

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Implementación de la voladura controlada y su influencia en la
estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía
Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Luigi Ronaldinho VICENTE ESPINOZA

Asesor:

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

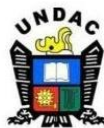
**Implementación de la voladura controlada y su influencia en la
estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía
Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA
PRESIDENTE

Mg. Teodoro Rodrigo SANTIAGO ALMERCO
MIEMBRO

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas



Firmado digitalmente por CONDOR
SURICHAGUI Santa Silvia FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.09.2024 19:29:03 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 046-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. VICENTE ESPINOZA Luigi Ronaldinho

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo

“ Implementación de la voladura controlada y su influencia en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana 2023”

Asesor:

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA

Índice de Similitud: **16 %**

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 22 de setiembre de 2024.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

A tres seres extraordinarios que han dejado una huella imborrable en mi corazón: mamá Lila, cuyo amor incondicional y sabiduría han sido mi luz en los momentos más oscuros; a mi amada esposa Erica, cuya ternura y fortaleza han llenado mi vida de alegría y propósito; y a mi querido hermano James, cuya complicidad y apoyo han sido un refugio en las tormentas. Esta dedicatoria es un humilde reconocimiento a la importancia inmensurable que cada uno de ustedes tiene en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, cuya guía divina ha iluminado mi camino y me ha dado fuerzas para enfrentar los desafíos con fe y esperanza.

A mi amada mamá, Lila Espinoza Rojas, mi eterna fuente de amor y sabiduría, gracias por ser mi inspiración y por tu apoyo incondicional en cada paso de mi vida.

Al Mg. Nelson Montalvo Carhuaricra, mi respetado asesor, agradezco su orientación experta, sus consejos sabios y su compromiso inquebrantable en mi crecimiento académico y profesional.

A los distinguidos docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, les agradezco por su dedicación, conocimiento y pasión por enseñar, que han enriquecido mi formación y ampliado mi horizonte profesional.

Este agradecimiento es un reconocimiento a cada uno de ustedes por su invaluable contribución en mi vida y mi carrera. Que sus bondades y enseñanzas continúen iluminando mi camino hacia el éxito y la realización personal.

El Autor.

RESUMEN

La presente investigación titulada “Implementación de la voladura controlada y su influencia en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana 2023”, tiene como objetivo determinar de qué manera implementación de la voladura controlada influye en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana; el cual será una investigación cuasiexperimental cuyo modalidad de es explicativa. La población y muestra del estudio estuvo conformada por las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana. La muestra se elegio de manera no probabilística a las labores de la Compañía Minera Alpayana S.A. Unidad Minera Americana; y son las siguientes GAL_261N NV. 19A, GAL_400 NV.21 y GAL_253SW NV.20. Como resultado de avance de la GAL_261N NV_19A Sección Cuerpos es de 3.2 m., GAL_400 NV_21 Sección Cuerpos es de 3.6 m. y GAL_253 SW NV_20 Sección Cuerpos es de 3.6 m. Analizando las longitudes de perforación y los avances obtenidos respectivamente, se deduce que el disparo es eficiente respecto a la longitud de perforación.

Palabras clave. Perforación, voladura controlada, Geomecánica, estabilidad.

ABSTRACT

This research entitled “Implementation of controlled blasting and its influence on the stability of the rock mass in the galleries of Compañía Minera Alpayana S.A. - American Mining Unit 2023”, aims to determine how the implementation of controlled blasting influences the stability of the rock mass in the galleries of Compañía Minera Alpayana S.A. - American Mining Unit; which will be a quasi-experimental research whose modality is explanatory. The population and sample of the study were made up of the galleries of Compañía Minera Alpayana S.A. - American Mining Unit. The sample was chosen in a non-probabilistic manner based on the work of Compañía Minera Alpayana S.A. American Mining Unit; and they are the following GAL_261N NV. 19A, GAL_400 NV.21 and GAL_253SW NV.20. As a result of the advancement of the GAL_261N NV_19A Body Section is 3.2 m., GAL_400 NV_21 Body Section is 3.6 m. and GAL_253 SW NV_20 Body Section is 3.6 m. Analyzing the drilling lengths and the progress obtained respectively, it is deduced that the shot is efficient with respect to the drilling length.

Keywords: Drilling, controlled blasting, Geomechanics, stability.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se detallan los trabajos realizados durante los meses de julio y octubre del 2023 en coordinación con la superintendencia de mina y el área de perforación y voladura de GMI en los frentes de avance de la zona cuerpos referente a realizar las pruebas de voladura controlada, monitoreo de vibraciones para determinar el daño al macizo rocoso en la periferia a excavar y seguimiento al cumplimiento de los parámetros en la perforación y en el proceso de carguío.

Debido a esta inquietud, se propone la realización del siguiente estudio: Implementación de la voladura controlada y su influencia en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana 2023, con el objetivo de determinar de qué manera implementación de la voladura controlada influye en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.

El trabajo presente está estructurado en los siguientes cuatro capítulos:

El primer capítulo inicia abordando el problema de investigación para introducir al lector del tema. Se incluyen aspectos como la descripción del problema, los objetivos generales y específicos, la relevancia y alcance de la investigación, los fundamentos teórico-científicos, las hipótesis y la definición operativa de variables.

En el segundo capítulo, se presenta una panorámica del marco teórico, explorando las variables de estudio, así como los antecedentes, teorías y principios relevantes.

El tercer capítulo ofrece una visión general de la metodología y las técnicas de investigación utilizadas.

En el último capítulo se detallan los hallazgos de la investigación, incluyendo el análisis estadístico y la interpretación de tablas. Además, se discuten los resultados en este mismo capítulo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación.	2
1.2.1. Espacial.....	2
1.2.2. Temporal.....	2
1.2.3. Temática	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. ¿Problemas específicos	2
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.1.1. A nivel Internacional	5
2.1.2. A nivel Nacional.....	8
2.1.3. A nivel Local	9

2.2. Bases teóricas – científicas.....	9
2.2.1. Voladura controlada	9
2.3. Definición de términos básicos	16
2.4. Formulación de hipótesis	16
2.4.1. Hipótesis general.....	16
2.4.2. Hipótesis específicas.....	17
2.5. Identificación de Variables	17
2.5.1. Variables independientes	17
2.5.2. Variables dependientes	17
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	18

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación	19
3.2. Nivel de investigación	19
3.3. Métodos de investigación	19
3.4. Diseño de investigación	19
3.5. Población y muestra	20
3.5.1. Población	20
3.5.2. Muestra	20
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	21
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	21
3.9. Tratamiento estadístico.....	21
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	22

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	23
4.1.1. Localización	24

4.1.2. Ubicación	25
4.1.3. Geología.....	26
4.1.4. Geología estructural	27
4.1.5. Geología económica.....	27
4.1.6. Explotación.....	28
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	29
4.2.1. Frentes de avance.....	29
4.2.2. Reporte de resultados	31
4.3. Prueba de hipótesis	63
4.3.1. Prueba de Hipótesis General.....	63
4.3.2. Prueba de Hipótesis Específica.....	64
4.4. Discusión de resultados.....	65
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	18
Tabla 2. Análisis de daños al macizo rocoso por modelo de Holmberg y Persson.....	31
Tabla 3. Registro de avances de la voladura controlada.....	32
Tabla 4. Parámetros de perforación de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.....	34
Tabla 5. Parámetros de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.....	35
Tabla 6. Resultados de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.	35
Tabla 7. Parámetros de perforación de la GAL_400 NV. 21 Sección Cuerpos.	39
Tabla 8. Parámetros de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.....	40
Tabla 9. Resultados de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.	40
Tabla 10. Parámetros de perforación de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos... 44	
Tabla 11. Parámetros de voladura de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.....	45
Tabla 12. Resultados de voladura de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.	46
Tabla 13. Registro de monitoreo de vibraciones.....	49
Tabla 14. Cálculo de radio de influencia en los taladros de corona.	50
Tabla 15. Análisis de vibraciones en los taladros de corona.....	50
Tabla 16. Criterio de daño según Cameron Mckenzie.	50
Tabla 17. Registro de criterio de daño.....	51
Tabla 18. Registro de vibraciones en los taladros de la corona con voladura controlada.	53
Tabla 19. Análisis de daño en los taladros de la corona con voladura controlada.....	54
Tabla 20. Faneles para sección de 4.2 mts.	60
Tabla 21. Distribución de explosivo por taladro.	60
Tabla 22. Faneles para sección de 4.2 mts.	62
Tabla 23. Distribución de explosivo por taladro.	62

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Avance por disparo en frentes de avance.	29
Gráfica 2. Indicador de avance por disparo.	30
Gráfica 3. Indicadores de factor de carga.	30
Gráfica 4. Registro de criterio de daño.	52
Gráfica 5. Ley de atenuación en los taladros de la corona con voladura controlada.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cálculo de la VPP en el punto A.....	10
Figura 2. Smooth blasting	13
Figura 3. Línea de tiempo de la evolución de Alpayana S.A.....	24
Figura 4. Plano de ubicación de la compañía minera Alpayana S.A.....	25
Figura 5. Esquema de carguío de explosivos.....	33
Figura 6. Secuenciamiento de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.	34
Figura 7. Se evidencia el proceso de perforación y la longitud de perforación de 3.7m en la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.	36
Figura 8. Se evidencia el proceso de carguío y falta de simetría en los taladros del arranque en la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.	37
Figura 9. Se evidencia el amarre del Fanel LP y la preparación de las cañas con ANFO a granel en tubería PVC ¾” en la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.	37
Figura 10. Se evidencia el resultado de la voladura con las medias cañas en el techo de la labor en la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.....	38
Figura 11. Secuenciamiento de voladura de la GAL_400 NV. 21 Sección Cuerpos. .	39
Figura 12. Se evidencia el proceso de perforación y la longitud de perforación de 3.7m en la GAL-400 NV.21 Sección Cuerpos.	41
Figura 13. Se evidencia el proceso de carguío y falta de simetría en los taladros del arranque en la GAL-400 NV.21 Sección Cuerpos.....	42
Figura 14. Se evidencia la perforación del arranque y la preparación de las cañas con ANFO a granel en tubería PVC ¾” en la GAL-400 NV.21 Sección Cuerpos.	42
Figura 15. Se evidencia el resultado de la voladura en la GAL-400 NV.21 Sección Cuerpos.	43
Figura 16. Se evidencia el resultado de la voladura en la GAL-400 NV.21 Sección Cuerpos.	43

Figura 17. Secuenciamiento de voladura de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.	45
Figura 18. Se evidencia el proceso de perforación y la longitud de perforación de 3.7m en la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.	47
Figura 19. Se evidencia la preparación de las cañas con ANFO a granel en tubería PVC $\frac{3}{4}$ y el proceso de carguío en la GAL_253SW NV.20 Sección Cuerpos.	47
Figura 20. Se evidencia el resultado de la voladura en la GAL_253SW NV.20 Sección Cuerpos.	48
Figura 21. Se evidencia el resultado de la voladura en la GAL_253SW NV.20 Sección Cuerpos.	48
Figura 22. Se evidencia programación del equipo WHITE.	49
Figura 23. Radio de influencia en los taladros de la corona en vista en perfil con voladura controlada.	55
Figura 24. Radio de influencia en los taladros de la corona en vista en planta con voladura controlada.	56
Figura 25. Análisis de VPP en los taladros de la corona con voladura controlada.	57
Figura 26. Análisis de VPP en los taladros de la corona con voladura controlada con el Fanel LP #13.	57
Figura 27. Análisis de VPP en los taladros de la corona sin voladura controlada con el Fanel LP #14.	58
Figura 28. Malla de perforación y voladura con Jumbo sección 4.50x4.00	59
Figura 29. Malla de perforación y voladura con Jumbo sección 4.50x4.00	61

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La utilización de voladuras controladas se vuelve esencial en situaciones donde se encuentran rocas de baja calidad en la minería subterránea. Esto garantiza la estabilidad de las operaciones subterráneas, permitiendo un desarrollo continuo sin interrupciones significativas después de detonar un frente.

En la Compañía Minera Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A., donde se encuentran rocas de tipo IIIA y IIIB, es esencial diseñar patrones de perforación y voladura que incorporen la planificación de taladros para llevar a cabo voladuras controladas. Estas voladuras controladas pueden ser de recorte o pre-corte, según la calidad de la formación rocosa.

Del estudio y análisis de las diferentes labores subterráneas se han determinado que los daños al macizo rocoso están presentes en la mayoría de los disparos.

La variación en el porcentaje de daños al macizo rocoso en esta unidad minera oscila entre el 12% y el 45%, lo que implica la necesidad de un mayor refuerzo, lo cual resulta en costos adicionales y afecta los costos totales de la

operación minera. La empresa ha establecido un objetivo de máximo del 8% en cuanto a los daños al macizo rocoso.

Asimismo, el consumo de explosivos se vuelve excesivo debido a que los factores de carga fluctúan entre 1,9 y 2,3 kg/m³, en contraste con el planificado que es de 1,7 kg/m³.

Por tales inconvenientes el investigador ha planteado realizar un trabajo de investigación para disminuir los daños al macizo rocoso con la finalidad de una mayor estabilidad en galerías, haciendo uso de la técnica de la voladura controlada.

1.2. Delimitación de la investigación.

1.2.1. Espacial

El estudio esta desarrollado plenamente en la Compañía Minera Alpayana S.A. – Unidad Minera Americana.

1.2.2. Temporal

El estudio se elaborará durante los meses de julio a octubre del 2023.

1.2.3. Temática

La temática del estudio está motivada a la implementación de la voladura controlada y su influencia en la estabilidad del macizo rocoso.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera la implementación de la voladura controlada influye en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana?

1.3.2. ¿Problemas específicos

- a. ¿Como la implementación de la voladura controlada influye en la disminución de la alteración del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana?

- b. ¿Cómo la implementación de la voladura controlada influye en la disminución del riesgo de exposición a rocas sueltas en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar de qué manera implementación de la voladura controlada influye en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar como la implementación de la voladura controlada influye en la disminución de la alteración del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.
- b. Determinar como la implementación de la voladura controlada influye en la disminución del riesgo de exposición a rocas sueltas en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. Unidad Minera Americana.

1.5. Justificación de la investigación

La investigación se realizó con el propósito de explicar y solucionar problemas de caída de rocas de forma constante en interior mina, lo mencionado es relevante para este trabajo de investigación, ya que se consideró la importancia de la técnica de voladura controlada para reducir la alteración del macizo rocoso.

Asimismo, los resultados obtenidos en este estudio proporcionan a los responsables del área de operaciones de perforación y voladura herramientas, como los indicadores generados, que les permitirán evitar sobreexcavaciones innecesarias, mejorar la seguridad de los trabajadores en sus labores y reducir los sobrecostos en sostenimiento.

1.6. Limitaciones de la investigación

Al indicar las limitaciones, se aclara que no habrá restricciones en el acceso a la información geológica y geomecánica, ya que la investigación se realizó con el apoyo de los responsables del área de operaciones.

De la misma forma no hubo limitación en el financiamiento de la investigación porque los gastos que demandó fueron cubiertos por el investigador.

