineal en la unidad minera Aurífera Retamas. A tal fin, emplearon el método experimental en el desarrollo

de la perforación y voladura. La población estuvo representada por todos los trabajos de desarrollo de Minera Aurífera Retamas S.A.; mientras tanto, la muestra se desarrolló en la galería principal 9080-SW de la misma minera. A su vez, se utilizó como instrumento de campo: cuaderno de notas, planos, vernier y otros. Se obtuvo la eliminación de los tiros cortados por malas prácticas operativas. Así también, se eliminó en su totalidad los tiros fallados. Con el nuevo diseño de la malla de perforación y voladura, se tuvo un avance de 1.61 metros en comparación con el anterior, que fue de 0.78 metros. Tras el disparo, se tuvo una eficiencia de la perforación de 90.15 % y en la voladura se obtuvo un 87.30 %, las cuales son muy aceptables en comparación con el escenario anterior. El costo total de la valorización por metro lineal de avance fue de 433,176 nuevos soles con respecto al avance de los 290 metros de avance lineal, y el tiempo de ejecución se redujo por la longitud del avance realizado por guardia. En conclusión, la evaluación de la situación actual respecto al diseño de la malla de perforación y voladura evidencia cierta deficiencia en la salida del disparo de arranque, lo que generó tiros cortados. Esto se debió a las malas prácticas operativas, la falta de paralelismo, errores al momento de cargar los explosivos y el uso de atacadores incorrectos. Del mismo modo, se han identificado tiros fallados, principalmente en el arranque, lo que ocasiona la necesidad de realizar voladuras secundarias. El avance efectivo que se logró alcanzar fue de 0.78 m, en tanto que la longitud de perforación fue de 0.98 metros. De esta manera, se reflejan las fallas ya previamente mencionadas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Voladura controlada

De acuerdo a Holmberg y Person (1984) plantea que la voladura controlada intentará modificar el tipo de explosivos, o la colocación de explosivos particulares, de modo que la zona de daño creada por los agujeros perimetrales no exceda la zona de daño producida por los agujeros dentro del perímetro, o viceversa. Por otro lado, Arango (2019) menciona que consiste en el empleo de cargas explosivas lineales de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre sí, que se disparan en forma simultánea.

Ames (2021), comprende que teniendo como indicio los deterioros producidos por un tiro inicial de producción, se acrecentarán los deterioros en la idéntica simetría que la masa de las composiciones explosivas utilizadas en el mencionado disparo, lo que sobrellevaría a expresar que cualquier disminución en el agotamiento de

las composiciones explosivas industriales representaría una disminución en los deterioros causados a la roca sobrante y adyacente al disparo inicial.

2.2.1.1 Objetivo de la voladura controlada

Los principales objetivos de la voladura controlada son de minimizar la rotura y fractura de la masa rocosa fuera del límite alcance de la excavación para lograr una superficie lisa después de la voladura y controlar la vibración de la roca volante y el suelo dentro de los límites permisibles. Este objetivo se logra normalmente minimizando y haciendo un uso juicioso de explosivos en los taladros de voladura. Se llevan a cabo técnicas como la perforación en línea, el pre-corte, la voladura suave y la voladura amortiguada para lograr una voladura controlada. Los taladros de la voladura controlada generalmente tienen un espaciado más estrecho que los taladros de producción, están ligeramente cargados y se disparan simultáneamente antes de los taladros de producción, generalmente. El objetivo es crear una grieta entre los taladros perimetrales adyacentes para limitar la propagación de grietas radiales desde el interior de la excavación. La orientación preferencial de la propagación de grietas se ve reforzada por el disparo simultáneo de los taladros (Meza & Gutiérrez, 2023).

2.2.1.2 Importancia de la voladura controlada

Las técnicas de la voladura controlada han sido y están siendo usadas tanto en operaciones mineras subterráneas como superficiales, en obras de construcción civil, canteras, etc., desde varias décadas atrás. Los motivos específicos para el uso de las técnicas de la voladura controlada pueden variar de acuerdo a las aplicaciones específicas (Vera, 2019). Es importante tener en cuenta que la voladura convencional, según la carga y el tipo de roca puede afectar a las cajas techos a profundidades de hasta 1,50 y 2,00 m debilitando la estructura en general, mientras que la voladura controlada sólo la afecta entre 0,20 y 0,50 m, contribuyendo a mejorar el auto sostenimiento de las excavaciones.

Dentro de las ventajas y desventajas según Aragon (2019) menciona:

Ventajas:

- Busca producir superficies de rocas lisas y estables
- Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobre excavación, con lo que se reduce también la proyección de fragmentos y los efectos de agrietamiento en construcciones e instalaciones cercanas a la voladura.

- Produce menor agrietamiento en la roca remanente
- Es una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables.

Desventajas:

- Costo relativamente mayor que la voladura convencional por requerir mayor perforación y empleo de explosivos especiales o acondicionados a propósito.
- Mayor tiempo de preparación en la obra
- En material detrítico incompetente o deleznable puede no llegar a dar resultados óptimos.

2.2.1.3 Principales técnicas de la voladura controlada aplicadas a la minería

Las diferentes técnicas de la voladura controlada han sido desarrolladas a través del tiempo y estas se iniciaron a usar en la década de los años 50, muchas veces específicamente para un problema particular de acuerdo a la mina superficial o subterránea o de uso como en carreteras. Algunas de las técnicas de voladura controlada se utilizan con el propósito de obtener límites finales de apariencia atractiva y sin tener en cuenta la estabilidad del macizo rocoso remanente. Otras de estas técnicas de voladura controlada son utilizadas para obtener límites finales estables, y esto se consigue mediante la formación de un plano de falla antes de comenzar los disparos de producción. Pero todas las técnicas de voladura controlada tienen un objetivo común, que es el de mejorar la distribución de la energía producida por la detonación de las mezclas explosivas, la cual es transmitida dentro del macizo rocoso y cuyos efectos tienen como resultados la acción de la presión de los gases actuando sobre las paredes de los taladros. Las que más se usan en la minería nacional e internacional, son las siguientes:

- Perforación en línea (Line drilling)
- Pre-corte (pre-splitting, preshearing, pre-slotting or stress relieving)
- Pre-corte con espaciado de aire (air deck presplitting).
- Voladura de recorte.
- Voladura lisa (smooth blasting)
- Voladura suave (cushion blasting)
- Voladura amortiguada (buffer blasting)

Perforación en línea

Según Meza y Gutierrez (2023) indica que la perforación en línea se realiza en una sola fila utilizando taladros de diámetro reducido, sin explosivos y con una separación cercana entre ellos, a lo largo de la ruta de excavación. Esto genera una zona de debilidad que permite que la voladura principal se rompa, y en cierta medida, refleja las ondas de choque producidas por la detonación, disminuyendo tanto la fractura como el estrés en la pared final. La técnica de perforación en línea es ideal para formaciones homogéneas en las que las capas, las uniones y las discontinuidades son mínimas. Su único uso es en sitios donde incluso las pequeñas cargas explosivas implicadas en otros métodos de voladura controlada podrían causar daños más allá de los límites de la excavación.

Voladura controlada de recorte.

Sulcacondor (2018), señala que la voladura controlada de recortes implica hacer una serie de perforaciones que están próximas entre sí, utilizando cargas que no están unidas, pero que se activan después de la explosión principal o de producción. Este método se utiliza principalmente en voladuras subterráneas. En este tipo de voladura controlada, el proceso de detonación se realiza en dos fases; primero se disparan los taladros destinados a la producción y luego se lleva a cabo la voladura controlada, con un intervalo de aproximadamente 100 milisegundos.

Voladura controlada de precorte.

(C. Konya) La voladura de precorte es la que se aplica en esta investigación, para el contorno de la malla de perforación usamos tubos de PVC ensamblados y con cargas explosivas espaciadas. Cabe mencionar que en el mercado hay otros productos, como el exadit, que son explosivos de baja potencia, especialmente fabricados para voladura de contorno y precorte. Por otro lado, Sulcacondor (2018), consiste en crear en el cuerpo de roca una discontinuidad o plano de fractura (grieta continua) antes de disparar la voladura principal o de producción, mediante una fila de taladros generalmente de pequeño diámetro, muy cercanos, con cargas explosivas desacopladas disparados simultáneamente. Este puede realizarse también simultáneamente con los de producción, pero adelantándolos una fracción de tiempo de 90 a 120 ms, siendo el disparo de dos etapas.

Voladura amortiguada.

Según Carrasco (2015), indica que es prácticamente una voladura convencional, pero en la que se ha modificado el diseño de la última fila, además su esquema geométrico es más reducido, como también la carga de explosivo debe ser menor y desacopladas. El disparo es normalmente en una sola etapa.

Smooth blasting (voladura suave)

Este método muy aceptado para el control de sobrerotura en hastiales, los techos de las labores subterráneas y los taludes. En una voladura suave, los taladros se perforan en el límite de la excavación, se cargan usando cargas bien distribuidas que son disparadas en el final del disparo, (Meza y Gutiérrez, 2023).

Cushion blasting (voladura amortiguada)

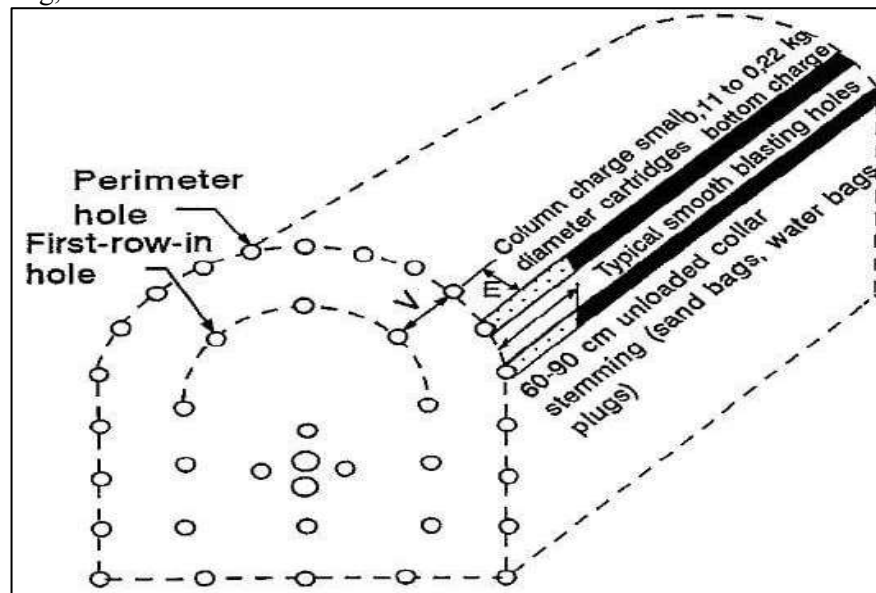
La voladura amortiguada se asemeja a la voladura de superficies lisas. En este proceso, se perfora una sola fila de agujeros en el borde de la excavación, usando pequeñas cargas que se detonarán después de la ronda principal. En la voladura amortiguada, los agujeros se separan aún más al reducir su diámetro o al emplear material de desecho de la roca perforada o arena, lo que aporta un efecto de compresión. Esto "amortigua" el efecto de la explosión en la pared del túnel al hacer estallar los agujeros y limita los daños excesivos en la pared de la excavación. Actualmente, esta técnica se utiliza poco ya que la reducción en el desacoplamiento puede lograrse con cartuchos explosivos de pequeño diámetro que cumplen la misma función. Los orificios se detonan utilizando el último número de retraso en la misma serie de explosión, idealmente con un retraso de 50 ms. Los parámetros adecuados para la voladura controlada se determinan a través de explosiones de prueba. Generalmente, es necesario establecer la separación ideal entre los orificios y la carga por cada uno de ellos, (Meza y Gutiérrez, 2023).

2.2.2 Smooth Blasting

Demifine al Smooth Blasting o voladura controlada, es una técnica avanzada utilizada en la industria minera. Basado en el control, secuencia de detonación y distribución de la carga para lograr una uniforme fragmentación y reducir el desplazamiento de rocas (Galvez, 2024). También, se puede decir que la voladura lisa consiste en perforar una fila de taladros a lo largo de los límites de la excavación, los cuales son ligeramente cargados

con explosivos de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre si y disparados simultáneamente con tiempos de retardo mínimos, antes o después de la voladura de producción para crear y controlar la formación de una grieta continua que delimite la superficie final de un corte o excavación y con un fracturamiento mínimo (Vera, 2019). Este método muy aceptado para el control de sobrerotura en hastiales, los techos de las labores subterráneas, los taludes y para controlar las vibraciones a fin de no generar mayor inestabilidad en las labores colindantes.

Figura 2.
Smooth blasting, Mc Kown 1986.



2.2.2.1 Los principios fundamentales del Smooth Blasting:

Gálvez (2024) menciona que los principios del Smooth Blasting son;

Secuencia de Detonación. Consiste en la planificación y ejecución de la secuencia en la que se detonan los explosivos en los taladros. La secuencia óptima se determina según la geología del terreno y el diseño de la voladura, con el objetivo de maximizar la fragmentación del material y minimizar el desplazamiento de rocas.

Los taladros para una voladura suave deben dispararse instantáneamente o con un retraso mínimo para lograr una acción de cizallamiento y paredes lisas con una mínima sobrerotura.

Disposición de carga explosiva. Se refiere a la distribución estratégica de la carga explosiva dentro de los taladros, considerando factores como el tipo de explosivo, la cantidad de carga y la ubicación de los iniciadores. Esta distribución se ajusta para lograr una fragmentación uniforme y controlada del material.

Desacoplamiento de la carga. Implica la manipulación de la carga explosiva para lograr un desacoplamiento adecuado entre los taladros, lo que permite una liberación de energía más eficiente durante la detonación. Esto ayuda a reducir la generación de vibraciones y el daño al macizo rocoso circundante.

2.2.2.2 Objetivos

Los principales objetivos de esta técnica según Vera (2019), son los siguientes:

- Lograr superficies de corte uniformes y claramente delimitadas, lo que ayuda a prevenir grietas excesivas en el macizo rocoso, mejorando así su estabilidad.
- Prevenir el rompimiento del macizo rocoso más allá de los límites que se han establecido anteriormente.
- Reducir o eliminar el fracturamiento radial, por lo que los orificios de explosión deben estar alejados unos de otros, de manera que las fracturas resultantes se orienten hacia las zonas menos resistentes; es decir, de perforación a perforación, organizándolos para crear un plano de corte previamente diseñado.
- Evitar el exceso de fracturamiento en el macizo rocoso y preservar la robustez y la capacidad de autoretenibilidad de la roca.

2.2.2.3 Factores que influyen en los resultados

En general los factores técnicos de la referencia, son los siguientes:

- Precisión de la perforación
- Ubicación de los taladros
- Forma y concentración de la carga explosiva
- Intervalos de tiempos de retardo
- Carguío de los otros taladros del disparo de producción
- Las características del macizo rocoso
- Cantidad y calidad de las MEC a ser usadas.

2.2.2.4 Ventajas

Las ventajas que ofrece esta técnica entre otras, son las siguientes:

- En comparación con las voladuras habituales utilizadas en la producción, la voladura lisa siempre reducirá el fracturamiento hacia atrás.
- Disminuirá considerablemente la necesidad de aplicar métodos de soporte para techos y paredes, así como en la parte trasera de los límites de la excavación.

- Genera superficies de roca más uniformes y seguras, lo que se traducirá, por ejemplo, en taludes y caminos que no requieren un mantenimiento constante.
- Resulta en menos exceso de excavación, lo que implica menores gastos en carga y transporte.
- Produce un menor agrietamiento en la roca, lo que ayudará a reducir o eliminar la necesidad de sistemas de soporte; por ejemplo, una voladura de producción normal puede afectar o debilitar las cajas hasta profundidades de 1.5 m, mientras que la voladura lisa lo hace solo hasta 0.2 a 0.5 m, lo cual es fundamental, especialmente en áreas débiles o inestables.
- Reduce el uso de concreto para el revestimiento de túneles y otras construcciones, ya que las superficies lisas requieren menos material que las irregulares.
- Ayuda a disminuir las vibraciones generadas por las voladuras de producción, entre otros aspectos.

2.2.2.5 Desventajas

Entre ellas, se tiene:

- Se necesitan más perforaciones perimetrales en comparación con los disparos de producción habituales.
- No elimina la necesidad de sistemas de soporte en formaciones rocosas muy fracturadas.
- Se gasta bastante tiempo en la preparación y la implementación de esta técnica.
- No es efectiva en todas las formaciones rocosas. Si la roca está muy fracturada y es demasiado débil para sostenerse, la voladura suave no elimina por completo la necesidad de usar sistemas de soporte en la parte trasera de la excavación.
- Implica un costo superior al de la voladura convencional, ya que la voladura suave requiere más perforaciones y también la utilización de MEC especiales.
- En rocas fracturadas y inestables, los resultados que se logran suelen ser insatisfactorios.
- Se necesita mayor tiempo de perforación.

2.2.2.6 Tipos de Smooth Blasting

Existen varios enfoques y técnicas dentro del Smooth Blasting, cada uno diseñado para adaptarse a diferentes condiciones geológicas y requerimientos de voladura según Galvez (2019) estos tipos comunes incluyen:

Smooth Blasting convencional. Es el enfoque tradicional de voladura controlada que implica la planificación cuidadosa secuencial del explosivo para lograr una fragmentación uniforme del material.

Smooth Blasting con tecnología de monitoreo. Involucra el uso de tecnología de monitoreo, como sismógrafos y estaciones geomecánicas, para evaluar y optimizar el rendimiento de la voladura en tiempo real. Esto permite ajustes en la secuencia de detonación y la distribución de la carga para maximizar la eficiencia y la seguridad.

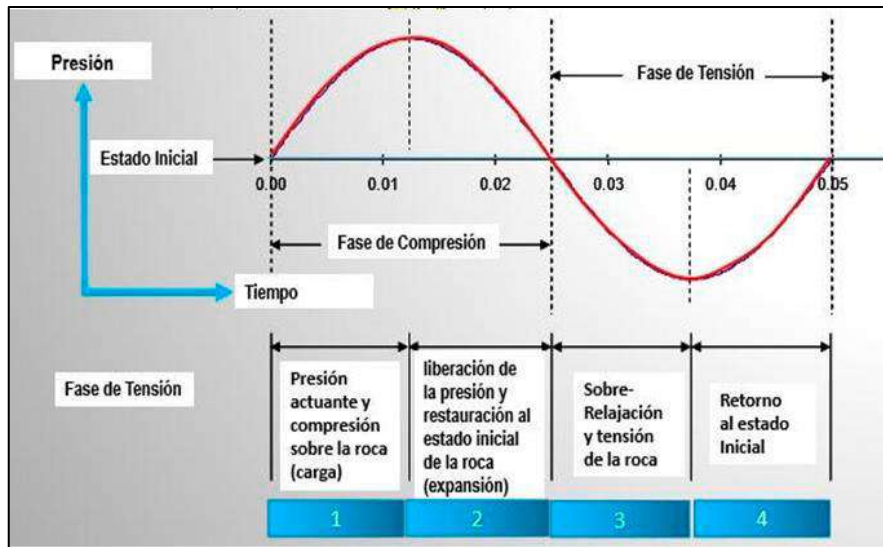
2.2.3 La naturaleza cíclica de las vibraciones:

Las vibraciones consisten en un movimiento que se repite de forma periódica dentro de un medio, gracias a las fases alternativas de compresión y tensión. En las rocas, las vibraciones por voladura, generalmente se considera que las vibraciones se generan por la detonación de los explosivos en ella.

Consideremos un ejemplo práctico, de un solo talador de voladura con una pequeña carga de explosivo (largo = 6* diámetro, aproximado a una carga esférica). Cuando la carga detona, la masa de roca que rodea la carga es inmediatamente sometida a compresión. Esto genera la relación con la compresión del ciclo de vibraciones. Ya que todos los materiales se comportan, en mayor o menor medida, como un resorte, ni bien la fuerza de compresión es eliminada, la roca se relaja y regresa a su estado original. Como la roca sufre un movimiento fuera de su posición original, esto origina una fase de tensiones en el ciclo de vibración.

Figura 3.

Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión



Fuente: Centro de innovación tecnológica de explosivos de ENAEX

Dado que la roca reacciona como un resorte al paso de las ondas vibratorias de manera similar a un resorte (la rigidez del resorte, está representada por el módulo de Young), la velocidad con lo que la roca se aleja en algunos casos, puede no coincidir o ser diferente a la velocidad a la que es afectada por un pulso de corta duración, que es generada por la detonación de una carga explosiva. Bajo estas condiciones, no es común ver, en rocas débiles con un módulo de Young relativamente bajo, es común observar como las fases de compresión y tensión tienen diferentes amplitudes y diferentes duraciones.

La explicación de las características del movimiento de una partícula que pasa a través de una onda, es explicada en la siguiente ecuación:

$$A(t) = A_0 \text{Sen}(2\pi ft)$$

Donde:

A(t) representa la amplitud de la onda en un tiempo t,

A₀ es el peak de amplitud sobre la onda completa y f es la frecuencia de la onda.

2.2.4 Sismicidad por voladura.

El estudio de las vibraciones ayuda a establecer un comportamiento de las vibraciones en función a la distancia y carga operante la cual es representado por una curva potencial llamada "Ley de Atenuación de Vibración de Partícula" que difiere según la calidad del macizo rocoso, en la cual se realiza una interpolación para hallar los niveles de vibración a distancias

cercanas al límite de la sección y determinar el daño generado por el disparo. El registro de las vibraciones se realizó conjuntamente con la caracterización del macizo rocoso, se contó con dos sismógrafos, instrumentos propios de la empresa especializada en la voladura (Pampacata, 2015)

Figura 4.
Sismógrafo InstanTel, y geófono



Fuente: Exsa

2.2.4.1 Componentes de una Onda

a. Onda.