El encargado de la investigación fue el tesista y con la dirección de los responsables de área, así como con el del docente asesor asignado por la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad nacional Daniel Alcides Carrión.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. A nivel Internacional

Agne Rustran (1995), en su Tesis Doctoral titulada "Controlled Fragmentation and Contours in Rock Blasting", presenta los resultados de las pruebas de campo realizadas, los cuales resultaron muy interesantes. Sin embargo, una de las hipótesis planteadas no pudo ser confirmada, es decir, que el mejor método de voladura controlada reduciría la sobre rotura. Los distintos métodos de voladura controlada utilizados no muestran ningún cambio significativo en la sobre rotura. Al analizar el número de grietas por metro antes y después de la voladura, se observa que las pilas de escombros presentan grietas adicionales después de la explosión. Parece existir una correlación tal que una voladura con pocas juntas naturales antes de la explosión resulta en la generación de muchas grietas inducidas por la explosión. La comparación del número de grietas entre distintas rondas resulta difícil debido a las variaciones en la distancia entre el perímetro y los puntos de observación de los agujeros. La carga de fondo genera una zona de daño más extensa, con un mayor nivel de vibración en comparación con la carga de columna. El nivel de daño se determina por velocidades de partículas superiores a 700 mm/s o, en su defecto,

por la aparición de más de tres nuevas grietas por metro de longitud de taladro observado. (p. 67).

Sakyi (2019), en la Tesis para el grado de Master de la Ciencia en Ingeniería de Minas “Wall control blasting at the Orphan Boy Mine – Butte, Montana”, señala que: Se realizaron cuatro voladuras de control experimentales en el Orphan Boy para explorar la aplicabilidad de la voladura controlada. La implementación de voladuras controladas sería vital para salvaguardar la seguridad de estudiantes, profesores y personal, además de prevenir el exceso de fragmentación y asegurar la estabilidad de las estructuras y trabajos. En particular, se llevaron a cabo tres voladuras suaves y una voladura de pre-corte para evaluar su eficacia. Sin embargo, el éxito de las tres voladuras suaves fue inferior al 20%, mientras que la voladura de pre-corte resultó en una fractura extensa de la roca circundante. Se identificaron la fracturación, la exposición a la intemperie y la cohesión de la masa rocosa como factores que limitaron el éxito de las explosiones controladas. En esta investigación, no se pudo evaluar la precisión de la perforación de los taladros, ya que se utilizaron perforadoras neumáticas. La densidad de carga del explosivo Orica Detagel™ Presplit fue de 0.8 lb/ft. (pág. 42).

Chen (1992), en la Tesis para Doctor of Philosophy “A study of tunnel stability with special reference to the effect of the stress field environment”, tiene como conclusiones: Los principales factores que influyen en el comportamiento del túnel se han revisado desde el punto de vista geológico y operativo. Ciertos elementos como las formaciones rocosas y las discontinuidades geológicas, como fallas, pliegues y juntas, ya están presentes como componentes naturales de la estructura rocosa. Aunque estos factores pueden ser incontrolables, su influencia en la estabilidad puede mitigarse mediante una selección meticulosa de la ubicación del túnel. Otros factores deben ser controlables con respecto al diseño y la operación. Los efectos de estos factores en la estabilidad del túnel

se deben al rendimiento resultante en relación con el campo de tensión. Varios de los factores que pueden ser controlados afectan la estabilidad del túnel al ajustar el campo de tensión en términos de su magnitud y dirección bajo la cual se somete el túnel. Por ende, las características del campo de tensión son fundamentales para los factores que impactan en la estabilidad del túnel. Este estudio se inició a partir del análisis de la distribución de esfuerzos y tensiones alrededor de un túnel antes de que ocurriera cualquier fallo en la roca circundante. Inspirado en investigaciones previas realizadas por exinvestigadores del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Nottingham, el autor continuó investigando utilizando un túnel circular excavado en una roca homogénea como base para el estudio teórico. Sin embargo, se ha destacado la importancia del impacto del campo de tensión no hidrostática en la distribución de tensiones. Para abordar este tema, se ha recurrido a la teoría de la elasticidad. Después de un minucioso examen de las ecuaciones fundamentales requeridas para resolver los problemas elásticos, se ha derivado una solución más amplia con respecto a la distribución de tensiones alrededor del túnel. Esta solución puede proporcionar casos específicos, incluida la condición hidrostática empleada por los investigadores previos. Basándose en la solución general, el autor ha sugerido que el impacto en la distribución de tensiones alrededor del túnel se divide en tres componentes: la resistencia del soporte, el campo de tensión hidrostática y la disparidad entre las tensiones verticales y horizontales aplicadas. Tras examinar estos aspectos, se ha concluido que el efecto predominante de la resistencia del soporte en la distribución de tensiones alrededor del túnel se limita principalmente a las áreas cercanas al mismo. Más allá de una distancia aproximadamente igual al diámetro del túnel desde la pared del mismo, este efecto de soporte disminuye considerablemente y se vuelve insignificante. Además, se ha observado que la variación en la distribución de tensiones a lo largo de la circunferencia del túnel

está mayormente influenciada por las disparidades entre las tensiones máximas y mínimas aplicadas en el contexto geológico dado. (p. 315-317).

2.1.2. A nivel Nacional

Pomasoncco Najarro (2021), en su tesis titulada "Aplicación de la voladura de pre-corte en las labores de desarrollo de la mina MARSA para reducir la sobrerotura en el macizo rocoso", informa que mediante la implementación de una nueva malla de voladura, se logró reducir la sobrerotura del macizo rocoso del 16% al 8%. Utilizando el modelo de Holmberg et al., se perforaron 46 taladros, de los cuales 39 fueron cargados y 7 se destinaron al alivio, con un diámetro de 38 mm. El avance por disparo fue de 2.10 m con barrenos de 8 pies, en comparación con los 1.41 m iniciales por disparo utilizando barrenos de 6 pies. (p. 97).

Estela Yomona & Estela Yomona (2020), en su estudio titulado "Implementación de Voladura Controlada para Mitigar la Insuficiencia en el Avance de las Labores en Minas Subterráneas", destacan que la utilización de voladuras controladas resulta fundamental para disminuir significativamente la insuficiencia en el avance de las operaciones en minas subterráneas. Esta técnica contribuye a reducir las vibraciones, previene la sobreexcavación y disminuye el agrietamiento en la roca residual, lo que favorece el auto-sostenimiento de las excavaciones. (p. 21).

Rabanal Izquierdo, Edwin Rafael-Tafur Tafur, Walter.pdf, s. f. (2020), en la investigación "Diseño de estabilidad para las chimeneas en cierre en unidad minera, Huancavelica, 2020", adjuntan sus resultados señalando que: "El cierre consistirá en colocar vigas de concreto armado de 0,20 m de espesor por 0,20 m de altura, una seguida de la otra, logrando formar una losa de concreto formada por la unión de las vigas, se colocará una cobertura impermeable de 0,20 m, seguida de material inerte de los costados para recuperar la fisiografía original." (p. 51).

2.1.3. A nivel Local

Se llevaron a cabo búsquedas exhaustivas en las bibliotecas locales, pero no se hallaron materiales relevantes que abordaran el tema de investigación actual.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Voladura controlada

Introducción

La utilización de explosivos para la fragmentación de rocas representa actualmente el método más económico disponible para la industria minera de roca dura. No obstante, el principal desafío consiste en controlar la energía explosiva de manera precisa para optimizar la fragmentación resultante y mitigar los efectos adversos asociados con el uso de explosivos. Estos efectos nocivos comúnmente se manifiestan como daños, que incluyen deterioro en la masa rocosa, en las estructuras mineras y en la infraestructura en general. Estos costos adicionales relacionados con los efectos de los explosivos son un aspecto clave a considerar. La estrategia de voladura controlada tiene como objetivo reducir estos costos adicionales mediante la implementación de procedimientos de perforación y voladura que se ajusten deliberadamente.

La técnica de voladura controlada busca ajustar el tipo de explosivos utilizados o la disposición específica de los mismos, con el fin de equilibrar la zona de daño generada por los agujeros ubicados en el perímetro con la zona de daño producida por los agujeros dentro del perímetro, o viceversa. Se considera que una masa rocosa está dañada cuando deja de reaccionar de manera elástica y comienza a mostrar deformaciones plásticas. Esto corresponde a la zona donde el nivel de deformación ha excedido la resistencia de la roca o, Holmberg et al (1984).

$$\varepsilon = \sigma/E = v/c$$

Donde:

- ε es la tensión.
- σ la tensión.
- E es el módulo de elasticidad de Young de roca.
- v es la velocidad de vibración.
- c es la velocidad de propagación de onda.

Material isotrópico, la velocidad de las partículas debe: Proporcional a la distancia.

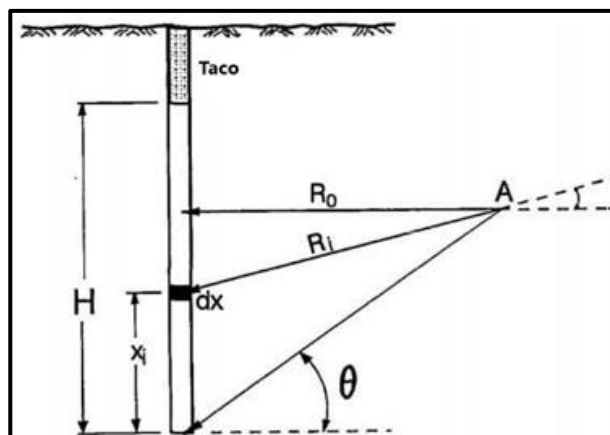
$$VPP = kW^\alpha/R^\beta$$

Donde PPV representa la velocidad máxima de la partícula en mm/s, W es el peso de la carga en kg y R es la distancia en metros. Las constantes k , α y β dependen de las propiedades estructurales y elásticas del macizo rocoso y varían según el sitio específico de voladura. El peso de la carga debe tener en cuenta la potencia relativa por peso (RWS) del explosivo.

$$PPV = kl^\alpha \left[\int_0^H \frac{dx}{[R_0^2 + R_0^2 \tan^2(\theta - x)^2]^{\beta/2\alpha}} \right]^\alpha$$

Se considera la Figura siguiente:

Figura 1. Cálculo de la VPP en el punto A.



Objetivo de voladura controlada

Los principales propósitos de la voladura controlada incluyen la reducción de la rotura y fractura de la masa rocosa más allá de los límites previstos de la excavación, con el fin de obtener una superficie uniforme después de la voladura. Asimismo, busca gestionar la vibración de la roca desprendida y del suelo dentro de los límites aceptables.

Generalmente, este propósito se alcanza al reducir al mínimo y utilizar de manera cuidadosa los explosivos en los taladros de voladura. Se emplean técnicas como la perforación en línea, el pre-corte, la voladura suave y la voladura amortiguada para conseguir una voladura controlada.

Los taladros utilizados en la voladura controlada suelen tener un espaciado más cercano que los taladros empleados en la producción. Además, estos taladros se cargan ligeramente y se detonan simultáneamente antes que los taladros de producción, en la mayoría de los casos. El objetivo es generar una fisura entre los taladros perimetrales contiguos para restringir la expansión de fisuras radiales desde el interior de la excavación. La dirección preferida de la propagación de las fisuras se ve fortalecida mediante la detonación simultánea de los taladros.

Tipo de voladura controlada

Tipo perforación en línea

La perforación en línea implica realizar taladros de pequeño diámetro, sin carga explosiva, y con un espaciado estrecho en una única fila a lo largo de la dirección de la excavación.

Esta acción crea un plano de fragilidad que la voladura principal puede utilizar para fracturarse y, en cierta medida, refleja las ondas de choque generadas por la explosión, disminuyendo así la fracturación y la tensión en la pared finalizada.

La perforación en línea es especialmente efectiva en formaciones geológicas uniformes, donde hay pocos planos de estratificación, juntas o discontinuidades. Se utiliza principalmente en áreas donde incluso pequeñas cantidades de explosivos, utilizadas en otras técnicas de voladura controlada, podrían provocar daños más allá de los límites de excavación.

Tipo pre-corte

La voladura de pre-corte implica realizar una única fila de taladros en el perímetro de la excavación.

Este pre-corte en la roca crea una zona discontinua que reduce o elimina la acción de la voladura principal en la parte posterior, resultando en una superficie de roca final suave.

Además, el pre-corte previo también se emplea en ciertos casos críticos para minimizar la vibración del suelo.

Tipo voladura suave (smooth-blasting)

Este enfoque es ampliamente reconocido para gestionar la sobrerotura en las paredes, los techos de las galerías subterráneas y los taludes.

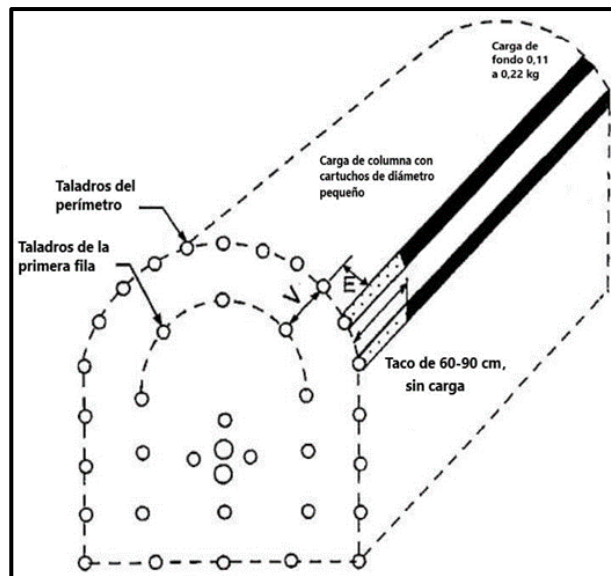
En una voladura suave, los taladros se perforan en el borde de la excavación y se cargan con explosivos de manera uniforme, los cuales se detonan al final del proceso de voladura.

Los taladros destinados a una voladura suave deben detonarse de manera inmediata o con el menor retraso posible para generar un efecto de cizallamiento, lo que resulta en paredes lisas con una sobrerotura mínima.

Las estrategias de voladura suave y pre-corte se distinguen principalmente de la perforación en línea en que algunos o todos los taladros están cargados con explosivos de forma uniforme y de baja potencia.

La voladura suave también es llamada la voladura de perímetro.

Figura 2. Smooth-blasting



El factor principal a considerar al elegir los explosivos es la presión generada por la carga explosiva en el taladro, lo cual influye en la tensión resultante en la roca. Una forma práctica de comparar los diferentes tipos de explosivos es mediante una medida de carga lineal por metro, que se equipara al ANFO.

$$I = 90d^2$$

Donde I representa la concentración de carga lineal en kg equivalente a ANFO por metro de taladro, y d es el diámetro del taladro en metros.

Considerando las dimensiones del taladro y el peso de la carga lineal, es posible estimar la extensión anticipada de la zona afectada para cada tipo de explosivo.

Tipo voladura amortiguada (cushion-blasting)

La voladura amortiguada se asemeja a la voladura de paredes lisas. En este método, se perfora una sola fila de taladros en el borde de la excavación y se utilizan cargas pequeñas que se detonan después de la ronda de producción.

En la técnica de voladura amortiguada, los taladros se separan aún más, ya sea reduciendo su diámetro o utilizando material de desecho de la roca perforada, como arena, con el fin de lograr un efecto de aplastamiento.

Esta acción reduce el impacto en la pared de la excavación a medida que se detona los taladros, disminuyendo al mínimo las roturas excesivas en la superficie de la labor.

Esta técnica rara vez se usa hoy en día porque la reducción en el desacoplamiento podría lograrse mediante el uso de cartuchos explosivos de pequeño diámetro, que sirven para el mismo propósito.

Los taladros se vuelan utilizando el último número de retardo en la misma ronda de voladura, preferiblemente con un retardo de 50 ms.

Los parámetros adecuados para la voladura controlada se establecen a través de voladuras de prueba. Por lo general, necesita establecer el espaciado óptimo de los taladros y la carga por cada taladro.

Vibración de los suelos

Cuando se detona una carga explosiva dentro de un taladro, esta se transforma al instante en gases calientes, los cuales ejercen una presión intensa sobre las paredes del orificio. Una onda de choque de alta intensidad se propaga a través de la roca, pero su intensidad disminuye rápidamente a medida que aumenta la distancia.

Una porción significativa de la energía liberada por la explosión se disipa más allá de la región fracturada en forma de vibraciones elásticas en el terreno. Estas vibraciones del suelo, creadas por las ondas sísmicas que atraviesan la roca, provocan movimientos en las partículas del suelo.

A pesar de que el empleo de explosivos conlleva efectos secundarios no deseados, como la vibración, estos siguen siendo una opción económica para la extracción de rocas en proyectos de minería e ingeniería civil.

Las vibraciones resultantes de las voladuras son de naturaleza temporal, pero su impacto puede causar daños duraderos a la propiedad o estructura. Por ende, es de vital importancia controlar los efectos negativos de las voladuras.

Factores que afectan la vibración

Al detonar una voladura controlada, el nivel de vibración está determinado principalmente por dos factores: la distancia y el tamaño de la carga explosiva. Es evidente que es más seguro estar alejado de una voladura que encontrarse en proximidad de la misma.

Límites seguros de vibración

Se han establecido diversos códigos y normativas para regular los límites de vibración del suelo en distintos países. Algunos de estos códigos son tan estrictos que prohíben completamente la voladura en áreas urbanas, mientras que otros permiten velocidades máximas de partículas de hasta 50 mm/s en frecuencias de excitación elevadas.

La tendencia actual es considerar la frecuencia del movimiento del suelo. Las ondas de baja frecuencia pueden causar un mayor daño a las estructuras, especialmente en edificios de varios pisos. Para la vibración del suelo de baja frecuencia, el nivel seguro de vibración en esta medida es de 12,5 mm/s.

Procedimientos de controles de vibraciones

La estrategia más habitual para gestionar la vibración del suelo consiste en reducir el peso de la carga explosiva mediante la técnica de retardo. La voladura con retardo implica dividir la carga total en unidades más pequeñas, las cuales son detonadas en una secuencia preestablecida y a intervalos específicos. La voladura sin demora o sin números de demora suficientes aumenta las vibraciones del suelo debido a un aumento en la carga máxima por retraso.

La vibración puede reducirse significativamente optimizando los parámetros de diseño de la voladura. Se sugiere establecer una carga óptima, espaciado de taladros, factor de carga y la conexión para controlar la vibración.

2.3. Definición de términos básicos

Geomecánica:

“Geomecánica implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas. Son las dos principales disciplinas de la geomecánica la mecánica de suelos y la mecánica de rocas.

Mallas de perforación:

Las mallas de perforación y voladura son esquemas que permiten distribuir la energía de los explosivos en taladros distribuidos de manera regular. Las configuraciones de los taladros pueden presentarse mayormente en forma cuadrada, rectangular o triangular.

Perforación:

La perforación de las rocas en el ámbito de la voladura constituye la primera tarea individual ejecutada en la minería. Su objetivo es crear orificios en los depósitos rocosos con una disposición geométrica apropiada para facilitar su posterior extracción. Estos orificios albergarán los explosivos y los dispositivos de iniciación requeridos para el proceso de voladura.

Voladura:

En la minería, la voladura se refiere al proceso de fragmentar la roca mediante el uso de explosivos.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La implementación de la voladura controlada influye significativamente en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La implementación de la voladura controlada influye significativamente en la disminución de la alteración del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.
- b. La implementación de la voladura controlada influye significativamente en la disminución del riesgo de exposición a rocas sueltas en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables independientes

Voladura controlada.

2.5.2. Variables dependientes

Estabilidad del macizo rocoso.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
V. Independiente Voladura controlada	Las estrategias de voladura controlada tienen como objetivo reducir al mínimo la ruptura y fractura de la roca fuera del límite previsto de la excavación, con el fin de obtener una superficie lisa después de la detonación, y mantener bajo control la vibración de la roca desprendida y del suelo dentro de los límites aceptables.	Se enfoca en los procedimientos, condiciones y parámetros precisos que se deben seguir para llevar a cabo una voladura controlada de manera segura y efectiva.	Área de influencia	m ²
			Cantidad de fracturas	Und
			Sobre rotura	%
V. Dependiente Estabilidad del macizo rocoso	En el contexto minero, el término "estabilizar" implica asegurar de manera sólida y constante las excavaciones subterráneas y los taludes en superficie, con el objetivo de disminuir las alteraciones en las rocas y reducir los riesgos en el entorno laboral.	Procedimientos, técnicas y estándares que se deben seguir para mantener un espacio subterráneo seguro y en condiciones adecuadas para su uso previsto.	Auto sostenimiento	Tiempo
			Alteración de la masa rocosa	Nro discontinuidades
			Riesgo en el área de trabajo	Pts. IPERC

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

La investigación adopta un enfoque aplicado, donde se destaca que "principalmente utiliza conocimientos previamente establecidos para abordar diversas categorías de problemas". (Sampieri et al., 2006)

3.2. Nivel de investigación

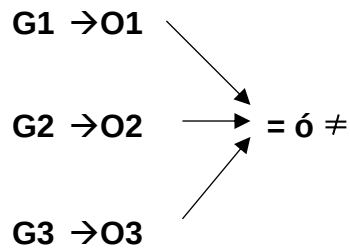
En cuanto a la extensión de la exploración, la modalidad de investigación fue explicativa. En relación al lapso temporal, se llevó a cabo una investigación de tipo longitudinal, la cual se caracteriza por centrarse en la observación de la evolución de variables a lo largo del tiempo, pero en diferentes periodos temporales.(Sampieri et al., 2006)

3.3. Métodos de investigación

Se tomó en cuenta el método científico, que se describe como un proceso de investigación organizado, con el propósito de adquirir conocimientos actualizados y verificar la veracidad de ciertos temas de estudio. (Espinoza Montes, 2010)

3.4. Diseño de investigación

Según Hernández-Sampieri (2012), se consideró el diseño de investigación cuasiexperimental, el cual se define como:



Donde:

G1, G2, G3: Muestras.

O1=O2=O3: Observaciones.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Como población se consideró a las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.

3.5.2. Muestra

La muestra se eligió de manera no probabilística a las labores de la Compañía Minera Alpayana S.A. Unidad Minera Americana; y son las siguientes:

- GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.
- GAL_400 NV.21 Sección Cuerpos.
- GAL_253SW NV.20 Sección Cuerpos.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas:

Evaluación de la información proporcionada por el encargado del área operativa mediante la observación directa. Esta metodología se utiliza para reforzar la labor y contribuir a garantizar la precisión de una investigación particular.

Instrumento:

Se incluyeron en la selección de herramientas de recopilación de datos, formularios para supervisar los progresos, el exceso de rotura, el nivel de fragmentación, las vibraciones, entre otros aspectos.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Selección de datos.

Con el fin de realizar la fase de investigación en campo, se han diseñado dos dispositivos para recopilar datos. Uno se enfoca en la variable independiente relacionada con la voladura controlada, mientras que el otro aborda la variable dependiente que examina la estabilidad del macizo rocoso. Ambos instrumentos de medición han sido sometidos a pruebas de validez y confiabilidad.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Se planificaron las estrategias de procesamiento de datos mediante la aplicación de estadística descriptiva. Utilizando estos datos, se llevó a cabo la generación de información y la interpretación de resultados, haciendo uso de herramientas informáticas como hojas de cálculo en Excel y software especializado en análisis de datos como SPSS.

3.9. Tratamiento estadístico.

Se empleará Microsoft Excel, ya que posibilitará la manipulación y análisis de variables, como:

- Digitalización de los datos de campo
- Creación de las tablas y los gráficos que reflejen frecuencias y porcentajes.
- Desarrollo del informe final de presente investigación.
- Preparación de la presentación del informe final de la investigación.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.

La investigación sigue los procedimientos adecuados, en consonancia con los principios éticos establecidos, y siempre hace referencia a la fuente de información utilizada.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Nos identificamos como Alpayana, una compañía minera especializada en la extracción subterránea de diversos metales, incluyendo zinc, plomo, cobre y plata.

Nuestras unidades mineras americana, Yauliyacu y Iscaycruz, se encuentran en la sierra de Lima.

Formamos parte de la larga historia minera del Perú, ya que en nuestros primeros años nos inspiramos en la experiencia de Minera Casapalca, fundada en 1889 como parte de Backus & Johnston. En 1997, adquirimos las principales concesiones de Centromin Perú, así como los yacimientos de pequeños mineros en los alrededores, iniciando así un camino hacia un crecimiento continuo en la minería responsable.

A partir de finales de 2019, comenzamos un proceso de cambio cultural, que incluyó una nueva visión, misión y valores corporativos, así como la adopción del nombre Alpayana.

En 2022, como parte de nuestra expansión continua, añadimos a nuestras operaciones las unidades polimetálicas de Yauliyacu en Huarochirí e

Iscaycruz en Oyón, al adquirir el control total de las acciones de Los Quenuales, anteriormente propiedad de Glencore.

El propósito fundamental de nuestra empresa radica en identificar oportunidades para impulsar cambios positivos en el entorno mediante acciones que generen un impacto significativo.

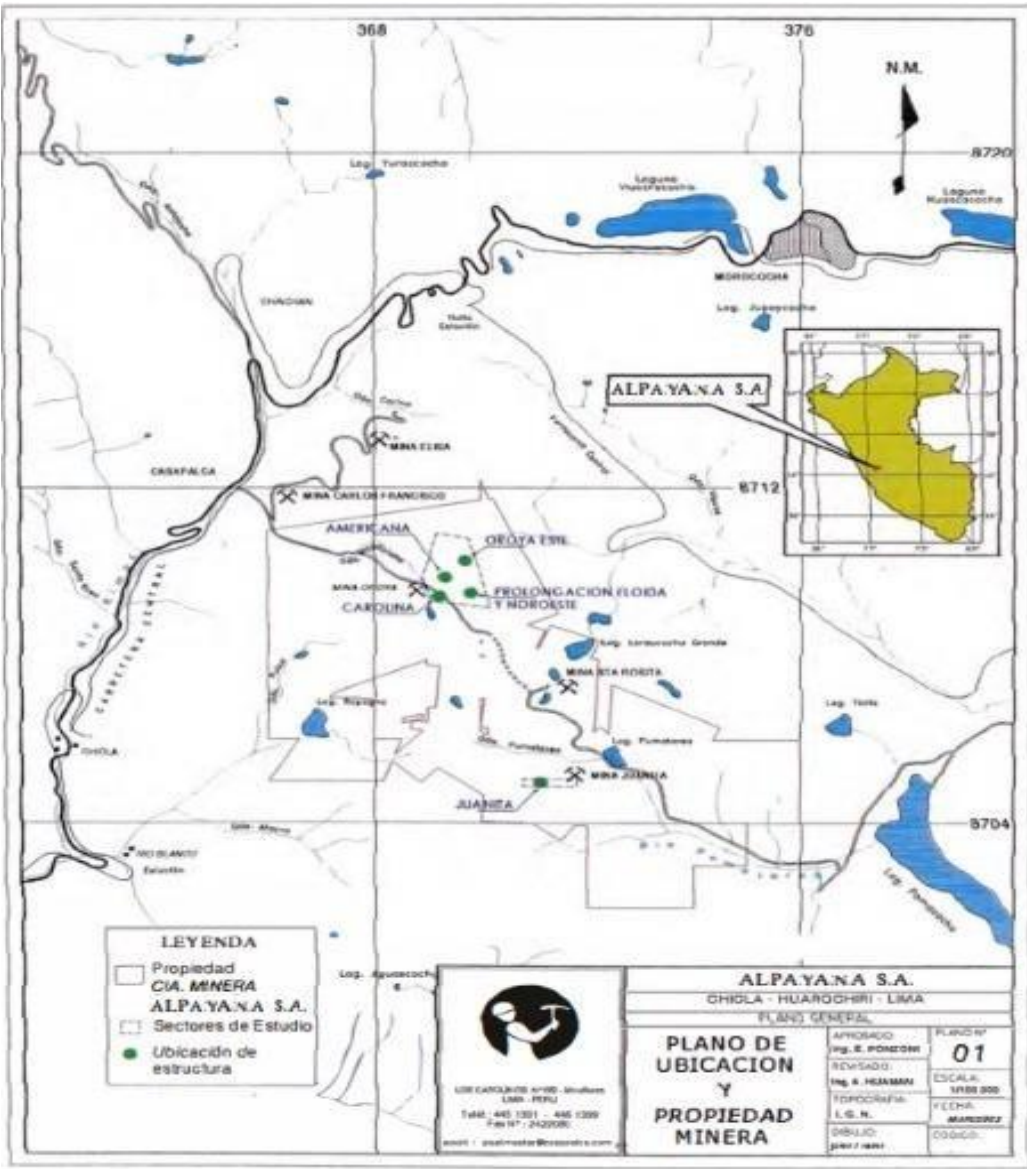
Figura 3. Línea de tiempo de la evolución de Alpayana S.A.



4.1.1. Localización

Alpayana S. A. es una empresa minera nacional que se especializa en la exploración, desarrollo, extracción, y tratamiento de minerales polimetálicos como el cobre, plomo, zinc y plata. La ubicación central de la empresa está en el distrito de Chicla, situado en la provincia de Huarochirí, en el departamento de Lima, en la región montañosa de la sierra limeña del Perú. Se encuentra a una altitud de 4200 metros sobre el nivel del mar y a una distancia de 128 kilómetros de la ciudad de Lima.

Figura 4. Plano de ubicación de la compañía minera Alpayana S.A.



4.1.2. Ubicación

La mina de Casapalca está situada en el distrito de Chicla, que forma parte de la provincia de Huarochirí, en el departamento de Lima.

La región está marcada en la carta nacional dentro del cuadrángulo 24-k (Matucana). Sus coordenadas UTM son:

- 0366761 E
- 8710455 N

4.1.3. Geología.

Estratigrafía

a) Formación Carlos Francisco

Es una serie potente de rocas volcánicas de tipo andesítico, consta de tres miembros:

- Miembro Yauliyacu: Se distingue por estar compuesto por tobas de grano fino de color rojizo, que yacen de manera concordante sobre el Miembro Carlos Francisco.
- Miembro Carlos Francisco: Está compuesto por gruesos flujos de andesita y brechas volcánicas. Estas brechas contienen fragmentos angulares, principalmente de color verdoso, incrustados en una matriz rojiza. Se alternan con andesitas de textura porfírica que van desde tonos grises oscuros hasta verdes. Los fenocristales de feldespatos son prominentes y muestran signos de alteración a clorita y calcita, que a veces se observan en ciertas áreas.
- Miembro Tablachaca: La unidad infraestratigráfica se encuentra por debajo del Miembro Carlos Francisco y está formada por una variedad de rocas, que incluyen andesita porfírica, tobas andesíticas, brechas, conglomerados, aglomerados y rocas porfíricas de origen volcánico. El conglomerado está compuesto por fragmentos de diferentes tamaños, que van desde 5 cm hasta 40 cm, con la presencia ocasional de guijarros de caliza que actúan como matriz.

b) Formación Casapalca

La formación Casapalca es la más antigua en el distrito minero y está compuesta por rocas sedimentarias de origen continental. Se ha subdividido en dos unidades distintas:

- Miembro El Carmen: Se encuentra por encima del Miembro Capas Rojas y se distingue por la presencia de varios conjuntos de conglomerados, así

como por la intercalación de capas de caliza, arenisca, lutita, toba y aglomerados volcánicos.

- Miembro Capas Rojas: Muestra alternancias de lutitas y areniscas calcáreas con tonos rojizos, que se deben a pequeñas cantidades de hematita dispersas en una matriz calcárea con contenido de óxidos de hierro. Las areniscas varían en tamaño de grano de fino a grueso y a menudo muestran una estratificación cruzada débil. Cerca del límite superior, se encuentran algunos estratos de caliza.

4.1.4. Geología estructural

Pliegues: Uno de los aspectos destacados en la mina de Casapalca es la presencia de plegamientos seguidos por fracturas.