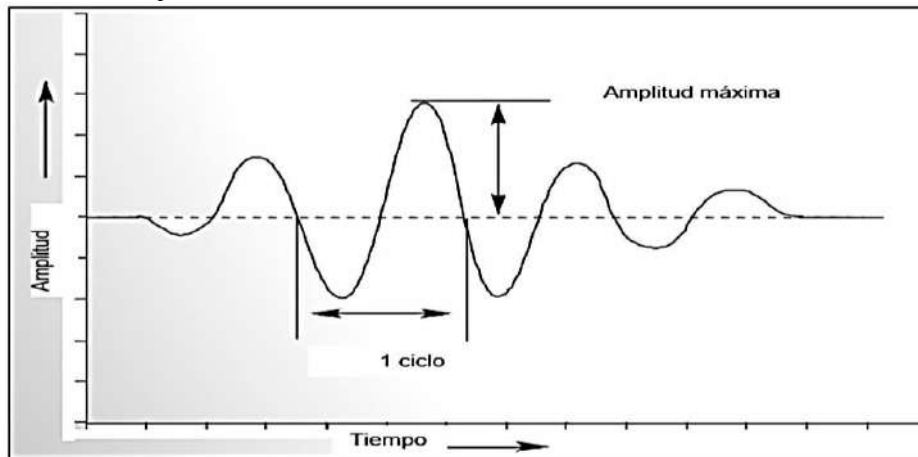
Una onda es una propagación de una distorsión oscilante que viaja a través del espacio, implicando el transporte de energía consigo. Los niveles altos de vibración conjuntamente con la frecuencia dominante más bajas, generan daños potenciales cuando dichos niveles son altos, ocasionando un mayor daño al macizo rocoso y por consiguiente un mayor desplazamiento de tierras.

b. Amplitud

Mayor distancia que alcanza un punto desde su posición de reposo

El alcance máximo que un punto alcanza desde su posición de reposo, se representa teniendo en cuenta la velocidad (V), aceleración (A) o desplazamiento (D), en función del equipo que se usa para su registro; generalmente, representa velocidad en la medición de voladuras.

Figura 5.
Historial del tiempo de vibración



Fuente: Centro de Innovación Tecnológica de Explosivos de ENAEX

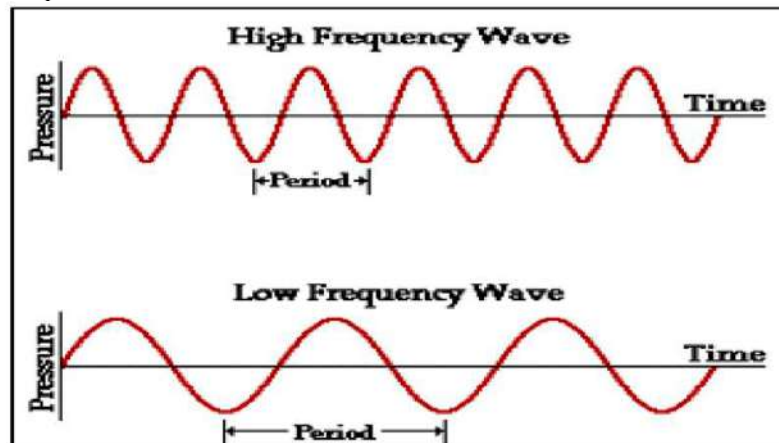
c. Desplazamiento.

El desplazamiento (μ) hace referencia la distancia que recorre una partícula desde su posición de reposo, esta es expresada en milímetros o pulgadas. Cuando una onda pasa por un punto, genera que una partícula de dicho punto ya sea en el suelo o en el aire sea desplazado hacia arriba o hacia abajo de su posición de reposo en un punto dado en el tiempo (es decir, movimiento vertical de la partícula). En general, la mayoría de las explosiones realizan un movimiento de tierras menores a 0,01 milímetros (0,0004 pulgadas) por encima o por debajo de la posición de reposo de una partícula.

d. Frecuencia.

Es la cantidad de veces que una partícula se mueve de ida y vuelta en el transcurso de un segundo. Por lo general este tipo de movimiento se conoce como oscilación o ciclo. Cuando una onda de vibración se presenta en una partícula, genera un determinante número de oscilaciones, y esta es medida en ciclos por segundo o Hertz (Hz).

Figura 6.
Frecuencia en el tiempo



Fuente: *centro de innovación tecnológica de explosivos de Enaex*

Cuando una partícula comienza su vibración, lo hace desde un punto de reposo, desplazándose hacia un punto máximo positivo, luego vuelve al punto cero para luego desplazarse hacia el punto máximo negativo y finalmente volver a su posición de inicio, completando un ciclo. El tiempo que hay en intervalo de un ciclo se llama período (T) su medición se hace en segundos. La relación el número de ciclos y segundos es igual a la frecuencia (f), se expresa en Hertz. La fórmula para hallar la frecuencia se define como:

$$F = 1/T$$

Donde:

T: periodo de la Ondas (ms)

F: frecuencia de la Ondas (Hz)

d. Velocidad.

Es la relación entre el desplazamiento que realiza una la partícula en un determinado tiempo. La vibración de una partícula se desarrolla alrededor de su punto inicial de reposo que va cambiando constantemente su velocidad. La velocidad máxima que desarrolla una partícula se genera a medida que pasa por su punto de reposo. La ecuación para hallar la velocidad máxima de una partícula es:

$$V = 2 \pi x f x \mu$$

Donde:

V = velocidad de partícula (milímetros /segundo) ó (pulgadas / segundo)

f = frecuencia (hertz)

μ = Desplazamiento (mm) ó (pulgadas)

$\pi = \text{Pi (constante)}$

Aceleración.

Es la medida de que tan rápido cambia la velocidad de una partícula a lo largo de un determinado tiempo. Cuando la partícula logra su máximo desplazamiento, se dice que la partícula desarrollo su máxima aceleración. La aceleración se expresa en mm/seg² o (pulg/seg²) y habitualmente también en gravedades. Cuando el movimiento tiene una forma sinusoidal, la aceleración se puede encontrar a partir de la velocidad y la frecuencia aplicando la siguiente ecuación:

$$a = 2 \pi x f v$$

Donde:

a = Aceleración de la Partícula (mm/seg²) (pulg/seg²)

f = Frecuencia (Hertz)

v = Velocidad de la Partícula (mm/seg) (pulg/seg)

2.2.4.2 Tipos de Ondas

a. Ondas de compresión

Llamadas como ondas P, o también primarias, son los desplazamientos repetidos de compresión y encarecimiento; son parecidas y muy similares a las ondas del sonido, el movimiento de una partícula está en función a la dirección del movimiento de la onda, la velocidad se determina con la siguiente ecuación:

$$Vp = (E (1 - \sigma) / (\rho (1 - 2 \sigma) (1 + \sigma)))^{0.5}$$

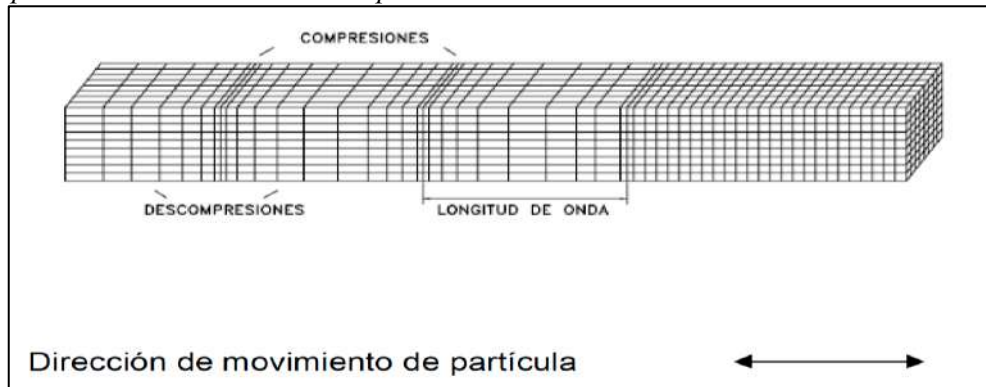
Donde:

E = Es el módulo de elasticidad de Young

ρ = Es la relación de Poisson

σ = Es la densidad de las rocas a través de las cuales viaja la onda (Contreras W. 2009.p.14-15)

Figura 7.
Comportamiento de la onda de compresión



Fuente: Contreras W. 2009.p.14-15

b. Ondas Transversales

Llamadas como ondas S o secundarias, el movimiento que desarrollan estas partículas son perpendicular a la dirección de propagación del movimiento de las ondas, muy parecidos a las ondas del agua, está definida por la siguiente definición:

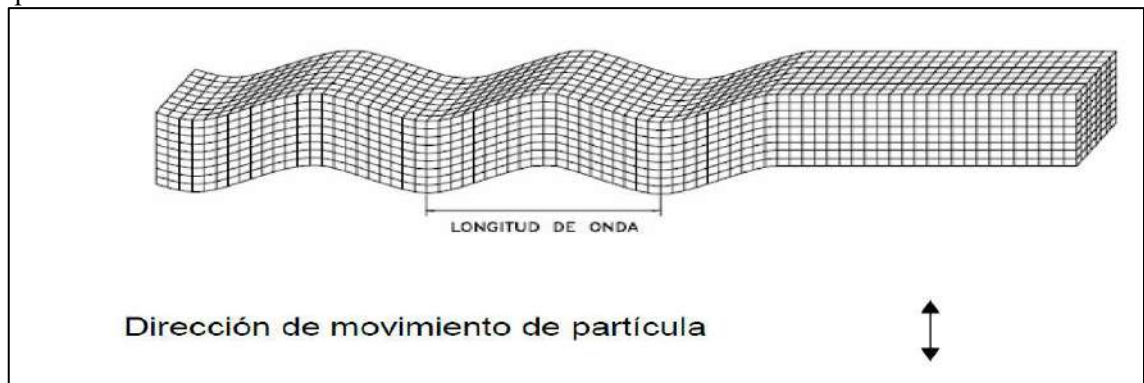
$$V_s = (E / (2 \rho (1 + \sigma)))^{0.5}$$

Donde hay que notar

$$V_p / V_s = ((1 - \sigma) / (0.15 - \sigma))^{0.5}$$

Esta relación es siempre mayor que 1, es decir que las ondas "P" llegan siempre antes que las "S".

Figura 8.
Comportamiento de la onda transversal



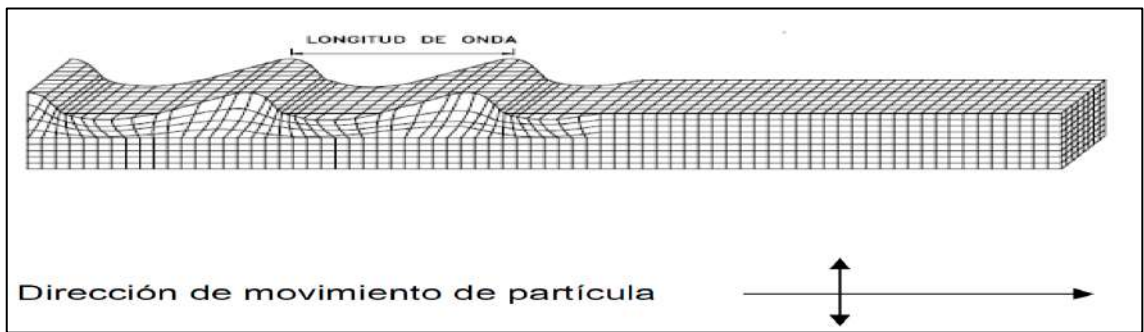
Fuente: Contreras W. 2009.p.14-15

2.2.4.3 Ondas Secundarias

a. Ondas Love

Aparecen cuando hay una interface que logre separar a una capa de baja velocidad de un material subyacente de mayor velocidad. Los movimientos que desarrollan estas partículas son horizontales y perpendiculares a la dirección en la que se propaga la onda. La velocidad de las ondas Love cambia entre las ondas transversales del material ubicado en la parte superior y el material ubicado en la parte inferior (Contreras W. 2009.p.15)

Figura 9.
Comportamiento de la onda love

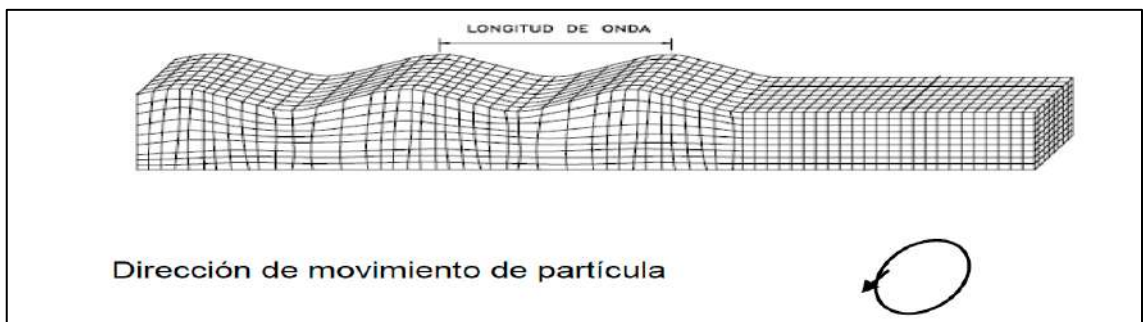


Fuente: Contreras W. 2009.p.15

b. Ondas Rayleigh

En movimiento de las ondas Rayleigh, se desplazan en un plano vertical que incluye la dirección de propagación de la onda, que es elíptico y con un sentido retrogrado con respecto a la dirección de propagación. A medida que se incrementa la profundidad, la amplitud del movimiento que desarrollan las partículas decrecen exponencialmente. La velocidad de las ondas Rayleigh V_r es normalmente como: $V_r = 0.9 \times V_s$. (Contreras W. 2009.p.16)

Figura 10.
Comportamiento de la onda rayleigh



Fuente: Contreras W. 2009.p.16

2.2.5 Características de las vibraciones

Las señales de vibraciones que se generan durante una voladura es una combinación de una serie de paquetes de ondas definidos, están relacionados entre sí por la detonación de una carga o grupo de cargas en momentos específicos de tiempo. La efectividad de la detonación, está relacionada con la forma y amplitud de las ondas de vibración. Por lo general, la amplitud de la onda en una medición de la cantidad de energía que el explosivo transmite al macizo rocoso. Esto permite determinar el tiempo real de detonación de las cargas, la velocidad de proyección de las partículas, detonación de cargas de baja eficiencia o sin detonar, detonación instantánea y detonación instantánea y detonación de cargas inducidas por simpatía, también con estos datos se puede calcular el desplazamiento, aceleración y frecuencia de partículas de la roca. El objetivo principal es analizar el comportamiento de atenuación de vibración según el tipo de terreno donde se realizará la construcción de la Rampa para realizar, con el fin de realizar ajustes en los diseños de voladura y minimizar los daños.

Para la vecindad a una voladura de producción, se puede encontrar las siguientes características de vibración:

- Velocidad de partículas 10-1000 mm/s
- Desplazamiento dinámico 0.01-2.0 mm
- Rango de frecuencia 10-1000 Hz.
- Frecuencia dominante 50-500 Hz.

2.2.6 Instrumentación para monitoreo de vibraciones

La instrumentación es clave en toda investigación, y su propósito es localizar transductores en puntos estratégicos para recopilar información representativa y confiable. Al momento de realizar una voladura, está genera a su alrededor ondas sísmicas, es de vital importancia tener un conocimiento previo de estos. Las ondas sísmicas que genera una voladura son importantes por que transportan energía vibracional y su relevancia depende de la geometría, ubicación de la voladura y el sistema estructural. Por ejemplo, las ondas superficiales son de menor amplitud y

tienen mayor alcance, es relevante para su medición en un campo lejano, las ondas P y S son más significativas cerca de la zona de voladura. (Contreras W. 2009.p.25)

Transductores: Geófonos o acelerómetros que se instalan en el lugar que se desea monitorear.

Sistema de cables: Se encargan de llevar la señal captada por los transductores al equipo de monitoreo (sismógrafo).

Equipos de monitoreo: Recibe la señal y la guarda en memoria.

Un computador: Al cual se le incorpora el software apropiado (Blastware III) para el traspaso y análisis de la información.

Figura 11.
Equipos para el análisis de vibraciones Instantel



2.2.7 Alteración Sísmica Por Voladuras

Las voladuras generan ondas sísmicas, por lo general son de alta frecuencia, cuando la alteración sísmica pasa por un medio rocoso provoca un movimiento llamado “vibración”.

La potencia de la vibración generada puede causar alteraciones en el macizo rocoso, como fracturas de la matriz rocosa, trituración del material, abertura en grietas pre existentes. Una etapa clave para el estudio y control de estas vibraciones es comprender las leyes que rigen su propagación de la misma en distintos medios, como roca, suelo o aire. Para minimizar los daños ocasionados por voladura en una excavación, se debe conocer los niveles máximos de vibración que pueden soportar los hastiales sin sufrir daños que

comprometan la estabilidad de la labor más allá de la línea de corte, evitando problemas como desprendimientos, mayores recursos para el sostenimiento y la sobre excavación. (Contreras W. 2009.p.16)

2.2.8 Variables que influyen en las vibraciones

2.2.8.1 Factor de atenuación de ondas en el macizo rocoso.

La amplitud de una onda disminuye a medida que esta se propaga a través del macizo rocoso. Existen dos tipos de disminución que se puede identificar.

Atenuación geométrica: en medios donde son homogéneos, elásticos e isótropos, la amplitud de una onda se reduce a medida progresivamente a medida que se propaga a través del macizo rocoso. La fórmula para hallar el factor de atenuación geométrico es la siguiente:

$$FAG = 1/Rn$$

Donde:

R = Distancia entre el punto de la perturbación y el de recepción (m).

n = Constante que depende del medio en que se propaga la onda.

Atenuación inelástica: ya que el macizo rocoso no actúa como un medio homogéneo, elástico e isotrópico, las ondas al llegar a estructuras inelásticas, pierden un porcentaje de la energía mecánica que esta transmite por la onda a al macizo rocoso. El factor de atenuación inelástica esta dada por la siguiente ecuación.

$$FAI = e^{-IR}$$

Donde:

I = Coeficiente de atenuación.

R = Distancia entre el punto de la perturbación y el punto de recepción (m).

2.2.8.2 Geología y características de la roca

Los macizos rocosos que son homogéneos y masivos, las vibraciones se propagan en todas las direcciones casi uniformes. Sin embargo, en estructuras geológicas más complejas según la dirección de las ondas, estas pueden variar, generando diferentes patrones de atenuación.

Además, la existencia de suelos de recubrimiento sobre los sustratos rocosos afecta en la intensidad y frecuencia de vibraciones. Cuando el espesor del recubrimiento aumenta, la frecuencia de vibración disminuye, mientras que el desplazamiento se incrementa de manera significativa conforme a los espesores de recubrimiento.

2.2.8.3 Carga operante

En una voladura, la carga operante es el peso de la carga explosiva que detona por período de retardo. La intensidad de las vibraciones terrestres y aéreas en un punto específico varía según la carga explosiva y la distancia de dicho punto y el lugar de la voladura.

Cuando se utilizan múltiples detonadores, es la carga mayor por retardo la que influye directamente con mayor impacto de las vibraciones y no la cantidad total de explosivo utilizado en la voladura. Esto es válido siempre que los intervalos de retardo sean suficientemente grandes para evitar interferencias entre las ondas generadas por los diferentes grupos de taladros.

En el caso que existan taladros que empleen detonadores con el mismo tiempo de retardo nominal, la carga máxima operante suele ser menor que la carga total debido a las variaciones de los tiempos de salida de los diferentes detonadores usados. Para calcular la carga operante, se estima solo una fracción del número total de cargas iniciadas por detonadores del mismo número nominal, como ocurre para los detonadores elaborados por Nitro Novel AB.

Tabla 2.

Fracciones de cooperación de detonadores según Persson

Tipo	Nº	Intervalo de tiempo (ms)	Dispersión (ms)	Fracción operante
VA MS				
NONEL	1-10	25	5-10	1/2
VA MS				
NONEL	11-20			1/3
VA MS				
NONEL	24-80	100	20-50	1/4
VA MS				
NONEL	1-12	500	100-200	1/6

La carga operante es la cantidad máxima de explosivo que detona dentro de una voladura por retardo. En aquellas voladuras donde se utiliza más número de retardo es a mayor carga por retardo la que tiene impacto en las vibraciones generadas, y no la cantidad total de explosivos empleados para la voladura. Esto es válido siempre que los intervalos de retardo sean suficientemente amplios para que no exista obstrucciones entre las ondas producidas por los diferentes taladros.

La existencia de varios taladros que tienen el mismo tiempo del retardo nominal, la carga operante suele ser menor que la carga total debido a variaciones en los tiempos de activación de los accesorios empleados.

El peso de la carga operante es el factor mas importante que afecta en la intensidad de las vibraciones, según investigaciones realizadas por el U.S. Bureau of Mines, el valor del parámetro “a” es aproximadamente igual a 0.8 en la siguiente fórmula para determinar los niveles de vibración.

$$V=Qa$$

Donde:

V: Velocidad de vibración de (mm/s)

Q: Carga Operante (Kg)

a: Factor Exponencial.

Carga operante

Distancia al punto de la voladura

A medida que aumenta la distancia de los niveles de vibración se reducen conforme a la siguiente ley.

$$V=1/Db$$

Donde:

V: Velocidad de vibración de (mm/s)

D: Distancia al punto de Voladura (m)

Consumo Específico de los Explosivos

Una distribución espacial deficiente y un confinamiento exagerado generan una insuficiente energía para mover y esponjar la roca fragmentada, lo que ocasiona que parte de la energía liberada en la voladura se transforme en energía sísmica, aumentando los niveles de vibración en 2 o 3 veces más (Bernaola & Castilla Gomes, 2013)

Tipo de explosivo

Hay una relación entre la velocidad de partícula y las tensiones inducidas en la roca, esta relación tiene una constante de proporcionalidad se conoce como impedancia de la roca. En este contexto, los explosivos que generan presiones bajas de detonación provocan menores niveles de vibración, estos están asociados a la baja densidad y velocidad de detonación

Cuando se emplean explosivos de potencias muy diferentes, es necesario normalizar las cargas de un explosivo con respecto a un explosivo patrón de potencia conocida, por lo general se usa el ANFO como estándar. *(Bernaola & Castilla Gomes, 2013)*

Tiempo de retardo

El intervalo de retardo entre las explosiones de los taladros se refiere al tiempo que se considera normal o real. En este escenario, pueden surgir dos situaciones: la primera se da cuando las ondas creadas por la explosión se combinan, intensificando su capacidad destructiva en el entorno debido a la unión de sus energías; la segunda se presenta cuando las ondas se debilitan, causando un efecto destructivo y generando una colisión de energías que minimiza los niveles de vibración en el medio.

Respecto al tiempo de retardo necesario para eliminar las interferencias constructivas (es decir, los efectos de la suma de energía), los primeros análisis realizados por Duvall en 1963 sugirieron que los intervalos deberían ser de entre 8 y 9 metros. Por otro lado, Langerfor en 1936 señaló que, si el intervalo supera tres veces el periodo de vibración, se puede considerar que no hay interacción entre taladros cercanos que hayan sido detonados secuencialmente, gracias al amortiguamiento de las señales. En contraste, Wiss y Linehan en 1978 propusieron un tiempo de retardo nominal de 17 milisegundos para evitar los efectos de suma. Por último, la empresa Novel's Explosivesco del Reino Unido afirmó que en las voladuras secuenciadas con retardos menores a 25 milisegundos, se observan interferencias constructivas que aumentan el nivel máximo de vibración.

Geometría de la voladura

Entre los principales son identificados los siguientes

- Diámetro de perforación
- Longitud de perforación
- Espaciamiento Burden
- Desacoplamiento
- Numero de taladros a disparar (tamaño de la voladura).

2.2.9 Diseño de mallas de perforación en minería subterránea

Según el "Manual Práctico de Voladura" de EXSA (2009), el diseño de mallas de perforación consiste en un conjunto de taladros perforados en un frente, con una geometría, simetría, ubicación, dirección, inclinación y profundidad específicas. Este diseño tiene como objetivo reducir los costos de perforación, incluidos el uso de la

perforadora y el desgaste de los aceros de perforación, así como los costos de voladura, que abarcan los explosivos y los accesorios de voladura. Esto se logra para obtener un avance adecuado, mantener una sección uniforme y obtener una granulometría apropiada del material a volar. La malla de perforación y voladura distribuye la energía de los explosivos almacenados en los taladros, teniendo en cuenta la relación entre el espaciamiento y la carga (burden), y su vinculación directa con la profundidad del taladro. En las operaciones subterráneas, se perfora solo una cara, con varias secciones, siendo la más importante la sección donde se crea la cara libre, denominada arranque. Este arranque es crucial para lograr una voladura óptima. Si no se crea un arranque adecuado, el resto de la voladura generará poca fragmentación y se producirá un soplo. La secuencia en la que se inicia la malla puede ser simultánea o rotativa, siendo más efectiva la rotativa. El objetivo del disparo rotativo es encontrar un lugar por donde el material pueda salir, razón por la cual se utiliza este método en las labores de minería subterránea, donde los frentes presentan solo una o dos caras libres.

2.2.10 Método de Roger Holmberg

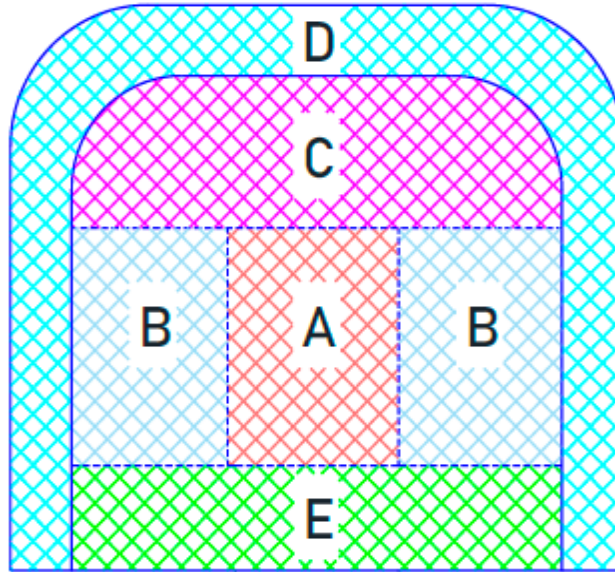
(Holmberg, R. 2001). Propone los principios físico-matemáticos de diseño de carga en frentes de voladura, principios que fueron aplicados principalmente en minas suecas habiéndose logrado los resultados tanto técnicos como económicos óptimos. Se plantean los principios basándose en el uso de taladros de alivio con diámetro mayor al de los de producción y el uso de explosivos de alta potencia.

Actualiza la metodología de las teorías suecas, de cálculo de perforación y voladura en galerías, esta metodología considera en facilitar los cálculos dividiendo el frente de operación en cinco secciones diferentes, por lo que estima la malla de perforación para cada una de las secciones del frente en su conjunto, el avance lineal por disparo está restringido por el diámetro de taladro de alivio y las desviaciones de los taladros, estipulándose alcanzar, un avance lineal por disparo de 95% de la longitud del taladro perforado, la metodología considera indispensablemente las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, propiedades físico química de las mezclas explosivas y dimensiones de los accesorios de perforación. Para continuar con la construcción de los frentes, se tiene que usar taladros de diámetros cada vez mayores y el uso de mezclas explosivas en mayor cantidad. Las observaciones y cálculos efectuados solamente tienen sentido comprobando que la perforación de los taladros sea correcta en su distribución, longitud,

diámetro, dirección, sean cargados con el explosivo necesario, de esta forma se asegura que en la detonación de cada taladro se cumpla con el avance planificado.

Figura 12.

Método de Roger Holmberg



Fuente: Manual de P & V-Lopez Jimeno

Dónde:

- A. : sección de corte (cut). ARRANQUE 52
- B. : sección de tajeo (stopping). AYUDA DE LOS HASTIALES
- C. : sección de alza (stopping). AYUDA LA CORONA
- D. : sección de contorno (contour). HASTIALES Y CORONA
- E. : sección de arrastre (lifters). ARRASTRE

2.3 Definición de términos

2.3.1 Cámara Gryzzly

Es una cámara de ingreso, de sección 10m×6.15m×18.20m con pendiente positivo de 2% al hechadero de mineral donde en ella se va realizar un ORE PASS que va desde el NV 1170 al NV 1210 y desde este nivel será extraído el mineral en el skip hasta el Nv 720 para así trasladar el mineral en locomotoras hasta superficie.

2.3.2 Malla de Perforación:

Es el patrón o disposición de los taladros que se perforan en una mina para la voladura. La malla de perforación incluye la ubicación, espaciamiento y el ángulo de los taladros.

2.3.3 Voladura:

La voladura o también conocida en algunos lugares de Sudamérica como tronadura o barrenos en Europa, es una operación donde se utilizan los explosivos para la trituración o fragmentar el macizo rocoso, piedra natural, terrenos duros u materiales sólidos, incluido el concreto, utilizando materiales explosivos. La voladura puede ser superficial y subterráneas.

2.3.4 Modelo Matemático de Holmberg:

Es un conjunto de fórmulas y algoritmos desarrollados por Roger Holmberg que se utilizan para diseñar mallas de perforación y voladura optimizadas.

2.3.5 VPP.- La Velocidad Pico de Partícula (VPP)

Es una medida clave para cuantificar las vibraciones generadas por explosiones, especialmente en voladuras de rocas. Se refiere a la velocidad máxima que alcanzan las partículas del terreno durante la propagación de las ondas sísmicas generadas por la explosión. La VPP se utiliza para evaluar el impacto de estas vibraciones en estructuras cercanas y para garantizar la seguridad de las operaciones mineras.

2.3.6 USBM

La USBM RI8507 no es realmente una norma, es un reporte de investigación del departamento de minas de EEUU (USBM – U.S. Bureau of Mines) de los efectos de las vibraciones producidas por la mina de carbón Ayrshire en Evansville –Indiana– sobre viviendas cercanas (Siskind et al., 1993)

2.3.7 OSMRE

Oficina de Recuperación y Cumplimiento de la Minería a Cielo Abierto (Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, en inglés), es una agencia federal de los Estados Unidos encargada de regular y supervisar la minería a cielo abierto. Su objetivo principal es asegurar que la minería se realice de manera segura y ambientalmente responsable, así como la recuperación de tierras afectadas por la minería.

2.3.8 SUBTEK.- (SUBTEK CHARGE)

La emulsión explosiva a granel SUBTEK Charge es un explosivo bombeable sensible a un iniciador, que tiene la apariencia de un fluido opaco, con viscosidad similar a la grasa

liviana o aceite pesado. Tiene excelente resistencia al agua como característica propia de estructura de emulsión.

2.3.9 RQD

El Índice de calidad de la roca o RQD, nos permite identificar el grado de unión de la masa rocosa. Se calcula hallando la sumatoria de trozos de roca intacta de más de 10 cm de longitud divididos por la longitud total del tramo perforado.

2.3.10 ANFO, o AN/FO,

Es un explosivo industrial a granel comúnmente utilizado en minería y construcción. Sus siglas significan "Amonium Nitrate Fuel Oil" (Nitrato de Amonio/Fuel Oil). En el Perú, ANFO es una mezcla de nitrato de amonio poroso y combustible, generalmente petróleo diésel, y se utiliza ampliamente en voladuras en minería a cielo abierto y subterránea, así como en obras civiles.

CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Ubicación

La mina de Yauricocha se localiza en Alis, Yauyos, Lima, a unos 12 km al oeste de la Divisoria Continental. Está en la zona alta de la cordillera Occidental de los Andes, cerca de la línea Divisoria Continental y en las fuentes de un afluente del río Cañete, que desemboca en el Océano Pacífico. Sus coordenadas geográficas son:

- Latitud Sur: 12.3105
- Longitud Oeste: 75.7219
- Tiene una altitud media de 4,600 m.s.n.m.

Figura 13.
Ubicación de la mina



Figura 14.
Panorama de la Mina Yauricocha



3.1.2 Accesibilidad

Las principales vías de acceso a la mina Yauricocha incluyen la carretera central Lima - Huancayo - Yauricocha, que tiene una longitud de 420 km y está completamente pavimentada desde Lima hasta Huancayo y Chupaca, a partir de donde la carretera se convierte en tierra hasta llegar a la Mina Yauricocha. Otra opción es la panamericana Sur Lima - Cañete - Yauricocha, que atraviesa el valle del río Cañete y tiene una extensión de 370 km. También se puede llegar por la carretera asfaltada de Ayacucho, Huanta, Huancayo, que sigue el cauce del río Mantaro y cubre 261 km, seguido de un tramo de 103 km desde Huancayo hasta la Unidad de Acumulación Yauricocha.

Tabla 3.
Accesibilidad

	Vías de acceso	Distancia
Ruta 1	Lima – La Oroya – Pachacayo - Yauricocha	330 Km
Ruta 2	Lima – La Oroya – Huancayo - Yauricocha	421 Km
Ruta 3	Lima - Cañete – Yauricocha	369 Km
Ruta 4	Huancayo – Chaucha - Yauricocha	144 Km
Ruta 5	Ayacucho – Huanta – Huancayo - Yauricocha	364 Km

3.1.3 Clima y Vegetación

El clima en esta zona es muy frío, con dos estaciones claramente diferenciadas. La estación húmeda va desde noviembre hasta abril, con principalmente lluvias sólidas como nieve y granizo.

En cambio, la estación seca se extiende de mayo a octubre.

Durante la estación húmeda, las precipitaciones sólidas ayudan a alimentar los glaciares, que luego se derriten para formar arroyos que fluyen por las laderas y alimentan las lagunas.

3.1.4 Geología

3.1.4.1 Geología Estructural

La erosión pliocénica es claramente evidente en el campo abierto ondulado al noreste de la divisoria continental, mientras que, al suroeste, a pesar de los profundos valles y cañones, se pueden observar reliquias de la erosión superficial, marcadas por una elevación promedio de 5000 metros sobre el nivel del mar.

En esa misma dirección, los valles altos del levantamiento "Chacra" de D. Mc Laughlin están bien definidos.

Hacia abajo desde los 3,400 metros sobre el nivel del mar, el "Cañón" o último gran período de elevación presenta gargantas profundas con una profundidad de miles de metros.

Los valles por encima de los 4,000 metros muestran los efectos de la glaciación pleistocénica, con morrenas laterales y terminales, valles en forma de "U", valles colgantes y lagunas excavadas por glaciares que están muy desarrollados en la zona. (Quispe, 2018)

3.1.4.2 Geología Regional

En Yauricocha, se encuentran las areniscas Goyllarisquizga del cretácico inferior, las cuales también se pueden observar en otras zonas como La Oroya, Morococha, Tarma, Chaucha, y Pachacayo.

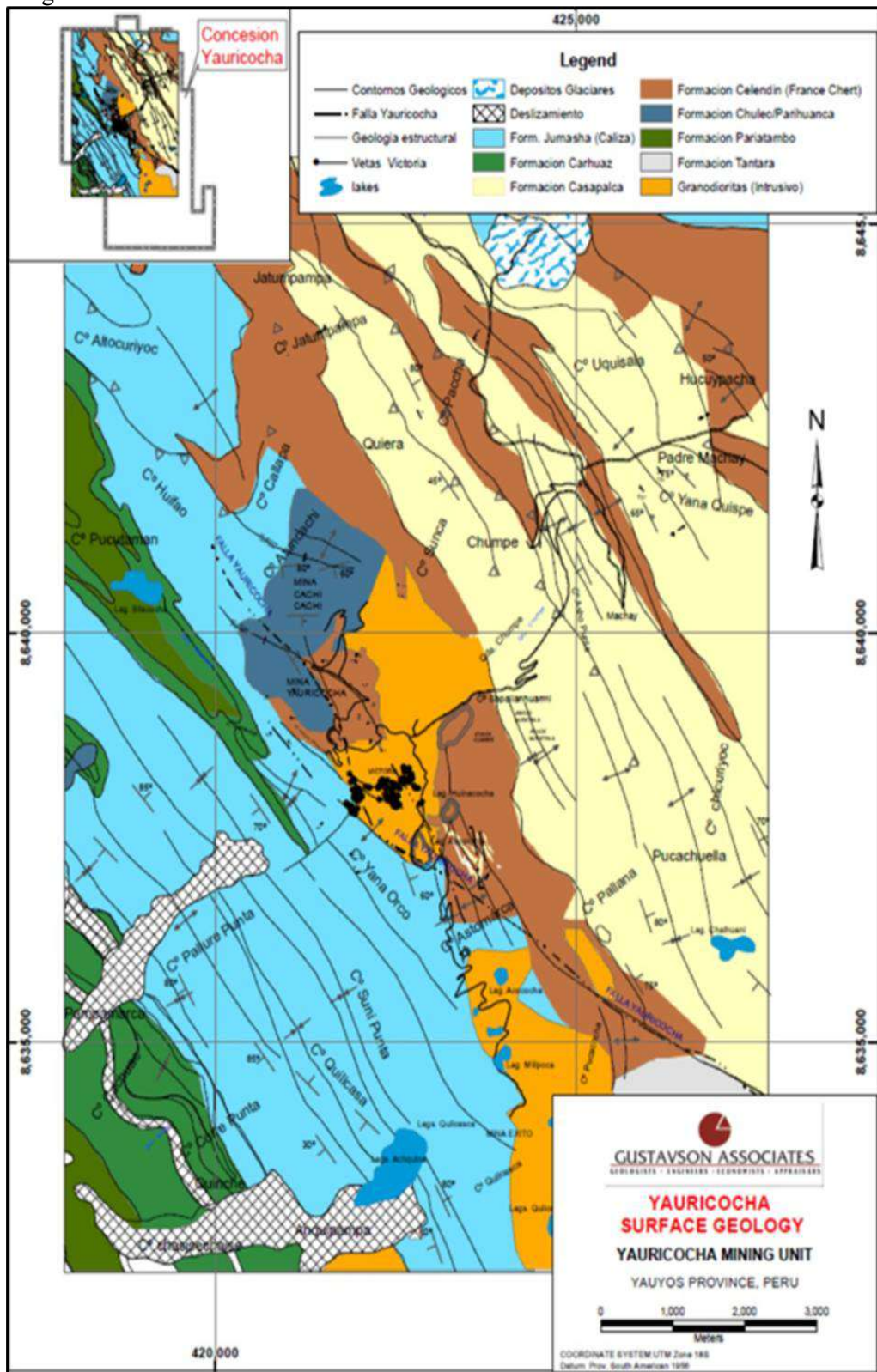
Estas capas tienen un espesor de aproximadamente 300 metros y están compuestas por areniscas gruesas de color blanco a plomizo, a veces bandeadas con lutitas carbonáceas, vetas de carbón de baja calidad y arcilla.

Además, presentan inserciones de caliza de buena calidad en sus extremos superior e inferior. Por encima de estas están las calizas Mchay del cretácico medio, con un espesor

de alrededor de 700 metros, que presentan intercalaciones de lutitas carbonáceas cerca del contacto con las areniscas inferiores.

Las capas rojas Casapalca del cretácico superior y terciario inferior, con un espesor aproximado de 2,000 metros, están compuestas principalmente por lutitas, lodolitas y areniscas de tonos rojizos, intercaladas con conglomerados y capas de caliza gris blanca o amarillenta.

Figura 15.
Geología regional



Fuente: Área de Geología Yauricocha

3.1.4.3 Geología Local

Unidad estratigráfica

Mesozoico es el período geológico en el que se formaron las rocas de la Unidad de Acumulación Yauricocha, específicamente la Formación Jumasha, compuesta principalmente por calizas y dolomías con un espesor de 400m.

Esta formación es subyacente a la Formación Celendín, la cual se compone de arena, areniscas, lutitas rojas y yeso.

La Formación Casapalca, ubicada en la quebrada Chumpe, está formada por calizas grises y areniscas marrones, con suelos eluviales en el margen derecho.

Los depósitos cuaternarios incluyen los depósitos eluviales, fluvio glaciales y tecnogénicos, que cubren la quebrada de Chumpe y proceden de las formaciones Celendín y Casapalca, con presencia de limo arcilloso y gravas. Los depósitos tecnogénicos son producto de la actividad minera, con presencia de gravas limosas y arcillosas en el botadero de Chumpe.

Roca intrusiva

Principalmente, las rocas en la zona están formadas principalmente por minerales debido a la interacción con las rocas sedimentarias. Se encuentran en las bocaminas principales y están compuestas de granodiorita y cuarzo-monzonita.

Estructuras locales

Falla Yauricocha

La estructura más importante en el Distrito Minero Yauricocha es la Falla Yauricocha, que se extiende por 10.0 km en dirección Noroeste-Suroeste y se encuentra en altitudes de 4600 a 5000 m.s.n.m.

En los cerros Pucacocha, Uchcapri, Leonpitacana y Carhuanisho, se encuentran diferentes tipos de rocas como calizas, lutitas silicificadas, areniscas calcáreas silicificadas, y derrames andesíticos a riódacíticos.

Además, en el sector suroeste de estos cerros se encuentra un intrusivo granodiorítico llamado Stock Éxito.

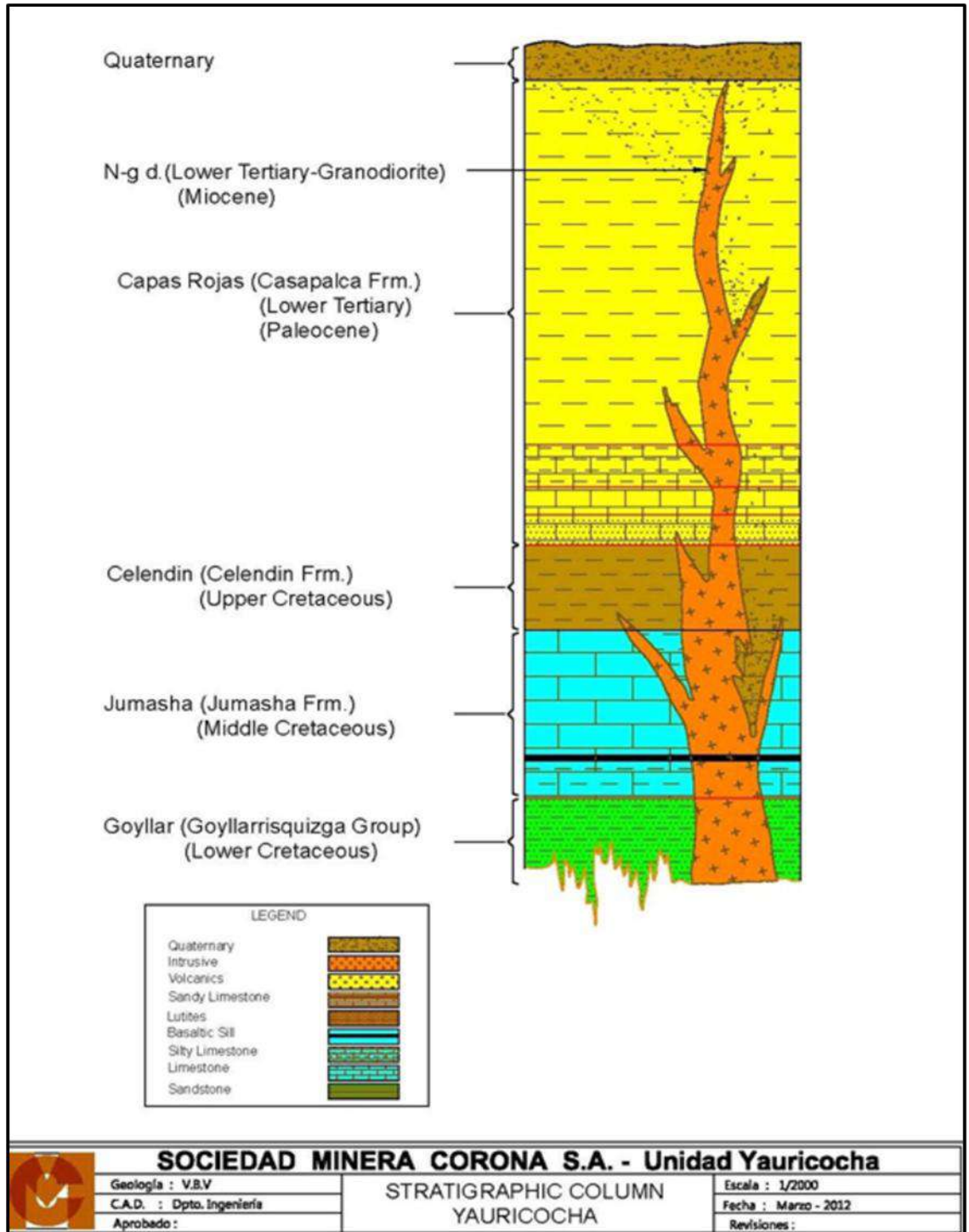
Esta zona está asociada a la falla regional Yauricocha, que forma parte del sistema de Fallas Chonta.