Fallas: Los rasgos estructurales predominantes en la mina de Casapalca son las fallas y fracturas, cuya orientación principal es de Este a Oeste, coincidiendo con la disposición de las vetas Esperanza y Oroya, las cuales intersectan casi perpendicularmente el eje principal del sinclinal Pumatarea - Aguascocha y el anticlinal Casapalca.

Las rocas que rodean las estructuras mineralizadas son responsables del control sobre las fallas y fracturas.

4.1.5. Geología económica

El depósito mineral está formado por vetas y cuerpos, como se detalla a continuación.

- Vetas. La mineralización en vetas atraviesa toda la secuencia litológica desde las capas rojas de Casapalca hasta los conglomerados de Carmen, el volcánico Carlos Francisco y las Calizas Bellavista. Estas vetas son estructuras tabulares con espesores que oscilan entre 0.50 m y 2.50 m, mostrando ensanchamientos locales tanto verticales como horizontales debido al control estructural. En algunos lugares, estas vetas exhiben diversas texturas, lo que sugiere posibles procesos de inyección de fluidos

mineralizantes. Hasta la fecha, se han identificado cuatro vetas que son económicamente significativas en la unidad minera Casapalca: Esperanza-Mariana-Mercedes, Oroya, Don Reynaldo y Juanita. Además, se observan fenómenos como splits, lazos, cimoides, mantos, brechas y cuerpos de reemplazo magmático.

Zona cuerpos. La zona de mineralización se encuentra en el noroeste del campamento El Carmen.

Cuerpo Esperanza: Se trata de un cuerpo mineral con sulfuros dispersos, que siguen la orientación de la estratificación de la arenisca del Miembro Capas Rojas. Su dirección es N0°-20°O y su inclinación es de 60°-70° hacia el suroeste. Está ubicado directamente sobre la veta Esperanza y tiene una extensión mineralizada de hasta 80 metros de largo y 45 metros de ancho, observada hasta una altura de 300 metros. La mineralización principal consiste en esfalerita, con presencia menor de calcopirita, pirita y galena, asociadas con franjas de epidota y areniscas calcitizadas.

Cuerpo Carmen: Se encuentra en el Miembro El Carmen y sus dimensiones conocidas son de 100 metros de largo, con un ancho máximo de 15 metros y una altura de 100 metros. Este cuerpo mineral presenta una distribución de sulfuros que sigue la orientación de la estratificación de areniscas y conglomerados. La mineralización está mayormente compuesta por esfalerita y calcopirita, con menor presencia de tetraedrita y galena como minerales de mena, mientras que los minerales de ganga incluyen pirita, cuarzo y carbonatos. Las bandas mineralizadas y epidotizadas tienen una dirección de N7°-30°O y se inclinan entre 73° y 85° hacia el este.

4.1.6. Explotación

En la mina Casapalca, se utiliza el método de explotación subnivel stoping en los cuerpos minerales, ya que se considera el más apropiado dadas las condiciones del yacimiento y la disponibilidad de equipos de minería

mecanizada. En la Zona Cuerpos, este método permite la explotación con el uso de taladros largos, donde la voladura y el corte se llevan a cabo con el uso del VCR (Ventilador Cortante Rotativo).

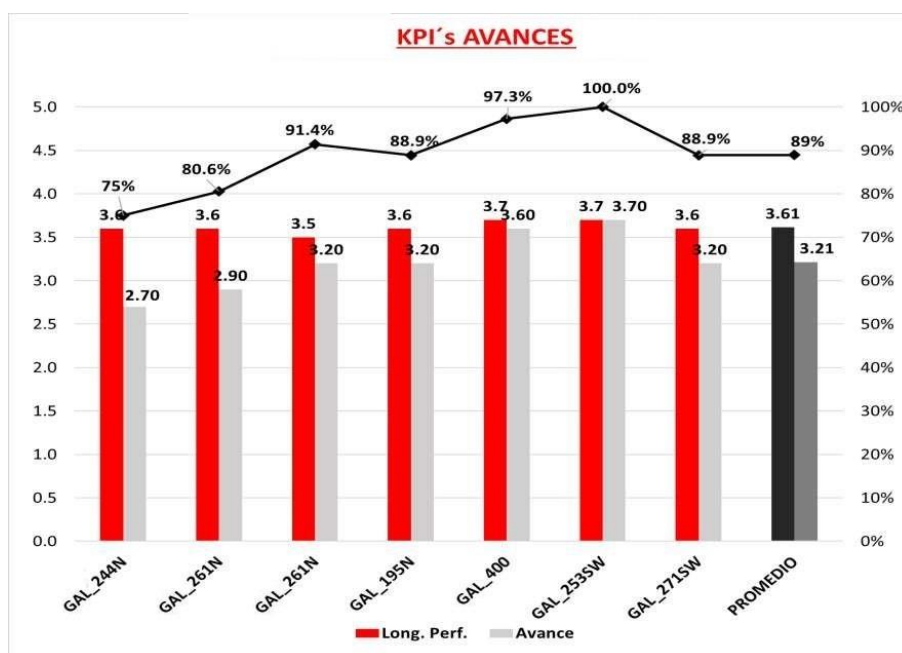
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

En la presente investigación se detallan los trabajos realizados en los frentes de avance de la zona cuerpos referente a realizar las pruebas de voladura controlada, monitoreo de vibraciones para determinar el daño al macizo rocoso en la periferia a excavar y seguimiento al cumplimiento de los parámetros en la perforación y en el proceso de carguío.

4.2.1. Frentes de avance

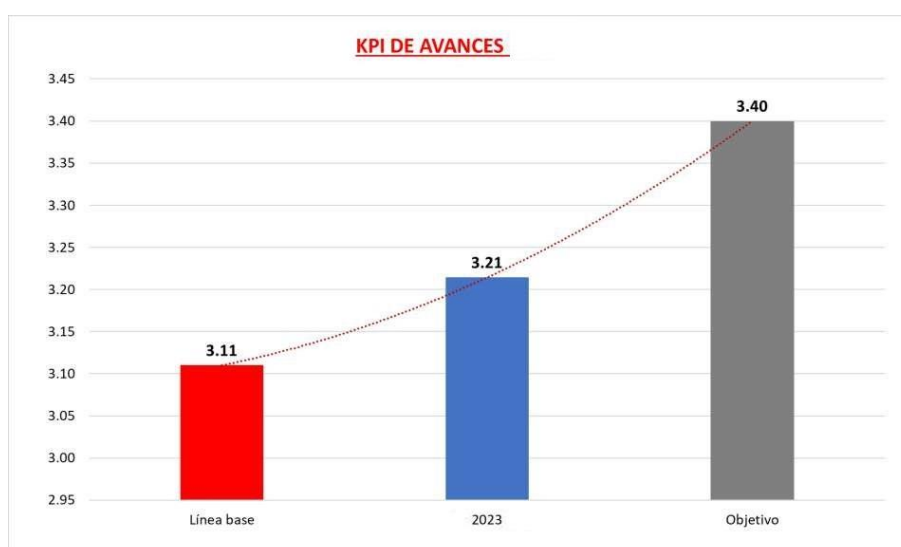
Los resultados en avances descrito en el siguiente gráfico son producto del seguimiento realizado en campo por la Asistencia Técnica en las labores, todo ello validado por el área de perforación y voladura de GMI.

Gráfica 1. Avance por disparo en frentes de avance.



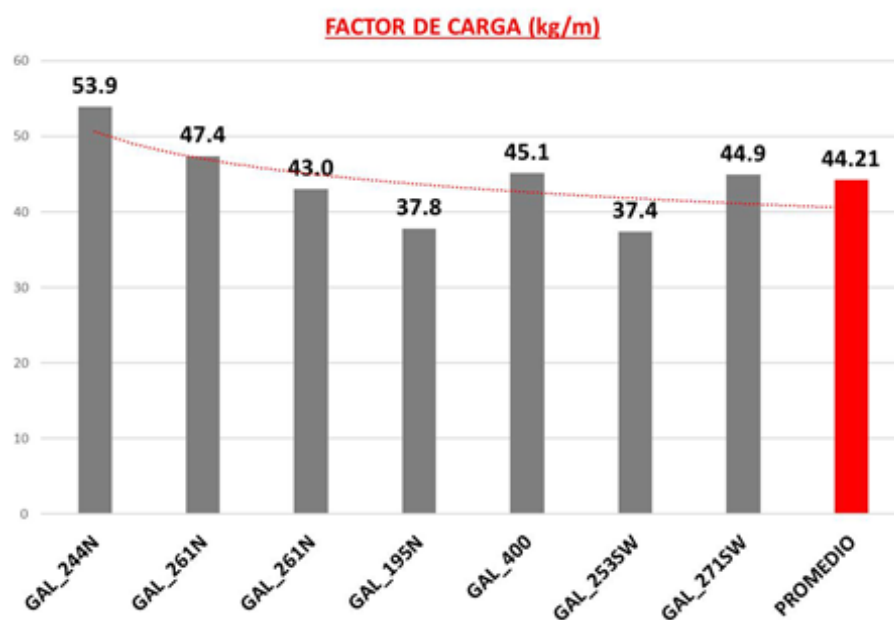
En la gráfica podemos observar avance por disparos en los frentes de trabajos, en la que visualizamos la existencia de mayor efectividad en la labor GAL_253SW con un avance del 100%.

Gráfica 2. *Indicador de avance por disparo.*



En la gráfica, podemos observar el indicador de avance por disparo KPI de 3.21. Estando programado 3.40 y como base 3.11, eso nos quiere decir que existe un avance por disparo promedio con el objetivo a su mejora.

Gráfica 3. *Indicadores de factor de carga.*



En la presente gráfica podemos visualizar el indicador de factor de carga promedio de 44.21 kg/m. verificando la existencia de factor de carga máximo a

la GAL_244N con 53.9 kg/m y la existencia de factor de carga mínimo a la GAL_253SW con 37.4 kg/m.

Sismografía

Análisis de vibración en campo cercano de los taladros de la corona, con el fin de evitar inestabilidad de macizo rocoso.

Tabla 2. *Análisis de daños al macizo rocoso por modelo de Holmberg y Persson*

		Tal. Corona Superfam DOS con Tubería PVC 3/4"	
		VPP	d (m)
Intenso fracturamiento	(4 x VPPc)	7,733	0.09
Creación de nuevas fracturas	(1 x VPPc)	1,933	0.28
Extender fracturas preexistentes	(1/4 x VPPc)	483	0.84

4.2.2. Reporte de resultados

Se realiza las pruebas de la voladura controlada con ANFO a granel con el uso de tubería PVC 3/4" en los frentes de avance, verificando el cumplimiento de los parámetros básicos en la perforación y el estándar establecido en las voladuras de la zona cuerpos.

Seguimiento y aplicación de la voladura controlada en los frentes de avances

Tabla 3. Registro de avances de la voladura controlada.

DATOS DE LA LABOR					PROGRAMADO			RESULTADO	EFICIENCIA	FACTOR DE
FECHA	TURNO	SECCIÓN	NIVEL	LABOR	ANCHO (m)	ALTO (m)	L. PERF. (m)	AVANCE (m)	AVANCE (%)	CARGA (kg/m)
23/08/23	DÍA	Cuerpos	19A	GAL_244N	4.0	4.0	3.6	2.70	75%	53.9
24/08/23	DÍA	Cuerpos	19A	GAL_261N	4.5	4.0	3.6	2.90	80.6%	47.4
25/08/23	DÍA	Cuerpos	19A	GAL_261N	4.5	4.0	3.5	3.20	91.4%	43.0
26/08/23	DÍA	Cuerpos	21	GAL_195N	4.0	4.0	3.6	3.20	88.9%	37.8
28/08/23	DÍA	Cuerpos	21	GAL_400	4.5	4.0	3.7	3.60	97.3%	45.1
31/08/23	DÍA	Cuerpos	20	GAL_253SW	4.0	4.0	3.7	3.70	100.0%	37.4
01/09/23	DÍA	Cuerpos	20	GAL_271SW	4.0	4.0	3.6	3.20	88.9%	44.9
				PROMEDIO			3.61	3.21	89%	44.21

La longitud de perforación promedio es de 3.61 m., se logró obtener un avance promedio de 3.21 m/disparo; por lo tanto, la eficiencia de voladura es de 89% y con un factor de avance de 44.21 kg/m, el avance por metro durante el mes de agosto se tiene un incremento en relación a la línea del 2023.

Como se observa en el cuadro anterior las primeras voladuras se tuvo un avance por disparo de 2.70m y 2.90m con el diseño de la malla de perforación estándar, pero se realizó el rediseño de la malla de perforación y se obtuvo resultados favorables en el avance por disparo.

Para mejorar la eficiencia por disparo y alcanzar el objetivo de 3.40 m por disparo se debe cumplir con los parámetros básicos de una buena la perforación y voladura, siendo lo siguiente:

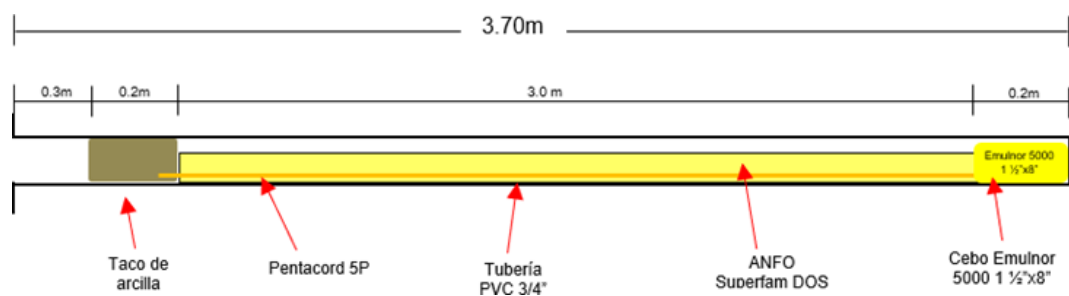
- Marcado de punto de dirección y gradiente.
- Marcado de la cuadrícula de acuerdo a malla de perforación estándar.
- Simetría de los taladros perforados, con el uso de plantillas.

- Control de paralelismo de los taladros perforados con el uso de los guidores y el marcado de las colas en la gradiente, hastiales y corona.
- Limpieza y sopleteo de los taladros perforados antes de realizar el carguío.
- Control de la carga explosiva de acuerdo a los cuadrantes de la malla de perforación.
- Realizar voladura controlada en los taladros de la corona con el uso de la tubería de PVC 3/4"x3.0m.
- También realizar el entubado de los taladros perforados en caso de una roca suave o fracturada

Esquema de carguío:

Preparación de ANFO AGRANEL con tubería PVC 3/4"

Figura 5. Esquema de carguío de explosivos.



Prueba 01 – GAL_261N NV. 19A

Datos técnicos de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.

Se muestra los resultados del seguimiento de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos (25/08/23), donde se muestra los parámetros de perforación y secuenciamiento de voladura.

Tabla 4. *Parámetros de perforación de la GAL_261N NV. 19A Sección*
Cuerpos.

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			
1	Ancho de la labor programado.	4.5	m
2	Alto de la labor programado.	4.0	m
3	Diámetro de perforación.	45	mm
4	Diámetro de alivios.	102	mm
5	Longitud de perforación efectiva.	3.5	m
6	Densidad de roca	2.7	Tn/m3
7	Nº de taladros perforados.	35	Und.
	Nº de taladros recorte.	0	Und.
	Nº de taladros rimados.	4	Und.
	Total de taladros.	39	Und.

Figura 6. *Secuenciamiento de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección*
Cuerpos.