En estos cerros también se observa una anomalía de color causada por minerales de alteración y oxidación asociados a la Falla Yauricocha.

Las Formaciones Jumasha y Casapalca, junto con la Falla Yauricocha, son estructuras favorables para albergar depósitos minerales en la zona, siendo la Formación Jumasha

conocida por depósitos como Antamina, Yauricocha, San Valentín, Raura, Uchucchacua y Los Heraldos Negros, la Formación Casapalca por depósitos como Huarón y Casapalca, y la Falla Yauricocha por los depósitos de Yauricocha. (Valencia, 2020)

Figura 16.
Geología local



Fuente: Área de Geología Yauricocha

3.1.5 Tipo de mineralización

- La mineralización en la Unidad de Acumulación Yauricocha está compuesta principalmente por minerales como pirita, cuarzo, enargita, calcopirita, bornita y covelita en el centro de los cuerpos minerales, mientras que en la periferia se encuentran masas sueltas de pirita, galena y esfalerita en una ganga de caliza, arcilla y cuarzo. También se ha encontrado presencia de oro nativo asociado a estos sulfuros.
- En cuanto a la mineralización de mena, se han identificado diferentes tipos de minerales como pirita, marcasita, enargita, calcopirita, bornita, covelita, tetrahedrita, tenantita, galena, esfalerita y geocronita, con características y asociaciones particulares en los cuerpos minerales.
- Por otro lado, los minerales de ganga presentes en la Unidad de Acumulación Yauricocha incluyen cuarzo, especularita, siderita, calcita, fluorita, baritina y magnetita, cada uno con su propia distribución y asociación dentro de los cuerpos minerales diamantinas, la magnetita se encuentra asociada con pirita y calcopirita”. (Quispe, 2018).

3.2 Metodología de Investigación

3.2.1 Tipo de investigación.

La presente investigación corresponde a un tipo de investigación aplicada, debido a que permite solucionar el problema de controlar las vibraciones y sobre rotura en las labores de avance como menciona Murillo (2008), este tipo de investigación se enfoca en resolver problemas concretos en la práctica, utilizando los conocimientos y métodos de la ciencia

3.2.2 Nivel de investigación.

Por la profundidad de la investigación se desarrolla de acuerdo a una investigación explicativa, puesto que se determinará como la aplicación de un nuevo diagrama mejorará la estabilidad del macizo rocoso y controlara las vibraciones a fin de no afectar a las infraestructuras laterales de la labor, como menciona Hernández (2006), define la investigación se centra en identificar las causas que subyacen a un fenómeno y proporciona datos claros y coherentes sobre cómo y por qué ocurren ciertos resultados

3.2.3 Diseño de investigación.

Este trabajo tiene el diseño de investigación como pre experimental.

Esquema del diseño Pre experimental

GE O1 - X - O2

GE = Grupo Experimental, disparos cámara Grizzlys #01

O1= Observación de la variable dependiente, Control y estabilidad

X = Variable independiente - Diagrama de perforación Smooth Blasting.

3.2.4 Población y muestra.

3.2.4.1 Población

Como población se consideró a todas las labores que se desarrollan en la mina subterránea de la Unidad de Producción Yauricocha a cargo de la empresa especializada Pegama Ingenieros, como indica Arias et al. (2016) la población que considera para el estudio está conformada por un conjunto o la totalidad de los elementos que tienen las mismas características y sobre el que estamos interesados en investigar y que a partir de ello saldrá la muestra.

3.2.4.2 Muestra

La muestra seleccionada está conformada por los disparos de la cámara Grizzlys #01 en la Unidad de minera Yauricocha. Según Otzen y Manterola (2017) considera que la muestra es el subconjunto o una parte de la población la cual se selecciona con el propósito para tener información específica que será sujeto del estudio de la investigación

3.2.5 Criterios de inclusión y exclusión.

Los criterios de exclusión son aquellos disparos del mes de julio y octubre del 2024

3.2.6 Técnicas e instrumentos para la recolección, procesamiento y análisis de datos.

- a) Observación directa: Se empleo la observación sistemática para recopilar datos cuantitativos relacionados con las vibraciones, avances, medición de secciones de la cámara Grizzlys #01
- b) Revisión de documentos: Se utilizó esta técnica para obtener información de fuentes existentes, incluyendo reportes técnicos, planos y otros documentos relevantes que proporcionen evidencia física sobre la zona de estudio.
- c) Análisis descriptivo.
- d) Trabajo de campo.
- e) Trabajo de gabinete.

3.2.7 Instrumentos de investigación

- a. Software de Análisis y Simulación: Programas JkSimblast, Rocscience, vibraciones o mallas de perforación y análisis estadístico SPSS, permitiendo un análisis detallado de los resultados.

- b. Registro de Datos y Cuaderno de Campo: Para documentar las observaciones directas y cualquier incidencia durante la recolección de datos en campo.
- c. Algoritmo de Roger Holmberg: Utilizado en la minería para predecir y controlar las vibraciones generadas por voladuras.

CAPITULO IV RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Aplicación de modelos matemáticos

4.1.1.1 Parámetros de perforación antes del estudio

El departamento de perforación y voladura de la minas Yauricocha proporciona el diseño de malla de perforación y voladura controlada tipo precorte, para el tipo de roca IIIB, es único sin tomar en cuenta los parámetros específicos del macizo rocoso (como RMR 41 o 50) lo cual los taladros de precorte se ajustan a la malla de voladura convencional, este diseño es aplicable y utilizable de manera empírica a los operadores de jumbo, debido a que en la unidad de acumulación no cuenta con una malla de perforación y voladura precorte.

Datos del diseño de malla de perforación y voladura:

- Tipo de roca: Monzonogranito (2.7ton/m³)
- RMR: 41-50
- Equipo de perforación: Jumbo de un brazo
- Tipo de corte: Corte cilíndrico
- Longitud de la barra: 12pies, eficiencia de perforación 90%
- Eficiencia del Disparo: 95%.
- Diámetro de la broca: 45mm, 102mm (broca de taladro de producción y recorte, broca rimadora)
- Taladros perforados: 68 tal
- Taladros cagados: 49 tal

Figura 17.
Diseño de malla de perforación de sección 4.0*4.0 m

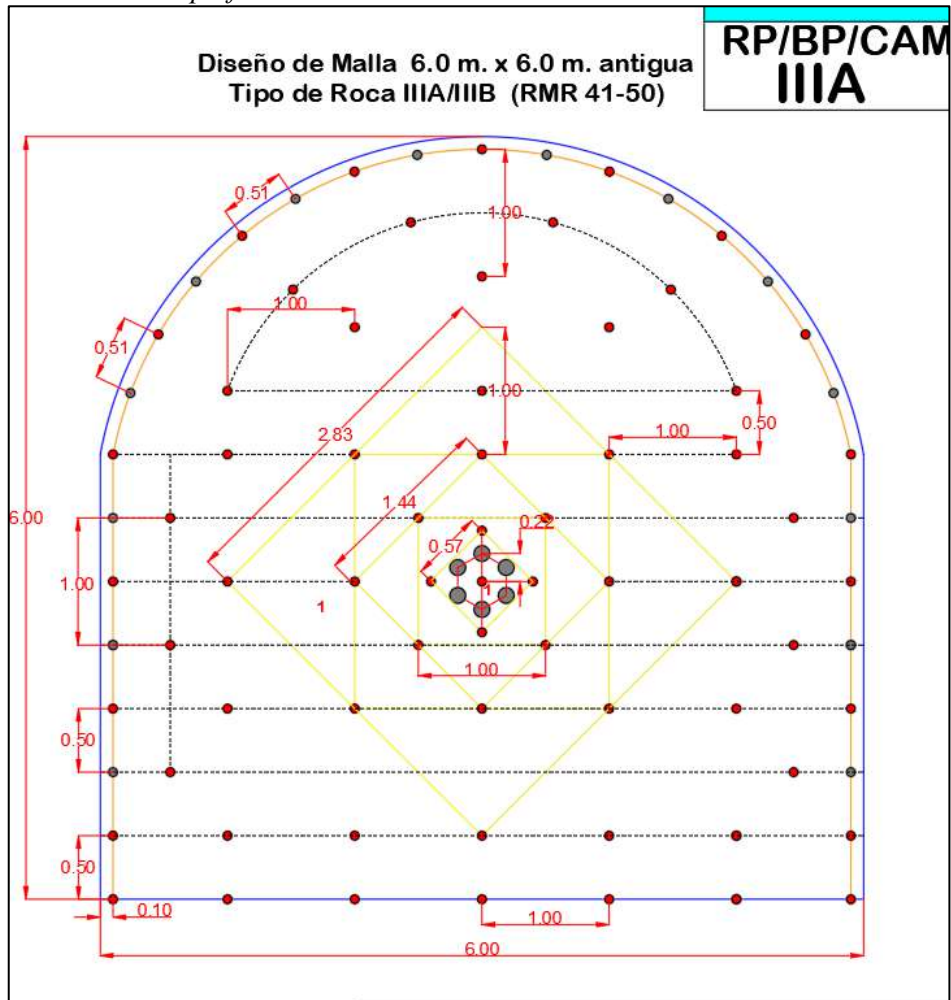


Figura 18.
Sistema de arranque del frente Hexagonal





4.1.1.2 Parámetros de voladura después del Estudio

Uno de los factores primordiales en el diseño es el arranque que te permite tener mayor apertura en el primer cuadrante, razón por el cual el análisis de la malla realizado en gabinete se llevó a la práctica, reduciendo a través de pruebas realizadas en campo

De acuerdo a los parámetros de perforación real, tipo de roca y el tipo de explosivo a utilizar se diseñó la malla de perforación estándar para el tipo de roca IIIB , (RMR 40 – 51), realizando ajustes para mantener la simetría y correcta distribución de los taladros en el frente.

Es necesario e importante el pintado correcto de la malla de perforación y voladura para mantener la simetría de los parámetros establecidos, para lo cual se estableció el pintado de malla para sección de 6.0mx6.0m. El RMR = 40-51

4.1.1.3 Cálculo del arranque

Datos generales

Datos de Campo		
Labor Minera	Cámara Grizzlys #01	
Nivel	420	
Tipo de Equipo	Jumbo	
Sección de la Labor	0.6 m x 0.6 m	
Ancho	6 m	
Alto	6 m	
Altura de Bóveda	1,8 m	
Diámetro de Producción	45 mm	
Diámetro de Taladros de Alivio	102 mm	
Longitud de Taladro	12 pies	
N.º de Taladros Vacíos	4	Und
Tipo de Corte	Cilindro modificado	
Tipo de Roca	Monzonogranito	
Densidad de Roca	2,7 tn/m³	
RQD	49 %	
RMR	45	
GSI	43	
Datos de Voladura		
Tipo de Voladura	Convencional	
Tipo de Explosivo	Emulnor 1000 1" x 12"	
Tipo de Explosivo Cebo	Emulnor 3000 1" x 12"	
Tipo de Fulminante	Fanel N°12	
PRP - RWS	87 %	
Densidad del Explosivo	1,13 gr/cm³	
Constante Usar para Corregir Perforación		
Desviación de Angular de Perforación	0,01 mm/m	
Desviación por Empate o Emboquillado	0,02 mm/m	
Constante de Roca	C	
Angulo de los Taladros de Contorno y Piso	3 °	
Eficiencia de perforacion	0,95 %	

- a. Diámetro equivalente: con la siguiente ecuación (17) se calcula, donde se emplean rimadoras de 102 mm, cuatro taladros de alivio y se aprecia en la imagen 19.

$$\begin{aligned}\varnothing_e &= \varnothing_1 * \sqrt{N} \\ \varnothing_e &= 102\sqrt{4} \\ \varnothing_e &= 204mm = 0.204m\end{aligned}$$

Diámetro de Producción \varnothing	0,045
Diámetro de Taladros de Alivio \varnothing	0,1020
N.º de Taladros Vacíos	4

- b. Longitud de barreno, según diámetro equivalente: Para la simulación de la longitud de barreno se utiliza la siguiente ecuación (18), donde el diámetro equivalente es 204 mm

$$\begin{aligned}H &= 0.15 + 34.1\varnothing_e - 39.4\varnothing_e^2 \\ H &= 0.15 + 34.1 * 0.204 - 39.4 * 0.204^2 \\ H &= 5.47 \text{ m}\end{aligned}$$

Pero en el avance por disparo es dependiendo de longitud de la barra, para esta investigación se utilizará barras de 12 pies por lo cual la longitud de perforación es de 11 pies que equivale a 3.35 m el avance de disparo es de 95%.

$$H = 3.35$$

m

- c. Profundidad de avance (L): el avance de disparo es de 95% de longitud de barra se calcula con la ecuación (19).

$$L = 0.95H$$

$$L = 0.95 * 3.35$$

$$L = 3.19m$$

- d. Error de perforación (Ψ). Cuando es mayor el error o desviación, menor será la eficacia del disparo, está representado en la ecuación (20), donde desviación angular α es 0.01 m, y error de emboquille es 0.02 m y L es 3.19 m.

$$\Psi = (\alpha * L) + e$$

$$\Psi = (0.01 * 3.2) + 0.02$$

$$\Psi = 0.052 \text{ m}$$

4.1.1.4 Cálculos para el diseño de cuele

Burden equivalente máximo: se determina con el principio de longitud de arco en la ecuación (21).

$$B_{e \max} = 1.5\emptyset_e$$

$$B_{e \max} = 1.5 * 0.204$$

$$B_{e \max} = 0.306$$

Burden práctico (B_{P1}): Calculamos el burden practico con la ecuación (27)

$$B_P = B_{e \max} - \Psi$$

$$B_P = 0.306 - 0.052$$

$$B_{P1} = 0.25m$$

Figura 19.
Diseño de arranque

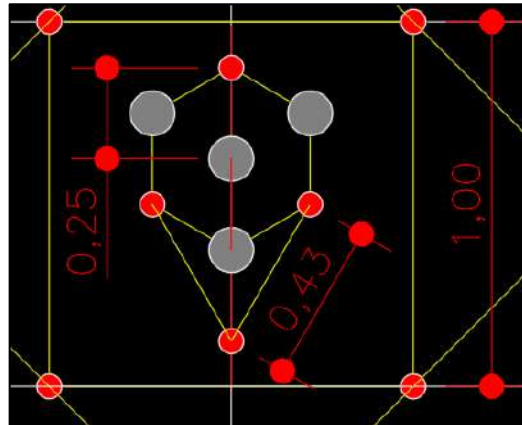


Figura 20.
 Diseño de malla de perforación y voladura propuesta y desarrollada en campo

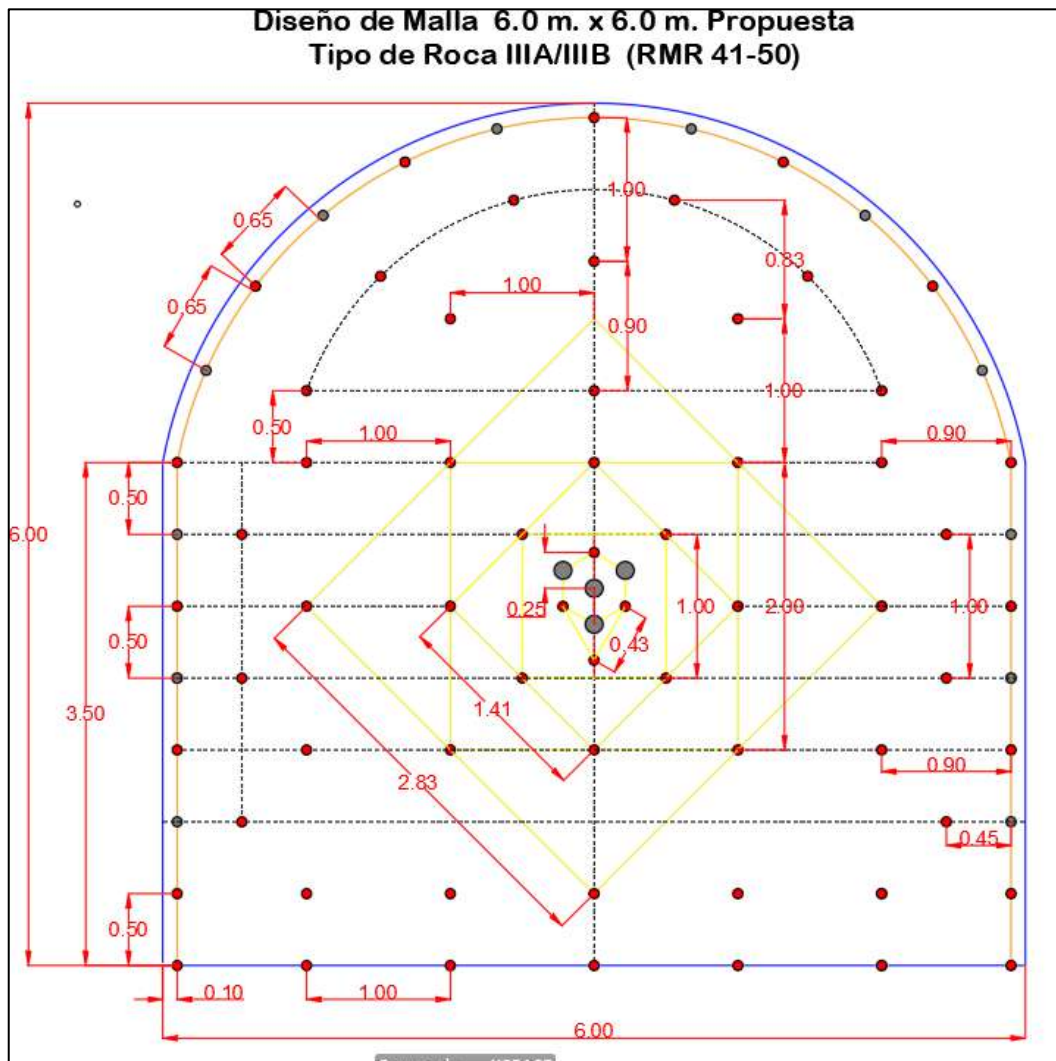


Figura 21.
Malla de perforación con arranque hexagonal



4.1.2 Monitoreo y análisis de vibraciones

4.1.2.1 Instrumentación

Durante las mediciones se realizaron monitoreos de vibraciones y registros en voladura de frentes en la CAM Grisly del Nv 1170 en la Zona cercana al pique Yauricocha, con equipo de monitoreo sismográfico Minimate Pro 6.

Figura 22.
Equipo sismográfico INSTANTEL MINIMATE PRO 6



Figura 23.
Equipo sismográfico INSTANTEL MINIMATE PRO 6 en el pique Yauricocha



Figura 24.
Equipo sismográfico INSTANTEL MINIMATE PRO 6 en el pique Yauricocha



4.1.2.2 Monitoreo en la Cámara Grizzly # 01 y 02

Para poder desarrollar el monitoreo de las vibraciones se realizó de la siguiente manera

- a) La distancia y punto de ubicación del sismógrafo fue de 23.60 metros, desde el punto de voladura para la Cámara Grizzly # 01 realizado el 31 de agosto en el turno noche.
- b) La distancia y punto de ubicación del sismógrafo fue de 20.0 metros, desde el punto de voladura para la Cámara Grizzly # 01 realizado el 2 de setiembre en el turno día.
- c) La distancia y punto de ubicación del sismógrafo fue de 32.60 metros, desde el punto de voladura para la Cámara Grizzly # 02 el 3 de setiembre en el turno noche.

El análisis de vibraciones se ha realizado en el Cámara Grizzly # 01 del Nv 1170, se recolectaron datos de la voladura, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.

Vibraciones en la cámara Grizzly

Voladura	Fecha	Guardia	Labor	Nivel	Geofono	D-Distancia(m)	Q-Carga Operante(KG)	VPP Vector Suma mm/s
1	31-Ago	Noche	Camara Grizzly # 01	1170	Geo 1 (SE14074) Geo 1 (SE)	23.6	10.14	13.87
2	2-Set	Dia	Camara Grizzly # 01	1170	Geo 1 (SE14077) Geo 1 (SE)	20.0	4.87	9.96
3	3-Set	Noche	Camara Grizzly # 02	1170	Geo 2 (SE14077) Geo 2 (SE)	32.6	10.03	8.21

Nota. LA figura muestra la carga operante y la VPP de cada uno de las voladuras en el año 2024. Fuente: Área de Voladura de FAMESA (2024)

4.1.2.3 Síntesis del daño predictivo

Análisis de la VVP mínima y máxima

De acuerdo con el estudio realizado en la figura siguiente N^o 25 donde se visualiza que el VPP Mín. y Max para estructuras TIPO I es de 25 mm/s a 100mm/s, el nivel de vibración alcanzado en las voladuras, está por debajo de la VPP mínima, no causando alteraciones de la roca ni estructuras a una distancia de 20 metros.

Figura 25.
Síntesis del daño predictivo

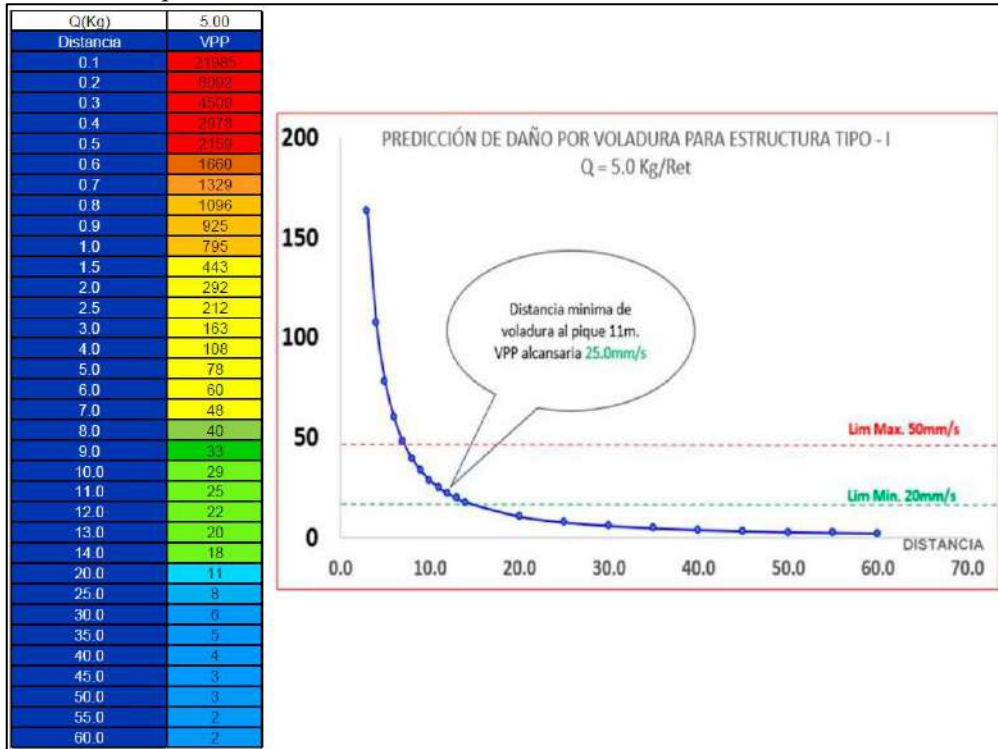
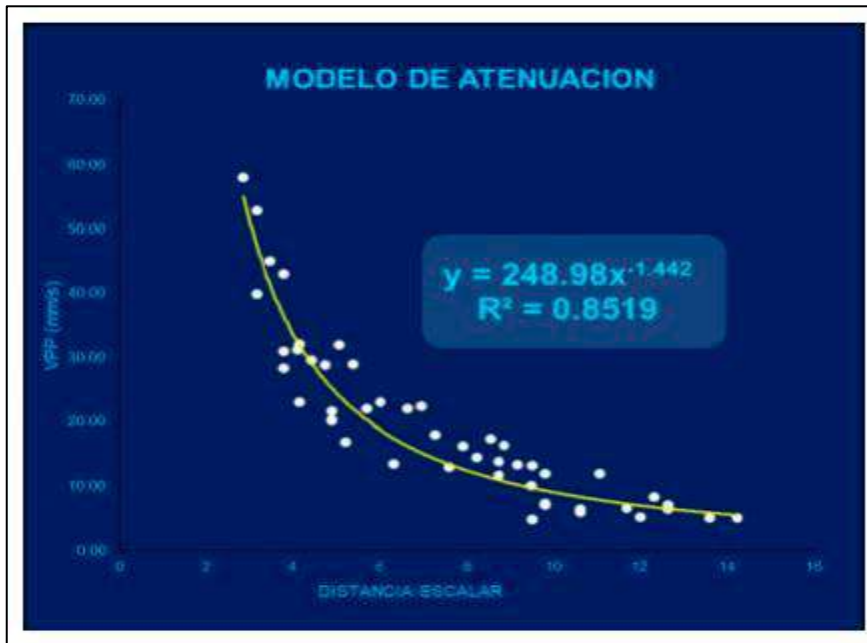


Figura 26.
Ley de atenuación del terreno

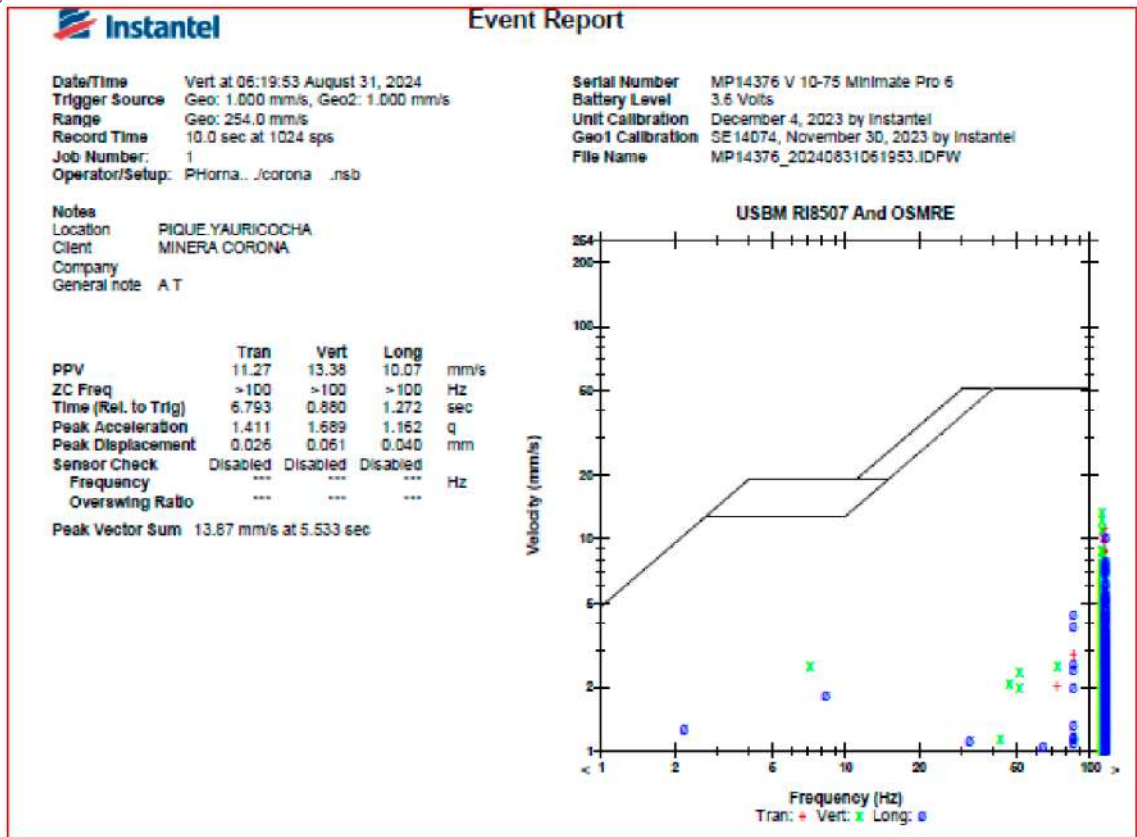


4.1.3 Monitoreo de vibración

- a) Registro de vibraciones del 31/08/2024 del turno noche en horarios de disparo de 6:00 am y en la zona CAM Grizzly # 01 usando como explosivo E-1000 1 1/8 x 12” y E-3000 de 1 1/4” x 12” con detonador no eléctrico de periodo corto (N° 1;5;9;12) y largo N° 1 al 16 con accesorio Pentacord 3p iniciado por Carmex de 7 pies.

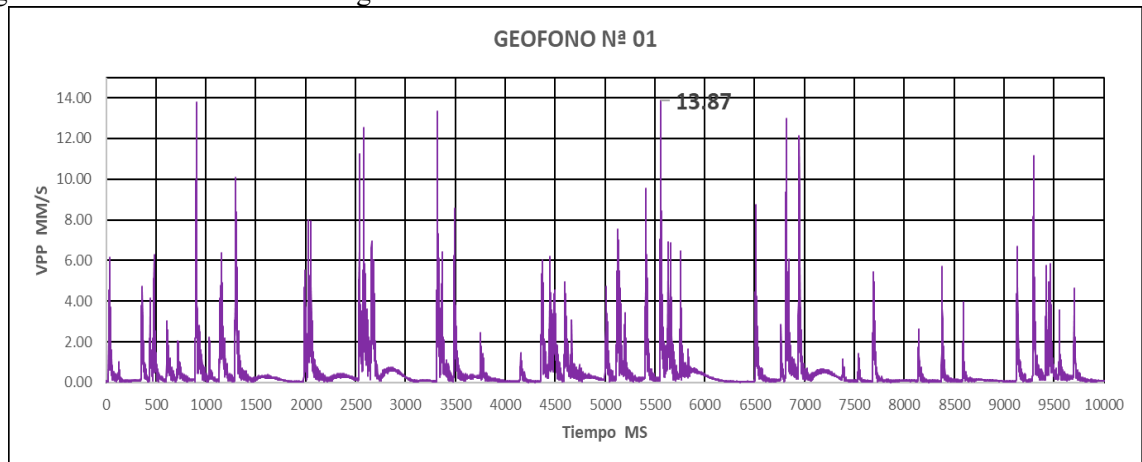
La voladura se realizó con 64 taladros cargados de 3.10 m de longitud promedio de perforación y 45 mm de diámetro con una sección de 6.0m x 6.0m, donde se utilizó 162.50 Kg. de explosivo, se observa que el mayor movimiento de partícula que registró la vibración máxima a los 5.53 segundos fue de una VPP de 13.87 mm/s (figura 28); el sismógrafo se instaló a 23.60 m de la voladura.

Figura 27.
Registro de monitoreo 06:19 am 31-08-2024



Fuente: Informe de Famesa

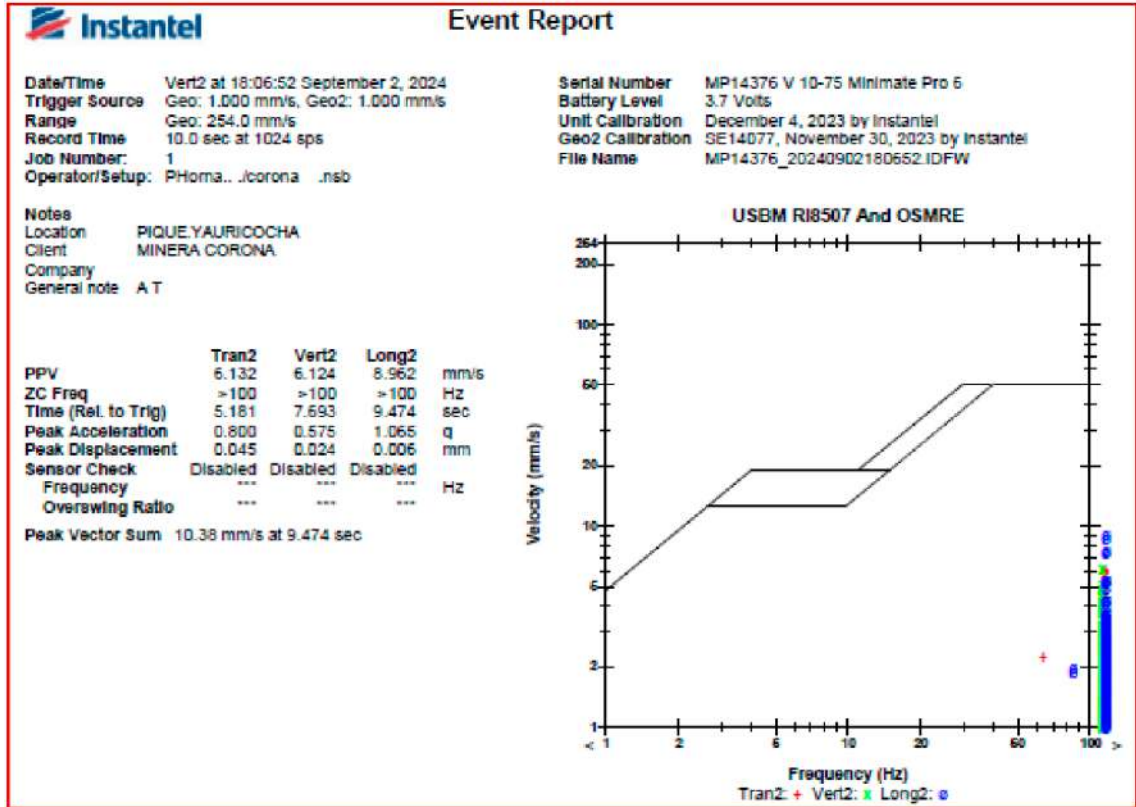
Figura 28.
Registro del monitoreo con sismógrafo Instantel



Nota. El vector suma máximo de 13.87 mm/s a los 5.53 segundos. Fuente: Informe de Famesa

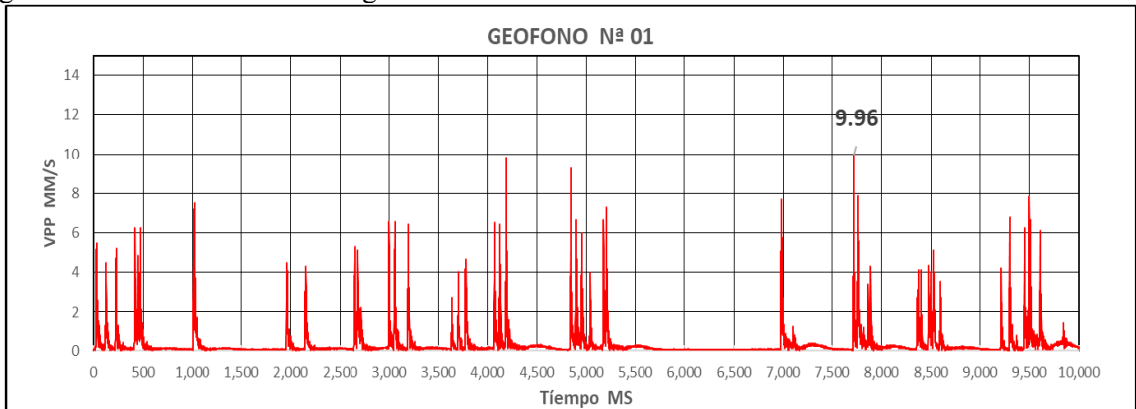
- b) El registro de vibraciones del 02/09/2024 del turno día en horarios de disparo de 6:00 pm en el frente de avance CAM Grizzly # 01 se utilizó como explosivo E-1000 1 1/8 x 12” y E-3000 de 1 1/4” x 12” con detonador no eléctrico de periodo corto (N° 1;5;9;12) y periodo largo del N° 1 al 16 con el cordón detonante Pentacord 3p. La voladura se realizó con 70 taladros cargados de 2.25 m de longitud promedio de perforación y 45 mm de diámetro con una sección de 6.0m x 6.0m, donde se utilizó 127.50 Kg. de explosivo, se observa que el mayor movimiento de partícula que registró la vibración máxima a los 5.53 segundos fue de una VPP de 9.96 mm/s (figura 22); el sismógrafo se instaló a 20.0 m de la voladura

Figura 29.
Registro de monitoreo 18:06 del 02-09-2024



Fuente: Informe de Famesa

Figura 30.
Registro del monitoreo con sismógrafo InstanTEL

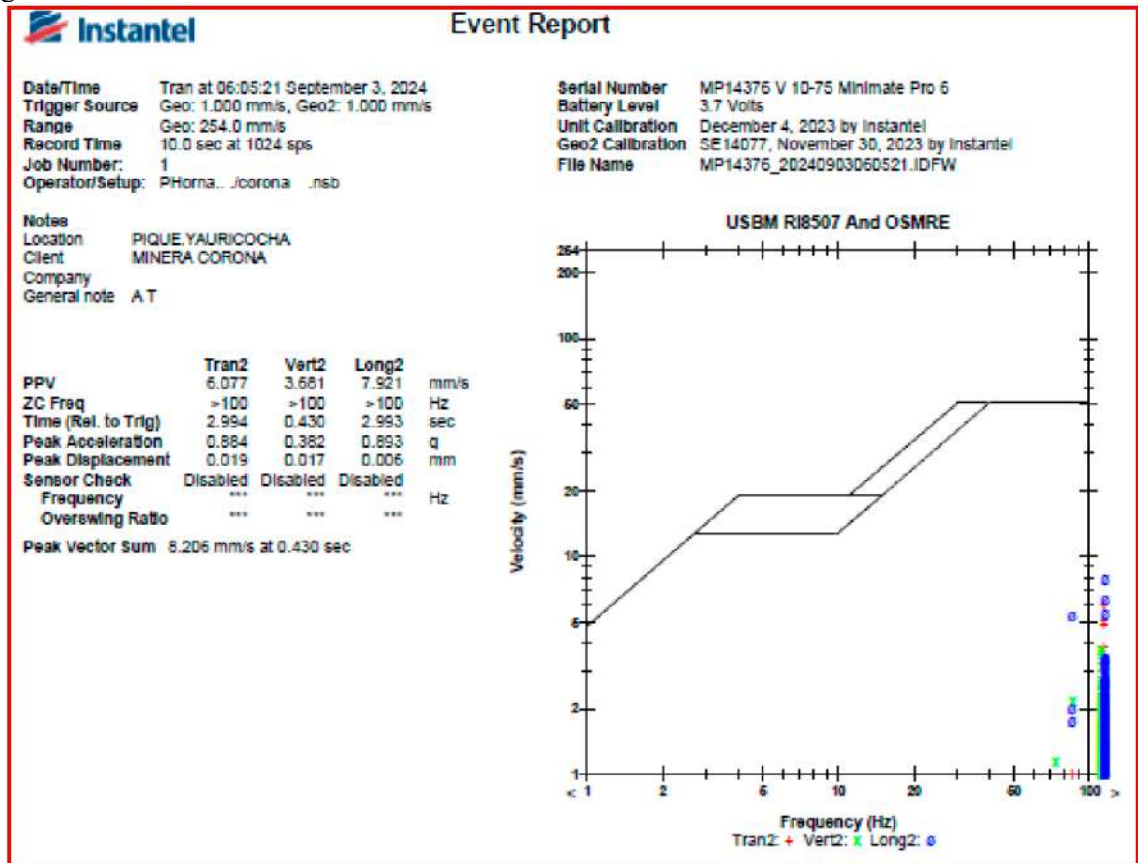


Nota. El vector suma máximo de 9.96 mm/s a los 7.69 segundos. Fuente: Informe de Famesa

- c) El registro de vibraciones del 03/09/2024 del turno noche en horarios de disparo de 6:00 am en el frente de avance CAM Grizzly # 01 se utilizó como explosivo E-1000 1 1/8 x 12" y E-3000 de 1 1/4" x 12" con detonador no eléctrico de periodo corto (N° 1;5;9;12); PL del N° 1 al 14 con el cordón detonante Pentacord 3p y carmex de 7 pies. La voladura

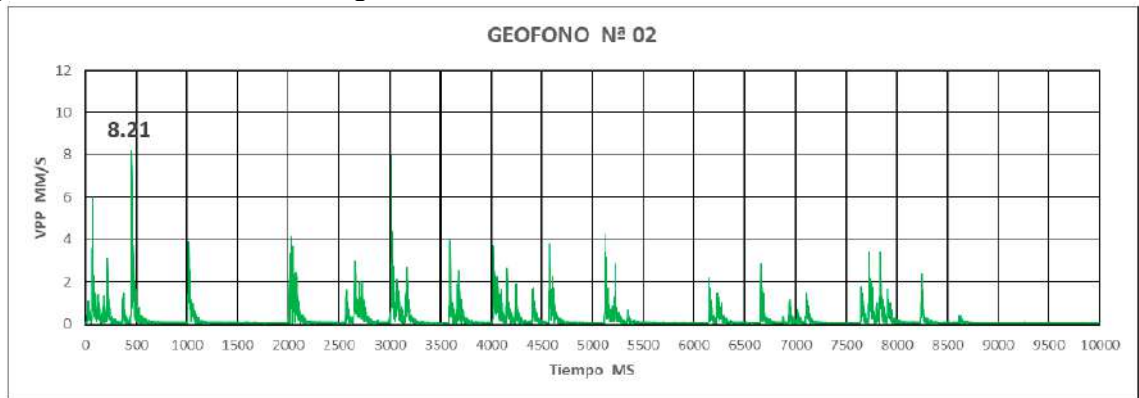
se realizó con 64 taladros cargados de 3.20 m de longitud promedio de perforación y 45 mm de diámetro con una sección de 6.0m x 6.0m, donde se utilizó 160.50 Kg. de explosivo, se observa que el mayor movimiento de partícula que registró la vibración máxima fue a los 0.43 segundos con una VPP de 8.21 mm/s(figura 24); el sismógrafo se encuentra en el pique Yauricocha a una distancia de 32.6 metros con respecto a la CAM Grizzly # 02.

Figura 31.
Registro de monitoreo 6:05 am del 03-09-2024



Fuente: Informe de Famesa

Figura 32.
Registro del monitoreo con sismógrafo Instantel



Nota. El vector suma máximo de 8.21 mm/s a los 0.43 segundos. Fuente: Informe de Famesa

4.1.4 Eficiencia relativa del explosivo

Para controlar las magnitudes de las vibraciones terrestres y áreas en un punto determinado es necesario mediante el control de la cantidad de carga de explosivo, la secuencia de salida y los retardos a utilizar, donde se analiza las dos zonas:

Zona 1: En el arranque es normal ver una alta concentración de carga explosiva y el uso de tiempos de retardo muy cortos entre sí, lo que produce el efecto sumatorio de las ondas. Por lo tanto, el nivel de vibraciones es mayor con respecto al total de la voladura.

Zona 2: En el resto de taladros la concentración de carga explosiva es menor y los tiempos de retardo mayores entre sí, lo que origina que no se produzca el efecto sumatorio de las ondas y por consiguiente el nivel de vibraciones es menor con respecto al resto de la voladura.