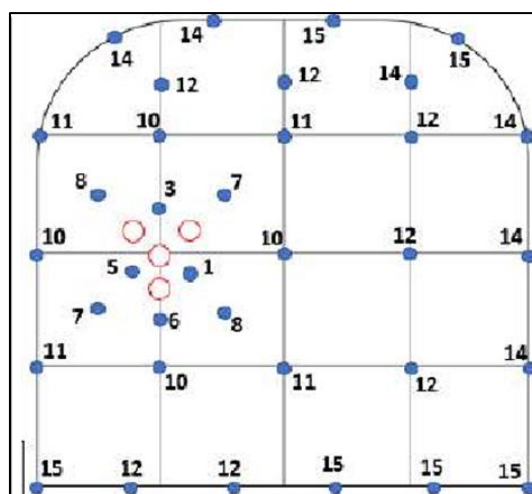


Tabla 5. Parámetros de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.

PARÁMETROS DE VOLADURA			
1	EMULNOR 5000 1 1/2"x8"	47	Und.
2	SUPERFAM DOS	125	Kg
3		0	Und.
Total de explosivos		137.5	
4	Fanel LP 4.2 m	36.0	Pza.
5	Cordón detonante 5P.	30.0	m
6	Cármex 7 ft	2	Pza.
7	Metros cúbicos rotos (Prog.)	61.74	m3
8	Metro cúbicos rotos permisibles 10% (Prog.)	67.9	m3
9	Factor de carga (Prog.)	2.0	Kg/m3
10	Factor de carga lineal (Prog.)	39.3	Kg/m

Tabla 6. Resultados de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.

RESULTADOS DE VOLADURA			
1	Avance Efectivo.	3.2	m
2	Eficiencia de avance.	91%	
3	Factor de carga lineal (Ejec.)	43.0	Kg/m

El resultado de avance de la GAL_261N NV_19A Sección Cuerpos es de 3.2 m. Analizando la longitud de perforación y el avance obtenido, se deduce que el disparo es eficiente respecto a la longitud de perforación.

- Se realizó el carguío de 35 taladros cargados con una longitud promedio de 3.5 m, como cebo Emulnor 5000 1 1/2"x8" y Fanel LP (#1 al #15)

- Se observa el uso de dos guidores de barra de acero durante el proceso de perforación.
- Se realiza el marcado de rasante y las colas en los hastiales y techo para el control de paralelismo de taladros.
- Se observa una mejora en la simetría de los taladros perforados en el arranque y ayudas.
- Se realiza el marcado del arranque con la plantilla.
- Se realiza el control de paralelismo de los taladros durante la perforación
- Se realiza el entubado de los taladros debido a la presencia de fallas en el frente de perforación.
- Se realiza las pruebas de la voladura controlada con el uso de la tubería PVC 3/4" en los taladros de la corona

Figura 7. Se evidencia el proceso de perforación y la longitud de perforación de 3.7m en la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.



Figura 8. Se evidencia el proceso de carguío y falta de simetría en los taladros del arranque en la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.



Figura 9. Se evidencia el amarre del Fanel LP y la preparación de las cañas con ANFO a granel en tubería PVC ¾" en la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.



Figura 10. Se evidencia el resultado de la voladura con las medias cañas en el techo de la labor en la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.



Prueba 02 – GAL_400 NV.21

Datos técnicos de voladura de la GAL_400 NV.21 Sección Cuerpos.

Se muestra los resultados del seguimiento de la GAL_400 NV. 21 Sección Cuerpos (28/08/23), donde se muestra los parámetros de perforación y secuenciamiento de voladura.

Tabla 7. *Parámetros de perforación de la GAL_400 NV. 21 Sección Cuerpos.*

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			
1	Ancho de la labor programado.	4.5	m
2	Alto de la labor programado.	4.0	m
3	Diámetro de perforación.	45	mm
4	Diámetro de alivios.	102	mm
5	Longitud de perforación efectiva.	3.7	m
6	Densidad de roca	2.7	Tn/m3
7	Nº de taladros perforados.	40	Und.
	Nº de taladros recorte.	0	Und.
	Nº de taladros rimados.	4	Und.
	Total de taladros.	44	Und.

Figura 11. *Secuenciamiento de voladura de la GAL_400 NV. 21 Sección Cuerpos.*

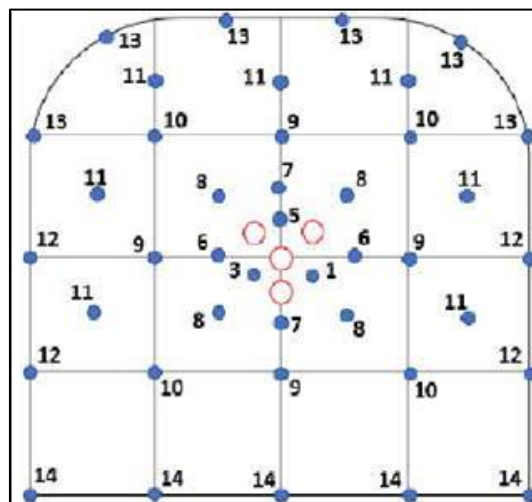


Tabla 8. Parámetros de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.

PARÁMETROS DE VOLADURA			
1	EMULNOR 5000 1 1/2"x8"	329	Und.
2	SUPERFAM DOS	75	Kg
3		0	Und.
Total de explosivos		162.5	
4	Fanel LP 4.2 m	38.0	Pza.
5	Cordón detonante 5P.	30.0	m
6	Cármex 7 ft	2	Pza.
7	Metros cúbicos rotos (Prog.)	65.27	m3
8	Metro cúbicos rotos permisibles 10% (Prog.)	71.8	m3
9	Factor de carga (Prog.)	2.3	Kg/m3
10	Factor de carga lineal (Prog.)	43.9	Kg/m

Tabla 9. Resultados de voladura de la GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos.

RESULTADOS DE VOLADURA			
1	Avance Efectivo.	3.6	m
2	Eficiencia de avance.	97%	
3	Factor de carga lineal (Ejec.)	45.1	Kg/m

El resultado de avance de la GA_400 NV_21 Sección Cuerpos es de 3.6 m. Analizando la longitud de perforación y el avance obtenido, se deduce que el disparo es eficiente respecto a la longitud de perforación.

- Se realizó el carguío de 40 taladros cargados con una longitud promedio de 3.7 m, como cebo Emulnor 5000 1 1/12"x8" y Fanel LP (#1 al #15)

- Se observa el uso de dos guidores de barra de acero durante el proceso de perforación.
- Se realiza el marcado de la malla de perforación en prueba.
- Se realiza el marcado del arranque con la plantilla.
- Se realiza el entubado de los taladros del piso y realiza el carguío con Emulnor 5000 1 1/2"x8".
- Se realiza la prueba de la voladura controlada con el uso de la tubería PVC 3/4" en los taladros de la corona.

Figura 12. *Se evidencia el proceso de perforación y la longitud de perforación de 3.7m en la GAL-400 NV.21 Sección Cuerpos.*



Figura 13. Se evidencia el proceso de carguío y falta de simetría en los taladros del arranque en la GAL-400 NV.21 Sección Cuerpos.



Figura 14. Se evidencia la perforación del arranque y la preparación de las cañas con ANFO a granel en tubería PVC $\frac{3}{4}$ " en la GAL-400 NV.21 Sección Cuerpos.



Figura 15. Se evidencia el resultado de la voladura en la GAL-400 NV.21
Sección Cuerpos.



Figura 16. Se evidencia el resultado de la voladura en la GAL-400 NV.21
Sección Cuerpos.



Prueba 03 – GAL_253SW NV. 20

Datos técnicos de voladura de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.

Se muestra los resultados del seguimiento de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos (31/08/23), donde se muestra los parámetros de perforación y secuenciamiento de voladura.

Tabla 10. *Parámetros de perforación de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.*

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			
1	Ancho de la labor programado.	4.0	m
2	Alto de la labor programado.	4.0	m
3	Diámetro de perforación.	45	mm
4	Diámetro de alivios.	102	mm
5	Longitud de perforación efectiva.	3.7	m
6	Densidad de roca	2.7	Tn/m3
7	Nº de taladros perforados.	34	Und.
	Nº de taladros recorte.	0	Und.
	Nº de taladros rimados.	4	Und.
	Total de taladros.	38	Und.

Figura 17. *Secuenciamiento de voladura de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.*

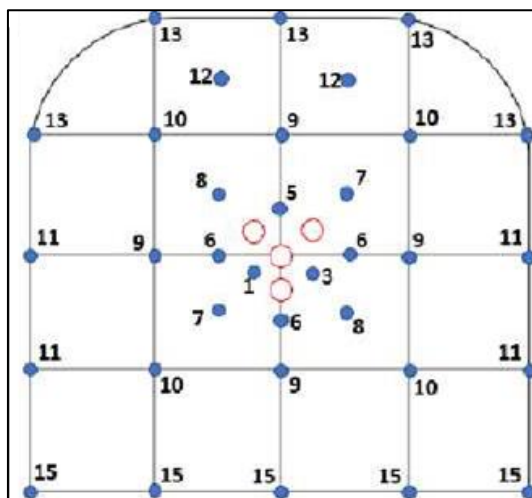


Tabla 11. *Parámetros de voladura de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.*

PARÁMETROS DE VOLADURA			
1	EMULNOR 5000 1 1/2"x8"	130	Und.
2	SUPERFAM DOS	100	Kg
3		0	Und.
Total de explosivos		134.6	
4	Fanel LP 4.2 m	33.0	Pza.
5	Cordón detonante 5P.	30.0	m
6	Cármex 7 ft	2	Pza.
7	Metros cúbicos rotos (Prog.)	65.27	m3
8	Metro cúbicos rotos permisibles 10% (Prog.)	71.8	m3
9	Factor de carga (Prog.)	1.9	Kg/m3
10	Factor de carga lineal (Prog.)	36.4	Kg/m

Tabla 12. Resultados de voladura de la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.

RESULTADOS DE VOLADURA			
1	Avance Efectivo.	3.6	m
2	Eficiencia de avance.	97%	
3	Factor de carga lineal (Ejec.)	37.4	Kg/m

El resultado de avance de la GAL_253 SW NV_20 Sección Cuerpos es de 3.6 m. Analizando la longitud de perforación y el avance obtenido, se deduce que el disparo es eficiente respecto a la longitud de perforación.

- Se realizó el carguío de 34 taladros cargados con una longitud promedio de 3.7 m, como cebo Emulnor 5000 1 1/2"x8" y Fanel LP (#1 al #15).
- Se observa el uso de dos guidores de barra de acero durante el proceso de perforación.
- Se realiza la perforación con broca 51mm todo el frente debido a la filtración de agua por los taladros perforados y realizar el entubado
- Se realiza el marcado del arranque con la plantilla. Se realiza el entubado de los taladros del piso y realiza el carguío con Emulnor 5000 1 1/2"x8".
- Se realiza la prueba de la voladura controlada con el uso de la tubería PVC 3/4" en los taladros de la corona.

Figura 18. Se evidencia el proceso de perforación y la longitud de perforación de 3.7m en la GAL_253SW NV. 20 Sección Cuerpos.



Figura 19. Se evidencia la preparación de las cañas con ANFO a granel en tubería PVC $\frac{3}{4}$ y el proceso de carguío en la GAL_253SW NV.20 Sección Cuerpos.



Figura 20. Se evidencia el resultado de la voladura en la GAL_253SW NV.20
Sección Cuerpos.



Figura 21. Se evidencia el resultado de la voladura en la GAL_253SW NV.20
Sección Cuerpos.

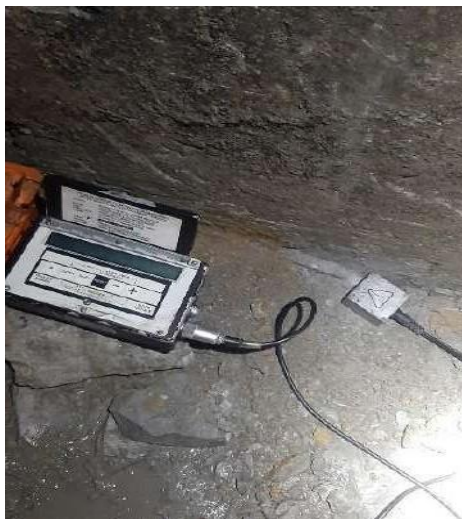


Medición de vibraciones

Para evaluar las perturbaciones que se generan en el macizo rocoso durante las voladuras, se utilizó un sismógrafo WHITE para realizar la pruebas. Este sismógrafo tiene sensores de onda dispuestos en los ejes tridimensionales

“x”, “y”, “z”; el cual es instalado para monitorear las vibraciones producidas por las voladuras.

Figura 22. Se evidencia programación del equipo WHITE.



Resultados de campo

Para poder registrar con nitidez la vibración de los taladros de la corona se colocó el geófono cerca a la voladura en los frentes de avance, por lo cual se registra el VPP mayor a 50mm/s como se muestra la tabla siguiente.

Tabla 13. Registro de monitoreo de vibraciones.

Fecha	Labor	Sección	Superfam Emulnor 5000				Carga	Radial PPV (mm/s)	Transversal PPV (mm/s)	Vertical PPV (mm/s)	Vector Suma PPV (mm/s)
			DOS	1 1/2" x 8"	Total(kg)	Distancia (m)	Operante (Kg/retardo)				
			(kg)	(kg)							
24/08/2023	GAL_261N	Cuerpos	125	12.5	137.5	31.5	15.6	24.13	25.91	110.74	111.76
25/08/2023	GAL_261N	Cuerpos	125	12.5	137.5	33.2	15.6	20.07	72.14	50.80	73.66
26/08/2023	GAL_195N	Cuerpos	75	46	121	37.5	15.6	10.92	10.16	91.44	92.20
28/08/2023	GAL_400	Cuerpos	75	87.5	162.5	44.8	15.6	14.48	21.84	56.90	56.90

Cuadro comparativo

Se realiza el comparativo de radio de influencia cuando se realiza voladura controlada de 0.09m y sin voladura controlada de 0.22m, también el comparativo del análisis de vibración en los taladros de la corona con voladura controlada de 4.82mm/s y sin voladura controlada de 7.92mm/s.

Tabla 14. *Cálculo de radio de influencia en los taladros de corona.*

SIN VOLADURA CONTROLADA	0.22 m		
CON VOLADURA CONTROLADA	0.09 m	Carga de ANFO agranel con tubería PVC 3/4"	61% 

Tabla 15. *Análisis de vibraciones en los taladros de corona.*

SIN VOLADURA CONTROLADA	7.92 mm/s		
CON VOLADURA CONTROLADA	4.82 mm/s	Carga de ANFO agranel con tubería PVC 3/4"	39% 

Análisis de radio de influencia en los taladros de la corona

La voladura controlada se realiza con las cañas de ANFO a granel en la tubería PVC ¾" con un cebo de Emulnor 5000 1 ½"x8", este análisis es de acuerdo a los monitoreos de vibración realizadas en las voladuras.

El umbral del valor máximo de la velocidad de partícula para los diferentes niveles de daño, según Cameron Mckenzie.

Tabla 16. *Criterio de daño según Cameron-Mckenzie.*

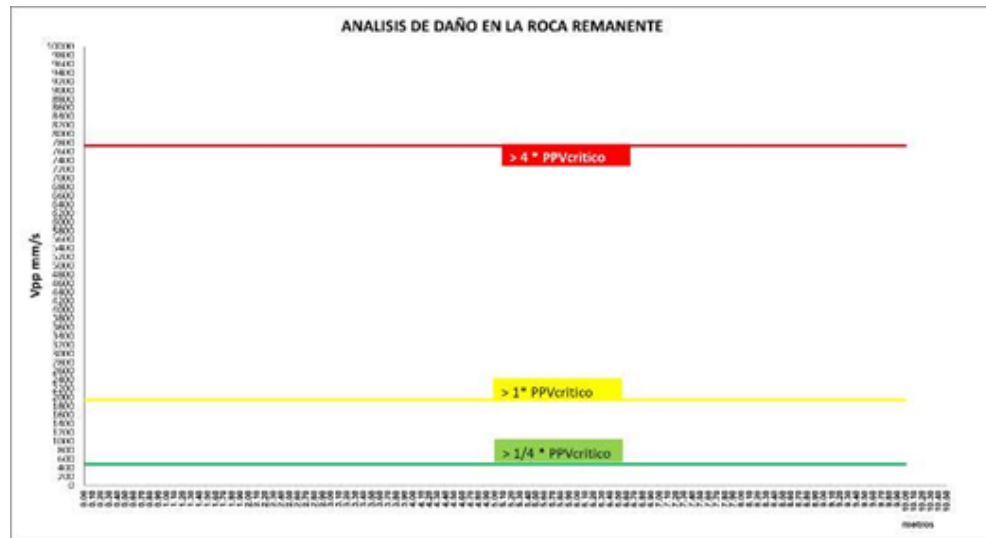
CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO	Vpp critico
Mayor 4 * PPV critico	Intenso fracturamiento	6995
Mayor 1 * PPV critico	Creación de nuevas fracturas	1749
Mayor 1 / 4 * PPV critico	Leve propagación fracturas pre – existentes	437

Tabla 17. Registro de criterio de daño.

TIPO DE ROCA	Voladura controlada con Superfam DOS en la tubería PVC 3/4"
RMR	
GSI	
EXPLOSIVO	
K	351.7
Alfa	-1.242

Q (Kg)	1.20
Dist. (m)	
0.01	120045
0.02	50753
0.04	21458
0.06	12968
0.08	9072
0.10	6876
0.12	5483
0.14	4527
0.16	3836
0.18	3314
0.20	2907
0.30	1757
0.40	1229
0.50	932
0.60	743
0.70	613
0.80	520
0.90	449
1.00	394
1.10	350
1.20	314
1.30	284
1.40	259
1.50	238
1.60	220
1.70	204
1.80	190
1.90	177
2.00	167
3.00	101
4.00	70
5.00	53
6.00	43
7.00	35
8.00	30
9.00	26
10.00	23

Gráfica 4. Registro de criterio de daño.



Monitoreo y análisis de daño campo cercano

En el mismo objetivo del monitoreo de vibraciones en coordinación con el área de perforación y voladura, como parte de la mejora continua en los análisis de vibraciones, se acordó realizar un análisis más detallado por vibraciones.

Por ello se decidió realizar un análisis en campo cercano, principalmente, este análisis busca determinar si hay algún daño en la zona periférica como resultado de la detonación de los taladros ubicados en los bordes de la malla de perforación y voladura que se está llevando a cabo.

Con el fin de obtener una evaluación más precisa del nivel de daño o ruptura en la zona periférica causado por la explosión en proximidad al campo. Primero se determina las vibraciones VPPc, generadas en la zona de intenso fracturamiento (Crushing zone) del taladro; seguido se determina las constantes de Holmeberg –Persson, ya con este último se determinará el radio de daño o rotura por parte del explosivo de los taladros periféricos.

Radio influencia de los taladros de corona o techo con voladura controlada

En el marco del monitoreo de vibraciones en colaboración con el departamento de perforación y voladura, como parte del proceso de mejora continua en la evaluación de vibraciones, se ha establecido la necesidad de llevar a cabo un análisis más exhaustivo. En este sentido, se ha decidido realizar un análisis en campo cercano con el objetivo principal de verificar la presencia de posibles daños en la zona periférica causados por la detonación de los taladros periféricos dentro del patrón de perforación y voladura actualmente en curso. Este análisis busca identificar con precisión cualquier impacto negativo en las áreas circundantes a la detonación, permitiendo así tomar medidas correctivas adecuadas para garantizar la seguridad y eficacia de las operaciones detallados en las tablas siguientes.

Tabla 18. *Registro de vibraciones en los taladros de la corona con voladura controlada.*

MODELO DE DEVINE:			Explosivos: Superfan DOS Taladros de corona con tubería PVC 3/4"			Eje (x)	Eje (y)
Disparo (fecha)	Labor	Equipo	V (mm/s)	D (m)	W (kg)	De = D/W ^{1/2}	VPP (mm/s)
			Vel. Pico Partícula	Distancia Monitoreo	(peso max/retardo)	Distancia escalar	Vel. Pico Partícula
24/08/2023	GAL_ 261 N	FAMESA	4.87	31.50	1.19	28.88	4.87
24/08/2023	GAL_ 261 N	FAMESA	5.78	31.50	1.19	28.88	5.78
25/08/2023	GAL_ 261 N	FAMESA	5.48	33.20	1.19	30.43	5.48
25/08/2023	GAL_ 261 N	FAMESA	5.30	33.20	1.19	30.43	5.30
25/08/2023	GAL_ 261 N	FAMESA	4.45	33.20	1.19	30.43	4.45
26/08/2023	GAL_ 195N	FAMESA	4.17	37.50	1.19	34.38	4.17
26/08/2023	GAL_ 195N	FAMESA	5.04	35.70	1.19	32.73	5.04
28/08/2023	GAL_ 400	FAMESA	3.45	44.80	1.19	41.07	3.45

Gráfica 5. Ley de atenuación en los taladros de la corona con voladura controlada.

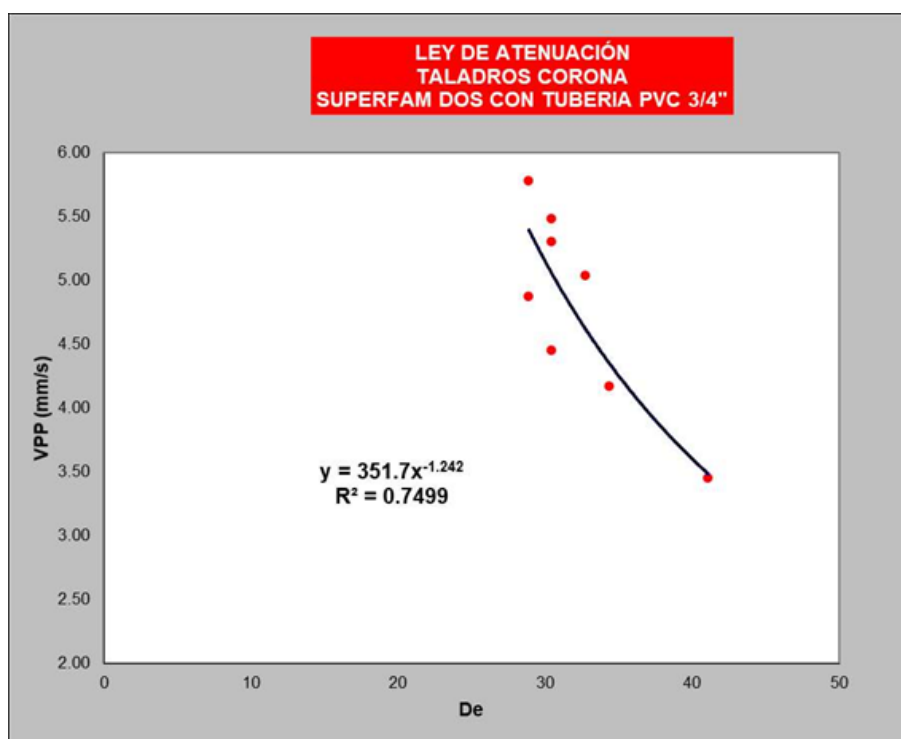


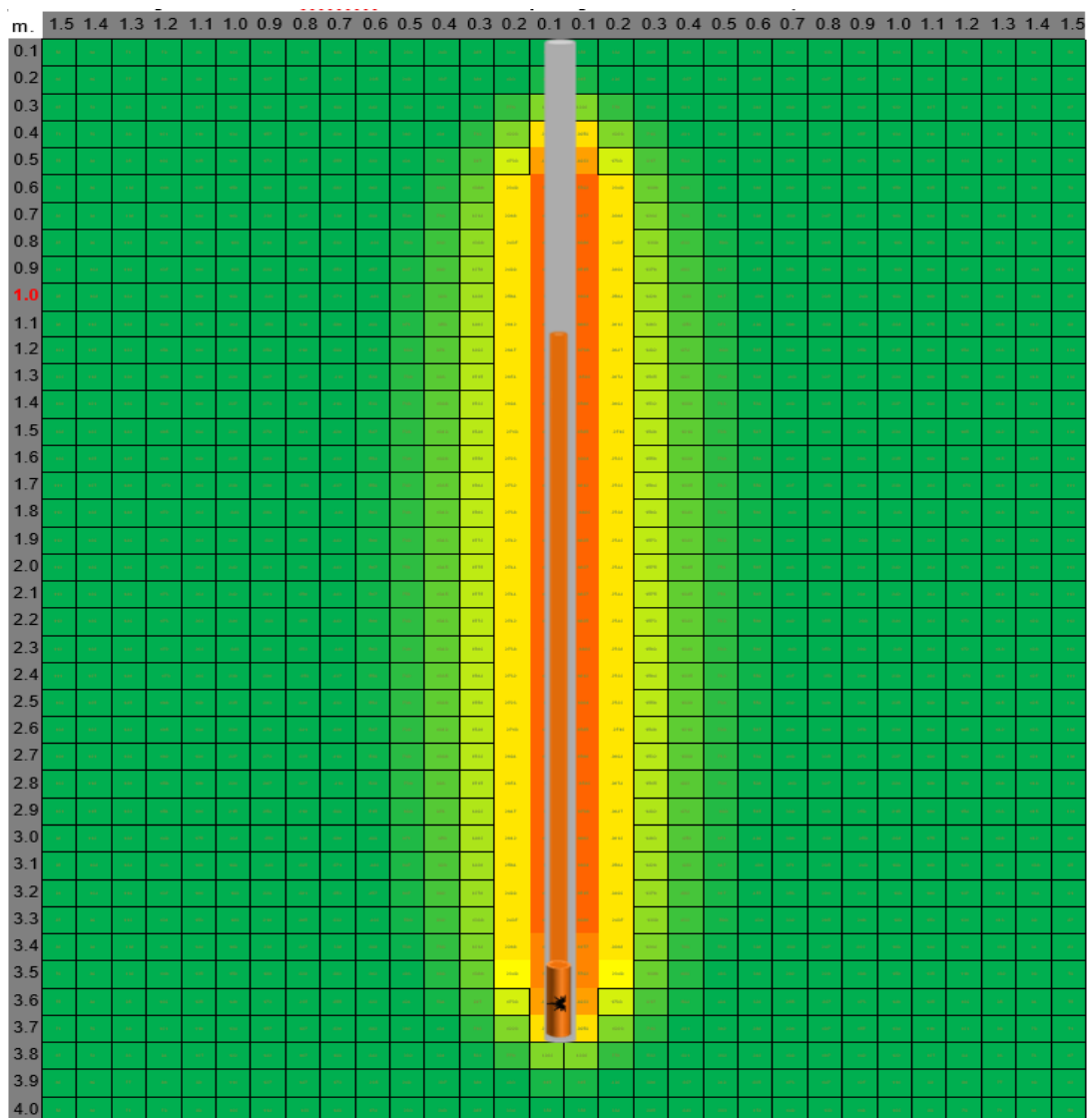
Tabla 19. Análisis de daño en los taladros de la corona con voladura controlada.

Explosivo	Superfam DOS con tubería PVC 3/4"	
k	351.70	m
Alfa	-1.24	m
Long. Taco	0.40	m
Long. Carg.	3.30	m
Long. Taladro	3.70	m
Densidad carga	0.80	gr/cc
W explosivo	1.19	kg
Carga Lineal	0.36	kg/ml

		Tal. Corona Superfam DOS con Tubería PVC 3/4"
		d (m)
Intenso fracturamiento	(4 x VPPc)	0.09
Creación de nuevas fracturas	(1 x VPPc)	0.28
Extender fracturas preexistentes	(1/4 x VPPc)	0.84

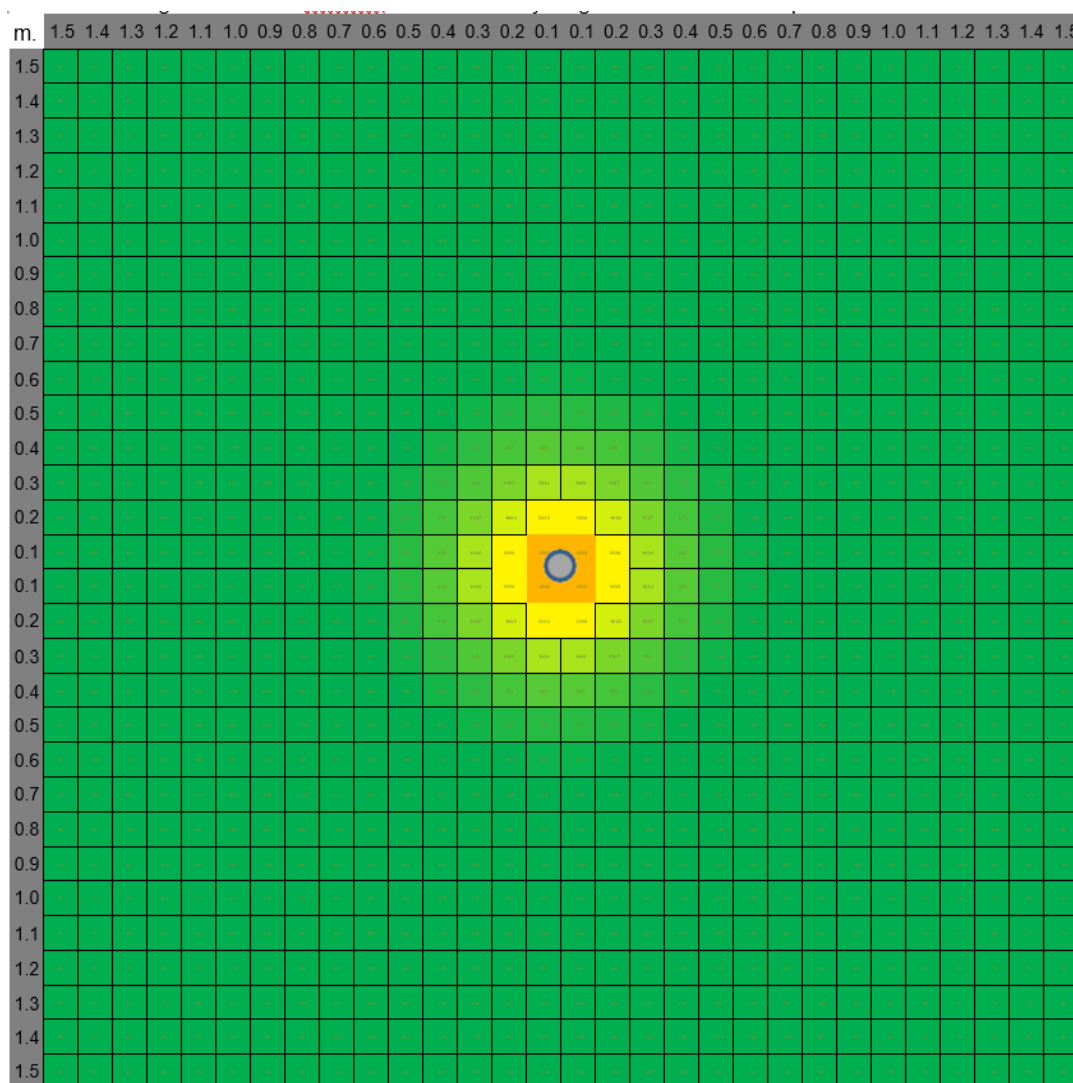
En el siguiente esquema de vista en perfil, podemos observar que existe taladro cargado con cebo Emulnor 5000 1 1/2"x8" y carga de columna desacoplada con tubería PVC 3/4".

Figura 23. Radio de influencia en los taladros de la corona en vista en perfil con voladura controlada.