Figura 33.
Registro de monitoreo 06:19 am 31-08-2024

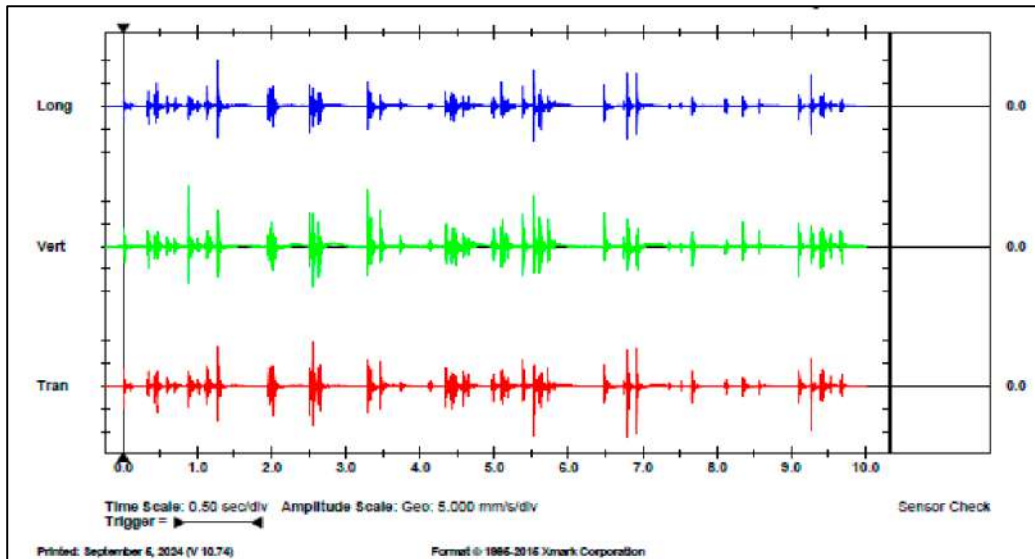


Figura 34.
Registro de monitoreo 18:06 del 02-09-2024

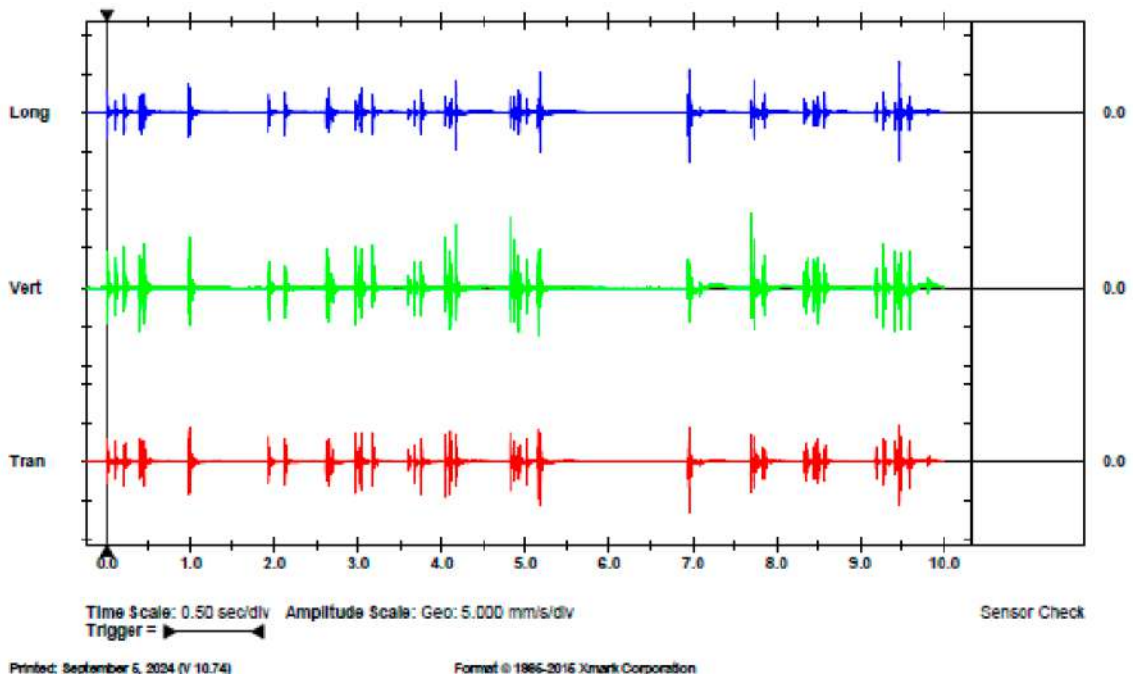
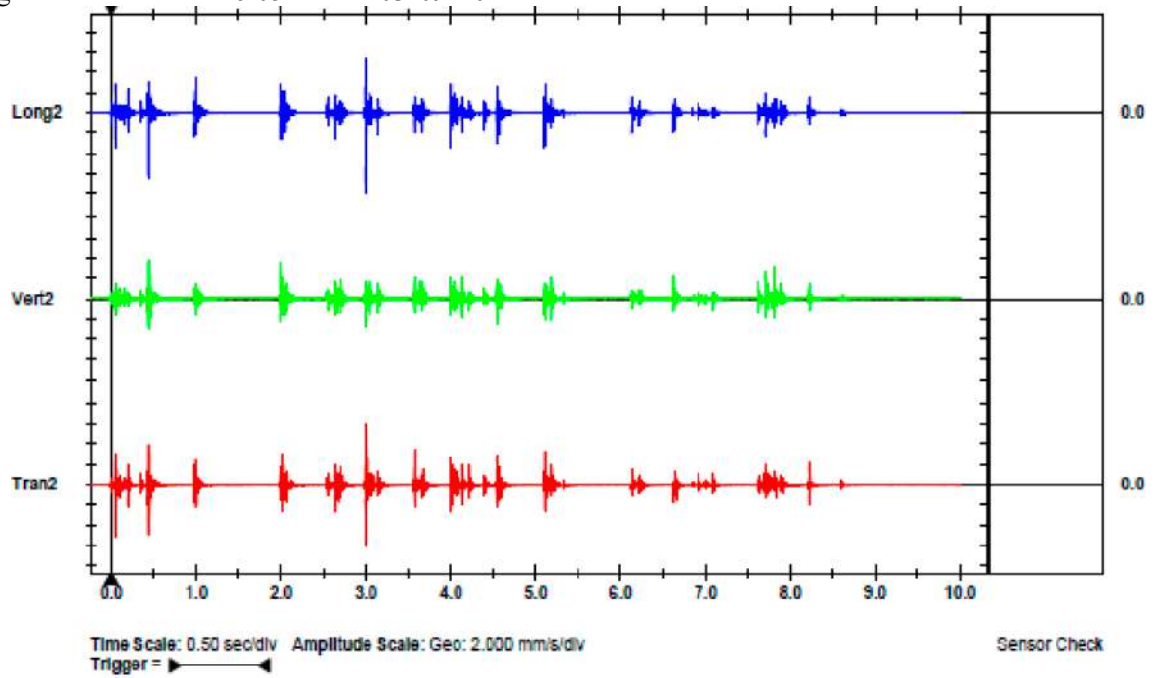


Figura 35.

Registro de monitoreo 6:05 am del 03-09-2024



4.1.5 Análisis de distribución de carga explosiva y Simulación con JKSimblast

Para realizar la simulación se realizó primeramente con el diseño antiguo, posteriormente con el diseño y distribución de carga posterior

4.1.5.1 Simulación con el diseño de carga anterior

El antiguo diseño de perforación voladura se tenía con 6 taladros vacíos de 102 mm de diámetro, con un promedio de 66 taladros cargados para lo cual se utilizó un promedio de 171.28 Kg , haciendo una densidad de carga de 3.37 kg/tal

Figura 36.
Distribución de carga

N°	Distribución de Taladros			Emulnor 1000	Emulnor 3000	Total	Densidad de carga
	Denominación	Cargados	Vacíos	1 1/8 x 12"	1 1/4 x 12"		
				N° Cart/Tal	N° Cart/Tal	kg	kg/tal
1	Arranque	5	6		9	32,85	4,55
2	1° ayuda	4			9	26,28	3,64
3	2° ayuda	4			8	9,92	2,84
4	3° ayuda	4			8	9,92	2,84
5	4° ayuda	2			7	4,20	1,42
6	Ayuda Corona	10			7	23,10	4,60
7	Ayuda Arrastre	5			7	11,55	2,30
8	Ayuda Hastiales	10			7	23,10	5,80
9	Hastiales	6	6		5	6,60	3,96
11	Corona	9	8	4	1	9,90	1,44
12	Arrastre	7			9	13,86	3,71
	Total	66	20	36	436	171,28	3,37

Figura 37.
Diagrama de malla de 6.0*6.0 y secuencia de salida

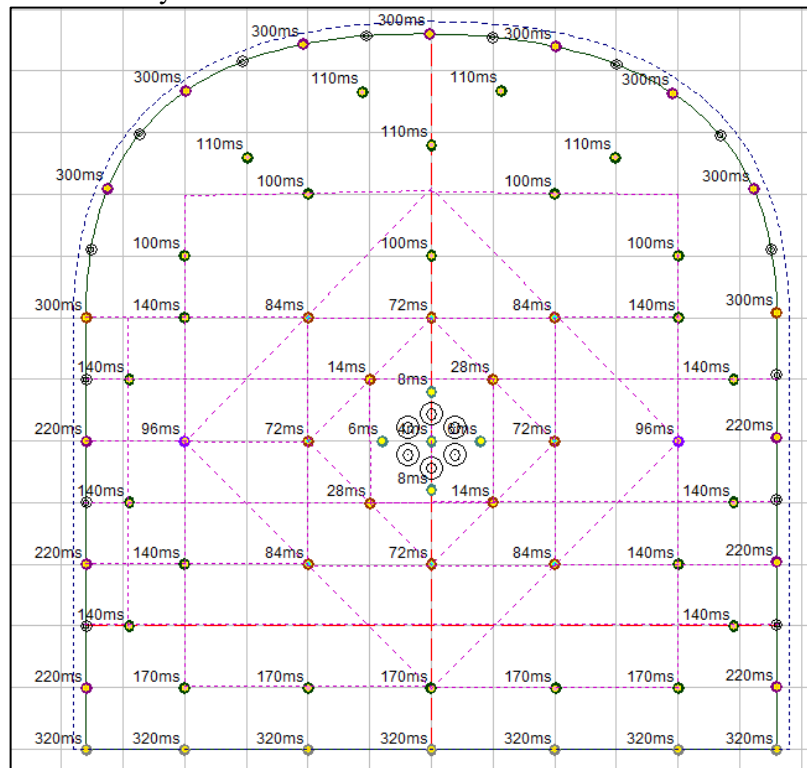


Figura 38.
Secuencia de salida

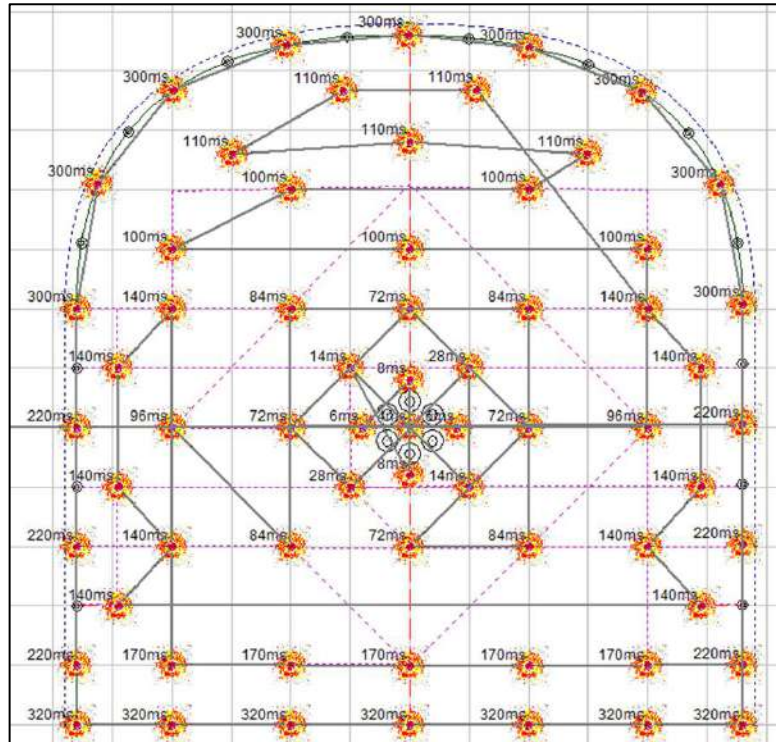
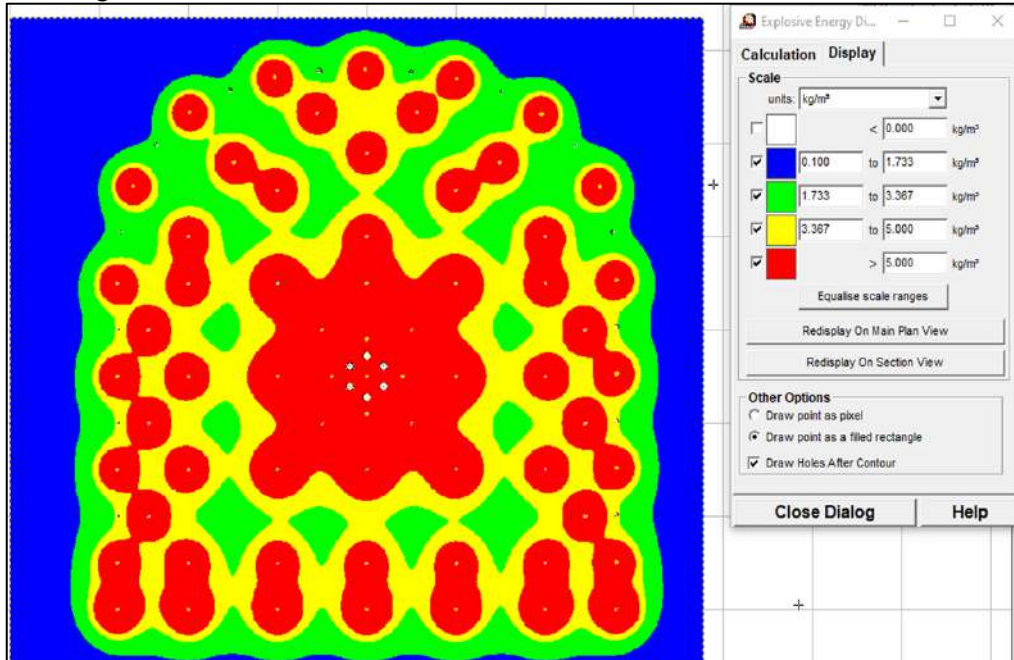


Figura 39.
Análisis de energía



4.1.5.2 Simulación con el nuevo diseño y distribución de carga

El nuevo diseño de perforación voladura se tiene con 6 taladros vacíos de 102 mm de diámetro, con un promedio de 63 taladros cargados para lo cual se utilizó un promedio de 162.51 Kg, haciendo una densidad de carga de 3.26 kg/tal

Figura 40.
Distribución de carga

N°	Distribución de Taladros		Emulnor 1000	Emulnor 3000	Total	Densidad de carga	
	Denominación	Cargados	Vacíos	1 1/8 x 12" N° Cart/Tal			1 1/4 x 12" N° Cart/Tal
1	Arranque	4	4		9	26,28	3,64
2	1° ayuda	4			9	26,28	3,64
3	2° ayuda	4			8	9,92	2,84
4	3° ayuda	4			8	9,92	2,84
5	4° ayuda	2			7	4,20	1,42
6	Ayuda Corona	10			7	23,10	4,60
7	Ayuda Arrastre	5			7	11,55	2,30
8	Ayuda Hastiales	10			7	23,10	5,80
9	Hastiales	6	6		5	6,60	3,96
11	Corona	7	6	4	1	7,70	1,12
12	Arrastre	7			9	13,86	3,71
	Total	63	16	28	425	162,51	3,26

Figura 41.
Diagrama de malla de 6.0*6.0 y secuencia de salida

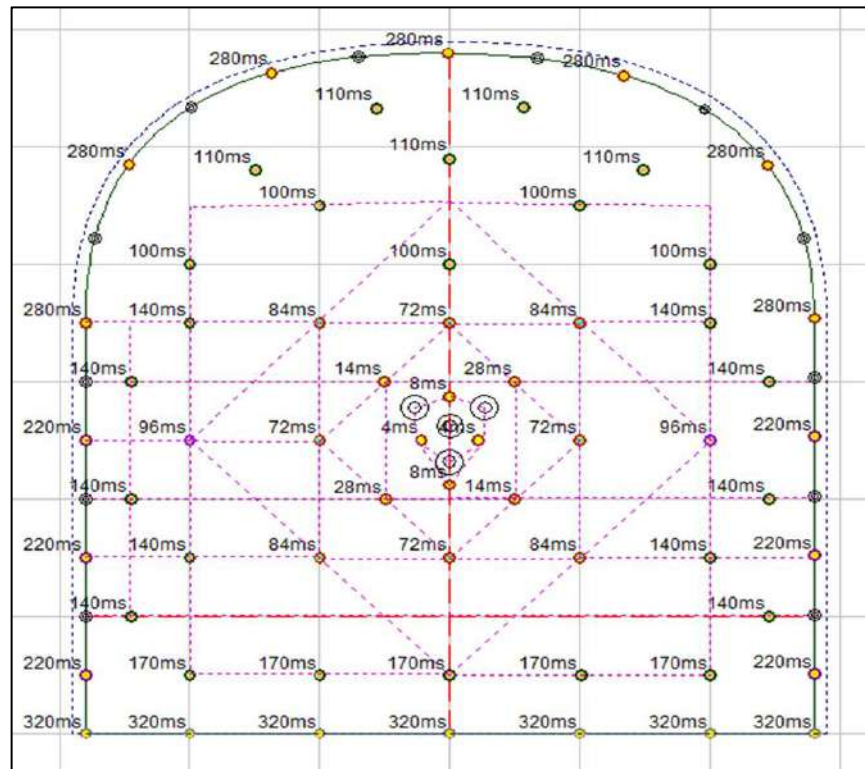


Figura 42.
Secuencia de salida

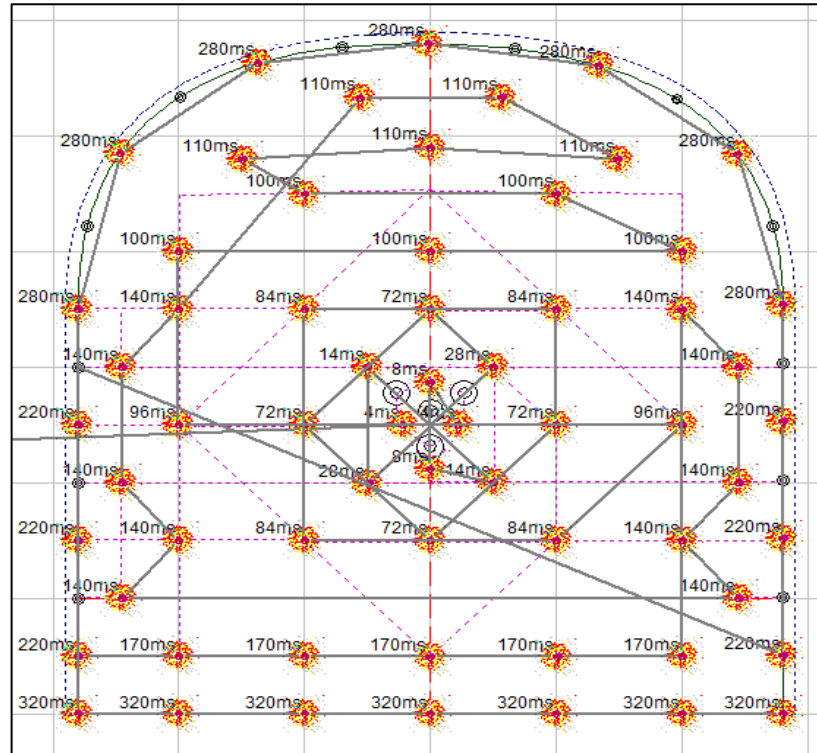
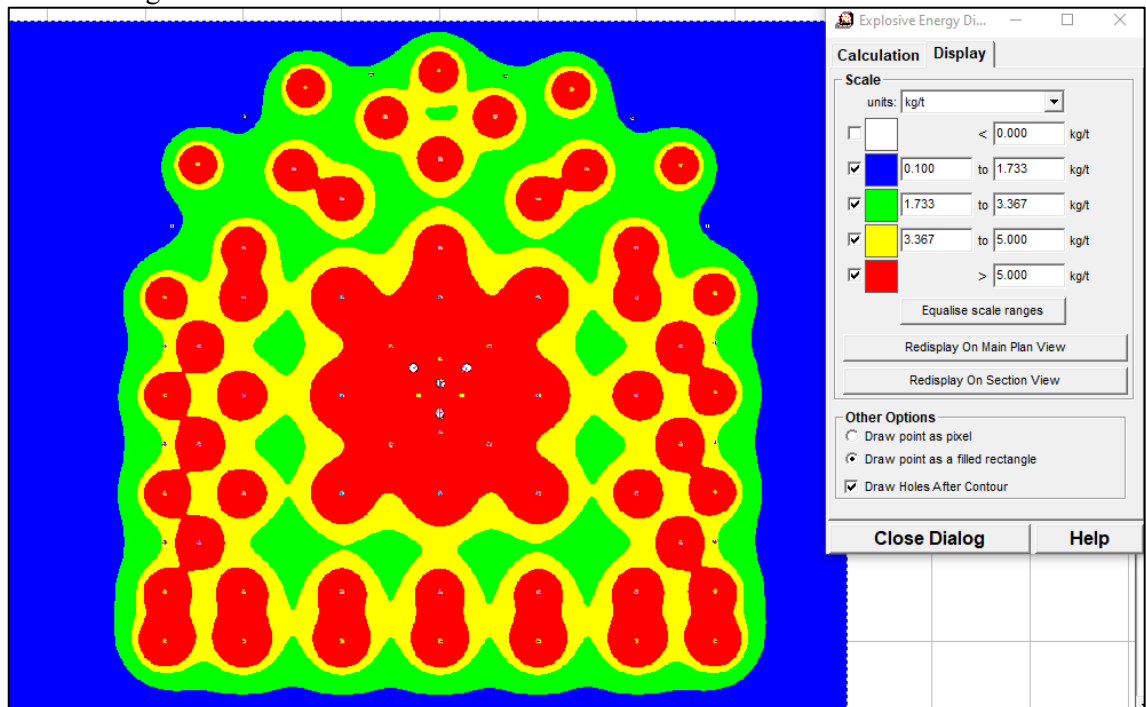


Figura 43.
Análisis de energía



4.1.6 Análisis de los avances

Uno de los problemas más frecuentes es respecto al avance que se tiene en los distintos frentes, son muchos factores para poder aplicar los controles se realizó la línea base de la situación real a fin de determinar las fallas y los desvíos que originan las deficientes voladuras.

4.1.6.1 Línea Base de los avances

Para poder desarrollar el presente proyecto se tuvo el análisis de los disparos realizados desde el 01 de agosto al 30 de agosto del 2024, con el objetivo de verificar el historial de la eficiencia de los avances que se tuvo un promedio de 3.09 m que representa el 92.46%

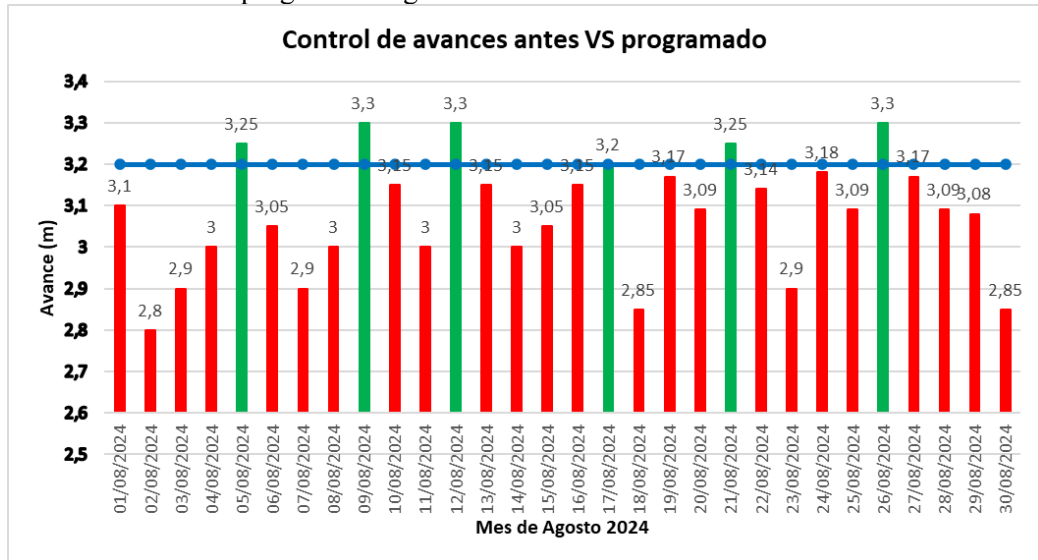
Tabla 5.

Tabla de control de avances por guardia mes de Agosto

Guardia	Avance Real	Avance Programado
01/08/2024	3,1	3,2
02/08/2024	2,8	3,2
03/08/2024	2,9	3,2
04/08/2024	3	3,2
05/08/2024	3,25	3,2
06/08/2024	3,05	3,2
07/08/2024	2,9	3,2
08/08/2024	3	3,2
09/08/2024	3,3	3,2
10/08/2024	3,15	3,2
11/08/2024	3	3,2
12/08/2024	3,3	3,2
13/08/2024	3,15	3,2
14/08/2024	3	3,2
15/08/2024	3,05	3,2
16/08/2024	3,15	3,2
17/08/2024	3,2	3,2
18/08/2024	2,85	3,2
19/08/2024	3,17	3,2
20/08/2024	3,09	3,2
21/08/2024	3,25	3,2
22/08/2024	3,14	3,2
23/08/2024	2,9	3,2
24/08/2024	3,18	3,2
25/08/2024	3,09	3,2

26/08/2024	3,3	3,2
27/08/2024	3,17	3,2
28/08/2024	3,09	3,2
29/08/2024	3,08	3,2
30/08/2024	2,85	3,2

Figura 44.
Control de avances real VS programado agosto 2024



4.1.6.2 Post resultados de avances

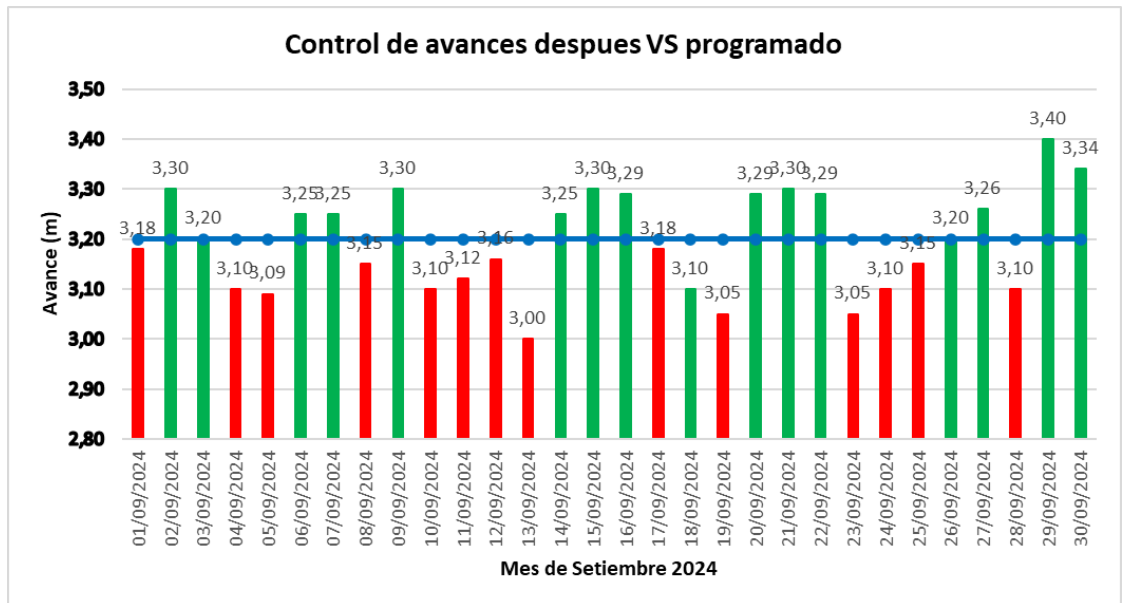
Para poder optimizar los avances en los frentes de avances, se aplico un nuevo diseño de malla de perforacion, se desarrollo la voladura controlada, asi mismo se desarrollo una distribución de carga en el frente obteniendo como resultado un promedio de avance de 95.85% con un promedio de 3.20 metros mejorando en un 11 centrimetros en promedio más por cada disparo.

Tabla 6.
Control de avances por guardia mes de Setiembre

Guardia	Avance Real	Avance Programado
01/09/2024	3,18	3,20
02/09/2024	3,30	3,20
03/09/2024	3,20	3,20
04/09/2024	3,10	3,20
05/09/2024	3,09	3,20

06/09/2024	3,25	3,20
07/09/2024	3,25	3,20
08/09/2024	3,15	3,20
09/09/2024	3,30	3,20
10/09/2024	3,10	3,20
11/09/2024	3,12	3,20
12/09/2024	3,16	3,20
13/09/2024	3,00	3,20
14/09/2024	3,25	3,20
15/09/2024	3,30	3,20
16/09/2024	3,29	3,20
17/09/2024	3,18	3,20
18/09/2024	3,10	3,20
19/09/2024	3,05	3,20
20/09/2024	3,29	3,20
21/09/2024	3,30	3,20
22/09/2024	3,29	3,20
23/09/2024	3,05	3,20
24/09/2024	3,10	3,20
25/09/2024	3,15	3,20
26/09/2024	3,20	3,20
27/09/2024	3,26	3,20
28/09/2024	3,10	3,20
29/09/2024	3,40	3,20
30/09/2024	3,34	3,20

Figura 45.
Control de avances real VS programado setiembre 2024



Para lograr los avances mencionados se tomó diversos controles como el pintado de malla para lo cual se fabricó un diseño de arranque a fin de estandarizar el correcto pintado del arranque, el uso de guidores, el uso de tacos y sobre todo el seguimiento de la perforación por parte de la supervisión

Figura 46.
Plantilla de fierro de arranque



Se aplico voladura controlada en la corona a través de la elaboración de columnas de explosivo

Figura 47.
Columna de carga en la corona



4.1.7 Análisis de línea base de sobre rotura

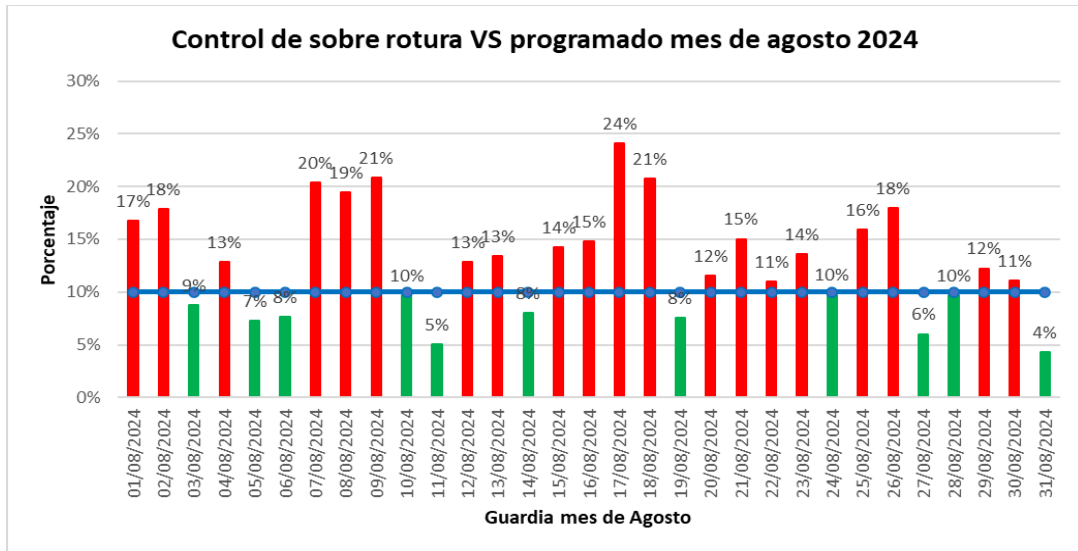
El desarrollo de los avances en el año 2024 hasta el mes de julio se tuvo diversas dificultades respecto al control de sobre rotura llegando a una máxima de sobre rotura de 24% el 17/08/2024 (tabla 6), trayendo consigo muchas penalidades debido a que se tuvo 20 desviaciones a la empresa por desarrollar secciones de las labores fuera de los estándares

Tabla 7. Tabla de control de sobre rotura por guardia mes de Agosto

Guardia	Sobre rotura Real	Sobre rotura Programado
01/08/2024	17%	10%
02/08/2024	18%	10%
03/08/2024	9%	10%
04/08/2024	13%	10%
05/08/2024	7%	10%
06/08/2024	8%	10%
07/08/2024	20%	10%
08/08/2024	19%	10%
09/08/2024	21%	10%
10/08/2024	10%	10%
11/08/2024	5%	10%
12/08/2024	13%	10%
13/08/2024	13%	10%
14/08/2024	8%	10%
15/08/2024	14%	10%
16/08/2024	15%	10%
17/08/2024	24%	10%
18/08/2024	21%	10%
19/08/2024	8%	10%
20/08/2024	12%	10%
21/08/2024	15%	10%
22/08/2024	11%	10%
23/08/2024	14%	10%
24/08/2024	10%	10%
25/08/2024	16%	10%
26/08/2024	18%	10%
27/08/2024	6%	10%
28/08/2024	10%	10%
29/08/2024	12%	10%
30/08/2024	11%	10%

La sobre rotura que se tiene en el mes de agosto fue un promedio de 13%

Figura 48.
Control de sobre rotura real VS programado agosto 2024



4.1.8 Análisis Post sobre rotura

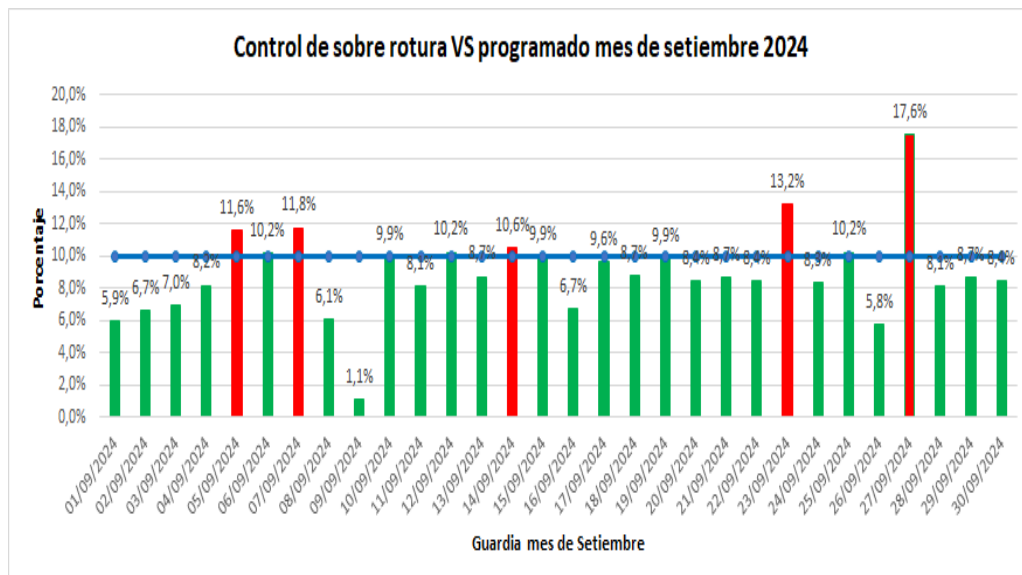
Dentro del análisis de las mallas de perforación se realizó los cálculos respectivos con el algoritmo de Holmberg y se realizó el diseño de carga explosiva la simulación a través del programa Jk Simblast para optimizar la distribución de la carga en cada taladro y desarrollar voladura Smoot Blasting. Luego de la aplicación se pudo obtener un control de sobre rotura con un promedio de 9% cumpliendo con los estándares establecidos por la empresa, sin embargo, cabe recalcar que se tuvo 05 desviaciones considerables el 27 de septiembre donde se tuvo un 18% de sobre rotura a la cual se tuvo que tomar controles en forma inmediata a fin de cumplir con el objetivo.

Tabla 8.
Tabla de control de sobre rotura por guardia mes de Setiembre

Guardia	Sobre rotura Real	Sobre rotura Programado
01/09/2024	5,9%	10%
02/09/2024	6,7%	10%
03/09/2024	7,0%	10%
04/09/2024	8,2%	10%
05/09/2024	11,6%	10%
06/09/2024	10,2%	10%
07/09/2024	11,8%	10%
08/09/2024	6,1%	10%

09/09/2024	1,1%	10%
10/09/2024	9,9%	10%
11/09/2024	8,1%	10%
12/09/2024	10,2%	10%
13/09/2024	8,7%	10%
14/09/2024	10,6%	10%
15/09/2024	9,9%	10%
16/09/2024	6,7%	10%
17/09/2024	9,6%	10%
18/09/2024	8,7%	10%
19/09/2024	9,9%	10%
20/09/2024	8,4%	10%
21/09/2024	8,7%	10%
22/09/2024	8,4%	10%
23/09/2024	13,2%	10%
24/09/2024	8,3%	10%
25/09/2024	10,2%	10%
26/09/2024	5,8%	10%
27/09/2024	17,6%	10%
28/09/2024	8,1%	10%
29/09/2024	8,7%	10%
30/09/2024	5,9%	10%

Figura 49.
Control de sobre rotura real VS programado agosto 2024



4.2 Contraste de la hipótesis

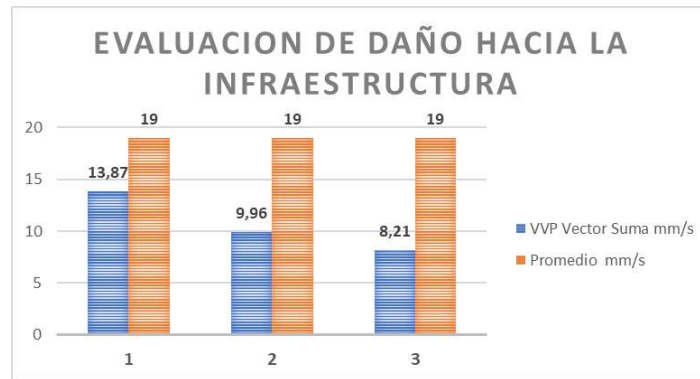
Comprobación de la hipótesis

4.2.1 Hipótesis General

El diagrama de perforación smooth blasting, controla la estabilidad de la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2025

Figura 50.

Evaluación de daño hacia la infraestructura



Para demostrar se tiene en cuenta los resultados de los sismogramas en las 3 pruebas realizadas en la Cámara Grizzlys #01, en las voladuras realizadas desde el 31 de agosto hasta el 03 de setiembre 2024, donde se ha evaluado y tomado los datos del sismógrafo Instantel, los valores altos emitidos es en un promedio de 10.68 mm/s de VPP, las cuales no han generado daño alguno hacia la infraestructura del pique Yauricocha, debido a que estas velocidades se encuentran bajo el nivel de vibración alta de 19 mm/s que es el límite inferior de acuerdo a la norma internacional USBM RI8507 And OSMRE para construcciones de infraestructuras tipo 1.

Con las demostraciones anteriormente mencionadas y descritas se concluye que el diagrama de perforación Smooth Blasting, minimiza el daño a la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2025

4.2.2 Hipótesis Especifico 1

La distribución de carga explosiva, minimiza la vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024.

La cantidad de carga explosiva utilizada anteriormente es 171.28 Kg, haciendo una densidad de carga de 3.37 kg/tal, con la implementación del nuevo diagrama se redujo la cantidad de carga de explosivo a 162.51 kg haciendo una densidad de carga de 3.26 kg/tal

Para el análisis de la prueba de normalidad se verifica primero en función a la cantidad de muestra de las variables, para este caso es igual a 30 siendo menor a 50, en ese sentido la prueba estadística favorable a utilizar es de Shapiro-Wilks, que permite determinar el tipo de distribución de las variables de estudio, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis

H₀: Los datos tiene una distribución normal

H_i: Los datos no tiene una distribución normal

Para lo cual se tendrá una confianza es 95% y la significancia (alfa) es 5%

Tabla 9. Tabla Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Pre_Explosivo	,218	30	,007
Post_Explosivo	,169	30	,038

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Criterio de decisión

Si $p < 0.05$ rechazamos la H₀ y aceptamos la H_i

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H₀ y rechazamos la H_i

Los resultados determinan que se aceptamos la hipótesis nula (H₀: la variable tiene distribución normal) en todas las variables, por lo tanto, aplicamos la estadística paramétrica.

Aplicación la correlación

Debido a que las variables son relacionales para el análisis de relación se utiliza la prueba de T- Student

Planteamiento de la hipótesis para verificar la relación

H₀: $\mu_1 = \mu_2$ (Las medias son iguales, no hay diferencia significativa entre el pre y post)

H_i: $\mu_1 \neq \mu_2$ (Las medias son diferentes, si hay diferencia significativa entre el pre y post)

Nivel se significancia es

Alfa = 0.05

Regla de decisión

Si $p < 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_1

Si $p \geq 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1

Tabla 10.

Prueba de muestras relacionadas de explosivo

Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 2 Pre_Avance - Post_Avance	,189000	,28739	,05247	,8169	,29631	3,602	29	,001

Conclusiones

Como p para el explosivo es $p=0.001$, siendo menores a $p<0.005$, por lo tanto, se acepta la H_0 y rechazamos la H_1 , lo que significa que las medias entre el pre y post tes de las variables de explosivo son significativamente diferentes por tanto podemos concluir: El Smooth Blasting mejora significativamente la cantidad de explosivo utilizado en la cámara Grizzlys #01 Nv 1170

4.2.3 Hipótesis Especifico 2

El diagrama de perforación Smooth Blasting, que optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024.

Para el análisis de la prueba de normalidad se verifica primero en función a la cantidad de muestra de las variables, para este caso es igual a 30 siendo menor a 50, en ese sentido la prueba estadística favorable a utilizar es de Shapiro-Wilks, que permite determinar el tipo de distribución de las variables de estudio, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis

H_0 : Los datos tiene una distribución normal

H_1 : Los datos no tiene una distribución normal

Para lo cual se tendrá una confianza es 95% y la significancia (alfa) es 5%

Tabla 11. Tabla Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Pre_Avance	,958	30	,273
Post_Avance	,957	30	,262

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Criterio de decisión

Si $p < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_1

Los resultados determinan que se aceptamos la hipótesis nula (H_0 : la variable tiene distribución normal) en todas las variables, por lo tanto, aplicamos la estadística paramétrica.

Aplicación la correlación

Debido a que las variables son relacionales para el análisis de relación se utiliza la prueba de T- Student

Planteamiento de la hipótesis para verificar la relación

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Las medias son iguales, no hay diferencia significativa entre el pre y post)

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (Las medias son diferentes, si hay diferencia significativa entre el pre y post)

Nivel de significancia es

Alfa = 0.05

Regla de decisión

Si $p < 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_1

Si $p \geq 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1

Tabla 12. Prueba de muestras relacionadas de avance

Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 2 Pre_Avance - Post_Avance	-,11300	,17841	,03257	-,17962	-,04638	-3,469	29	,002

Conclusiones

Como p para el avance es $p=0.002$, siendo menores a $p<0.005$, por lo tanto, se acepta la H_0 y rechazamos la H_1 , lo que significa que las medias entre el pre y post tes de las variables avance son significativamente diferentes por tanto podemos concluir: El Smooth Blasting mejora significativamente el avance en la cámara Grizzlys #01 Nv 1170

4.2.4 Hipótesis Especifico 3

El diagrama de perforación smooth blasting, minimiza la sobre rotura en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2025. Para el análisis de la prueba de normalidad se verifica primero en función a la cantidad de muestra de las variables, para este caso es igual a 30 siendo menor a 50, en ese sentido la prueba estadística favorable a utilizar es de Shapiro-Wilks, que permite determinar el tipo de distribución de las variables de estudio, para lo cual se plantea la siguiente hipótesis

H_0 : Los datos tiene una distribución normal

H_1 : Los datos no tiene una distribución normal

Para lo cual se tendrá una confianza es 95% y la significancia (alfa) es 5%

Tabla 13. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Pret_Sobre	,970	30	,549
Post_Sobre	,913	30	,018

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Criterio de decisión

Si $p < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1

Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_1

Los resultados determinan que se aceptamos la hipótesis nula (H_0 : la variable tiene distribución normal) en todas las variables, por lo tanto, aplicamos la estadística paramétrica.