En el siguiente esquema de vista en planta, podemos observar que para la profundidad del taladro equivale 2.5 metros y la existencia de un taladro cargado con cebo Emulnor 5000 1 1/2"x8" y carga de columna desacoplada con tubería PVC 3/4".

Figura 24. *Radio de influencia en los taladros de la corona en vista en planta con voladura controlada.*



Análisis de VPP en los taladros de la corona con voladura controlada

Con el fin de obtener una comprensión más precisa del nivel de daño o fractura en la periferia causado por la explosión en un entorno cercano, se lleva a cabo un proceso detallado. Primero, se evalúan las vibraciones VPPc generadas en la zona de fracturamiento intenso del taladro, conocida como

"Zona de Trituración". Luego, se procede a calcular las constantes de las cuales proporcionan información crucial para determinar el radio de daño o fractura causado por la explosión de los taladros periféricos. Este enfoque integral permite una evaluación precisa del impacto del explosivo en las áreas circundantes a la detonación

Figura 25. Análisis de VPP en los taladros de la corona con voladura controlada.

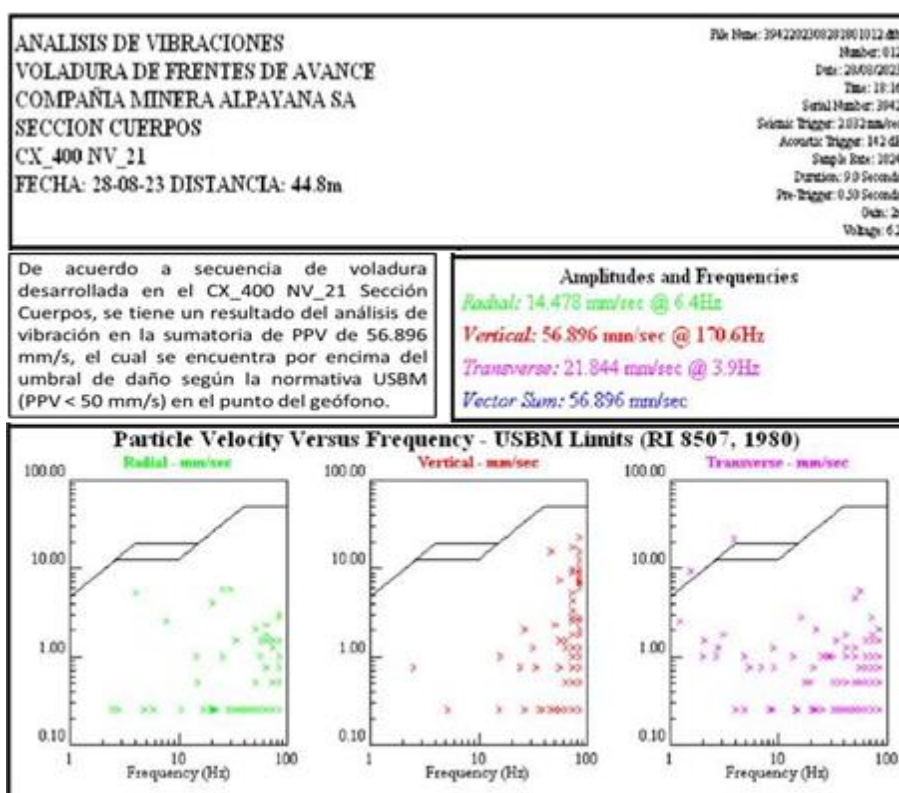


Figura 26. Análisis de VPP en los taladros de la corona con voladura controlada con el Fanel LP #13.

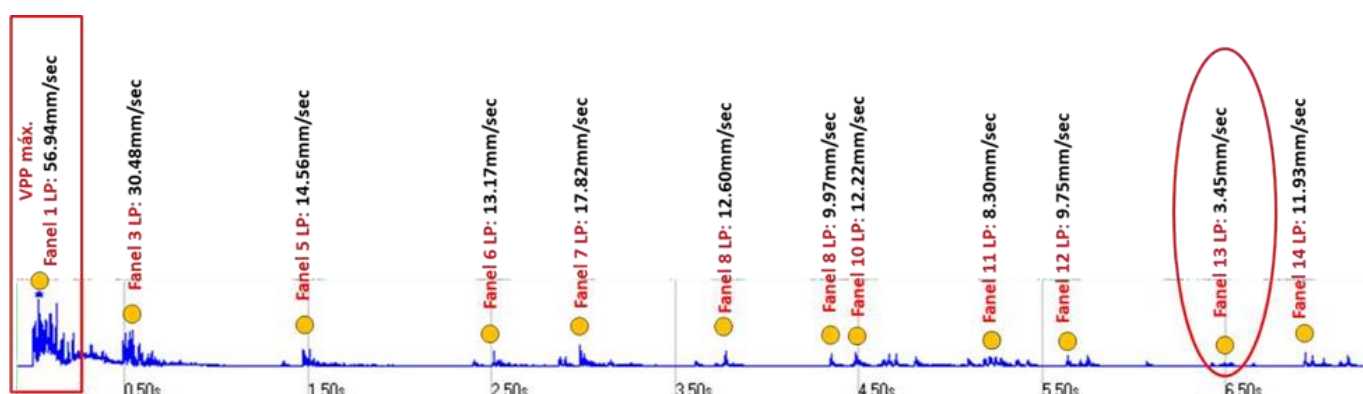
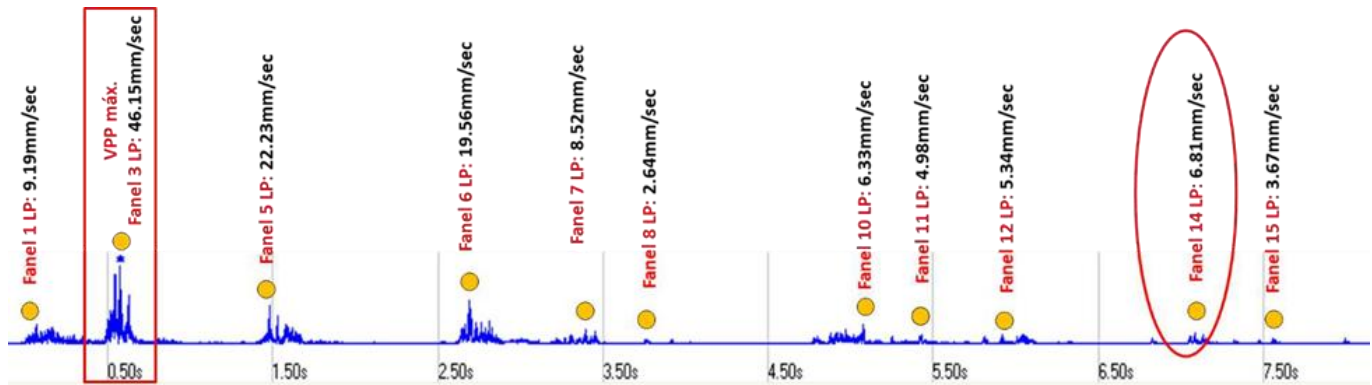


Figura 27. Análisis de VPP en los taladros de la corona sin voladura controlada con el Fanel LP #14.



Propuesta de la Malla de Perforación

De acuerdo al seguimiento y monitoreo en los frentes de avance donde se observa los resultados con tacos de 0.6m hasta 1.2m sobre todo en los hastiales de la labor, se propone replantear la malla de perforación en las secciones de 4.0x4.0m y 4.5x4.0m para roca regular III A - III B (RMR 41 - 60) incluyendo la voladura controlada con ANFO a granel con tubería PVC 3/4" en los taladros de la corona, con la misma cantidad de explosivos de acuerdo al estándar que se tiene actualmente, que se observa en las secciones el cual se detalla en las figuras y tablas siguientes:

Sección 4.0x4.0m.

Figura 28. Malla de perforación y voladura con Jumbo sección 4.50x4.00

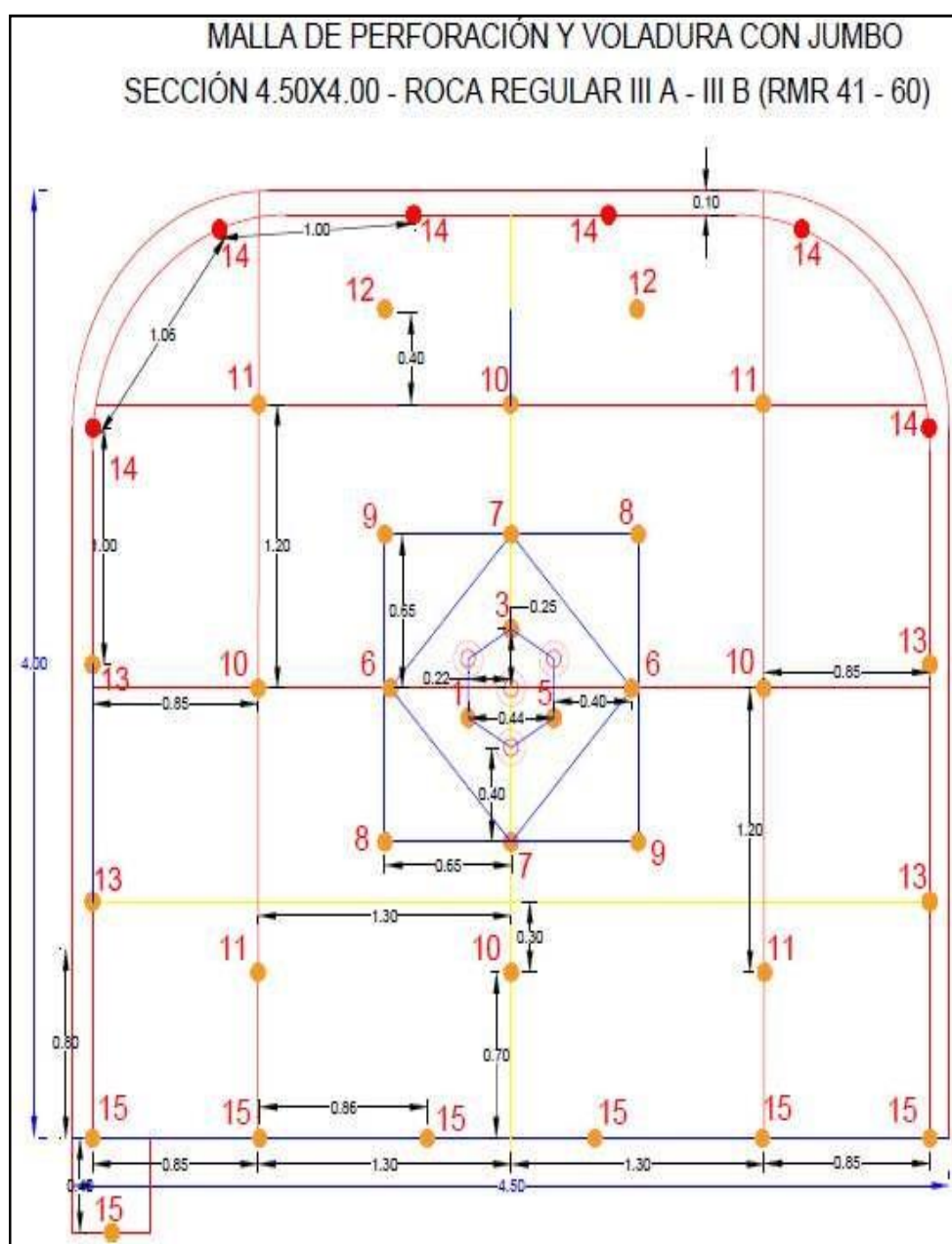


Tabla 20. *Faneles para sección de 4.2 mts.*

SEC.	CANT.
Nº 1	1
Nº 2	
Nº 3	1
Nº 4	
Nº 5	1
Nº 6	2
Nº 7	2
Nº 8	2
Nº 9	2
Nº 10	4
Nº 11	4
Nº 12	6
Nº 13	5
Nº 14	5
Nº 15	
Nº 16	
TOTAL	35

Tabla 21. *Distribución de explosivo por taladro.*

DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	DIAM. TAL.	Secc. Salida	Cant. Tal.	Nº Cart/ Taladro		Emulsión Por Tal. Kg	ANFO por Taladro		Total Explosivo (Kg)
				E- 3000 1 1/8" x 12"	E- 5000 1 1/2" x 8"		(m)	(kg)	
Arranque	51	1	1		1	0.3	3.2	5.6	5.8
Arranque	51	3	1		1	0.3	3.2	5.6	5.8
Arranque	51	5	1		1	0.3	3.2	5.6	5.8
1ra Ayuda	51	6	2		1	0.3	3.2	5.6	11.7
1ra Ayuda	51	7	2		1	0.3	3.2	5.6	11.7
2ra Ayuda	45	8	2		1	0.3	2.9	3.9	8.4
2ra Ayuda	45	9	2		1	0.3	2.9	3.9	8.4
3da Ayuda	45	10	4		1	0.3	2.7	3.6	15.6
4ra Ayuda	45	11	4		1	0.3	2.7	3.6	15.6
Ayuda corona	4-5	12	2		1	0.3	2.7	3.6	7.8
Hastiales	45	12	4		1	0.3	2.7	3.6	15.6
Corona	45	13	5		1	0.3	3.0	1.2	7.3
Arrastre	51	14	5		8	2.1	1.5	2.6	23.7
TOTAL			35	-	70	18.6	-	125	143

PARAM. DE PERFORACIÓN			PARAM. TÉCNICOS		
LONG. BARRA	ft	14	TIPO DE ROCA	REGULAR	
LONG. BARRA	m	4.27	SECCIÓN (BXA)	4.0	4.0
LONG. PERFORACIÓN	m	3.7	DENSIDAD ROCA	Ton/m3	2.7
EF. PERFORACIÓN		87%	VOL. INSITU ROTO	m3	48.96
Nº TAL. PERFORADOS		39	RENDIMIENTO		144.3
Nº RIMADOS		4	MTS PERF. X DISP	mp/disp	
DIAM. BROCA	mm	51 y 45	MTS PERF. X AVANCE	mp/ml	
DIAM. RIMADO	mm	102	MTS PERF. X TON	mp/ton	1.1
EXPLOSIVO Y ACCESORIOS		5	RESULTADOS		
ANFO	sacos				
EMULNOR 5000 1 1/2"X8"	cart	70	AVANCE POR DISP.	m	3.4
EMULNOR 3000 1 1/8"X12"	cart	-	EF. VOLADURA		92%
CORDÓN DETONANTE	m	25	F. AVANCE	kg/m	42.14
CARMEX	und	2	F. CARGA	kg/m³	2.93
MECHA RÁPIDA	m	0.2	F. POTENCIA	kg/ton	1.08

Sección 4.5x4.0m.

Figura 29. Malla de perforación y voladura con Jumbo sección 4.50x4.00

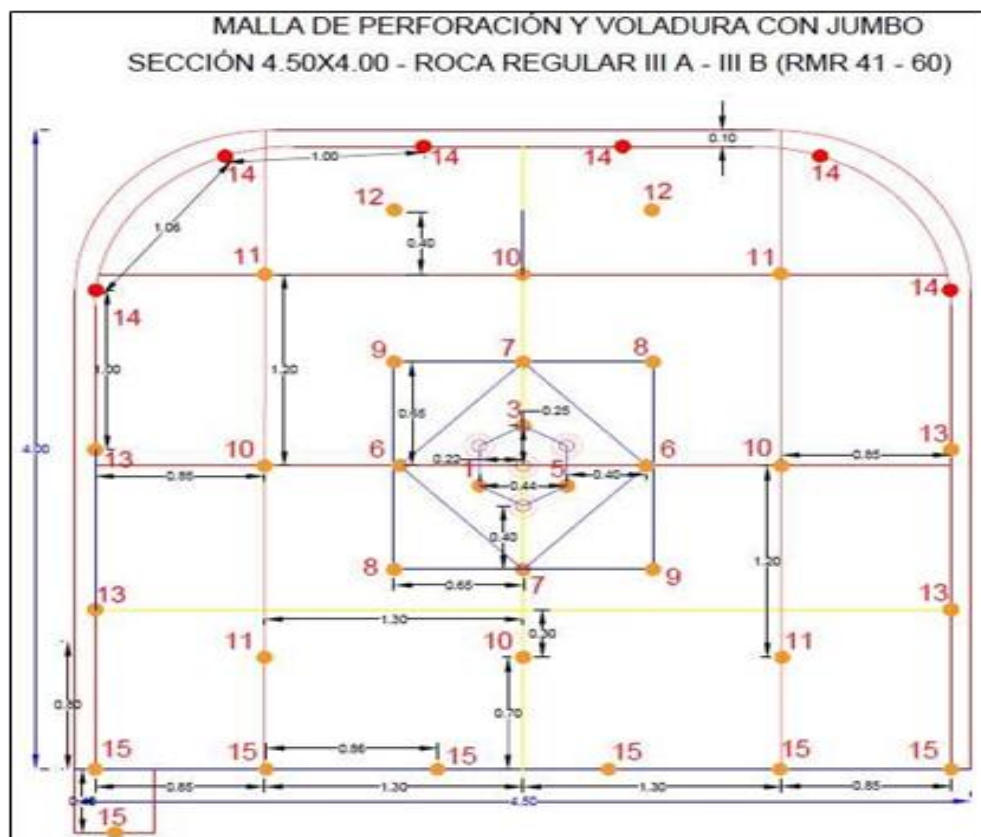


Tabla 22. *Faneles para sección de 4.2 mts.*

SEC.	CANT.
Nº 1	1
Nº 2	
Nº 3	1
Nº 4	
Nº 5	1
Nº 6	2
Nº 7	2
Nº 8	2
Nº 9	2
Nº 10	4
Nº 11	4
Nº 12	2
Nº 13	4
Nº 14	6
Nº 15	7
Nº 16	
TOTAL	35

4.

Tabla 23. *Distribución de explosivo por taladro.*

DISTRIBUCIÓN DE TALADROS	DIAM. TAL.	Secc. Salida	Cant. Tal.	Nº Cart/ Taladro		Emulsión Por Tal. Kg	ANFO por Taladro (m)	(kg)	Total Explosivo (Kg)
				E- 3000	E- 5000				
				1 1/8" x 12"	1 1/2" x 8"				
Arranque	51	1	1		1	0.3	3.2	5.6	5.9
Arranque	51	3	1		1	0.3	3.2	5.6	5.9
Arranque	51	5	1		1	0.3	3.2	5.6	5.9
1ra Ayuda	45	#	2		1	0.3	3.2	4.3	9.2
1ra Ayuda	45	7	2		1	0.3	3.2	4.3	9.2
2ra Ayuda	45	8	2		1	0.3	3.0	4.1	8.6
2ra Ayuda	45	9	2		1	0.3	3.0	4.1	8.6
3da Ayuda	45	10	4		1	0.3	2.9	3.9	16.7
4ra Ayuda	45	11	4		1	0.3	2.9	3.9	16.7
Ayuda corona	45	12	2		1	0.3	2.9	3.9	8.4
Hastiales	45	13	4		1	0.3	2.9	3.9	16.7
Corona	45	14	6		1	0.3	3.0	1.2	8.7
Arrastre	51	15	7		2	0.5	3.1	5.4	41.5
TOTAL			38	-	45	12	-	150	162

PARAM. DE PERFORACIÓN			PARAM. TÉCNICOS		
LONG. BARRA	ft	14	TIPO DE ROCA	REGULAR	
LONG. BARRA	m	4.27	SECCIÓN (BXA)	4.5	4.0
LONG. PERFORACIÓN	m	3.7	DENSIDAD ROCA	Ton/m3	2.7
EF. PERFORACIÓN		87%	VOL. INSITU ROTO	m3	53.46
Nº TAL. PERFORADOS		42	RENDIMIENTO		155.4
Nº RIMADOS		4	MTS PERF. X DISP	mp/disp	
DIAM. BROCA	mm	51 y 45	MTS PERF. X AVANCE	mp/ml	47.1
DIAM. RIMADO	mm	102	MTS PERF. X TON	mp/ton	1.1
EXPLOSIVO Y ACCESORIOS			RESULTADOS		
ANFO	sacos		6		
EMULNOR 5000 1 1/2"X8"	cart	45	AVANCE POR DISP.	m	3.3
EMULNOR 3000 1 1/8"X12"	cart	-	EF. VOLADURA		89%
CORDÓN DETONANTE	m	30	F. AVANCE	kg/m	49.11
CARMEX	und	2	F. CARGA	kg/m³	3.03
MECHA RÁPIDA	m	0.2	F. POTENCIA	kg/ton	1.12

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Prueba de Hipótesis General

Basándonos en las pruebas previamente ejecutadas, se puede inferir que tanto la estabilidad del macizo rocoso como la integridad del perímetro, especialmente en las zonas donde se empleó la técnica de voladura controlada, han mostrado resultados satisfactorios. Estas observaciones se respaldan con las pruebas adicionales realizadas en el transcurso de la investigación, consolidando así nuestras conclusiones sobre la efectividad de las medidas implementadas.

Por consiguiente, se puede afirmar que la premisa general de la investigación se confirma, dado que se garantiza la estabilidad en las galerías. Este hallazgo respalda la validez de la hipótesis general planteada, reforzando la confianza en los resultados obtenidos. Además, sugiere que las medidas implementadas han sido eficaces para asegurar la integridad estructural y la seguridad en las galerías.

4.3.2. Prueba de Hipótesis Específica

Además, la investigación ha formulado dos hipótesis específicas.

Hipótesis específica 1

Se ha propuesto como primera hipótesis específica que la implementación de la voladura controlada tiene un efecto beneficioso en la disminución de la alteración en la estructura del macizo rocoso en las galerías de la compañía minera Alpayana S.A.

En este punto, se observa que tras la aplicación de voladuras controladas en cada prueba, se ha constatado una disminución en la alteración del macizo rocoso debido a dichas explosiones, lo que ha resultado en una mejora notable en la estabilidad del área de trabajo. Asimismo, se ha comprobado que la instalación de mallas de protección en el techo después de las voladuras no ha generado ningún inconveniente para la perforación de la siguiente serie de taladros. Estos hallazgos llevan a la conclusión de que la hipótesis específica 1 es verdadera.

Hipótesis específica 2

Se plantea como segunda hipótesis específica que la implementación de la voladura controlada tiene un efecto positivo en la disminución del riesgo de exposición a rocas sueltas en las galerías de la compañía minera Alpayana S.A.

Para cumplir con esta premisa, se ha aplicado un control para mitigar el riesgo de exposición mediante el diseño de la malla de perforación y voladura, teniendo en cuenta la técnica de voladura controlada. Además de estos mecanismos de control, se ha considerado la ejecución de medidas de sostenimiento posterior a la voladura de la roca. Esto implica la implementación de soportes adecuados para la estabilidad de la labor, que van desde el tipo III-A al III-B en condiciones estándar. Estos soportes incluyen simbras, planchas acanaladas, cáncamos y mallas electrosoldadas, junto con pernos Split set de 5 pies de longitud a lo largo de la galería, conforme avanza la excavación.

Basándonos en estas consideraciones y prácticas implementadas, podemos respaldar y ampliar la validez de la hipótesis específica 2.

4.4. Discusión de resultados

El resultado de avance de la GAL_261N NV_19A Sección Cuerpos es de 3.2 m. Analizando la longitud de perforación y el avance obtenido, se deduce que el disparo es eficiente respecto a la longitud de perforación.

El resultado de avance de la GAL_400 NV_21 Sección Cuerpos es de 3.6 m. Analizando la longitud de perforación y el avance obtenido, se deduce que el disparo es eficiente respecto a la longitud de perforación.

El resultado de avance de la GAL_253 SW NV_20 Sección Cuerpos es de 3.6 m. Analizando la longitud de perforación y el avance obtenido, se deduce que el disparo es eficiente respecto a la longitud de perforación.

Se ha establecido que existe la evidencia suficiente para la implementación de la voladura controlada el cual influirá significativamente en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.

CONCLUSIONES

1. Los avances desarrollados en los frentes de avance que dio seguimiento la Asistencia Técnica, es de 3.21 m/disparo, por lo tanto, la eficiencia de voladura es de 89% y con un factor de avance de 44.21 kg/m.
2. En cuanto al análisis de vibraciones en campo cercano realizadas con la aplicación de la voladura controlada en los taladros de la corona con ANFO a granel con la tubería PVC $\frac{3}{4}$ " se tiene un radio de influencia de 0.09m y sin voladura controlada se tiene un radio de influencia de 0.22m.
3. También de acuerdo al análisis de vibración de la sumatoria VPP en los taladros de la corona con ANFO a granel con la tubería PVC $\frac{3}{4}$ " se tiene un VPP de 4.82mm/s y sin voladura controlada se tiene un VPP de 7.92mm/s.
4. Con la aplicación de la voladura controlada con ANFO a granel con tubería PVC $\frac{3}{4}$ " se tuvo resultados favorables dejando las medias cañas en el contorno de la labor.
5. Por las deficiencias en el avance por disparo en los frentes de avance se replanteó las mallas de perforación para una sección de 4.0x4.0m y 4.5x4.0m, obteniendo resultados favorables.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con las pruebas de la voladura controlada con el uso de la tubería PVC 3/4" en los diferentes niveles para poder definir su estandarización y su aplicación en los frentes de avance.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agne Rustran. (1995). *Controlled Fragmentation and Contours in Rock Blasting*. Tekniska Hogskolan i lulea University of Technology.
- Chen, H. (1992). *A STUDY OF TUNNEL STABILITY WITH SPECIAL REFERENCE TO THE EFFECT OF THE STRESS FIELD ENVIRONMENT*. The University of Nottingham.
- Espinoza Montes, C. (2010). *Metodología de investigación tecnológica*.
- Estela Yomona, J., & Estela Yomona, K. (2020). *Voladura controlada para reducir la deficiencia en los avances de las labores en mina subterránea* [Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54417>
- Hernández-Sampieri, D. R. (2012). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*.
- Pomasoncco Najarro, A. G. (2021). *Aplicación de la voladura de pre-corte en las labores de desarrollo de la mina MARSÁ para la reducir la sobrerotura en el macizo rocoso* [Universidad Privada de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655528>
- Rabanal Izquierdo, Edwin Rafael-Tafur Tafur, Walter.pdf. (s. f.). Recuperado 25 de marzo de 2024, de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29480/Rabanal%20Izquierdo%2c%20Edwin%20Rafael-Tafur%20Tafur%2c%20Walter.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Sakyi, J. (2019). *WALL CONTROL BLASTING AT THE ORPHAN BOY MINE – BUTTE, MONTANA*. Montana Tech Library Digital Commons Montana Tech.
- Sampieri, H., Collado, F., & Lucio, B. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*.

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de datos

Formato de seguimiento de la perforación y voladura en la compañía minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.

DATOS		VOLADURA	
Empresa Especializada		Fecha	
Tipo de Labor		Turno	A, B, C
Labor		Cargador	
Nivel		Calificación trabajo	0-10
Piso		Ayudante de Cargador	
Zona		Calificación trabajo	0-10
Tipo de roca		Hora inicio de cargo	
Densidad		Hora final de cargo	
Ancho de labor		Numero de taladros de alivo	unid
Altura de labor		Longitud real de taladro cargado	m
PERFORACION		Explosivo	
Fecha		ANFO	KG
Turno	A, B, C	Emulnor 5000 1 1/2 x 12	unid
Perforista		Emulnor 3000 1 1/2 x 12	unid
Calificación trabajo	0-10	Emulnor 5000 1 x 7	unid
Ayudante de Perforista		Emulnor 3000 1 x 7	unid
Calificación trabajo	0-10	Emulnor 1000 1 x 7	unid
Máquina Perforadora / Jumbo	Jumbo	Cordón detonante(Pentacond)	m
Long. Barra de perforación	m	Carmex	unid / Pts
Diámetro de broca de perforación	mm	Mecha rápida	m
Diámetro de broca de rimado	mm	Tacos de Arcilla	unid
Pintado de Malla de Perforación	si- no	Espaciadores	unid
Pintado de colas (techo, astiales)	si- no	Avance real	m
Uso de Guiadores	Numero	Ancho real	m
Hora inicio perforación		Altura real	m
Hora final perforación		Fragmentación	
Numero de rimados de 4"	Unid	< 15 cm	
Numero de alivos corona	Unid	15 - 30 cm	
Long. real de perforación taladro alivo	m	> 30 cm	
Numero de taladros de producción	Unid	Estabilidad de la labor	
Long. real de perforación taladro producción	m	Nro de medias cañas visibles	
Numero de tubos de PVC 44mm* 3.5m	Unid		
Observación			
6.		DISEÑO DE CARGUIO	
7.		Taladros	ANFO
8.			TACO
9.		kg/tal	mt
		T.Arranque	
		T.1ra ayuda	
		T.2da ayuda	
		T.3ra ayuda	
		T.4ta ayuda	
		T.ayuda Corona	
		T.Corona	
		T.ayuda Arrastre	
		T.Arrastre	
ENCARGADO DEL SEGUIMIENTO:			

HOJA DE SEGUIMIENTO

DISTRIBUCION DE LOS TALADROS/SALIDA

ESQUEMA DE VOLADURA CONTROLADA: SI ☒ NO ☐

Matriz de Consistencia

Tema: “Implementación de la voladura controlada y su influencia en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana 2023”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿De qué manera la implementación de la voladura controlada influye en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana?	Determinar de qué manera implementación de la voladura controlada influye en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana	La implementación de la voladura controlada influye significativamente en la estabilidad del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana.	Voladura controlada	Área de influencia Cantidad de fracturas Sobre rotura.	Diseño: Cuasiexperimental Tipo de Investigación Aplicado	POBLACIÓN Como población se consideró a las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana. MUESTRA La muestra se elegio de manera no probabilística a las labores de la Compañía Minera Alpayana S.A. Unidad Minera Americana; y son las siguientes: GAL_261N NV. 19A Sección Cuerpos. GAL_400 NV.21 Sección Cuerpos. GAL_253SW NV.20 Sección Cuerpos.

PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS - INSTRUMENTOS
¿Como la implementación de la voladura controlada influye en la disminución de la alteración del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana? ¿Cómo la implementación de la voladura controlada influye en la disminución del riesgo de exposición a rocas sueltas en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana?	Determinar como la implementación de la voladura controlada influye en la disminución de la alteración del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana. Determinar como la implementación de la voladura controlada influye en la disminución del riesgo de exposición a rocas sueltas en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. Unidad Minera Americana	La implementación de la voladura controlada influye significativamente en la disminución de la alteración del macizo rocoso en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana. La implementación de la voladura controlada influye significativamente en la disminución del riesgo de exposición a rocas sueltas en las galerías de la Compañía Minera Alpayana S.A. - Unidad Minera Americana	Estabilidad del macizo rocoso	Auto sostenimiento Alteración de la masa rocosa Riesgo en el área de trabajo	Método Científico. Enfoque Cuantitativo.	Técnicas: Evaluación de la información proporcionada por el encargado del área operativa mediante la observación directa. Esta metodología se utiliza para reforzar la labor y contribuir a garantizar la precisión de una investigación particular. Instrumentos: Se incluyeron en la selección de herramientas de recopilación de datos, formularios para supervisar los progresos, el exceso de rotura, el nivel de fragmentación, las vibraciones, entre otros aspectos.

Panel Fotográfico