Aplicación la correlación

Debido a que las variables son relacionales para el análisis de relación se utiliza la prueba de T- Student

Planteamiento de la hipótesis para verificar la relación

H₀: $\mu_1 = \mu_2$ (Las medias son iguales, no hay diferencia significativa entre el pre y post)

H_i: $\mu_1 \neq \mu_2$ (Las medias son diferentes, si hay diferencia significativa entre el pre y post)

Nivel de significancia es

Alfa = 0.05

Regla de decisión

Si $p < 0.05$ aceptamos la H₀ y rechazamos la H_i

Si $p \geq 0.05$ rechazamos la H₀ y aceptamos la H_i

Tabla 14. Prueba de muestras relacionadas de sobre rotura y avance
Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Pret_Sobre – Par 2 Post Sobre	4,29167	6,59422	1,20393	1,82934	6,75399	3,565	29	,001

Conclusiones

Como p para el avance es $p = 0.001$, siendo menores a $p < 0.005$, por lo tanto, se acepta la H₀ y rechazamos la H_i, lo que significa que las medias entre el pre y post tes de las variables avance son significativamente diferentes por tanto podemos concluir: El Smooth Blasting mejora significativamente el control de la sobre rotura en la cámara Grizzlys #01 Nv 1170

4.3 Discusión de resultados

El planteamiento como objetivo general es determinar como el diagrama de perforación smooth blasting, controla la estabilidad de la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024. Al realizar la implementación del Smooth Blasting se logro que la VPP tenga un promedio de 10.68 mm/s inferior a lo exigido por la normativa internacional USBM RI8507 And OSMRE donde menciona que para construcciones de infraestructuras tipo vibración alta debe de ser menor a 19 mm/s

Como primer objetivo es determinar la distribución de carga explosiva, minimiza la vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024.

Para el análisis de la cantidad de explosivo se observa que los taladros perforados inicialmente fueron de 66. Con la optimización se redujo a 63 taladros, por ende, se redujo la cantidad de

carga explosiva utilizada anteriormente es 171.28 Kg, haciendo una densidad de carga de 3.37 kg/tal, con la implementación del nuevo diagrama se redujo la cantidad de carga de explosivo a 162.51 kg haciendo una densidad de carga de 3.26 kg/tal. Estos resultados son similares al obtenido por Castillo y Medina (2015) donde a la disminución de la carga de explosivo ANFO de 101.04 kg hasta 96.03 kg disminuyendo en un 5%.

Diseñar el diagrama de perforación smooth blasting, que optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024. Para poder optimizar los avances en los frentes de avances, se aplico un nuevo diseño de malla de perforación, se desarrollo la voladura controlada, así mismo se desarrollo una distribución de carga en el frente obteniendo como resultado un promedio de avance de 95.85% con un promedio de 3.20 metros mejorando en un 11 centímetros en promedio más por cada disparo. Esta optimización es similar al realizado por Baca y Hinostroza (2021), donde la implementación del Smooth Blasting mejoro la eficiencia de disparo de un 86.2% a un 93 % por disparo. Por otro lado, Quispe et al. (2023) determinó que el avance efectivo en campo de 1.17 metros, el cual se incrementó a 2.0 metros, producto de una voladura controlada y una eficiencia de perforación que pasó del 75 % al 88 %.

Implementar el diagrama de perforación smooth blasting, para minimizar la sobre rotura en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024 La sobre rotura que se tiene en el mes de agosto fue un promedio de 13% , con la aplicación de el nuevo diagrama de perforación y la distribución de caer reduciendo a 9% , resultados similares al obtenido por (González & Rivera, 2018) , donde obtuvieron una reducción de 30% a 20% con el uso de explosivo en la columna de perforación de ANFO, que le permitió reducir el tiempo de ciclo de desarrollo y una reducción en el costo de fortificación. Al igual el estudio realizado por Tielia (2019) donde indica que la sobre rotura redujo de 19% al 11%, disminuyendo mensualmente por los gastos de voladura un 103.1\$/disparo. Similar estudio es a lo obtenido por Baca y Hinostroza (2021) donde los resultados muestran una reducción de sobre excavación disminuyendo de 47.03 m³ a 40.04 m³,

CONCLUSIONES

En el desarrollo de la presente investigación se determinó como el nuevo diagrama de perforación Smooth Blasting, minimiza el daño a la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01, donde mediante el monitoreo con equipos especializados se demostró que la VVP es 13.87, 9.96 y 8.21 mm/s, estos resultados son menores al nivel de vibración máxima exigida por la norma internacional USBM RI8507 And OSMRE de 19 mm/s.

A través de la simulación y desarrollo en campo se determinó la distribución de carga explosiva en el nuevo diagrama permitió minimizar la carga en 8.77 kg por disparo, reduciendo 0.11 la densidad de carga por taladro, esto permitió minimizar los niveles de vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01.

Las empresas especializadas tienen como objetivo cumplir con el programa de avance en el presente trabajo se demostró que el nuevo diagrama de perforación Smooth Blasting, optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 en un 3.48% más, se refleja que el incrementando es de 11 centímetros.

A través del nuevo diagrama de perforación smooth blasting, se logró controlar y minimizar la sobre rotura en la labor de un promedio mensual de 13% reduciendo a 9%, de esta manera se brinda labores con mayor seguridad y control de la estabilidad de las labores, más aún que se garantiza que no afecte al pique de Yauricocha.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa especializada realizar nuevos diseños con nuevos modelos matemáticos que permitan tener en cuenta nuevos parámetros que no considera Holmber, a fin de buscar minimizar el daño del macizo rocoso.

Realizar nuevos estudios de distribución de carga de explosivo, con nuevos productos de explosivo en función al tipo de roca, desarrollar nuevas simulaciones en programas de voladura que diseñen modelamientos en 3D, para seguir minimizando la densidad de carga de explosivo.

Para continuar con la mejora continua de los avances, se debe de desarrollar un control no solamente con la implementación del nuevo diagrama si no la incidencia del control de los aceros de perforación, el control de la eficiencia de la perforación y desarrollar un programa de entrenamiento y de capacitación al personal.

Desarrollar un con buen control y distribución de explosivo permite generar una estabilidad de las labores con factores de seguridad adecuados, es necesario realizar evaluaciones y simulaciones de estabilidad de las labores mediante programas geomecánicos después de realizar las voladuras en función al tipo de arco en las secciones que brinden mayor estabilidad de las labores

Referencias bibliográficas

- Ames Lara, V. L. A. (2021). *Voladura controlada y su influencia en la disminución de sobrerotura en labores subterráneas - Minera Aurífera Retamas S.A* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11854>
- Aragon Gil, N. (2019) *Aplicación de voladura controlada para estabilizar taludes de banquetas en el sector de Senseccalla, del tramo VII proyecto de la carretera Ayacucho Abancay Div. Kishuar*. [Tesis de grado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5686>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Navales, M. G. (2016). *El protocolo de investigación III: la población de estudio*. *Revista alergia México*, 63(2), 201-206. <http://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/181>
- Baca Tovar, M. P., & Hinostroza Alvino, J. B. (2021). *Diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la Unidad Minera San Cristóbal* [Tesis de grado, Universidad Continental].
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10099>
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería. a*. [Manual, Universidad Politécnica de Madrid].
https://oa.upm.es/21848/8/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf.
<https://oa.upm.es/id/eprint/21848>
- Brady, B. H., & Brown, E. (2005). *Rock Mechanics for Underground Mining* (Tercera). Springer.
- Carrasco Rojas, P. V. (2015). *Aplicación del método Holmberg para optimizar la malla de perforación y voladura en la Unidad Parcoy-Cia. Consorcio Minero Horizonte SA* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
<https://repositorio.unsch.edu.pe/items/f8e0f691-5b4a-44ba-b62e-522184f99902>

- Castillo, J., & Medina, H. (2015). Aplicación de voladura controlada en labores de avance en sección 3.5 mx 3.0 m para la reducción del factor de avance y porcentaje de sobrerotura en Compañía Minera Condestable [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Chen, J., Qiu, W., Zhao, X., Rai, P., Ai, X., & Wang, H. (2021). Experimental and numerical investigation on overbreak control considering the influence of initial support in tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104017>
- Contreras Pérez, W. J. (2009). *Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones: Aplicación en minas Ares* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_555fe6f7494fa6b2cb6359948c732616
- EXSA, S. (2019). Manual práctico de voladura. <https://fliphtml5.com/hqjn/rypz/basic>
- Gálvez Mancha, L. A. (2024). *Mejoras en perforación y voladura aplicando Smooth Blasting en la Unidad Minera Huachocolpa de Compañía Minera Kolpa SA* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11854>
- González, N., & Rivera, C. (2018). *Reducción de la sobre excavación mediante explosive SUBTEK en Mina Esmeralda, El Teniente – Codelco Chile* [Tesis para licenciatura, Universidad de las Américas]. <http://repositorio.udla.cl/xmlui/handle/udla/186>
- Holmberg, R., & Persson, P. A. (1984). *Rock Blasting and Explosives Engineering*. CRC Press.
- Hong, Z., Tao, M., Cui, X., Wu, C., & Zhao, M. (2023). Experimental and numerical studies of the blast-induced overbreak and underbreak in underground roadways. *Underground Space (China)*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2022.04.007>

Hossaini, M., Mohammadi, M., Hajiantaki, N., & Tavallaje, A. (2015). Causes of Dynamic Overbreak and Control Measures Taken at the Alborz Tunnel, Iran. Resource Operators Conference.

[al_Operators_Conference/27684834/1/files/50416107.pdf#page=317](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5050/T010_7042_al_Operators_Conference/27684834/1/files/50416107.pdf#page=317)

Huacho Torres, M. (2018). *Diseño de mallas de perforación y voladura para mejorar avances en Nv. 12 Veta Oroya - Compañía Minera Casapalca S.A.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5050/T010_7042_7151_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jimeno, E.L. (1994). Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid-España: Instituto Geológico y Minero de España.

Meza López, E., y Gutierrez Meza, K. A. (2023). *Implementación de la voladura controlada y su influencia en estabilidad del frente de chimenea RC-31A en UO immaculada 2023* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9444>

Otzen, Tamara, & Manterola, Carlos. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Pampacata, L. (2015). *Análisis de vibraciones inducidos por la voladura de rocas en cantera Atocongo en zonas cercanas a poblaciones* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería].

http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2096/1/pampacata_hl.pdf.

Parra, G. (2018). *Reducción de la carga explosiva con el uso del explosivo emulnor, en la corona de labores de desarrollo para optimizar los costos de voladura en CIA Minera MACDESA* [Tesis de licenciatura Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7730>

- Quispe Agüero, A. E., Silva Meza, Y., & Torpoco Gaspar, D. A. (2023). Diseño de la malla de perforación y voladura, para mejorar la fragmentación del macizo rocoso, galería principal, Mina APMINAC Pulpera. [Tesis de grado, Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13194/1/IV_FIN_10_TE_Quispe_Silva_Torpoco_2023.pdf
- Quispe. (2018). Evaluación Geomecánica para la elección del tipo de Sostenimiento en el túnel Yauricocha del nivel 720, Sociedad Minera Corona S.A. [Tesis de grado, Universidad Continental].
- Quispe Ecurra, L. Y., y Yupanqui Martinez, K. S. (2023). Aplicación del diseño de perforación y voladura de la galería principal 9080-SW, para aumentar el avance lineal, Minera Aurífera Retamas SA [Tesis de grado, Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13095/3/IV_FIN_10_TE_Quispe_Yupanqui_2023.pdf
- Rivera Alvarado, K. D. (2023). La aplicación del diseño de malla de perforación y voladura y su influencia en la calidad del fraccionamiento de mineral en la Unidad Minera Andaychagua-Yauli 2022. [Tesis de grado, Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13194/1/IV_FIN_10_TE_Quispe_Silva_Torpoco_2023.pdf
- Sellers, E. J. (2011). Controlled blasting for enhanced safety in the underground environment. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 111(1), 11-17. https://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S2225-62532011001300002&script=sci_arttext
- Sulcacondor Misarayme, J. (2018). Optimización de operaciones unitarias de perforación y voladura mediante voladura controlada en labores horizontales en la CIA Minera Poderosa SA [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
<https://repositorio.unsch.edu.pe/items/be9b287b-c84a-450c-bbd9-14dfac27addf>

Ticlia, L. (2019). Análisis y modelamiento de vibraciones para selección optima de explosivo y carga máxima para reducir los costos por voladura en la RP Patrick V Zona Valeria V NV 2220–Marsa 2018 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Archivo digital.

<https://dspace.unitru.edu.pe/items/5c8f57a1-8157-4258-98ee-2b75dad41f09>

Vera Yaranga, M. A. (2019). *Diseño de malla de perforación smooth blasting en terreno duro Mina Huanzala–Compañía Minera Santa Luisa SA* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5191>

LISTA DE ABREVIATURAS

VPP.- La Velocidad Pico de Partícula (VPP) es una medida clave para cuantificar las vibraciones generadas por explosiones, especialmente en voladuras de rocas. Se refiere a la velocidad máxima que alcanzan las partículas del terreno durante la propagación de las ondas sísmicas generadas por la explosión. La VPP se utiliza para evaluar el impacto de estas vibraciones en estructuras cercanas y para garantizar la seguridad de las operaciones mineras.

USBM.- La USBM RI8507 no es realmente una norma, es un reporte de investigación del departamento de minas de EEUU (USBM – U.S. Bureau of Mines) de los efectos de las vibraciones producidas por la mina de carbón Ayrshire en Evansville –Indiana– sobre viviendas cercanas (Siskind et al., 1993)

OSMRE, o la Oficina de Recuperación y Cumplimiento de la Minería a Cielo Abierto (Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, en inglés), es una agencia federal de los Estados Unidos encargada de regular y supervisar la minería a cielo abierto. Su objetivo principal es asegurar que la minería se realice de manera segura y ambientalmente responsable, así como la recuperación de tierras afectadas por la minería.

SUBTEK.- (SUBTEK CHARGE) La emulsión explosiva a granel SUBTEK Charge es un explosivo bombeable sensible a un iniciador, que tiene la apariencia de un fluido opaco, con viscosidad similar a la grasa liviana o aceite pesado. Tiene excelente resistencia al agua como característica propia de estructura de emulsión.

RQD.- El Índice de calidad de la roca o RQD, nos permite identificar el grado de unión de la masa rocosa. Se calcula hallando la sumatoria de trozos de roca intacta de más de 10 cm de longitud divididos por la longitud total del tramo perforado.

ANFO, o AN/FO, es un explosivo industrial a granel comúnmente utilizado en minería y construcción. Sus siglas significan "Amonium Nitrate Fuel Oil" (Nitrato de Amonio/Fuel Oil). En el Perú, ANFO es una mezcla de nitrato de amonio poroso y combustible, generalmente petróleo diésel, y se utiliza ampliamente en voladuras en minería a cielo abierto y subterránea, así como en obras civiles.

MEC.- Materiales Explosivos de Carga

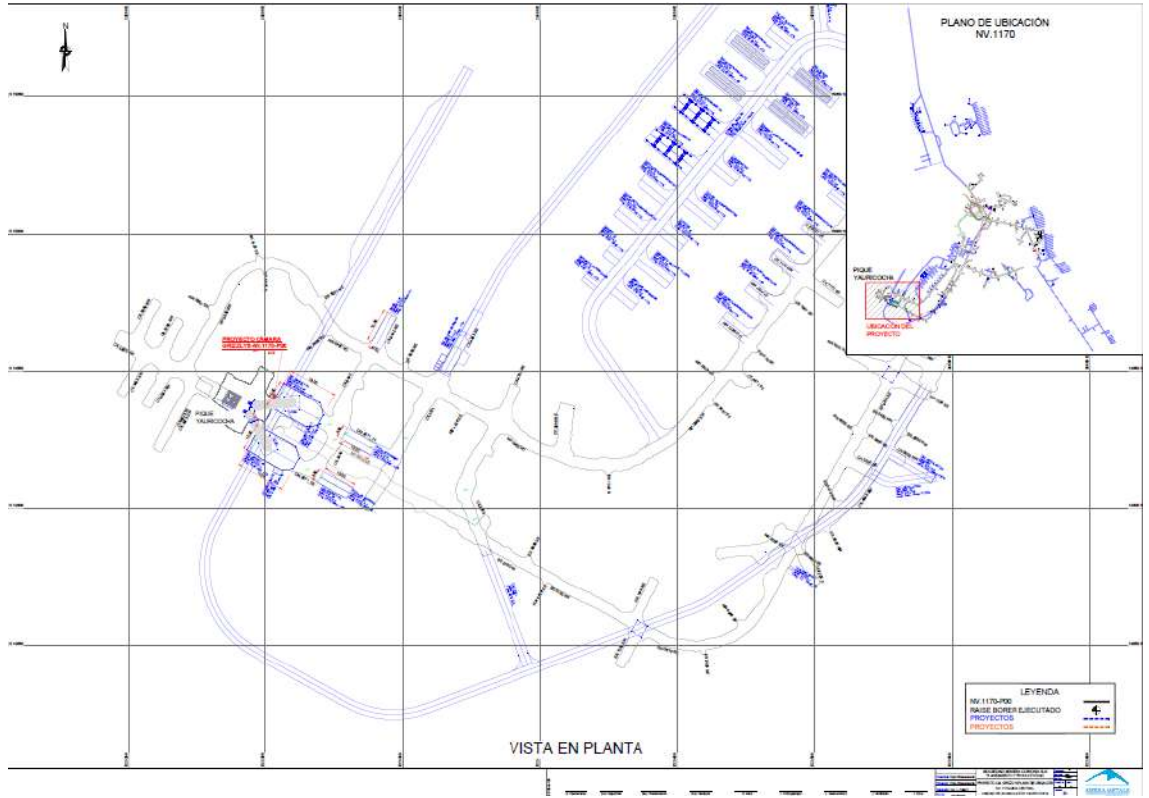
GLOSARIO

ANEXOS

TÍTULO: “Diagrama de perforacion smooth blassting para el control y estabilidad en la zona Cámara Grizzlys #01 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA	
¿Cómo el diagrama de perforación smooth blassting, controla la estabilidad de la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024?	Determinar como el diagrama de perforación smooth blassting, controla la estabilidad de la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024	El diagrama de perforacion smooth blassting, controla la estabilidad de la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024	INDEPENDIENTE: Diagrama de perforación smooth blasting	Parámetros geomecanicos	Método de investigación: Analítico	Población. La población está compuesta por las labores de Desarrollo de la Unidad Minera Yauricocha	
				Parámetros de perforación y voladura			
				Secuencia de salida de taladros			
PROBLEMA ESPECÍFICA	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPOTESIS ESPECÍFICA					
¿De qué manera la distribución de carga explosiva, minimiza la vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024?	Determinar la distribución de carga explosiva, minimiza la vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024.	La distribución de carga explosiva, minimiza la vibración en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024.	DEPENDIENTE: Control y estabilidad	Análisis de frecuencia y vibración	Tipo de investigación: observacional, retrospectivo longitudinal, analítico	Muestra. Cámara Grizzlys #01	
¿Cómo el diagrama de perforación smooth blassting, optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024?	Diseñar el diagrama de perforacion smooth blassting, que optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024	El diagrama de perforación smooth blassting, que optimiza el avance en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024		Distribución de energía de explosivos	Nivel de investigación: Aplicada		Técnica Análisis documental y desarrollo de programas
¿Cómo la implementación del diagrama de perforación smooth blassting, minimiza la sobre rotura en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024?	Implementar el diagrama de perforacion smooth blassting, para minimizar la sobre rotura en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2024	El diagrama de perforación smooth blassting, minimiza la sobre rotura en la infraestructura de la Cámara Grizzlys #01 de la unidad minera Yauricocha, 2025		Índices de sobrerotura de las labores de desarrollo	Diseño de investigación: Cuasi experimental		
					Instrumentos de Investigación: Algoritmo De Roger Holmberg y Jk simblast 2D Face.		Instrumento Registro

Anexo Plano Carama Grizzlys





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 024-2025-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL No 198-2025-FIMGC-D**, a los **ocho días del mes de agosto de 2025**, siendo las **4:00 p.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**, bajo la presidencia del **Mg. Ing. José Ernesto Estrada Cárdenas**, y los miembros: **Dr. Ing. Jaime Alberto HUAMAN MONTES**, **Dr. Ing. Andrés PORTUGAL PAZ** y **Mg. Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO**, actuando como secretario docente el **MSc. Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero de Minas**, del bachiller:

SAUL ANGULO MENDEZ

Quien presentó la tesis denominada:

Diagrama de perforación smooth blasting para el control y estabilidad de la Cámara Grizzlys #01 Nv 1170 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024

Los señores miembros del jurado, luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

Aprobado con dieciséis (16)

Siendo las **4:30 p.m.** del día **8 de agosto de 2025**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad con lo actuado, los miembros del jurado firman al pie del presente.

Mg. Ing. José Ernesto Estrada Cárdenas
Presidente

Dr. Ing. Jaime Alberto HUAMAN MONTES
Miembro

Dr. Ing. Andrés PORTUGAL PAZ
Miembro

Mg. Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO
Miembro - Asesor

MSc. Saul Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ
Secretario docente de la FIMGC



UNSCH

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe; en mi calidad de Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación y encargado de certificar la originalidad de la tesis abajo indicado y por lo tanto responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de pregrado en primera instancia, en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N°039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación UNSCH, deja constancia que:

- Apellidos y Nombres del Bach. : ANGULO MENDEZ, Saul
- Escuela Profesional : Ingeniería de Minas
- Título de la Tesis : Diagrama de perforación smooth blassting para el control y estabilidad en la Cámara Grizzlys #01 Nv 1170 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024
- Evaluación de la originalidad : 21% de similitud

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, **es procedente la constancia de originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 02 de setiembre de 2025

.....
MBA Ing° Leonil Fernando Quispe Aronés
Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación

Diagrama de perforación smooth blasting para el control y estabilidad en la Cámara Grizzlys #01 Nv 1170 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024

por Saul Angulo Mendez

Fecha de entrega: 02-sept-2025 05:46p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2740526668

Nombre del archivo: TESIS_SAUL_ANGULO_MENDEZ.pdf (5.4M)

Total de palabras: 23072

Total de caracteres: 125892

Diagrama de perforación smooth blassting para el control y estabilidad en la Cámara Grizzlys #01 Nv 1170 de la Unidad de Acumulación Yauricocha, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	1library.co Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%

11	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.esge.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
16	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	ia902205.us.archive.org Fuente de Internet	<1 %
18	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad de Cartagena Trabajo del estudiante	<1 %
20	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
21	okupo.mx Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.undc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	www.nescon.medicina.ufmg.br Fuente de Internet	<1 %

cybertesis.unmsm.edu.pe

25

Fuente de Internet

<1 %

26

Submitted to Universidad Tecnologica del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

27

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo