

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Diseño de la malla de perforación y voladura para el
control y estabilidad del macizo rocoso en la
Unidad Minera San Cristóbal**

Mirko Paolo Baca Tovar
Jack Bryan Hinostroza Alvino

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Jesús Fernando Martínez Idefonso

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme el conocimiento necesario para cumplir este objetivo profesional.

A mis padres, por su dedicación, enseñanzas y recomendaciones, para formarme profesionalmente.

A la universidad Continental, por brindarme una formación integral y de calidad.

A los docentes de la EAP de Ingeniería de Minas, por darme los conocimientos necesarios, para mi formación profesional.

DEDICATORIA

Le dedicamos este trabajo a nuestros padres y familiares, por su apoyo desinteresado, para el logro de este objetivo.

A nuestro Asesor, que con su conocimiento y experiencia ha aportado a nuestra investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1 Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1 Planteamiento del problema	15
1.1.2 Formulación del problema	16
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Justificación e importancia	17
1.3.1 Justificación práctica.....	17
1.3.2 Justificación teórica	17
1.3.3 Justificación metodológica	18
1.4 Hipótesis	18
1.4.1 Hipótesis general	18
1.4.2 Hipótesis específicas	18
1.5 Identificación de variables.....	18
1.5.1 Variable independiente	18
1.5.2 Variable dependiente	18
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables	19
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes del problema	20

2.1.1	Antecedentes nacionales.....	20
2.2	Descripción de la unidad minera San Cristobal	24
2.2.1	Ubicación y accesibilidad.....	24
2.2.2	Geología regional	25
2.2.3	Geología local.....	25
2.2.4	Geología estructural	28
2.2.5	Geología económica.....	29
2.1	Bases teóricas	31
2.3.1	Diseño de la malla de perforación y voladura	31
2.3.2	Control de la perforación y voladura en la estabilidad del macizo rocoso.....	32
2.3.3	Proceso de mejora para el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso.....	44
2.3.4	Diseño y control de secuencia de salida utilizando técnicas operativas y de simulación para el control del macizo rocoso.	45
2.3.5	Implementar alternativas de diseño de carga de columna de acuerdo a los productos propuestos.	46
2.3.6	Seguimiento y control de procesos de voladura en el minado corte y relleno en Breasting y encontrar oportunidades de mejora – ciclo de mejora continua en procesos operativos.	47
2.3.7	Diseño de malla de Perforación en función a la caracterización geomecánica del macizo rocoso (GSI)	48
2.3.8	Estandarización de mallas de perforación en minado con Breasting.....	48
2.3.9	Capacitaciones en factor de carga, factor de potencia, técnica de voladura, reducción de carga operante y uso adecuado de explosivos y accesorios de voladura en los procesos de voladura.....	49
2.3.10	Monitoreo de vibraciones, VOD, con la finalidad de minimizar la vibración del macizo rocoso.....	50
2.3.11	Optimizar los procesos operativos en base a los indicadores obtenidos en el campo.....	50
CAPÍTULO III MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO		51
3.1	Método y alcances de la investigación.....	51
3.1.1	Métodos de la investigación.....	51
3.1.2	Alcances de la investigación.....	51

3.2	Diseño de la investigación	52
3.3	Población y muestra	52
3.3.1	Población	52
3.3.2	Muestra.....	52
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	52
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	52
3.4.3	Metodología de trabajo	53
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		54
4.1	Evaluación del diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad.....	54
4.1.1	Evaluación de la perforación y voladura con el equipo Boomer S1D. ...	55
4.1.2	Evaluación de la perforación y voladura con el equipo Boomer S1D. ...	57
4.1.3	Control de la salida de explosivos de polvorín auxiliar 500.....	58
4.1.4	Indicadores de perforación y voladura.....	58
4.1.5	Evaluación de las deficiencias en los disparos en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380	62
4.1.6	Mejoramiento en las deficiencias en los disparos en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380	64
4.1.7	Propuesta de malla de perforación y diseño de carguío de voladura	66
4.2	Evaluación del diseño de la malla de perforación y voladura para minimizar la vibración del macizo rocoso.....	69
4.2.1	Evaluación de los trabajos para el monitoreo de las vibraciones en las voladuras tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia....	69
4.2.2	Análisis del monitoreo de las vibraciones en las voladuras tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia	70
4.3	Evaluación del diseño de la malla de perforación y voladura para el control de fracturas y agrietamientos de la corona de la labor de avance, en la unidad minera San Cristóbal.....	72
CONCLUSIONES.....		81
RECOMENDACIONES		82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		83
ANEXOS		85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	19
Tabla 2. Ubicación y accesibilidad unidad minera San Cristobal	24
Tabla 3. Parámetros de diseño de perforación y voladura en Breasting	59
Tabla 4. Propuesta de malla de perforación y diseño de carguío de voladura.....	67
Tabla 5. Resumen de la velocidad de detonación de los explosivos monitoreados en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia.....	70
Tabla 6. Clasificación del macizo rocoso según Bieniawsky en relación a la velocidad crítica (movimientos sísmicos).	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y accesibilidad de la unidad minera San Cristobal	24
Figura 2. Plano de mapeo geológico de la unidad minera Carahuacra.....	25
Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la unidad minera San Cristobal	26
Figura 4. Plano geológico estructural de la unidad minera San Cristobal	29
Figura 5. Plano de sección geológica compuesta de la unidad minera San Cristobal	30
Figura 6. Diseño de malla en la perforación y voladura en Breasting en las labores de avance.....	31
Figura 7. Análisis de la velocidad de partícula y la velocidad de propagación.....	34
Figura 8. Interacción entre la onda reflejada y el sistema de fracturamiento en crecimiento	36
Figura 9. Ondas de esfuerzo en regiones lejanas de la detonación de una carga explosiva.....	37
Figura 10. Esquema de la influencia del tamaño de la carga en la fragmentación de las rocas con sistemas de fracturas.....	39
Figura 11. Integración de la onda de superficie en una región cercana a una carga cilíndrica	42
Figura 12. Velocidad pico de la vibración calculada.....	43
Figura 13. Proceso de mejora para el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso	45
Figura 14. Implementación de la nueva malla de perforación y voladura - Breasting	47
Figura 15. Capacitación del TJ SP 09 W / ACCESO 625 - Nivel 1380 veta Lidia	49
Figura 16. Metodología para el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso	53
Figura 17. Deficiencias durante el carguío de taladros con el explosivo Emulnor de 1000 de 1 ¼ x 12.	55

Figura 18. Capacitación en el campo sobre perforación, control de paralelismo y uso de guidores	56
Figura 19. Técnica de carguío de taladros y distribución faneles – retardos....	58
Figura 20. Derroche de explosivos el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380	62
Figura 21. Características técnicas del explosivo emulsión	71
Figura 22. Resultados del software obtenido por el equipo Microtrap de MREL (VOD)	71
Figura 23. Velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia	73
Figura 24. Primera prueba -velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia	75
Figura 25. Segunda prueba -velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia	76
Figura 26. Tercera prueba -velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia	77
Figura 27. Cuarta prueba -velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia	78
Figura 28. Quinta prueba - velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia	79
Figura 29: Sexta prueba - velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia	80

RESUMEN

En la unidad minera San Cristobal, de acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en las voladuras del Nivel 1380 de la labor TJ SP 9 (Breasting), los valores están encima de la velocidad crítica; significa que se está dañando la periferia de la labor. Según la clasificación del macizo rocoso según Bieniawsky esta labor presenta un tipo de roca regular a mala, con un RMR de 21 a 30; por lo que se estima que movimientos sísmicos mayores de 37.880 mm/s. estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor.

En lo que respecta al TJ SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, el valor de la velocidad crítica está por debajo de lo estimado, por lo que se estima según los cálculos, movimientos sísmicos mayores a 21.514 mm/s estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor, siendo el resultado para esta labor de 17.907 mm/s en la sumatoria de vectores.

De acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en las voladuras del Nivel 1380 de la labor TJ SP 9 (Breasting), los valores están encima de la velocidad crítica; significa que se está dañando la periferia de la labor. De acuerdo a la clasificación del macizo rocoso, según Bieniawsky, esta labor presenta un tipo de roca regular a mala, con un RMR de 21 a 30; por lo que se estima que movimientos sísmicos mayores de 37.880 mm/s. estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor. Se pasó a realizar 8 taladros de recorte en la periferia para poder controlar y disminuir la sobre rotura obteniéndose mejores resultados.

Realizar el carguío de los taladros de contorno con explosivos de baja potencia con cartuchos de Emulnor 1000 con diámetro menor que el taladro, con la finalidad de controlar mejor el contorno de la labor y no tener sobre excavación, reduciendo también los niveles de vibración.

Palabras clave: Diseño de la malla de perforación y voladura

ABSTRACT

In the San Cristobal Mining Unit, according to the results of the vibration monitoring obtained in the blasting of level 780, of the TJ SP 9 (Breasting) work, the values are above the critical speed; it means that the periphery of the work is being damaged, according to the classification of the rock mass according to Bieniawsky this work presents a type of regular to bad rock, with a RMR of 21 to 30; therefore it is estimated that seismic movements greater than 37. 880 mm/s. would be producing the beginning of "fractures" and "cracking" in the periphery of the workings.

Regarding TJ SP 09 west, Access 625, Level 780 - Veta Lidia, the value of the critical velocity is below the estimate, so it is estimated according to the calculations, seismic movements greater than 21,514 mm/s would be producing the onset of "fractures" and "cracking" in the periphery of the work, being the result for this work of 17,907 mm/s in the sum of vectors.

According to the result of the vibration monitoring obtained in the blasting of level 780 of TJ SP 9 (Breasting), the values are above the critical velocity; it means that the periphery of the work is being damaged, the Classification of the Rock Mass according to Bieniawsky this work presents a type of Regular to Bad Rock, with a RMR of 21 to 30; therefore it is estimated that seismic movements greater than 37. 880 mm/s. would be producing the beginning of "fractures" and "cracking" in the periphery of the workings. The next step was to drill 8 cutter holes in the periphery in order to control and reduce over-cracking, obtaining better results.

To carry out the loading of the contour drills with low power explosives with Emulnor 1000 cartridges with smaller diameter than the drill, in order to better control the contour of the work and not to have over excavation, also reducing the vibration levels.

Key words: Drill and blast mesh design

INTRODUCCIÓN

Las empresas mineras en el Perú, hoy en día, presentan muchas dificultades en los trabajos de perforación por no evaluar detalladamente el macizo rocoso *in situ*, se sabe que la caracterización geomecánica va variando según se va profundizando. El tipo de roca no es uniforme; por lo cual, este estudio debe ser gradual para evitar pérdidas en el consumo de las piezas de perforación y voladura.

Tras un buen control de macizo rocoso en la unidad minera San Cristobal, de acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en las voladuras del Nivel 1380 de la labor TJ SP 9 (Breasting), los valores están encima de la velocidad crítica; significa que se está dañando la periferia de la labor. Según la clasificación del macizo rocoso de Bieniawsky esta labor presenta un tipo de roca regular a mala, con un RMR de 21 a 30; por lo que se estima que movimientos sísmicos mayores de 37.880 mm/s. estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor.

En lo que respecta en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, el valor de la velocidad crítica está por debajo de lo estimado, por lo que se estima según los cálculos, movimientos sísmicos mayores a 21.514 mm/s estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor, siendo el resultado para esta labor de 17.907 mm/s en la sumatoria de vectores.

Una herramienta imprescindible para lograr la reducción de la carga operante, es el empleo de detonadores secuenciadores (Fanel), que permiten la detonación de todas y cada una de las cargas que componen una voladura en un tiempo de retardo distinto. También es importante no confundir la carga operante con la carga específica; si esta se reduce mucho, puede ocurrir que no se produzca arranque de material y la mayor parte de la energía se emplee en generar vibraciones, produciéndose el resultado inverso al que buscamos, cuanto más confinada esté una voladura, más vibraciones generará ésta.

De acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en la voladura del Tajeo SP 9 en el Nivel 1380 (voladura de Breasting), los valores están encima de la velocidad crítica; significando que se está dañando la periferia de la labor, por ello se recomienda tener más control al momento del carguío ya que el personal por desconocimiento usa cualquier tipo de explosivo en el contorno de la labor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Las empresas mineras buscan eficiencias y eficacia en las operaciones unitarias de perforación y voladura. En todo mundo el trabajo de perforación del macizo rocoso se encuentra desarrollado, existen empresas especialistas en trabajos de perforación, las cuales parten de un estudio detallado de la geomecánica para la elección de la columna de perforación. En dicho estudio está incluido la broca que se va utilizar en la empresa minera.

Las empresas mineras en el Perú, hoy en día, presentan muchas dificultades en los trabajos de perforación por no evaluar detalladamente el macizo rocoso *in situ*, se sabe que la caracterización geomecánica va variando según se va profundizando. El tipo de roca no es uniforme; por lo cual, este estudio debe ser gradual para evitar pérdidas en el consumo de las piezas de perforación y voladura.

Tras un buen control de macizo rocoso en la unidad minera San Cristobal, de acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en las voladuras del Nivel 1380 de la labor TJ SP 9 (Breasting), los valores están por encima de la velocidad crítica. Esto significa que se está dañando la periferia de la labor. Según la clasificación del macizo rocoso de Bieniawsky, esta labor

presenta un tipo de roca regular a mala, con un RMR de 21 a 30; por lo que se estima que movimientos sísmicos mayores de 37.880 mm/s. estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor.

En lo que respecta al TJ SP 09 Oeste, acceso 625, Nivel 1360 – Veta Lidia, el valor de la velocidad crítica está por debajo de lo estimado, por lo que se estima que movimientos sísmicos mayores a 21.514 mm/s estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor, siendo el resultado para esta labor de 17.907 mm/s en la sumatoria de vectores.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo será el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo será el diseño de la malla de perforación y voladura para minimizar la vibración del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal?
- ¿Cómo será el diseño de la malla de perforación y voladura para el control de fracturas y agrietamientos de la corona de la labor de avance en la unidad minera San Cristóbal?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar el diseño de la malla de perforación y voladura para minimizar la vibración del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal.

- Determinar el diseño de la malla de perforación y voladura para el control de fracturas y agrietamientos de la corona de la labor de avance en la unidad minera San Cristóbal.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación práctica

En la unidad minera San Cristobal, en los trabajos técnicos en voladura de rocas para el TJ SP 09 Oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, se realizó un seguimiento de la perforación y voladura en el tajo lado oeste, en coordinación con el jefe de zona durante varios días consecutivos. Asimismo, se realizó el monitoreo de vibraciones donde se pudo encontrar las siguientes observaciones:

- Se capacitó a los operadores de equipo y cargadores de explosivos en temas como secuencia de retardos, reducción de carga operante y minimizar la carga de columna de taladro, estandarizando el uso de explosivo Emulnor 1000 1 ¼ x 12”, reducción de sección a perforar y minimizar la sobrerotura.
- Se pudo apreciar los cambios de manera inmediata como son el pintado de malla de perforación, taladros de recorte en la corona, reducción de sección de labor por la condición del tipo de roca y mineral. Asimismo, se realizó el monitoreo de vibraciones con la finalidad de identificar la mayor vibración y estandarizar el uso de retardos.

1.3.2 Justificación teórica

Se obtuvieron resultados óptimos como reducción de factor de potencia, reducción de sobre excavación; por consiguiente, minimizar la sobre dilución. Los resultados luego de tres días consecutivos de seguimiento fueron aceptables; por lo tanto, se dejó un nuevo diseño de malla y carguío aceptable. También es importante no confundir la carga operante con la carga específica; si esta se reduce mucho, puede ocurrir que no se produzca arranque de material y la mayor parte de la energía se emplee en generar vibraciones,

produciéndose el resultado inverso al buscado, cuanto más confinada esté una voladura, más vibraciones generará esta.

1.3.3 Justificación metodológica

Realizar el carguío de los taladros de contorno con explosivos de baja potencia con cartuchos de Emulnor 1000, con diámetro menor que el taladro, con la finalidad de controlar mejor el contorno de la labor y no tener sobre excavación, reduciendo también los niveles de vibración. De acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en la voladura del TJ SP 09 Oeste, Acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia (voladura de Breasting), los valores están encima de la velocidad crítica; significando que se está dañando la periferia de la labor, por ello se recomienda tener más control al momento del carguío ya que el personal por desconocimiento usa cualquier tipo de explosivo en el contorno de la labor

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

El diseño de la malla de perforación y voladura es factible y viable para el control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El diseño de la malla de perforación y voladura es factible para minimizar la vibración del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal.
- El diseño de la malla de perforación y voladura es factible para el control de fracturas y agrietamientos de la corona de la labor de avance en la unidad minera San Cristóbal.

1.5 Identificación de variables

1.5.1 Variable independiente

Diseño de la malla de perforación y voladura

1.5.2 Variable dependiente

Control y estabilidad del macizo rocoso

1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristobal.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
V.I.: Diseño de la malla de perforación y voladura	Es la elaboración de la distribución de taladros para la perforación y voladura de los frentes de avance, por medio de la evaluación de la caracterización geomecánica del macizo rocoso.	Evaluación de la caracterización del macizo rocoso Evaluación de la malla de perforación	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación geomecánica de Bieniawsky • RMR • Longitud de avance (m). • Burden (m) • Espaciamiento (m) • Numero de taladros
V.D.: Control y estabilidad del macizo rocoso	Es el monitoreo del macizo rocoso al realizar la perforación y voladura en los trabajos de avances de preparación y desarrollo, evaluando el fracturamiento y fisuramiento en la periferia de la labor	Evaluación del control y estabilidad del macizo rocoso	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos sísmicos (mm/s) • Tiempo de retardo (s) • Niveles de vibración • Fanel de periodo corto (ms) • Cantidad de explosivo (kg)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes nacionales

- a) Tesis titulada: “Determinación de las condiciones del macizo rocoso en la profundización del avance en la zona Esperanza del nivel 23, mediante un análisis geomecánico en la unidad minera Americana, de Cía. Minera Casapalca”. El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para determinar las condiciones del macizo rocoso en la zona esperanza del nivel 23, para aplicar el soporte requerido mediante un análisis geomecánico en la unidad minera Americana de Cía. Minera Casapalca. (1)

Además, la metodología tiene las siguientes características: (1)

- ✓ Se determinó las condiciones del macizo rocoso mediante el uso de clasificaciones geomecánicas RMR, Q y GSI y también usando el software Phase2, se encontró como resultados del análisis geomecánico que el crucero 212 del nivel 23 tiene condiciones estables en el macizo rocoso y de acuerdo al sostenimiento recomendado, no se presentará problemas de caída de roca. (1)

- ✓ Se realizó un mapeo geomecánico del crucero 212 del nivel 23 en la zona Esperanza donde se aplicaron las clasificaciones geomecánicas a fin de tener un análisis geomecánico, y se obtuvieron como resultados el RMR de 59.4, Q de Barton de 11.47 y el índice de GSI de 53.4, lo que indica que el crucero se

encuentra en un macizo rocoso de buena calidad, también se usó el software Phase2 y el Dips, donde resultó que se tiene un factor de seguridad 1.58, aplicando sostenimiento y un factor de seguridad de 1.11 sin sostenimiento, siendo en ambos casos un zona de trabajo seguro. (1)

- ✓ Para determinar las condiciones de estabilidad en el crucero 212 se aplicó el método de Lang, donde se determinó la clasificación del RMR del año 1976, para la progresiva 3: RMR de 52, y para la progresiva: RMR de 42, y se usó el ancho del avance que es 3.5 m y aplicando el grafico de Lang, resultó que en el crucero 212, las progresivas 3 y 5 resultaron como inestables, esto porque tiene factores influyentes en la roca. (1)
 - ✓ Se determinó como sostenimiento la aplicación de mallas y pernos en el crucero 212, esto debido a que las clasificaciones geomecánicas como el RMR, Q y GSI dan como resultado una roca buena, y también usando el phase2 se llega a un factor de seguridad de 1.58 con sostenimiento, que básicamente son indicadores que en el macizo rocoso del crucero 212, son rocas de buena calidad a pesar de los factores influyentes que existe. (1)
- b) Tesis titulada: “Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala (Unidad Minera Macdesa)”, el objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para la Implantación del uso de modelos y nuevas técnicas de perforación y voladura, e implementar estos en los niveles de avance y producción. (2)

Además, la metodología tiene las siguientes características: (2)

- ✓ El trabajo que se realiza en las operaciones unitarias, donde están implicados desde un obrero hasta el superintendente es muy importante, ya que todos tienen el mismo fin de realizar la perforación y voladura de manera correcta y sin incidentes en avance y producción. (2)

- ✓ El diseño de la malla de perforación y voladura en base a las clasificaciones geomecánicas permite optimizar la distribución de energía con mucha más precisión que de manera común o empleando otros modelos matemáticos. (2)
 - ✓ La optimización de estas operaciones unitarias y tener un material mejor fragmentado facilita la limpieza, carguío, acarreo, transporte y molienda del material. (2)
- c) Tesis titulada: "Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada Mincotrall S.R.L.". El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para determinar la influencia de la actualización de estándares en perforación y voladura en los frentes de avance para la optimización de costos. (3)

Además, la metodología tiene las siguientes características (3):

- ✓ Con los nuevos estándares actualizados se lograron disminuir en un 10%, respecto a los costos unitarios de perforación y voladura, monto significativo que permitirá a la empresa ahorrar para gastos de capital. (3)
 - ✓ La aplicación constante en el criterio de calidad y estándar de todas las empresas especializadas y empresas mineras, especialmente en la pequeña minería. (3)
- d) Tesis titulada: "Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el cruce 10014 de la empresa minera Marsa". El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para la optimización de las operaciones de perforación y voladura, mediante un nuevo diseño de malla de perforación. (4)

Además, la metodología tiene las siguientes características: (4)

- ✓ La constante capacitación y supervisión al personal acerca del nuevo diseño de malla de perforación y voladura para así remediar las dificultades en el bajo rendimiento de la voladura. (4)

- ✓ Para la obtención de buenos resultados de la perforación y voladura se debe marcar el frente, distribuir bien los taladros de arranque y alivio según el nuevo diseño de malla, y se obtendrá un buen avance lineal. (4)
 - ✓ Los controles geomecánicos periódicos, para tener datos actualizados y comportamiento del cruce 10014. (4)
 - ✓ La perforación en media guardia, que es el descanso para que no haya deficiencia de aire y así tener un buen paralelismo y un óptimo tiempo de perforación. (4)
- e) Tesis titulada: "Optimización de la voladura, Mina la Virgen - de la Compañía Minera San Simón S.A. - Huamachuco Trujillo". El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para optimización de la perforación y voladura y reducción de los costos de la operación de voladura, en los tajos de explotación. (5)

Además, la metodología tiene las siguientes características (5):

- ✓ La disminución de la cantidad de explosivos por metro lineal en la columna explosiva en los taladros de 25 kg/ml a 20 kg/ml mejorará notablemente la calidad de la granulometría ya que no requiere de voladura secundaria. (5)
- ✓ La fragmentación requerida se obtiene aplicando una relación de *burden* y espaciamiento menor a 1 en un patrón de malla triangular, aumentando el factor de potencia y la detonación de cada taladro en tiempos diferentes. Además, la distribución de carga en el taladro influye notablemente en el resultado en la fragmentación de la roca. (5)
- ✓ El cambio de mallas para diferentes tipos de rocas, la malla triangular se aplica en roca dura, la cual es muy efectiva ya que proporciona la mejor distribución de la energía del explosivo en la roca, en ejecución de su trabajo rompedor eliminando voladuras secundarias y granulometría excesiva no planeada. (5)

2.2 Descripción de la unidad minera San Cristobal

2.2.1 Ubicación y accesibilidad

Tabla 2. Ubicación y accesibilidad unidad minera San Cristobal

Ruta	Distancia (km)	Carretera	Tiempo aproximado
Lima - La Oroya	110	asfaltada	5 h
La Oroya – San Cristobal	18	afirmada	0.45 h

La unidad minera San Cristobal tiene una altitud de 4684 metros sobre el nivel del mar con las siguientes coordenadas geográficas (6):

- ✓ 76° 05' de longitud Oeste
- ✓ 11° 43' de latitud Sur

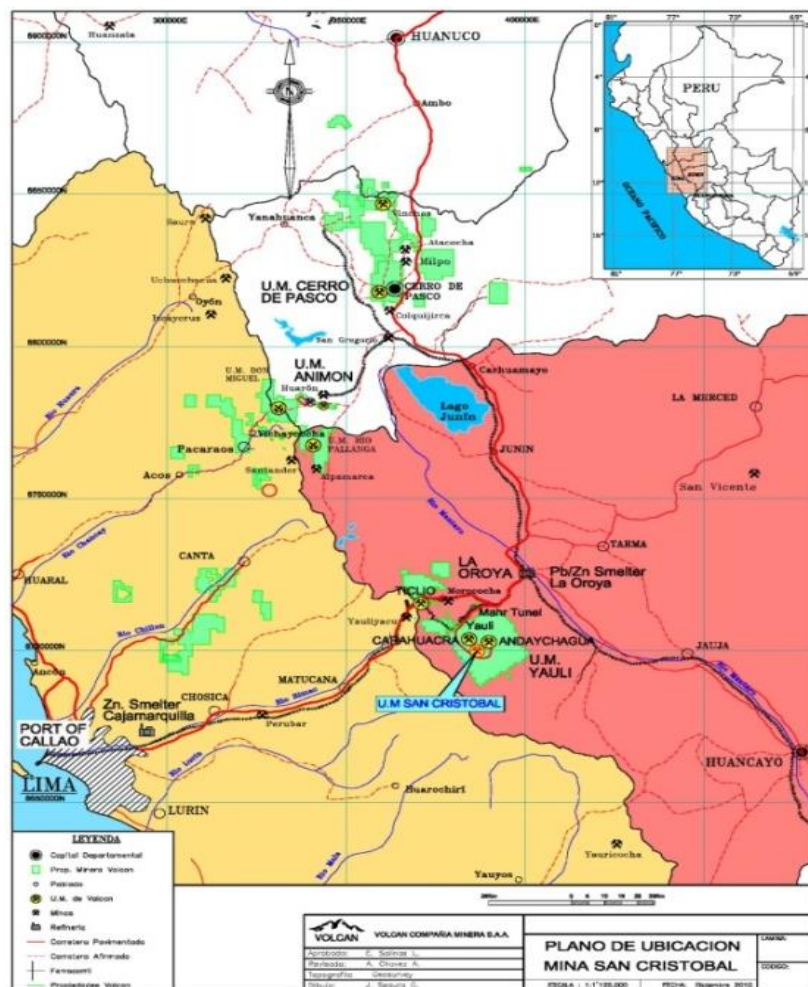


Figura 1. Ubicación y accesibilidad de la unidad minera San Cristobal Tomado de unidad minera San Cristobal. (6)

2.2.2 Geología regional

El distrito minero de San Cristóbal está localizado en la parte suroeste de una amplia estructura regional de naturaleza domática que abarca íntegramente los distritos de San Cristóbal y Morococha, conocida como el Complejo Domal de Yauli (Figura N 2), que representa una ventana de formaciones Paleozoicas dentro de la faja intracordillerana de formaciones Mesozoicas. (6)

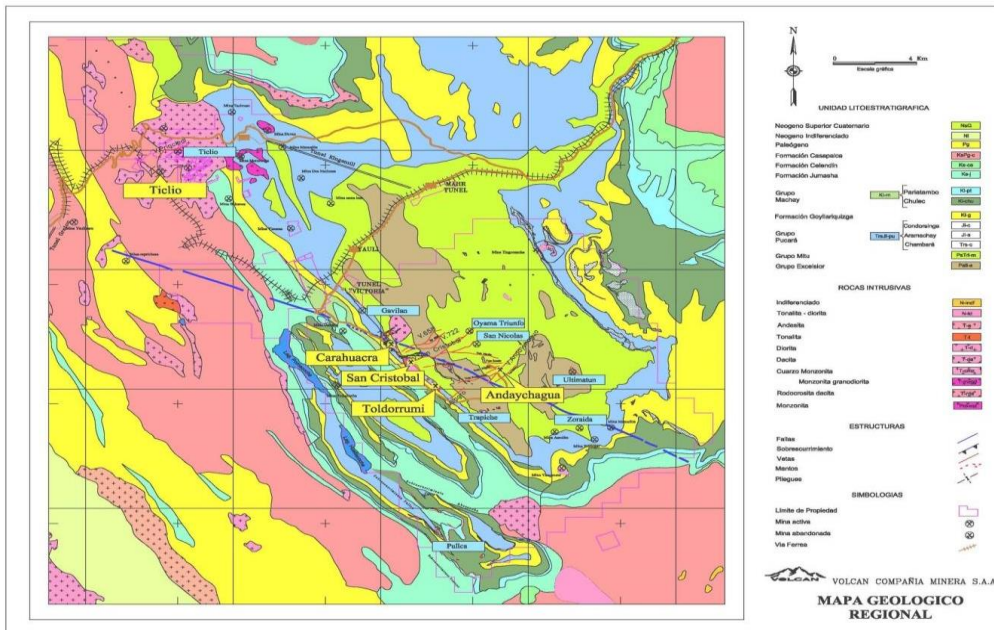


Figura 2. Plano de mapeo geológico de la unidad minera Carahuacra Tomado de unidad minera San Cristobal. (6)

2.2.3 Geología local

2.2.3.1. Secuencia litológica

La secuencia litológica de la unidad minera San Cristobal, de Volcan Compañía Minera S. A. A. tiene una extensión desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA MINA SAN CRISTOBAL								
ERA	SISTEMA	EPOCA	EDADES PISOS	UNIDAD LITOLOGICA	GRAFICO	FORMACION SEDIMENTARIA	FORMACION IGNEA	MINERALIZACION
CENOZOICA	CUATERNARIO					SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS		
	TERCIARIO			CAPAS ROJAS CASAPALCA		DISCORDANCIA CONGLOMERADOS CALCAREOS CALIZAS LUTITA CALCAREAS ARENISCAS ROJAS	INTRUSIVOS INTEREDIOS CUARZO - DIORITAS	
MESOZOICA	CRETACIO	INFERIOR	COMANCHEADO	FORMACION JUNASHA		DOLOMITAS NASIVAS POCO FOSSILIFERA	CUENOS DE BASALTOS A TRAVES DE TODAS LAS FORMACIONES	
		NEOCOMICO (EDOPRET)		GRUPO MACHAY FORMACION PARATIANO FORMACION CHULEC		ALTERACION DE CALIZAS MARGOSA ESTRATIGRAFICA	BASALTO	
	TRIASICO JURACICO	INFERIOR O EGIPTASICO (LIAS)	SINEMURIANO ETTANGANO	GRUPO PICAZA FORMACION CONDORSINGA		ALTERACION DE CALIZAS MARGOSA FOSSILIFERA	BASALTO	
		SUPERIOR O MESOTRIASICO	RETIANO HORIANO	GRUPO PICAZA FORMACION ARANACHAY FORMACION CHAMBARA		LUTITAS ROJAS ARENISCAS CALIZAS BLANCAS AMARILLAS BRECHAS CALCAREAS (SERT) CALIZAS CON YESO	DIORITA + GABRO DERRAMES DE BASALTO	MINERALIZACION ESTRATIGRAFICA DE Fe, Ba, Zn, Pb, CON SUPERPOSICION DE MINERALIZACION HIPO- TERMAL FORMA DE CUERPOS Y MATRIZ
PALEOZOICA	PERMICO	SUPERIOR	OCHOA	GRUPO MITU		DISCORDANCIA	DERRAMES DE DIORITA Y ANDESITA	MINERALIZACION ESTRATIGRAFICA DE Zn, Pb, Fe, Cu, Ba, Mn
		MEDIO	GUADALUPE- LEONARDO			LENES DE ARENISCAS Y CONGLOMERADOS ROJOS	INTRUSIVO INTERMEDIO TIPO DARABUAGRA CUARZO-MONZONITA	
	DEVONICO	SUPERIOR	CHAUTAUQUAN	GRUPO EXCELSIOR		DISCORDANCIA	INTRUSIVO INTERMEDIO TIPO CHAMPE BRANITOS	MINERALIZACION HIPO- TERMAL EN VETAS DE V, Sn, Y, B, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb
	MEDIO	ERIAN (HAMILTON) LILSTER			FULTAS MARNILES FOSSILIFEROS CUARZITAS	VOLCANICOS VOLCANOCLASTICOS MORADOS	MINERALIZACION ESTRATIGRAFICA DE Ni, Co	
INFORMACION BASE : C' de Pasco Corp : H. W. Kobe						Por: J. Vilca M. Dib. G. Rojas E. Enero 2002		

Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la unidad minera San Cristobal Tomado de unidad minera San Cristobal. (6)

✓ Silúrico-Devónico-Grupo Excelsior

En relación a la potencia, estableció una potencia de 1800 metros, en la secuencia de los alrededores de Tarma. Su mineralización se presenta en filones, H.W. Kobe, establece dos tipos de manto en la mina nombrado como ultimátum constituida en el primer manto de Fe, Zn, Pb, Ag; y la segundo manto ubicada en el anticlinal, de Ni, Co, As (Sb), Fe, S." (6).

✓ Pérmico-Grupo Mitu

Presenta potencia irregular total en este grupo, al oeste de la unidad minera San Cristóbal la potencia de los volcánicos Catalina es aproximadamente 800 metros.

La edad del grupo Mitu fue considerada como del Carbonífero Superior y posteriormente asignada al Pérmico. (6)

✓ **Triásico Superior Liásico-Grupo Pucará**

Este grupo es de facies calcáreas, se ubica en la discordancia encima del grupo Mitú, se divide en tres formaciones: Chambará, Aramachay, y Condorsinga están relacionados con la mineralización económica del lugar: formación Chambará (Triásico Superior), formación Aramachay (Liásico: Hetangiano-Sinemuriano) y formación Condorsinga (Liásico Toarciano).

✓ **Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)**

La primera compuesta por depósitos de granulometría fina a muy fina, de facies llanura aluvial con pelitas rojas y escasas intercalaciones de areniscas de facies de desbordamiento, depositadas en un ámbito climático semiárido mostrado en la fuerte oxidación de las pelitas. Durante la segunda fase hay un cambio brusco respecto a la primera, depositándose areniscas medianas hasta muy gruesas y niveles conglomeráticos con troncos de árboles actualmente silicificados, en un ambiente húmedo e importante actividad ígnea evidenciada por sills de basalto. En San Cristóbal, su potencia alcanza 100 metros. (6)

✓ **Grupo Machay (Cretácico Medio)**

a. Formación Chúlec

Esta formación es totalmente carbonatada, litológicamente está conformada por una alternancia de calizas y margas de facies de plataforma externa; es muy fosilífera y constituye la primera formación cretácica de los Andes Centrales correctamente datada. Toda la serie en su conjunto está intensamente bioturbada. (6)

b. Formación Pariatambo

Esta formación es fácil de localizar en el paisaje por su coloración negra característica, escasa resistencia a la erosión y litología monótona está constituida por una alternancia margo-caliza de pequeños bancos claros y oscuros generalmente muy bituminosos, señalados por un olor fétido muy

pronunciado. Los niveles claros son mudstones con *packstones* calcáreo-dolomíticos algunas veces ligeramente siltosos. (6)

c. Formación Jumasha

Concordantemente sobre la formación Pariatambo se encuentra la formación Jumasha. Litológicamente es la más homogénea de las formaciones cretácicas expuestas en el Domo de Yauli. Consiste casi enteramente de una serie carbonatada dolomítica, masiva y poco fosilífera con escasos lentes de areniscas y sílex, depositada en una plataforma ligeramente confinada y de poca profundidad. (6)

2.2.4 Geología estructural

2.2.4.1. Plegamiento

La mina Carahuacra, se encuentra en el flanco occidental de la estructura regional dominante del domo de Yauli, que se extiende longitudinalmente en aproximadamente 35 kilómetros, desde San Cristóbal hasta Morococha, y transversalmente 10 kilómetros; el rumbo promedio de esta estructura es N 40° O. Es asimétrico, su flanco este buza entre 30° y 40°, mientras su flanco oeste buza entre 60° y 80°; está conformado por varios anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más importantes son el de Chumpe y el de Yauli (últimátum); sus ejes tienen un rumbo que varía entre N 35° y 40° O". (6)

2.2.4.2. Fracturamiento

El fracturamiento en el área de la mina Carahuacra parece ser el resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron lugar a la formación del domo de Yauli. Probablemente a fines del Cretácico, plegamiento peruano fuerzas de compresión de dirección NE-SO comenzaron a formar el anticlinal Chumpe, a medida que las fuerzas de compresión aumentaban de intensidad durante el plegamiento Incaico, los estratos inferiores de caliza resbalaron sobre los volcánicos subyacentes. (6)

La complejidad geológica del distrito ha dado lugar a la formación de una variedad de depósitos minerales que se extienden ampliamente como se muestra en el gráfico siguiente.

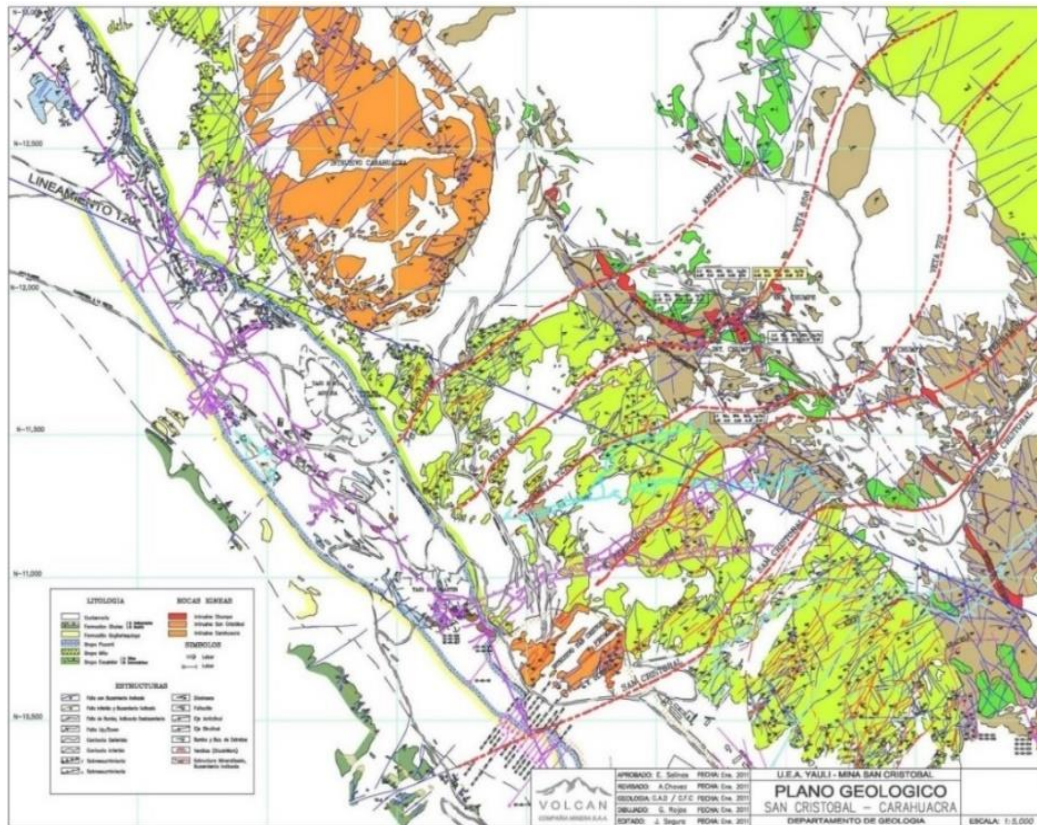


Figura 4. Plano geológico estructural de la unidad minera San Cristobal Tomado de unidad minera San Cristobal. (6)

2.2.5 Geología económica

Después de la última etapa del plegamiento "Quechua" y la formación de las fracturas de tensión, vino el período de mineralización; soluciones residuales mineralizantes originadas probablemente de los stocks de monzonita cuarcífera, invadieron el área dando lugar a la formación de vetas, mantos y cuerpos; sin embargo, es necesario aclarar el origen de los mantos y cuerpos, fueron rellenados o reemplazados indistintamente por soluciones hidrotermales, a través de canales alimentadores (*feeders*). En los últimos estudios realizados el año 1999 por el Dr. Robert Moritz de la Universidad de Ginebra. (6)

2.2.5.1. Vetas

Las vetas o filones fueron formados primordialmente por relleno de fracturas. Las que se desarrollaron a lo largo de fracturas de tensión son mineralizadas. Además, las fallas de cizalla contienen mucho panizo, no están bien mineralizadas o pobremente mineralizadas. Se encuentran ubicados en todo el

distrito minero de la unidad, en su gran mayoría se desarrolló en los volcánicos del grupo Mitu. (6)

2.2.5.2. Mantos

Los mantos se ubican en el flanco oeste del anticlinal, en la localización de las calizas de Pucará. A partir del contacto con los volcánicos Mitu, se hallan simultáneamente con la estratificación. (6)

2.2.5.3. Cuerpos

Similar a los mantos se ubican localizados en el flanco oeste del anticlinal, en la localización de las calizas de Pucará. Su formación es debido a la unión de varios mantos o en su intersección de una veta con un manto. (6)

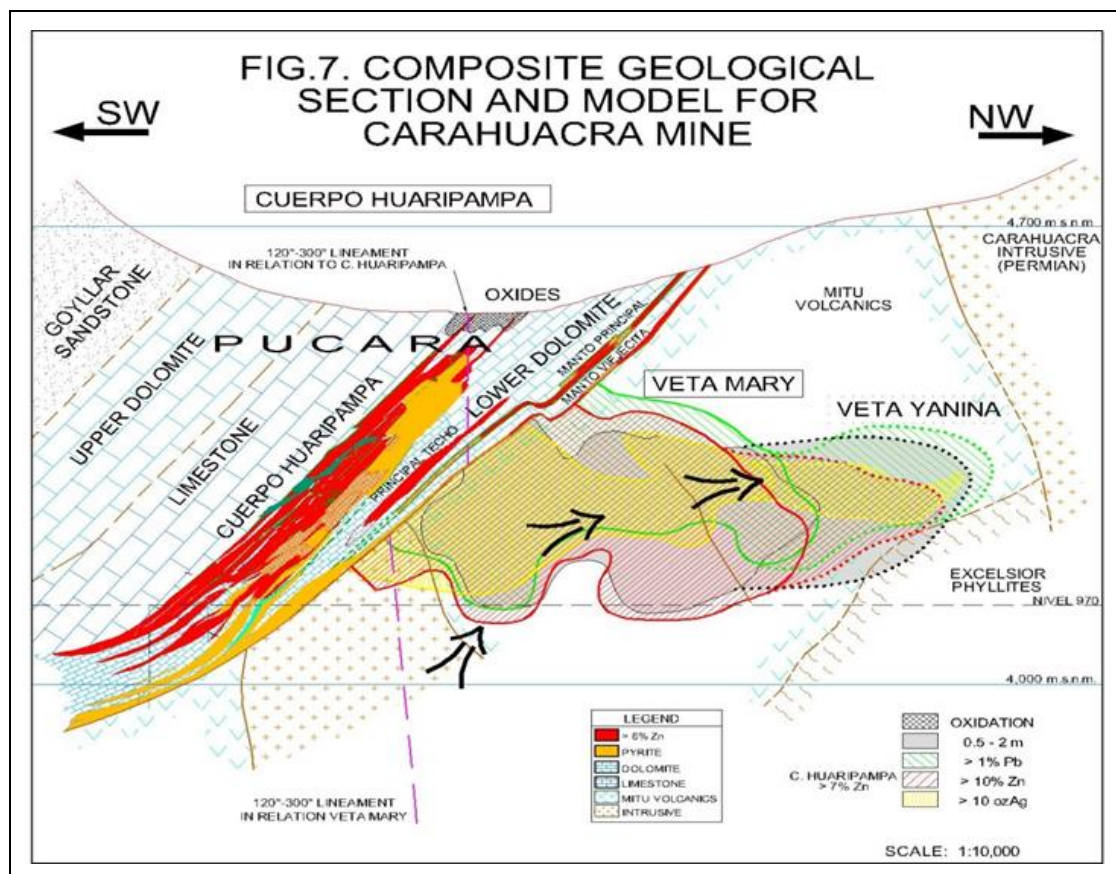


Figura 5. Plano de sección geológica compuesta de la unidad minera San Cristobal Tomado de unidad minera San Cristobal. (6)

2.1 Bases teóricas

2.3.1 Diseño de la malla de perforación y voladura

Para la perforación y voladura por *Breasting* se tiene deficiencias en la corona de la labor, por experiencia el diseño, el tipo de roca en la unidad minera San Cristobal, es de regular a malla, en las labores de avance respectivamente.

Tras deficiencias se diseña una malla de perforación y voladura para el control de la sobre rotura de la corona, ya que el tipo de roca en esa zona es un tipo de roca de regular a mala, en donde se tiene 14 taladros cargados y 8 taladros de recorte respectivamente.

En la siguiente figura se muestra el diseño de malla y la distribución de taladros respectivamente.

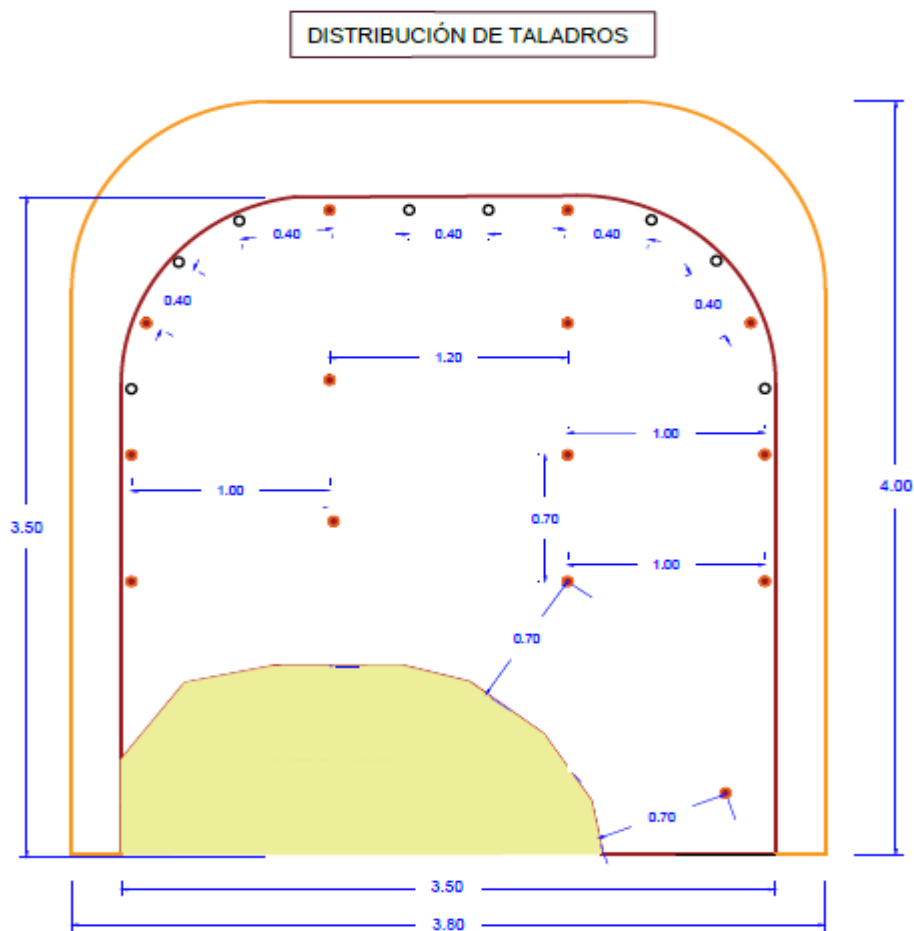


Figura 6. Diseño de malla en la perforación y voladura en Breasting en las labores de avance.

Tomado de unidad minera San Cristobal. (6)

Este diseño pasó a evaluarse en el TJ SP 09 Oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, para poder implementarlo y estandarizarlo respectivamente.

2.3.2 Control de la perforación y voladura en la estabilidad del macizo rocoso

Se debe tener en cuenta los siguientes conceptos para poder controlar la perforación y voladura, y la estabilidad del macizo rocoso.

- **Las vibraciones**

Son un fenómeno de la transmisión de energía que se refleja en la propagación de un movimiento ondulatorio a través de cualquier medio. La detonación de un explosivo contenido en un taladro genera de manera casi instantánea gran volumen de gases a altas temperaturas (3500°K) y elevadas presiones (150 000 atm). (7)

La aplicación instantánea de estas presiones muy elevadas en las paredes del taladro simula un choque o golpe brusco, provocando en cada punto del macizo deformaciones axiales y tangenciales en diferentes direcciones, produciendo la rotura del macizo en sus proximidades. (7)

Como es de esperarse, el explosivo trabaja con una determinada eficiencia, lo cual indica que no el total de la energía explosiva es usada para provocar fragmentación, sino que un porcentaje de la misma es liberado en el ambiente propagándose hacia la masa rocosa, la napa freática y el aire; desplazándose a diferentes velocidades. La amplitud del movimiento ondulatorio se reduce a medida que dicho movimiento se aleja del punto principal de detonación. (7)

- **Los tipos de ondas**

Con respecto a las ondas producidas en las vibraciones, se dice que la maravilla de las vibraciones a causa del impacto de los disparos intenta ser retratada por algunas condiciones de estilo antiguo de las ondas versátiles, sin embargo, a pesar de que hasta la fecha es el modelo mejorado más apropiado para la investigación de esta maravilla, estas estimaciones no son absolutamente

sólidas a causa de cuestiones específicas como el debilitamiento, la dispersión, la superposición y el cambio de frecuencia que suelen aparecer. (7)

Esencialmente, podemos aislar los tipos de ondas versátiles en dos agrupaciones. Las ondas interiores, que proliferan en el interior del macizo. Dentro de esta agrupación encontramos las ondas longitudinales, compresivas o principales P, que provocan la oscilación de las partículas de forma similar a la propagación de la onda; y las ondas transversales, de cizalla o auxiliares S, que se presentan provocando la oscilación de las partículas de forma transversal al sentido de la proliferación de la onda. Las ondas superficiales, comunicadas exclusivamente por el exterior del macizo. (7)

Dentro de esta reunión tenemos las ondas Rayleigh (R), que inician movimientos circulares en el plano donde proliferan y tienen el impacto de la presión, la dilatación y el cizallamiento; y las ondas Love (L), su velocidad es muy parecida a la de las ondas R y similarmente inician movimientos curvos. Los frentes de cada una de las ondas tienen una forma alternativa, las ondas P se propagan por pisadas y compresiones progresivas del medio, y en este momento llegan a una superficie libre o cambian el medio donde se encontraban, afectadas por esta rotura, pasan por la maravilla de la reflexión y refracción iniciando las ondas S. (7)

En las interfaces del suelo, las ondas de volumen provocan ondas de superficie, que se generan en ese límite. Así, estas ondas superficiales tienen dos inicios, la explosión del propio peligro y el rebote de las ondas interiores al incidir en un nivel superficial. Un principio normal para las ondas superficiales es que tienen frecuencias más bajas que las ondas de volumen, siendo la onda R la más reconocida y con la energía más elevada enviada, por lo que es todo menos una amenaza más seria para los diseños. (7)

- **Velocidad de partícula**

Comparable a la velocidad de la molécula, llamada también velocidad de la molécula superior, es importante comprender que existe un desprendimiento entre las ideas de engendramiento (velocidad con la que la vibración prolifera a

través de un medio) y de velocidad de la molécula (aquella comparativa con los movimientos experimentados por la molécula, vigorizada por la entrada de la onda de energía vibracional). (7)

La figura adjunta muestra de forma inequívoca la distinción entre los significados de proliferación y de partícula. (7)

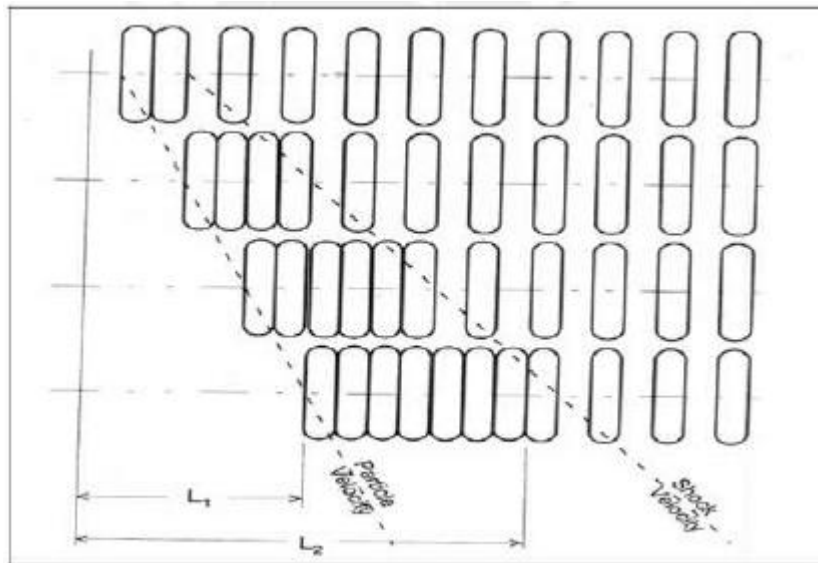


Figura 7. Análisis de la velocidad de partícula y la velocidad de propagación. Tomado de Orihuela Castillo, Stefane y otros. Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una mina modelo. (7)

- **Fracturamiento**

Los fragmentos entregados por voladura no deben ser exclusivamente sensibles por los equipos de carguio, sino que también deben pasar efectivamente por las aberturas de las trituradoras esenciales. Además, el nivel de discontinuidad influye totalmente en los costes de desenterramiento. (7)

En consecuencia, la expectativa de la fragmentación es un procedimiento significativo que hay que aprender. Es importante recordar que el estado general de los fragmentos y su distribución de tamaño están limitados por tres factores: La medida de los explosivos y su agrupación de introducción, su circulación dentro de la masa de piedra y la construcción de la piedra (juntas, roturas y planos de estratificación). (7)

En este trabajo se aclara inicialmente el sistema de agrietamiento alrededor de una abertura de perforación, luego se examina el impacto de las superficies

libres en la interacción de la discontinuidad; y posteriormente se describe cómo la construcción de juntas y huecos en la piedra impactan en el ciclo. (7)

Por último, conociendo lo anterior y comprendiendo que la velocidad pico de la partícula, nos permite anticipar el daño que puede ocurrir en cualquier diseño, utilizando el espesor de la carga directa, evaluamos el valor de la velocidad pico de la partícula en cualquier momento lejos de la carga táctil, y después podemos prever el nivel de discontinuidad a través de una capacidad exagerada. En el caso contrario, esta norma equivalente puede resumirse en un modelo numérico en el que se determinan las ansiedades producidas por las ondas en la piedra y se puede prever la fractura que se producirá. (7)

- **Mecanismos de fracturamiento**

En el momento de la explosión de una carga peligrosa, es detonada la velocidad de detonación, oscila entre 3000 y 6000 m/s, dependiendo del tipo de inestabilidad y de la anchura de la carga. En la parte delantera de la onda de explosión, el factor de presión varía entre 0,5 y 20 GPa. o, de nuevo, entre 5 y 10 GPa. para un taladro acusado de un inestable alto. (7)

La explosión de una carga peligrosa en el interior de un orificio de perforación crea una onda de choque que se desplaza radialmente hacia el exterior de la carga y alcanza alrededor del 66 % de la distancia hasta las superficies libres antes de empezar a producir roturas exteriores calculables. Esta onda se refleja entonces en las superficies libres como una onda de presión. La deformación cerca de la perforación es al principio plástica, y luego, en ese punto, seguida de rotura; la asociación entre el entramado de grietas en espiral en crecimiento y la onda de presión reflejada da una mayor velocidad de propagación a aquellas grietas que se corresponden con el frente de la onda de presión. (7)

En la siguiente figura se muestra la Interacción entre la onda reflejada y el sistema de fracturamiento en crecimiento.

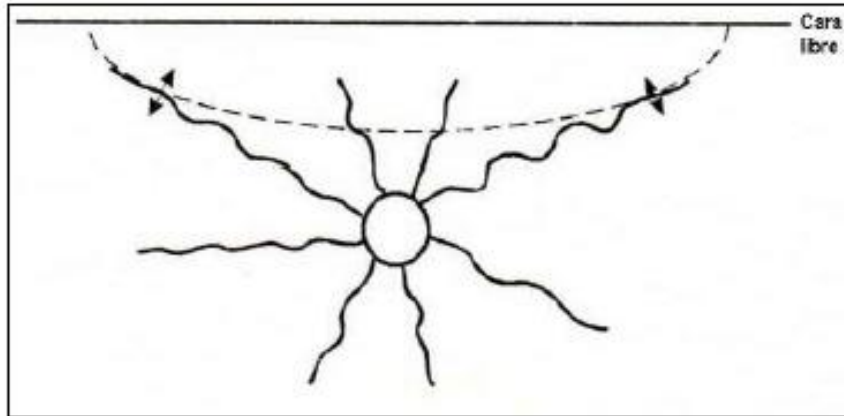


Figura 8. Interacción entre la onda reflejada y el sistema de fracturamiento en crecimiento

Tomado de Orihuela Castillo, Stefane y otros. Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una mina modelo. (7)

Como puede verse, la presencia de una superficie libre altera las últimas fases del engendramiento de la ruptura. Posteriormente, el factor matemático más importante en la interacción de la discontinuidad es la presencia de caras libres (superficies libres). (7)

La presión del gas procedente de una carga explosiva en un pozo ampliará la perforación, pero no se tratará de una fractura genuina y el desarrollo de la roca será leve además de en una anchura de la perforación. La discontinuidad genuina es el resultado de un desarrollo de gran alcance de la piedra al ser lanzada más allá de las caras libres. (7)

Además, es importante demostrar que las redes de perforación y disparo con grandes valores en la relación espaciamento/burden (de 4:1 a 8:1), provocan una gran discontinuidad en el impacto del asiento de enorme alcance. En general, en la industria minera nacional, se utiliza hasta una proporción de peso/separación. (7)

- **Ondas de esfuerzo en la roca**

Con respecto a las ondas en las rocas, se dice que la onda de choque creada por la explosión de una carga inestable es al principio sólida, y luego, en ese momento, se convierte en ondas de presión en la piedra circundante.

A medida que la onda se desplaza radialmente hacia fuera del pozo, la abundancia (presión) disminuye y la onda se vuelve compresiva y flexible (onda P). Las ondas S y las ondas R de Rayleigh están enmarcadas por la asociación de la onda P con la superficie libre, como se muestra en la siguiente figura. (Pearson y Holmbeg, 1989).

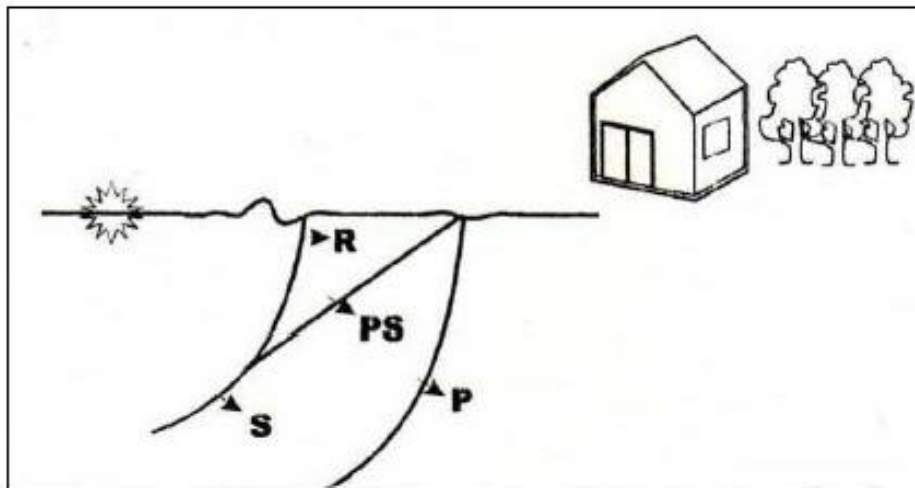


Figura 9. Ondas de esfuerzo en regiones lejanas de la detonación de una carga explosiva Tomado de Orihuela Castillo, Stefane y otros. Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una mina modelo. (7)

Cuando se quiere evaluar la fuerza de las ondas en una región distinta de la carga detonante, es valioso utilizar la velocidad pico de la partícula como una medida. Por esta razón, se considera que la velocidad pico de la partícula cumple la condición adjunta:

$$v = K \frac{W^\alpha}{R^\beta} \quad (1)$$

Donde W es el peso de la carga en kg; R es la distancia en metros; y k, α y β son constantes. k se comunica en m/s. Las ondas de esfuerzo se mueven a distintas velocidades $CP \approx 5000$ m/s, $CS \approx 3000$ m/s, $CR \approx 2500$ m/s. Dependiendo del tipo de onda, podemos obtener un indicador del esfuerzo (σ) o de la deformación (ϵ) en las rocas con la con la relación siguiente:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \approx \frac{V}{C} \quad (2)$$

Donde σ y E en GPa.

- **Daño de la vibración**

La rigidez a través de una articulación es la más frágil en la resistencia general de una masa de piedra. La onda de presión producida por la explosión provoca desfiguraciones transitorias en la masa de piedra, siendo una pieza de estas desfiguraciones elásticas, y suceden en las juntas provocando la rotura de las mismas incluso en ansiedades flexibles no exactamente la rigidez del material pétreo que engloba las juntas.

Debido a la brevedad de la presión, la grieta se abre un par de micras. No obstante, el daño es irreversible y el resultado es un ligero barrido e incluye una menor resistencia de la masa de piedra. Cuanto mayor sea la potencia de la onda de presión, más prominente será el borrado y la pérdida de solidaridad.

En cada macizo rocoso hay convergencias de juntas de diversas calidades, como se puede ver en la figura 3; el tamaño de la pila influye en el daño a la piedra y en la apropiación del tamaño de las piezas. Cerca de la pila, el mayor daño a las juntas provoca una división total de las secciones de la piedra a lo largo de las superficies de los planos de convergencia de las juntas. En un lugar intermedio, los dos planos articulares más vulnerables quedarán aislados. A una distancia más prominente, sólo se dañará la más frágil de las articulaciones.

Fuera del enorme círculo no se producirá ningún daño. Por lo tanto, podemos ver cómo la construcción de las articulaciones, el tamaño de la pila, y la división de la y la división de las aberturas tendrán un impacto en la forma y el tamaño de las secciones en el impacto. Está claro que las aberturas de mayor anchura causarán más daño que las de anchura más modesta.

Excesivamente cerca del montón las ansiedades son altas para causar la rotura y el aplastamiento del material de piedra homogéneo entre las juntas. En

cualquier caso, en la mayoría de las rocas hábiles, esto influye en una parte excepcionalmente pequeña del volumen de piedra dividido. El grado de tensión se ve afectado por la presencia de superficies libres cercanas, por el diseño de las juntas, las roturas abiertas o las juntas cargadas de material delicado.

Asimismo, el agrietamiento se produce a lo largo de las juntas en lugar de a lo largo de los cojinetes de la presión de cizallamiento más extrema a la luz del hecho de que las juntas son más frágiles que la piedra fuerte entre las juntas.

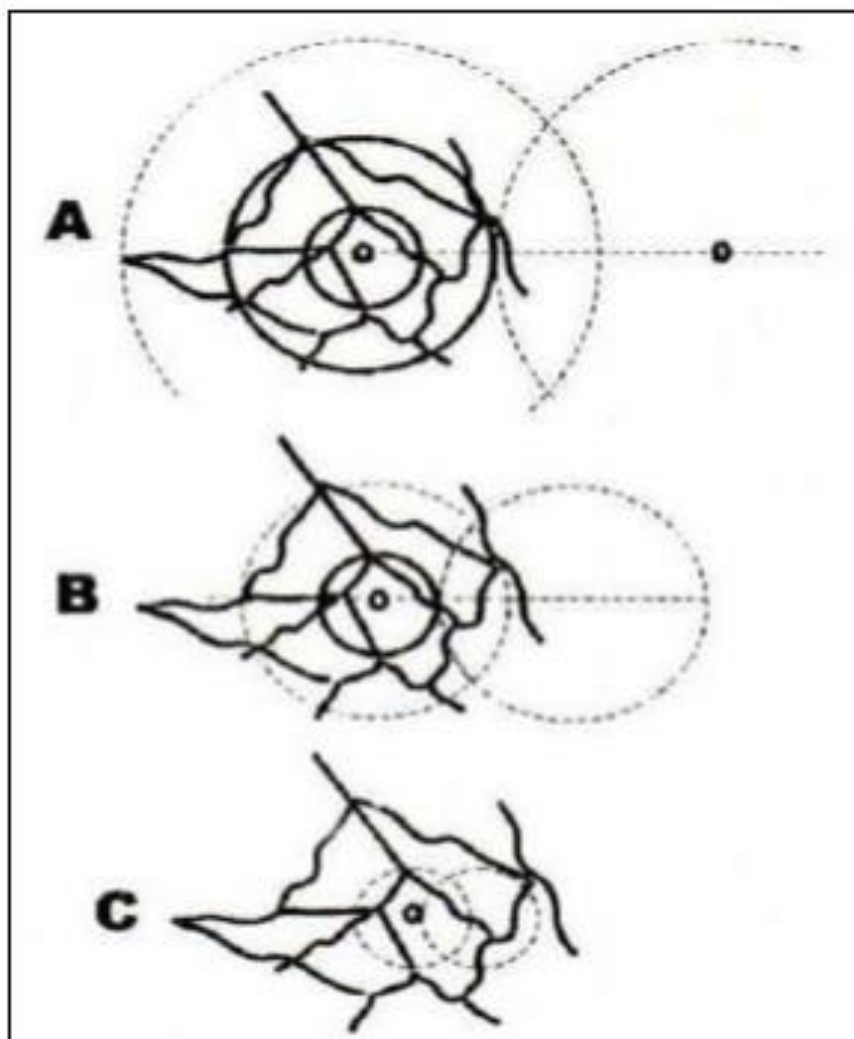


Figura 10. Esquema de la influencia del tamaño de la carga en la fragmentación de las rocas con sistemas de fracturas.

Tomado de Orihuela Castillo, Stefane y otros. Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una mina modelo. (7)

Cuando las construcciones son dañadas por las vibraciones de la voladura, esto usualmente se debe a la onda Rayleigh, la onda mayor de la superficie libre,

que causa las más grandes deformaciones y desplazamientos. Cuanto mayor es el peso W de la carga y la distancia R desde la carga es más corta, más grande es el desplazamiento de la vibración, la velocidad de partícula y la aceleración de partícula en esta onda de superficie.

En el control de vibraciones en construcciones un valor de $v = 50$ mm/s es un límite seguro, debajo de este valor no ocurrirá daño a una estructura residencial edificada en roca sólida. La deformación impuesta sobre una estructura se puede calcular tomando en cuenta la velocidad pico partícula la velocidad de cualquier onda en

$$\varepsilon = \frac{v}{C} \quad (2a)$$

En el momento en que los desarrollos se ven perjudicados por las vibraciones de impacto, esto se debe típicamente a la onda Rayleigh, la mayor onda superficial libre, que provoca las mayores deformidades y reubicaciones. Cuanto más prominente es el peso W de la carga y más limitada la distancia R de la carga, mayor es la reubicación de la vibración, la velocidad de la molécula y el aumento de la velocidad de la molécula en esta onda superficial.

En el control de las vibraciones de desarrollo, un valor de $v = 50$ mm/s es un límite seguro, por debajo de este valor no se producirá ningún daño en un diseño privado basado en una piedra fuerte. La deformación forzada en una construcción puede determinarse teniendo en cuenta la velocidad de la molécula del pináculo y la velocidad de cualquier onda en el diseño.

En este sentido, si la velocidad de las olas es baja, lo más posible es igualmente baja. Para un tipo de desarrollo similar al anterior, sobre tierra húmeda o arena, el valor de limite puede ser de 12,5 mm/s. Una urbanización de acero sobre piedra dura y resistente puede resistir vibraciones de amplitudes de hasta 200 mm/s sin sufrir daños.

De lo anterior, se deduce que el daño por vibración a la masa rocosa que engloba una carga peligrosa ocurre de forma similar, aunque el valor de corte de la velocidad de vibración para el daño calculable es alto. Se crea un potente campo de presión a causa de la carga explosiva, y sus desplazamientos de ayuda se producen principalmente hacia la superficie libre. Por lo tanto, la utilización de la velocidad pico de la partícula (PPV).

Con los encuentros conseguidos, las vibraciones del suelo de la pareja y el daño de la roca en la voladura es factible anticipar no sólo el daño a la piedra en una separación lejana de la carga de explosión, pero además el nivel de fractura. Esto se termina evaluando la velocidad de pico de la partícula en una zona cercana a una carga larga considerando el impacto de las superficies libres. A continuación, se utilizan los extremos de esa velocidad para calibrar las ansiedades.

- **Estimación de la velocidad pico partícula de la vibración en regiones cercanas a una carga explosiva**

En la siguiente figura se muestra la integración de la onda de superficie en una región. Se asume que se tiene un taladro con una carga larga de longitud H y con densidad de carga lineal I . Para determinar el esfuerzo resultante en un punto P a una distancia perpendicular r desde el eje de la carga, también se asume que, en cualquier punto distante de la carga, la velocidad pico partícula de la vibración resultante de la detonación de cada parte de la carga es positivo y se considera que la velocidad pico partícula de la vibración es representativa del esfuerzo causado por la vibración.

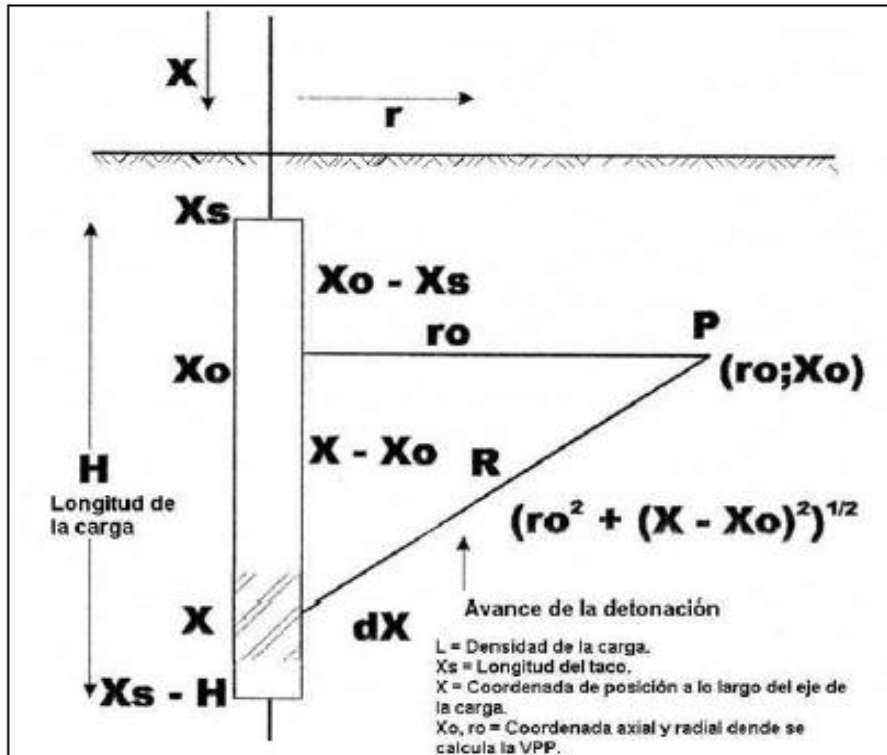


Figura 11. Integración de la onda de superficie en una región cercana a una carga cilíndrica

Tomado de Orihuela Castillo, Stefane y otros. Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una mina modelo. (7)

La ecuación 1, que se repite como ecuación 3, nos permite representar, por regla general, cómo el valor máximo de la velocidad de partícula de vibración de la onda Rayleigh depende de la pesadez de la carga explosiva (W) y de la distancia (R)

$$v = K \frac{W^\alpha}{R^\beta} \quad (3)$$

Donde W es el peso de la carga, R es la distancia; y k, α y β son constantes. Las cualidades consideradas para la roca dura son: $k=0,7$ m/s, $\alpha=0,7$ y $\beta=1,5$. En el caso de que W se estime en kg, R en m y v en m/s. La condición es legítima para las cargas concentradas cuyas longitudes son poco contrastadas con la distancia R . Holmberg y Persson (1978) utilizaron la condición 3 para inferir una articulación para decidir el valor del máximo de la velocidad de vibración en la roca casi una carga explosiva extendida. Considerando la intensidad de vibración w , se deduce que:

$$w = K \left[\frac{l}{r_o} \right]^\alpha \left[\arctan \left(\frac{H+x_s-x_o}{r_o} \right) + \arctan \left(\frac{x_s-x_o}{r_o} \right) \right]^\alpha \quad (10)$$

Es necesario recordar que:

l : Densidad de carga lineal (peso de la carga/longitud unitaria de la carga)

H : Longitud de la carga

x_s : Longitud del taco;

x : Coordenada de posición a lo largo del eje de la carga

x_o, r_o : Coordenadas axial y radial del punto donde la vibración es observada.

La figura 6 muestra dos diagramas derivadas de la ecuación 10 que da la velocidad pico de la vibración como una función de la distancia perpendicular desde la carga, con la densidad de carga lineal como un parámetro. (7)

En la figura 6 se muestra dos gráficos obtenidos a partir de la ecuación 10, que da la velocidad de vibración pico de la vibración como un elemento de la separación opuesta de la carga, con el espesor de la carga directa como un límite, es ordinaria para el impacto del asiento con una distancia enorme a través de las aberturas, y la para la excavación con aberturas de poca anchura. (7)

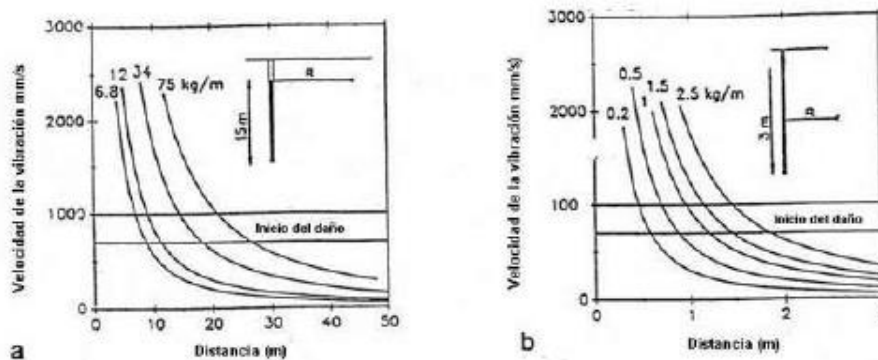


Figura 12. Velocidad pico de la vibración calculada Tomado de Orihuela Castillo, Stefane y otros. Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una mina modelo. (7)

La velocidad máxima de vibración determinada como componente de la distancia, a como componente de la distancia, a) a una carga de 15 m de longitud y enorme anchura, y b) al punto focal de una carga de 3 m de longitud y poca anchura, con la fijación de la carga como límite. El estado de la carga es regular para el impacto del asiento con aberturas de enorme anchura. (7)

La velocidad de vibración máxima de estas estimaciones se ha utilizado de forma aceptable como proporción del daño por exceso de piedra.

Se descubrió que los excesos de 0,7 a 1 m/s son característicos de una primera señal de daño por vibración en la apariencia de la piedra dura y fuerte, un ligero borrado del desprendimiento de la junta actual, y la disposición de nuevas roturas pequeñas. (7)

- **Leyes nacionales**

Se tiene el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional aprobado con el D.S. 024-EM-2016 con su modificatoria D.S.023-EM-2017. (8)

- **Sismógrafos**

El sismógrafo es un instrumento para medir terremotos o temblores provocados por los movimientos de las placas tectónicas o litosféricas. Cuando ocurre un temblor son capaces de registrar las ondas S y las P. (7)

2.3.3 Proceso de mejora para el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso

Para lograr los objetivos planteados, se propone la siguiente metodología de trabajo.

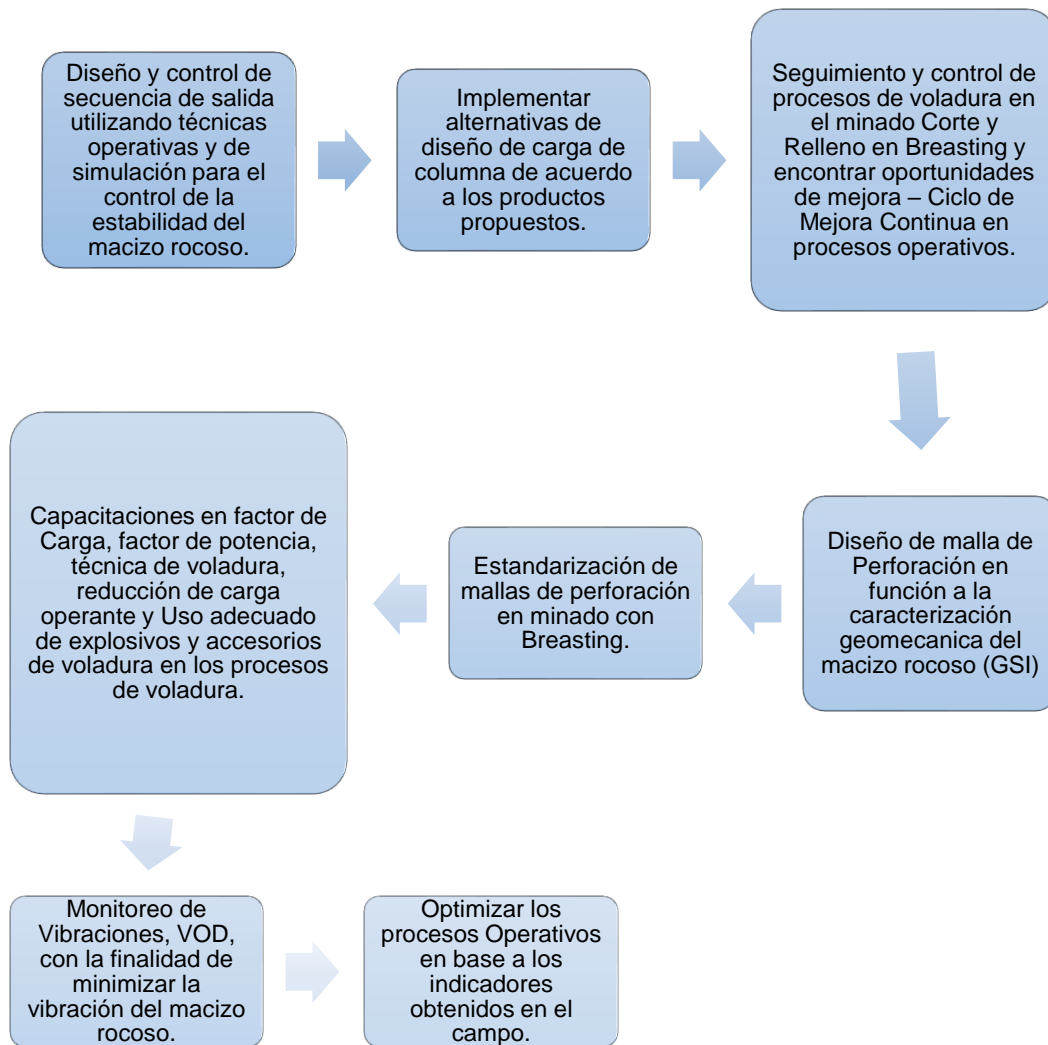


Figura 13. Proceso de mejora para el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso

2.3.4 Diseño y control de secuencia de salida utilizando técnicas operativas y de simulación para el control de la estabilidad del macizo rocoso.

Se hizo seguimiento de la perforación y voladura en el tajo lado oeste, en coordinación con el jefe de zona, durante varios días consecutivos, así mismo se realizó monitoreo de vibraciones, donde se pudo encontrar las siguientes observaciones:

- Se realizó la capacitación a los operadores de equipo y cargadores de explosivos, temas de secuencia de retardos, reducción de carga operante y minimizar la carga de columna de taladro, estandarizando el uso de explosivo

emulnor 1000 1 ¼ x 12, reducción de sección a perforar y minimizar la sobre rotura.

- Se pudo apreciar los cambios de manera inmediata, como son el pintado de malla de perforación, taladros de RE-corte en la Corona, reducción de sección de labor por la condición del tipo de roca y mineral.
- Asimismo, se realizó el monitoreo de vibraciones con la finalidad de identificar la mayor vibración y estandarizar el uso de retardos.
- Se obtuvieron resultados óptimos; reducción de factor de potencia, así como la reducción de sobre excavación por consiguiente minimizar la sobre dilución.
- Los resultados luego de tres días consecutivos de seguimiento, fueron aceptables.

En el anexo 2, se muestra la perforación y voladura en campo del diseño de malla implementado

2.3.5 Implementar alternativas de diseño de carga de columna de acuerdo a los productos propuestos.

Tras el diseño en gabinete se procedió a realizar los trabajos en campo del diseño de malla a implementar como con todos los parámetros de perforación y voladura establecidos por la unidad minera San Cristobal.

En la siguiente figura, se muestra la implementación de la nueva malla de perforación y voladura para los trabajos en *Breasting*.



Figura 14. Implementación de la nueva malla de perforación y voladura - Breasting

Las pruebas deben ser fundamentada mediante estudios geomecánicos, cálculo de perforación y voladura en base a los parámetros de perforación y por último el estudio de las vibraciones sustentados por equipos como el sismógrafo.

2.3.6 Seguimiento y control de procesos de voladura en el minado corte y relleno en Breasting y encontrar oportunidades de mejora – ciclo de mejora continua en procesos operativos.

Las operaciones unitarias de perforación y voladura, siempre se reajustan y se tiene una mejora continua, por varios factores, como la mejora de los explosivos y accesorios en el mercado, en la perforación con longitudes mayores para un óptimo avance, equipos de perforación, entre otros factores más.

Por otro lado, depende también la influencia de los operadores de equipo, el maestro perforista, maestro encargado del carguío de explosivos que atreves de las capacitaciones en las actividades donde cada uno se desarrolla, habría una mejora en cada área de trabajo.

Es importante contar con una programación de capacitaciones a base de las actividades de cada trabajador y no esperar hasta las deficiencias en cada área de trabajo.

2.3.7 Diseño de malla de Perforación en función a la caracterización geomecánica del macizo rocoso (GSI)

La geomecánica condiciona en el desarrollo de la implementación del diseño de malla de perforación en la unidad minera San Cristobal. Se tiene dos tipos de roca: la dacita de tipo de roca regular con RMR de 45 y el mineral la esfalerita de tipo de roca mala con RMR 38. Esto condiciona e implica que es conveniente realizar el análisis de las vibraciones para evitar mayor daño a la masa rocosa. Para la determinación del GSI se ha tomado en cuenta la fórmula $GSI = RMR - 5$.

Los explosivos y la fragmentación, Por ser la masa rocosa una roca de calidad mala, por tener un RMR igual a 38, la fragmentación no es parte del problema sino el inconveniente es mantener la estabilidad de la masa rocosa determinado una carga operante adecuada. (7)

2.3.8 Estandarización de mallas de perforación en minado con Breasting

Los indicadores de voladura para la línea base se obtienen de la toma de datos *in situ*; además de obtener reportes y levantamiento de parámetros de voladura de las áreas de Planeamiento y Mina. También se recopila una serie de observaciones de desvíos operacionales de las guardias (día y noche) direccionados a estandarizar una malla de perforación y voladura para mejorar los resultados en cuanto a eficiencia en el avance.

Evaluación de las causas de voladura deficiente para determinar las causas de voladura deficiente, se realiza el seguimiento a la perforación y voladura.

Parámetros que afectan a la perforación y voladura son los siguientes:

- Programa mensual de avances
- Mano de obra maestro de labor
- Mano de obra técnicos operadores de equipos jumbo
- Parámetros de perforación y voladura
- Características del macizo rocoso

2.3.9 Capacitaciones en factor de carga, factor de potencia, técnica de voladura, reducción de carga operante y uso adecuado de explosivos y accesorios de voladura en los procesos de voladura.

Los tajos en explotación corte y relleno en *Breasting* como es el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, luego del carguío de los frentes, se realizaron las capacitaciones en técnicas de voladura, carga operante a los responsables del carguío, con la finalidad de comprender la importancia de la distribución adecuada de los faneles – retardos, la columna de carga en los taladros, carga desacoplada e indicando uso correcto.

Se llevaron a cabo, también, una capacitación en cálculo de factor de potencia, factor de carga y la importancia en el control de los indicadores en el proceso de voladura, asimismo comprender los conceptos de carga operante y el control de vibraciones por el uso de retardos y columna explosiva en los frentes de minado.



Capacitaciones en la labor, cargadores Tecnomin Data - Volcan SAA.

Figura 15. Capacitación del TJ SP 09 W / ACCESO 625 - Nivel 1380 veta Lidia

Se realizó la capacitación a los trabajadores de la empresa contratista Tecnomin Data en las labores donde ejecutaban el carguío. Se determinó un alto en sus actividades y se juntó a los operadores de perforación y cargadores de explosivos. Se explicó la importancia de la distribución de faneles – retardos en el minado de corte y relleno en *Breasting* de acuerdo a las condiciones de cara libre que presenta el tajo, así como las necesidades de realizar los taladros de alivio en la corona (taladros de re_corte), reducir la sección a perforar para controlar la sobre excavación.

2.3.10 Monitoreo de vibraciones, VOD, con la finalidad de minimizar la vibración del macizo rocoso.

Para realizar el monitoreo de velocidad de detonación se utiliza el equipo Microtrap de Mrel. Este equipo es conectado por medio de un cable de prueba (Procesable), de 10.80 Ohm junta mente con el cebo (Prima), se introduce al taladro, en la cual es empalmado con un cable Coaxial RG 58, para ser alejado del disparo, para obtener la data es analizado mediante el software de la computadora, generándonos así el resultado. Con lo que respecta a la VOD (Velocity of Detonación) que se obtuvieron en las pruebas confirman que el producto que suministra Famesa explosivos SAC (emulsión encartuchada, denominada Emulnor® 3000) están dentro de los parámetros establecidos por la planta de acuerdo a la ficha técnica de fábrica, se debe monitorear los siguiente:

- La velocidad de detonación del explosivo.
- La presión de detonación compara con la técnica de fábrica, que muestra una VOD confinado y sin confinar

2.3.11 Optimizar los procesos operativos en base a los indicadores obtenidos en el campo.

De acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en las voladuras del Nivel 1380 de la labor TJ SP 9 (Breasting), los valores están encima de la velocidad critica; significa que se está dañando la periferia de la labor, la Clasificación del Macizo Rocosos según Bieniawsky esta labor presenta un tipo de Roca Regular a Mala, con un RMR de 21 a 30; por lo que se estima que movimientos sísmicos mayores de 37.880 mm/s. estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor.

La mejora se daría en incrementar el número de taladros de recorte en la corona a fin de controlar y disminuir la sobre rotura y por ello justificado con el carguío del explosivo para disminuir las vibraciones de la labor.

CAPÍTULO III

MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Métodos de la investigación

a) Método general

En forma general se empleará el método científico, porque se construye a base de datos empíricos *in situ* en las operaciones de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal.

b) Método específico

El método específico a emplear es el método experimental inductivo – deductivo. Se deduce el diseño de la malla de perforación a fin minimizar los daños en la periferia de la labor de avance en la unidad minera San Cristobal.

El método analítico porque el control y estabilidad del macizo rocoso es lograr un monitoreo de la perforación y voladura en las labores de avance, a fin de disminuir las sobre roturas de la periferia de la labor en la unidad minera San Cristobal.

3.1.2 Alcances de la investigación

a) Tipo de investigación

La investigación es de diseño no experimental, porque el objetivo de la investigación es determinar el diseño de malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal.

b) Nivel de investigación

Descriptivo porque trata de explicar de qué manera el diseño de malla de perforación y voladura ayudará al control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es experimental.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Todas las labores de avance en la preparación y desarrollo de la unidad minera San Cristobal.

3.3.2 Muestra

Labor de avance del tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

En la presente investigación se realizará la recolección de datos en campo *in situ* mediante la técnica observacional y procesamiento de datos pasados y actuales en la operación de perforación y voladura.

Para la recolección de datos de perforación y voladura, informes diarios, informes mensuales y anuales, se usó tesis, libros, catálogos del equipo de perforación y laptop para el procesamiento de los datos.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Para la investigación se utilizarán como instrumentos de campo: cuaderno de notas, planos, reporte de operaciones de perforación y voladura de la unidad minera San Cristobal.

- Informes
- Publicaciones

- Tesis
- Planos
- Fichas
- Libros
- Internet
- PC

3.4.3 Metodología de trabajo

Para lograr los objetivos planteados, se propone la siguiente metodología de trabajo.



Figura 16. Metodología para el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación del diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad.

Se realizó el seguimiento de la perforación y voladura de los tajos en Breasting, en la labor de avance del tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia.

Se realizó un seguimiento del carguío de explosivos en la labor, se detectó algunas desviaciones por parte de los trabajadores, las siguientes observaciones son:

- Durante el carguío de los taladros con explosivos se detectó que no son cargados de acuerdo a la longitud del taladro, tampoco se colocan los tubos PVC, solo se carga hasta donde ingresa el cebo inicial.
- Desconocen las características del explosivo que están manipulando en el carguío.
- Se encontró a los trabajadores realizando el corte longitudinal del Emulnor de 1000 de 1 ¼ x 12 en 02 partes para completar el carguío de 04 taladros con tubos PVC por falta de explosivos de menor diámetro.
- No cuentan con materiales de encebado, punzón de cobre.
- No existe control de explosivo durante el carguío.

En la siguiente figura se muestra las deficiencias durante el carguío de taladros con el explosivo emulnor de 1000 de 1 ¼ x 12.



Figura 17. Deficiencias durante el carguío de taladros con el explosivo Emulnor de 1000 de 1 ¼ x 12.

4.1.1 Evaluación de la perforación y voladura con el equipo frontonero Boomer S1D.

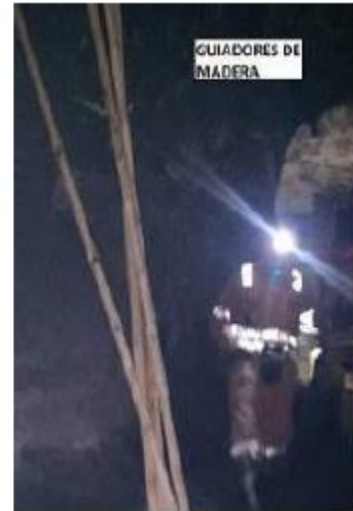
En el seguimiento de la perforación y voladura en el tajo lado oeste, en coordinación con el jefe de perforación y voladura, se encontró las siguientes observaciones:

- No se realiza el marcado de la sección a perforar, falta rasante, dirección y así mismo existe desniveles en la corona por inadecuada perforación.
- Se realizó la visita con los supervisores de perforación y voladura con la finalidad de detectar desviaciones en los procesos de perforación y Voladura en las labores tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia; dejándose recomendaciones a los operadores y cargadores, así como también recogiendo información de los equipos de perforación frontonero Boomer SID.
- Se hizo seguimiento de la peroración post visita, detectando cambios significativos como son: el pintado de malla de perforación, uso de guidores, criterio de perforación, lograr un taladro construido y realizar un carguío adecuado de explosivos.
- Se realizó la capacitación en el campo sobre perforación, control de paralelismo y uso de guidores, en la siguiente figura se muestra las

respectivas capacitaciones al personal encargada de la perforación y voladura, en anexo 2 se muestra los resultados respectivos.



Capacitación Perforación - Labor



Guiadores



Pintado de Malla De Perforación

Figura 18. Capacitación en el campo sobre perforación, control de paralelismo y uso de guidores

4.1.2 Evaluación de la perforación y voladura con el equipo frontonero Boomer S1D.

Se realizó el seguimiento del carguío en el frente de la perforación y voladura en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, en coordinación con el jefe de zona, donde se pudo encontrar las siguientes observaciones:

- Se encontró agua acumulada al tope, eso indica que se realizó la perforación de taladros sin bomba sumergible, por consiguiente, taladros de arrastre y ayuda de arrastre sin paralelismo, inadecuada distribución de taladros, tapados con detritus.
- Se encontró taladros cortos de 2.5 - 3.0 metros por la condición del terreno se taparon los taladros.
- Se realizó la capacitación en la labor, recomendando a los colaboradores encargado del trabajo de perforación y voladura, a fin de que realicen la distribución de faneles – retardos, ante de iniciar el carguío con explosivos.
- El carguío de los taladros de periferia se hizo con cartuchos de Emulnor de 1000 de 1 ½ x 12”.
- En el carguío de taladros se recomendó la utilización de tacos de cartón y aprovechar las cajas de explosivos remanentes en las labores.

En la siguiente figura se muestra la técnica de carguío de taladros y distribución faneles – retardos.



Figura 19. Técnica de carguío de taladros y distribución faneles – retardos

4.1.3 Control de la salida de explosivos de polvorín auxiliar 500, unidad minera San Cristobal

Para el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, se realizaron retiro de la misma forma sin considerar los explosivos remanentes que se dejaron por cada disparo que se realizó varios días anteriores en dicha labor, es decir:

- 50 kg de explosivos (01 caja de 1 ¼ x 12” de E-1000 y 01 Caja de 1 ¼ x12” E-3000).
- 20 Faneles PL (series 04 faneles del mismo número).
- Otros componentes como son: cordón detonante, 02 carmex y mecha rápida).

Como se muestra en anexo 3 el vale de salida de explosivo respectivamente.

4.1.4 Indicadores de perforación y voladura

En el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, durante el carguío se utilizaron lo siguiente:

- 01 caja de explosivo Emulnor – 25 KG.
- 12 – 14 faneles, promedio de 13 faneles por cada disparo.

Logrando los siguientes resultados:

A continuación, en la tabla adjunta se detalla los parámetros de diseño de perforación y voladura en *Breasting*, para el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia.

Tabla 3. Parámetros de diseño de perforación y voladura en Breasting

Items de perforación y voladura en Breasting				Detalles carguio								Emulnor													
Descripción :17 de mayo del 2015		Tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia		N° Fanel	Periodo Corto	Tiempo Retardo Fanel usado	N°	Periodo Largo	Tiempo Retardo FANEL	Usado	Numero taladros cargados	N° Retardo	Tiempo Retardo	N° Cartucho Taladro	1 1/4*12	1000	1 1/2*12	1000	1 1/4*12	3000	1 1/2*12	3000	1 1/2*24	3000	TOTAL
		Ancho	3.8	PERF	3.5	M3 ROTO +									0.265	0.38	0.27	0.39						KG/Frente	
SECCION DE LABOR				Alto	4.0	PERF	3.5	10%	43.47																
						JUMBO BOOMER 281																			
Equipo de Perforación	12	Pies				# - 1	ms	25																	
Longitud de Barra de perforación	11	Pies				# - 2	ms	50																	
Longitud de perforación	51	Mm				# - 3	ms	75																	
Diámetro de perforación	90%	3.0 m				# - 4	ms	100	# - 1	s	1	# - 2	1.0												
Diámetro de taladro rimado	20	Tal.				# - 5	ms	125	0.5		9														
Eficiencia de perforación	6	Tal.				# - 6	ms	150	# - 2	s	2	# - 2	1.0												
N° de Taladros perforados						# - 7	ms	175	1.0	2	9														
N° de Taladros cargados						# - 8	ms	200	# - 3	s	3	# - 4	2.0												
N° Taladros rimados/Alivio						# - 9	ms	225	1.5		9														
						# - 10	ms	250	# - 4	s	4	# - 4	2.0												
						# - 11	ms	300	2.0	4	9														
						# - 12	ms	350	# - 5	s	5	# - 4	2.0												
						# - 13	ms	400	2.5		8														
						# - 14	ms	450	# - 6	s	6	# - 4	2.0												
						# - 15	ms	500	3.0	2	8														
						# - 16	ms	600	# - 7	s	7	# - 6	3.0												
						# - 17	ms	700	3.5		8														
						# - 18	ms	800																	

CLASIFICACIÓN	C/Techo	# - 19	ms	900	# - 8	s	8	# - 6	3.0						
GEOMECANICA	GSI	C/Piso	# - 20	ms	4.0	2	8			24.86	0	0	0	0	24.9
Caracterización del	Mineral	1000			# - 9	s	9	# - 8	4.0						
Macizo Rocos RMR					4.5		8								
RESULTADOS					# - 10	s	10	# - 8	4.0						
	2.60	Mt	86.2%	Eficiencia	5.0	2	8								
Avance Por Disparo.	Disp.				# - 11	s	11	# - 8	4.0						
Ancho de Labor	3.90	Mt			5.6		8								
Altura de Labor	4.50	Mt			# - 12	s	12	# - 8	4.0						
Toneladas Rotas	103.47	Ton.			6.2		8								
Factor de Potencia	0.24	Kg/Ton.			# - 13	s	13	# - 10	5.0						
Factor de Carga Lineal	9.56	Kg/Mt.			6.8		5								
Sobre excavación M3	45.63	2.16	5%	Sobre-Rotura	# - 14	s	14	# - 10	5.0						
					7.4		5								
					# - 15	s									
					8.0										
					# - 16	s									
					8.6										
					Total de Faneles Usados		0	Total de Faneles	12	Numero de Cartuchos Usados	94	94		0	24.9

Interpretación:

Según los resultados de los indicadores de perforación y voladura, teniendo las siguientes mejoras:

- Se tiene un avance por disparo de 2.60 metros con una eficiencia por disparo de 86.2 %.
- El tonelaje roto por disparo es 103.47 toneladas.
- El factor de potencia es de 0.24 kg/t.
- El factor de carga lineal es de 9.96 kg/m.
- La sobre excavación es de 47.04 m³, vendría hacer el 5 % sobre rotura.

Según los resultados de la tabla anterior existe derroche de explosivos en mina, se hizo seguimiento de la perforación y voladura en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, y las demás labores adyacentes en el mismo nivel, encontrándose las siguientes observaciones:

- No se realiza el reporte adecuado de la cantidad de explosivo utilizado por cada disparo que se realiza.
- Se deja remanente de explosivos y accesorios en la bodega del Nivel 1380, sin considerar las medidas preventivas, al ser almacenados en un solo lugar.
- No existe coordinaciones efectivas entre los supervisores y jefe de guardias para utilizar los explosivos remanentes y mejorar el retiro de explosivos del polvorín, convirtiéndose esto en un derroche e incremento en los indicadores que se realizan a través de los vales de salida de los polvorines.

En la siguiente figura se muestra el derroche de explosivo en mina.



Figura 20. Derroche de explosivos el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380

4.1.5 Evaluación de las deficiencias en los disparos en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380

Acuerdo a los resultados obtenidos existen deficiencias en los disparos, siendo los siguientes:

a) En perforación

- La falta de marca de sección y gradiente, en las labores de explotación, hace que los taladros no tengan paralelismo, por consiguiente, persiste la sobre excavación.
- Se implementó los guiadores llevándolos a la labor; sin embargo, no lo usan de manera adecuada durante la perforación.
- El operador realiza la perforación de acuerdo a su criterio, sin considerar la condición del terreno.

- La distribución de taladros se mejoró por la predisposición del operador contratado por la unidad minera San Cristobal.
- No colocan tubos PVC en los taladros perforados, debido a que se realiza la actividad de manera apresurada.
- Falta de liderazgo en la implementación de mejora del proceso, falta de orden y lineamientos claros para la búsqueda de mejora.
- Solo realizan los taladros de alivio cuando se indica la necesidad y por el tipo de roca.
- Falta establecer los estándares de perforación y uniformizar criterios que permitan controlar la sección de la labor y minimizar la sobre excavación.

b) En voladura

- La secuencia de retardos distribuidos en los frentes es de acuerdo al criterio del cargador y a la cantidad de faneles que llego a la labor, no se realiza un diseño previo al carguío.
- La cantidad de carga a considerar en cada taladro es irregular, criterio del cargador de acuerdo a la cantidad de explosivos que llegaron a la labor, no existe un diseño previo de carguío de taladros.
- La cantidad de carga explosiva es determinada por cada bodeguero de cada guardia, no existe un diseño de factor de carga o un diseño en función a la perforación realizada en campo.
- Existe variedad de explosivos que se tiene en la labor como son: (Emulnor 1000 de $1 \frac{1}{4} * 12$), (Emulnor 1000 de $1 \frac{1}{2} * 12$), (Emulnor 3000 de $1 \frac{1}{2} * 12$), (Emulnor 3000 de $1 \frac{1}{4} * 12$); en función al diámetro perforado o taladro entubado se decide el carguío en el campo.

- Uso inadecuado de los explosivos realizando un corte longitudinal por falta de explosivos de menor diámetro al utilizar los tubos PVC:
- No existe la cantidad de cucharillas metálicas para poder realizar la limpieza de taladro.
- El vale de explosivos es diferente a la cantidad de carga utilizada en los frentes de carguío.
- Existe remanente de explosivos que deben ser considerados en el reporte que realizan los jefes de guardia y evitar reportes inadecuados.

4.1.6 Mejoramiento en las deficiencias en los disparos en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380

a) En la perforación

En cuanto a las deficiencias en perforación, se logró mejorar con las siguientes alternativas de solución:

- Se continuó el control en la simetría y paralelismo de los taladros utilizando guidores.
- Se realizó la perforación de los taladros con una longitud efectiva de 3.00 m en labores donde el terreno presenta alteración en el macizo rocoso (IF/P-MF/P), y colocar tubos de PVC y no realizar perforaciones mayor o menor, para lograr obtener una eficiencia de disparo del 95 % al 100 %.
- Se perforó de acuerdo al tipo de roca, construir un taladro de calidad.
- Se evaluó para la implementación de una nueva malla de perforación propuesta; que deberá ser Implementada en el campo y a través de resultados determinar su aplicación en todos los frentes en *Breasting*, la cual deberá ser ajustada según el tipo de roca.

- Se entregará a cada perforista y ayudante de perforista el diseño de la malla propuesta, con el fin de que esta sea aplicada en campo según el diseño.
- Se capacitaciones al personal asignado a la perforación.

b) En voladura

En cuanto a las deficiencias en voladura se logró mejorar con las siguientes alternativas de solución:

- Es necesario considerar la selección de los retardos para el éxito de una voladura, sino que también afecta la intensidad de la vibración generada por la voladura y el tamaño de la fragmentación.
- La finalidad del uso de esta secuencia de retardos es obtener una mejor fragmentación en los frentes, como también es el de reducir la carga operante; por consiguiente, la reducción del nivel de vibración, lo que implica generar menor daño a la roca remante.
- Se entregará, a cada personal encargado del carguío, el plano de la secuencia de salida de los retardos para las diferentes secciones, con el fin de que esta sea aplicada en campo.
- Se utilizará la serie completa de faneles de periodo largo es decir los números 1, 2, 3, 4,5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16. Con el objeto de reducir aún más la carga operante.
- Se usará el fanel de periodo corto (ms), en las labores de producción (*Breasting*), ya que así obtendríamos mejor fragmentación y menos golpes en la periferia de la labor.
- La implementación y colocación de tacos inertes en los taladros de material granular, con la finalidad de retener y aprovechar al máximo la energía del explosivo.

- Se tendrá en cuenta el uso de cinta aislante, con el objeto de facilitar el amarre del Cordón detonante.
- Se capacitará al personal supervisor y al personal asignado al carguío, como también realizar la concientización que implica la importancia de los indicadores de voladura en el proceso.

4.1.7 Propuesta de malla de perforación y diseño de carguío de voladura

Según los puntos para el mejoramiento de las deficiencias en los disparos en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380. Se realizó el diseño de malla de perforación teniendo en cuenta las deficiencias en perforación como en voladura.

A continuación, en la tabla siguiente muestra el diseño para la implantación de la perforación y voladura en *Breasting*, para el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia.

Tabla 4. Propuesta de malla de perforación y diseño de carguío de voladura

Items de perforación y voladura en Breasting				Detalles carguío										Emulnor						
Descripción :17 de mayo del 2015		Tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia		N° FANEL	Periodo Corto	Tiempo Retardo FANEL Usado	N°	Periodo Largo	Tiempo Retardo FANEL Usado	Numero Taladros Cargados	N°	Retardo	Tiempo Retardo	N° Cartucho	1 1/4*12 1000	1 1/2*12 1000	1 1/4*12 3000	1 1/2*12 3000	1 1/2*24 3000	TOTAL
Ancho	3.8	PERF	3.5	M3 ROTO +											0.265	0.38	0.27	0.39	KG/Frente	
SECCION DE LABOR	Alto	4.0	3.5	10%	# - 1	ms	25													
				43.47	# - 2	ms	50													
				JUMBO BOOMER 281	# - 3	ms	75													
Equipo de Perforación					# - 4	ms	# - 1	s	1	# - 2	1.0									
Longitud de Barra de perforación	12	Pies			100		0.5		9											
Longitud de perforación	11	Pies			# - 5	ms	# - 2	s	2	# - 2	1.0									
Diámetro de perforación	51	Mm			125		1.0	2	9											
Diámetro de taladro rimado	90%	Mm			# - 6	ms	# - 3	s	3	# - 4	2.0									
de taladro rimado	22	Tal.			150		1.5		9											
Eficiencia de perforación	14	Tal.			# - 7	ms	# - 4	s	4	# - 4	2.0									
N° de Taladros perforados	8				# - 8	ms	# - 5	s	5	# - 4	2.0									
N° de Taladros cargados					200		2.5		8											
N° de Taladros rimados/Alivio					# - 9	ms	# - 6	s	6	# - 4	2.0									
					225		3.0	2	8											
					# - 10	ms	# - 7	s	7	# - 6	3.0									
					250		3.5		8											

CLASIFICACIÓN		C/Techo	# - 11	ms	# - 8	s	8	# - 6	3.0							
GEOMECANICA	GSI	C/Piso	300		4.0	2	8									
Caracterización del		Mineral	# - 12	ms	# - 9	s	9	# - 8	4.0	24.86	0	0	0	0	0	24.9
Macizo Rocoso RMR			350		4.5		8									
RESULTADOS			# - 13	ms	# - 10	s	10	# - 8	4.0							
	2.80	Mt	93%	Eficiencia Disp.	400		5.0	2	8							
Avance Por Disparo.	3.90	Mt	# - 14	ms	# - 11	s	11	# - 8	4.0							
Ancho de Labor	4.50	Mt	450		5.6		8									
Altura de Labor	142.67	Ton.	# - 15	ms	# - 12	s	12	# - 8	4.0							
Toneladas Rotas	0.28	Kg/Ton.	500		6.2		8									
Factor de Potencia	10.36	Kg/Mt.	# - 16	ms	# - 13	s	13	# - 10	5.0							
Factor de Carga	40.04	0.5%	600		6.8		5									
Sobre-Rotura.			# - 17	ms	# - 14	s	14	# - 10	5.0							
Lineal			650		7.4		5									
Sobre excavación M3			# - 18	ms	# - 15	s										
			700		8.0											
			# - 19	ms	# - 16	s										
			750		8.6											
			# - 20	ms												
			800													
			# - 21	ms												
			900													
			# - 22	ms												
			1000													
			Total de faneles usados	0	Total de faneles usados	12	Numero de cartuchos usados	94	94	0	24.9					

Interpretación:

Según los resultados de los indicadores de perforación y voladura, se logró las siguientes mejoras:

- Se tiene un avance por disparo de 2.80 metros con una eficiencia por disparo de 93 %.
- El tonelaje roto por disparo es 142.67 toneladas.
- El factor de potencia es de 0.28 kg/t.
- El factor de carga lineal es de 10.36 kg/m.
- La sobre excavación es de 40.04 m³, vendría hacer el 0.5 % sobre rotura.
- Se recomienda colocar PVC antes del carguío y utilizar carga desacoplada con *pentacord* en la corona.

4.2 Evaluación del diseño de la malla de perforación y voladura para minimizar la vibración del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal.

El monitoreo de vibración al momento de la voladura dentro de la unidad minera San Cristobal se realizaron en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia en los Tajeos de producción, con el método corte y relleno en *Breasting*, dando cumplimiento así a este punto se monitorearon los tajos 001 E y 002 W. Para el monitoreo de las labores se usó un sismógrafo de marca White con sumatoria de vectores, en el anexo 4 se muestra el sismógrafo de marca White.

4.2.1 Evaluación de los trabajos para el monitoreo de las vibraciones en las voladuras tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia

En la unidad de minera San Cristóbal, con la finalidad de realizar los trabajos de mejora, se analizó el monitoreo de velocidad de detonación del explosivo y monitoreo de vibraciones en las voladuras. Para realizar el trabajo de VOD, se cuenta con un equipo de monitoreo *Microtrap*, y para realizar el monitoreo de

vibración se usó un sismógrafo de marca White, de sumatoria vectorial, el cual tiene un geófono con sensores dispuesto en los ejes X, Y, Z; este sismógrafo es instalado a una cierta distancia de las labores que se realizaran las voladuras.

Los trabajos desarrollados en la unidad minera San Cristobal, se coordinó con el jefe de guardia y personal de voladura, donde se realizaron capacitación, soporte técnico, monitoreo de velocidad de detonación del Explosivo (VOD), y monitoreo de vibración.

4.2.2 Análisis del monitoreo de las vibraciones en las voladuras tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia

Se realizó el monitoreo de velocidad de detonación de agente explosivo encartuchado denominado Emulnor 3000®.

Para realizar el monitoreo de velocidad de detonación se utilizó el equipo Microtrap de MREL. Este equipo es conectado por medio de un cable de prueba (procesable), de 10.80 Ohm junta mente con el cebo (prima), se introduce al taladro, en la cual es empalmado con un cable Coaxial RG 58, para ser alejado del disparo. Para obtener la data, se analiza mediante el software de la computadora, generándonos así el resultado. Con lo que respecta a la VOD (Velocity of Detonación) que se obtuvieron en las pruebas confirman que el producto que suministra Famesa Explosivos SAC (emulsión encartuchada, denominada Emulnor® 3000) están dentro de los parámetros establecidos por la planta de acuerdo a la ficha técnica de fábrica, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5. Resumen de la velocidad de detonación de los explosivos monitoreados en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia

FECHA	Nivel	LABOR	INICIADOR	COLUMNA DE EXPLOSIVO	DENSIDAD (gr/cm ³)	VELOCIDAD DE DETONACION (m/s)	PRESION DE DETONACION (K Bar)	OBSERVACIONES
21/05/2015	630	TJ 80	Cartucho de Emulnor 3000 (1 ½" x 24")	Cartucho de Emulnor 3000 (1 ½" x 24")	1.14	5,086.25	69.4	EL CARGUIO SE REALIZA CON UNA CONFINACION INTERMEDIA

Interpretación:

Dentro del resultado del monitoreo de la velocidad de detonación del explosivo nos da un promedio 5086.25 m/s, con una presión de detonación de 69.4 kbar, esto nos demuestra que está dentro de lo estimado por la ficha técnica de fábrica, ya que la ficha técnica nos muestra una VOD confinado es de 5700 m/s y sin confinar 4400 m/s. para mayor credibilidad en la siguiente figura se muestra las características del explosivo emulsión y el resultados del software obtenido por el equipo Microtrap de MREL.

EMULNOR® - EMULSIÓN EXPLOSIVA ENCARTUCHADA
(Cartridge Explosive Emulsion)

Características técnicas

	EMULNOR® 500	EMULNOR® 1000	EMULNOR® 3000	EMULNOR® 5000
DENSIDAD RELATIVA (g/cm³)	0,90	1,13	1,14	1,16
VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	CONFINADO *	4 400	5 800	5 700
	S/CONFINAR **	3 500	4 500	4 400
PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)	44	95	93	86
ENERGÍA (kcal/kg)	628	765	920	1010
VOLUMEN NORMAL DE GASES (L/kg)	952	920	880	870
POTENCIA RELATIVA EN PESO *** (%)	63	85	100	105
POTENCIA RELATIVA EN VOLUMEN *** (%)	75	120	145	155
SENSIBILIDAD AL FULMINANTE	N° 8	N° 8	N° 8	N° 8
RESISTENCIA AL AGUA	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
CATEGORÍA DE HUMOS	Primera	Primera	Primera	Primera

* Velocidad de detonación en tubo de 1 ½ pulgadas de diámetro.
 ** Velocidad de detonación como cartucho de 1 pulgada de diámetro.
 *** Potencias relativas referidas al ANFO con potencia convencional de 100.

Figura 21. Características técnicas del explosivo emulsión

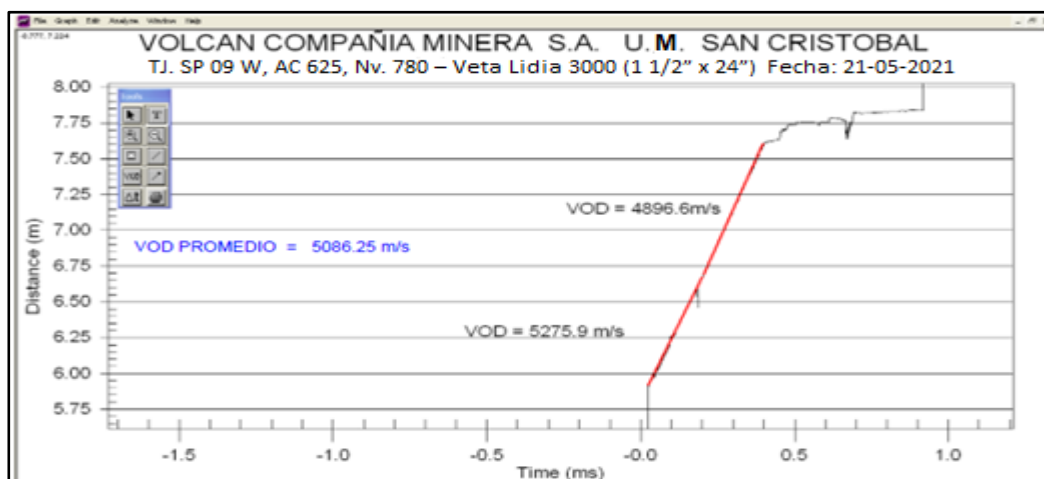


Figura 22. Resultados del software obtenido por el equipo Microtrap de MREL (VOD)

Interpretación:

Se monitoreo la voladura en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia (Breasting), donde se cargaron 12 taladros de 51 mm de diámetro de perforación, con 12.50 kg de cartucho de Emulnor® 1000 de 1 ¼” x 12” y 12.50

kg de cartucho de Emulnor® 3000 de 1 ¼" x 12" con un total de carga explosiva de 25.00 kg; el sismógrafo es instalado a 18 m del frente de la voladura (campo cercano), para registrar el movimiento de la partícula producida por la detonación de los taladros. Después de la voladura se analizan los resultados y se obtiene un movimiento de la partícula de 70.104 mm/s en la sumatoria de los vectores.

Además, se monitoreo en la misma labor el día anterior en el Nivel 1380, tajeo SP 9 (Breasting), donde se cargaron 12 taladros de 51 mm de diámetro de perforación, con 25.00 kg de cartucho de Emulnor® 1000 de 1 ¼" x 12"; el sismógrafo es instalado a 18 m del frente de la voladura (campo cercano), para registrar el movimiento de la partícula producida por la detonación de los taladros.

Después de la voladura se analizan los resultados y se obtiene un movimiento de la partícula de 79.629 mm/s. en la sumatoria de los vectores.

En el tajeo SP 09 oeste, Acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia (Breasting), donde se cargaron 14 taladros de 51 mm de diámetro de perforación, con 21.80 kg de cartucho de Emulnor® 1000 de 1 ¼" x 12"; y 3.80 kg de cartucho de Emulnor® 3000 de 1 ¼" x 12". El sismógrafo es instalado a 18 m del frente de la voladura (campo cercano), para registrar el movimiento de la partícula producida por la detonación de los taladros.

Después de la voladura se analizan los resultados y se obtiene un movimiento de la partícula de 163.576 mm/s. en la sumatoria de los vectores.

4.3 Evaluación del diseño de la malla de perforación y voladura para el control de fracturas y agrietamientos de la corona de la labor de avance, en la unidad minera San Cristóbal.

Tras el diseño de la malla de perforación y voladura en el control de fracturas y agrietamiento de la corona de la labor de avance en la unidad minera San Cristobal para el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, se debe evaluar el macizo rocoso y la velocidad de la onda P, para calcular la velocidad crítica del macizo rocoso.

4.3.1 Velocidad crítica de onda P en el macizo rocoso

Con la finalidad de conocer la velocidad crítica del macizo rocoso y la velocidad de la onda P, en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, el área de geomecánica nos proporcionó el RMR básico y la resistencia a la compresión de la labor disparada, considerando un valor de 0.6 para la calidad de la voladura, el resultado que se obtiene es: Vcrit es igual a 37.9 mm/s y la velocidad de la onda P es de 2727.92 m/s.

En la siguiente figura, se muestra la velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia.

VELOCIDAD CRITICA DEL MACIZO ROCOSO		
Nv: 780 Labor: TJ SP 9		
INPUT DATA		
Resistencia Compresiva de roca intacta	σ_{ci}	75 Mpa
Calidad de Voladura	D	0.6
Calidad de la masa rocosa (Bieniawsky)	RMR ₇₆	28
OUTPUT DATA		
Q (Barton) = EXP((RMR ₇₆ -44)/9)	Q	0.17
Constantes de masa rocosa (s, a)		
s = EXP((RMR ₇₆ -100)/(9-3D))	s	0.0000
a = 1/2 + 1/6(e ^{-RMR₇₆/15} - e ^{-20/3})	a	0.5256
Resistencia Compresiva de masa rocosa		
$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} * s^a$	σ_{cm}	0.39 Mpa
Modulo de Elasticidad		
E = 10 ^{(RMR₇₆-10)/40}		2.82 Gpa
Velocidad de la onda P		
Vp = 3,500 + 1,000 Log Q	Vp	2727.92 m/s
Vel. Critica (Vcrit)		
Vcrit = 0,1 x σ_{cm} x Vp / E	Vcrit	37.9 mm/s
1,4 Vcrit		53.0 mm/s

Figura 23. Velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia

Interpretación:

Dentro de los rangos de la V_{crit} igual a 37.9 mm/s a V_{crit} igual a 53.0 mm/s, se estima el inicio de propagación de fracturas preexistentes en la maza rocosa.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de la clasificación del Macizo Rocoso según Bieniawsky en relación a la velocidad crítica (movimientos sísmicos).

Tabla 6. Clasificación del macizo rocoso según Bieniawsky en relación a la velocidad crítica (movimientos sísmicos).

RESUMEN DE LA VELOCIDAD CRÍTICA								
Nivel	Labor	Resistencia Compresiva de roca íntacta	Calidad de Voladura	Calidad de la masa rocosa (Bieniawsky)	Velocidad de la onda P	PROMEDIO SEGÚN BIENIAWSKY		RESULTADO DE MONITOREO
						Vel. Crítica (V_{crit})		Sumatoria de Vectores
						oci	D	RMR
780	TJ SP 9	75	0.6	28	2727.92	37.880	53.032	70.104
780	TJ SP 10	75	0.6	28	2727.92	37.880	53.032	79.629
780	TJ SP 11	75	0.6	28	2727.92	37.880	53.032	163.576
630	TJ 80	50	0.6	25	2583.16	21.514	30.120	17.907

Interpretación:

De acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en las voladuras del tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia (Breasting), los valores están encima de la velocidad crítica; significa que se está dañando la periferia de la labor, la clasificación del macizo rocoso de esta labor, según Bieniawsky, indica un tipo de roca Regular a Mala, con un RMR de 21 a 30; por lo que se estima que movimientos sísmicos mayores de 37.880 mm/s. estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor.

4.3.2 Sismograma obtenido en la tajeo SP 09 oeste, Acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia

La velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia, se realizó con el sismógrafo, teniendo los siguientes resultados.

En la siguiente figura se muestra la Velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia.

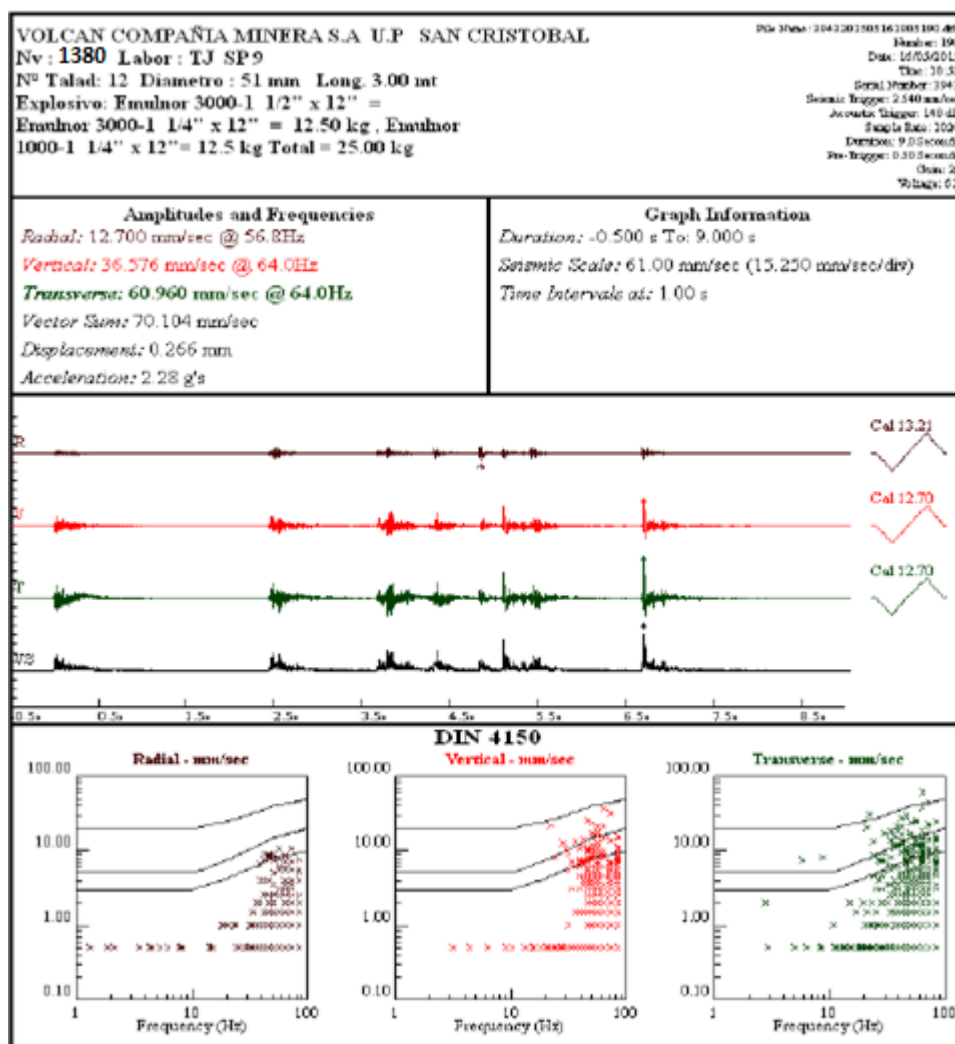


Figura 24. Primera prueba -velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia

Interpretación:

En la unidad minera San Cristóbal, en el Nivel 1380, labor TJ SP 9, en donde se disparó 12 taladros de 3.00 m de longitud con un diámetro de taladro de 45 mm, cargados con 12.50 kg de Emulnor 3000 encartuchado de (1 1/4" x 12"), y 12.50 kg de Emulnor 1000 de (1 1/4" x 12"); con un total de carga explosiva de 25.00 kg, el movimiento más alto que se registra en la onda de la transversal y es de 60.960 mm/s, con una amplitud de 64.0 Hz, y un desplazamiento de 0.266 mm, con una sumatoria de los vectores 70.104 mm/s; el sismógrafo es instalado a 18 m del frente de la voladura.

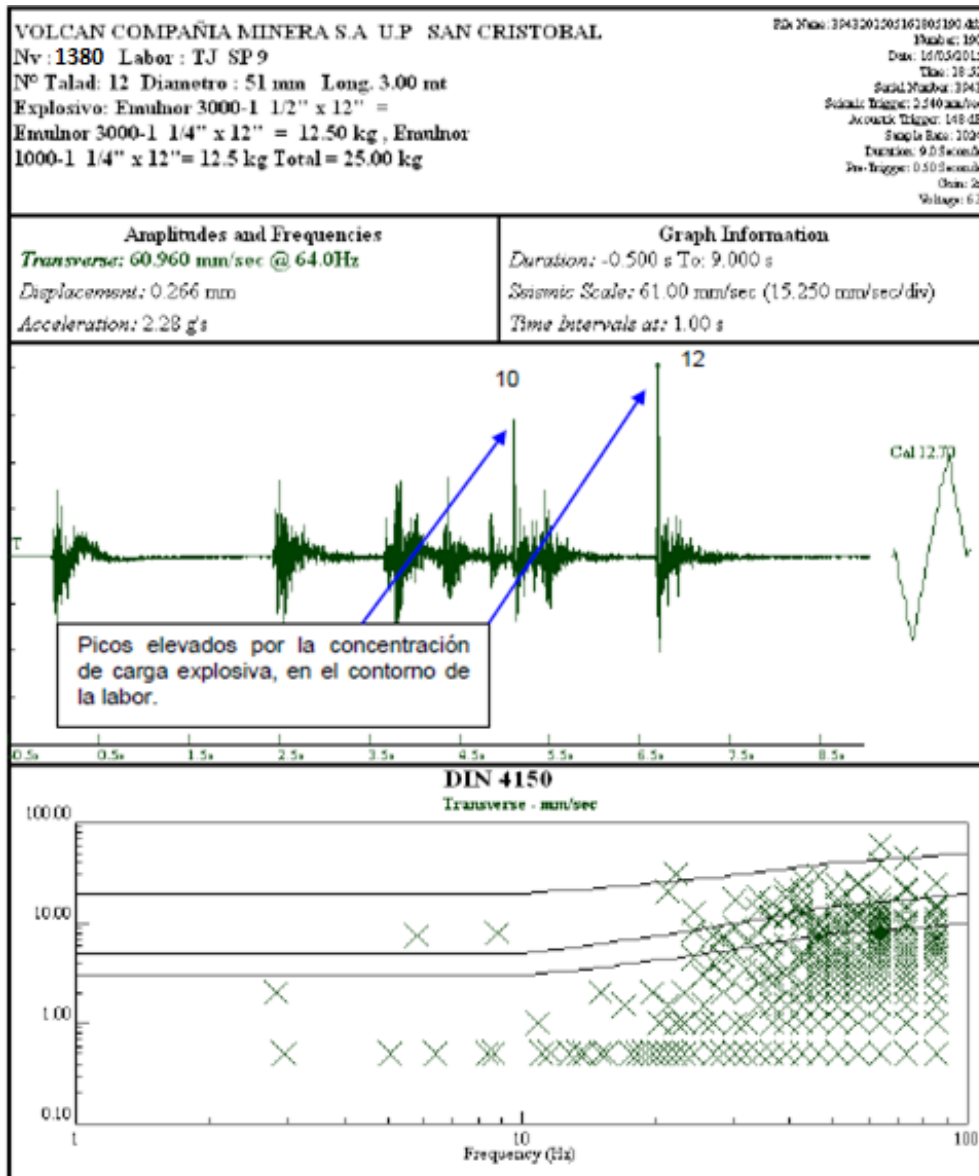


Figura 25. Segunda prueba -velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia

Interpretación:

Análisis de la voladura del tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia, en donde se dispararon 12 taladros cargados con cartuchos de Emulnor 3000; y Emulnor 1000, cada uno con sus propios accesorios. Se usó el Fanel de periodo largo (medio segundo) como iniciador y la secuencia fue como sigue N°5/2, 7/2, 8/2, 9/2,10/2 y 12/2; se aprecia que el mayor movimiento de la onda se produjo en los taladros dispuestos en los retardos N°10 y 12 esto por la concentración de carga explosiva.

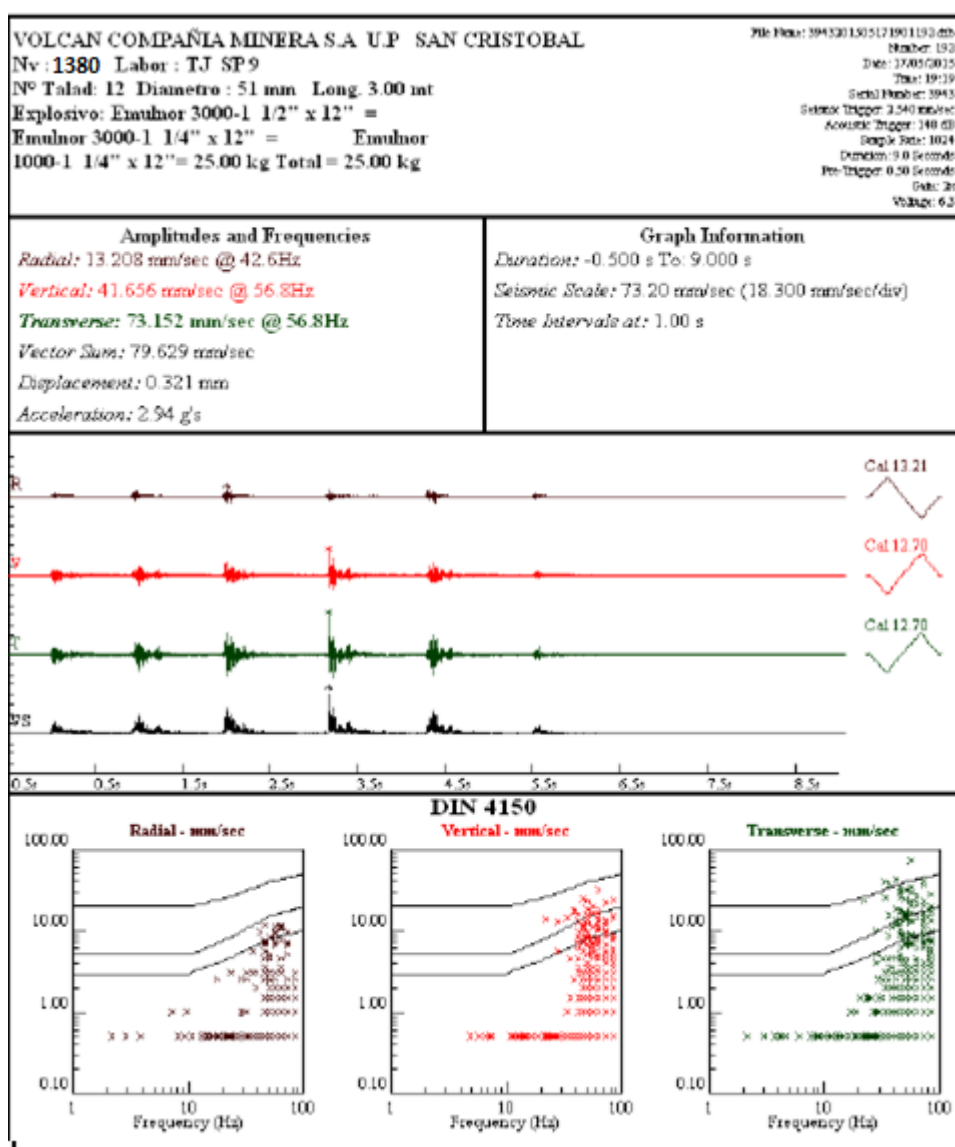


Figura 26. Tercera prueba -velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia

Interpretación:

Sismograma obtenido en la unidad minera San Cristóbal, en el Nivel 1380, labor TJ SP 9, en donde se disparó 12 taladros de 3.00 m de longitud con un diámetro de taladro de 45 mm, cargados con 25.00 kg de Emulnor 1000 de (1¼"x12"); con un total de carga explosiva de 25.00 kg, el movimiento más alto que se registra en la onda de la Transversal y es de 73.152 mm/s, con una Amplitud de 56.8 Hz, y un desplazamiento de 0.321 mm, con una sumatoria de los vectores 79.629 mm/s; el sismógrafo es instalado a 18 m del frente de la voladura.

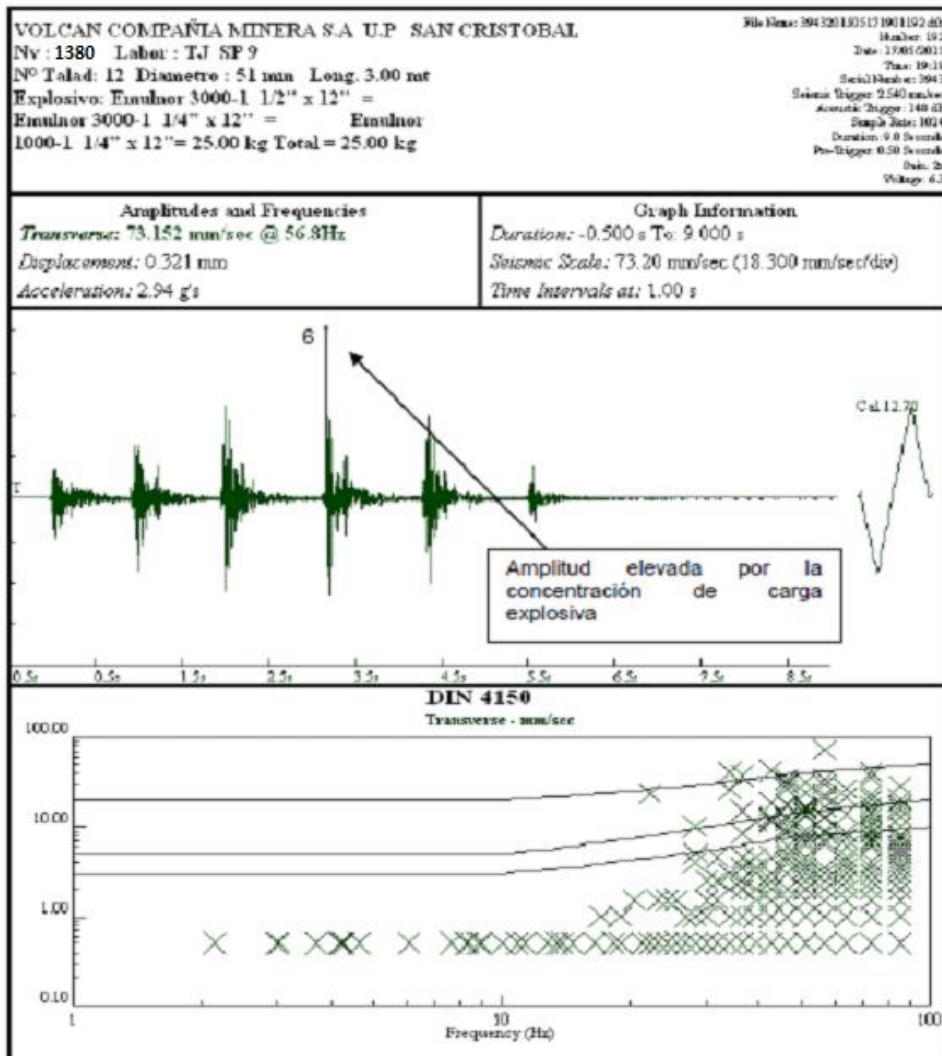


Figura 27. Cuarta prueba -velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia

Interpretación:

Análisis de la voladura de la labor TJ SP 9, en donde se dispararon 12 taladros cargados con cartuchos de Emulnor 1000, cada uno con sus propios accesorios. Se usó el fanel de periodo largo (medio segundo) como iniciador y la secuencia fue como sigue N°2/2, 4/4, 6/2, 8/2, y 10/2; se aprecia que el mayor movimiento de la onda se produjo en los taladros dispuestos en los retardos N°6 esto por la concentración de carga explosiva.

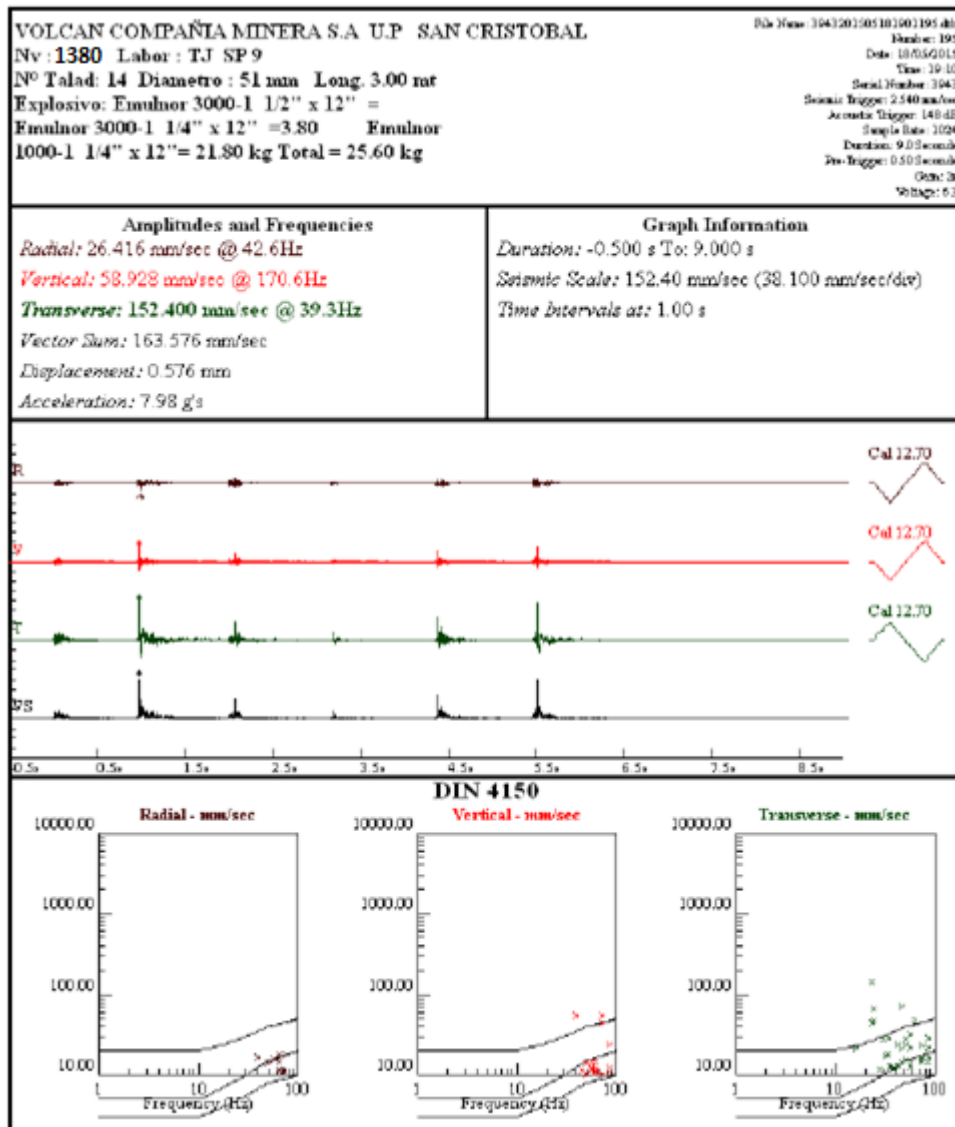


Figura 28. Quinta prueba - velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia

Interpretación:

Sismograma obtenido en la voladura, en el Nivel 1380, labor TJ SP 9, en donde se disparó 14 taladros de 3.00 m de longitud con un diámetro de taladro de 45 mm, cargados con 3.80 kg de Emulnor 3000 encartuchado de (1 ¼" x 12"), y 21.80 kg de Emulnor 1000 de (1 ¼" x 12"); con un total de carga explosiva de 25.60 kg, el movimiento más alto que se registra en la onda de la transversal y es de 152.400 mm/s, con una amplitud de 39.3 Hz, y un desplazamiento de 0.576 mm, con una sumatoria de los vectores 163.576 mm/s; el sismógrafo es instalado a 18 m del frente de la voladura.

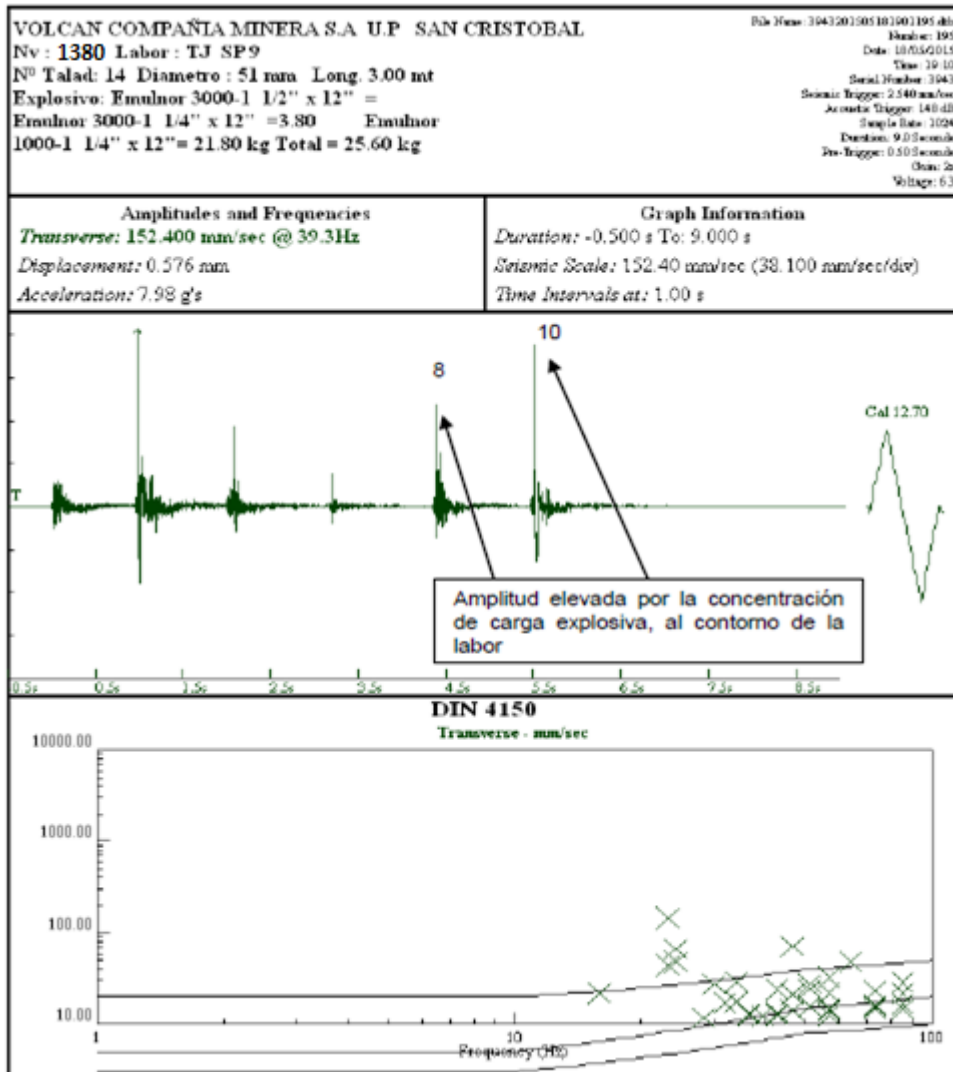


Figura 29: Sexta prueba - velocidad crítica del macizo rocoso en el tajeo SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380, Veta Lidia

Interpretación:

El análisis de la voladura de la labor TJ SP 9, en donde se dispararon 14 taladros cargados con cartuchos de Emulnor 3000; y Emulnor 1000, cada uno con sus propios accesorios. Se usó el fanel de periodo Largo (medio segundo) como iniciador y la secuencia fue como sigue N°2/2, 4/4, 6/2, 8/3, y 10/3; se aprecia que el mayor movimiento de la onda se produjo en los taladros dispuestos en los retardos N°8 y 10 esto por la concentración de carga explosiva.

CONCLUSIONES

1. Una herramienta imprescindible para lograr la reducción de la carga operante es el empleo de detonadores secuenciadores (fanel), que permiten la detonación de todas y cada una de las cargas que componen una voladura en un tiempo de retardo distinto.
2. Es importante no confundir la carga operante con la carga específica; si ésta se reduce mucho, puede ocurrir que no se produzca arranque de material y la mayor parte de la energía se emplee en generar vibraciones, produciéndose el resultado inverso al buscado, cuanto más confinada esté una voladura, más vibraciones generará esta.
3. De acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en las voladuras del Nivel 1380 de la labor TJ SP 9 (*Breasting*), los valores están encima de la velocidad crítica; significa que se está dañando la periferia de la labor. Según la clasificación del macizo rocoso según Bieniawsky, esta labor presenta un tipo de roca Regular a Mala, con un RMR de 21 a 30; por lo que se estima que movimientos sísmicos mayores de 37.880 mm/s. estarían produciendo el inicio de “fracturas” y “agrietamientos” en la periferia de la labor. Se pasó a realizar 8 taladros de recorte en la periferia para poder controlar y disminuir la sobre rotura obteniéndose mejores resultados.
4. De acuerdo al análisis del carguío de los taladros de contorno con explosivos de baja potencia con cartuchos de Emulnor 1000 con diámetro menor que el taladro, con la finalidad de controlar mejor el contorno de la labor y no tener sobre excavación, reduciendo también los niveles de vibración, se obtuvieron buenos resultados en la voladura.

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo al resultado del monitoreo de las vibraciones que se obtiene en la voladura del tajeo SP 9. en el Nivel 1380 (voladura de Breasting), los valores están encima de la velocidad crítica; significando que se está dañando la periferia de la labor, por ello se recomienda tener más control al momento del carguío ya que el personal por desconocimiento usa cualquier tipo de explosivo en el contorno de la labor.
2. Se recomienda el uso de fanel de periodo corto (ms), en las labores de producción (*Breasting*), ya que así obtendríamos mejor fragmentación y menos golpes en la periferia de la labor, al momento del carguío el uso de los espaciadores en los taladros de contorno, con la finalidad de no concentrar la carga explosiva al fondo del taladro.
3. Se recomienda también el uso de tacos inertes, con la finalidad de evitar la fuga de las energías explosivas del taladro.
4. Es importante no confundir la reducción de la carga operante con la carga máxima de la voladura, ya que es posible realizar una voladura de gran tamaño con cargas operantes reducidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAÑAPATAÑA, Alvaro. Determinación de las condiciones del macizo rocoso en la profundización del avance en la zona esperanza del nivel 23 mediante un análisis geomecánico en la unidad minera Americana de Cía. Minera Casapalca. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2019, 115 pp.
2. CALDERON, Marco. Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala (Unidad Minera Macdesa). Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas).Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Peru, 2015, 135 pp.
3. JAUREGUI, Alberto. Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Lima : Pontificia Universidad Catolica del Peru, 2009, 106 pp.
4. CACERES, Ludtwin. Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la empresa minera Marsa. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2017, 100 pp.
5. GAOMA, Aderling. Optimización de la voladura, mina la Virgen - de la Compañía Minera San Simón S.A. - Huamachuco Trujillo. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Piura : Universidad Nacional de Piura, 2015, 157 pp.
6. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y PLANEAMIENTO. *Informe de estudio de las reservas y recursos minerales*. Arequipa - Peru : Unidad Minera San Cristobal, 2020.

7. ORIHUELA, Stefane y DAPELLO, Jose. Diseño de un Modelo Predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una Mina modelo. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Lima : Pontificia Universidad Catolica del Peru, 2009, 100 pp.

8. D. S. 024-2016-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, con los artículos modificados por el Decreto Supremo N° 023-2017-EM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 18 de agosto de 2016.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de Consistencia

Diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristobal

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cómo será el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso, en la Unidad Minera San Cristóbal?	Determinar el diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso, en la Unidad Minera San Cristóbal.	El diseño de la malla de perforación y voladura es factible y viable para el control y estabilidad del macizo rocoso, en la Unidad Minera San Cristóbal.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
¿Cómo será el diseño de la malla de perforación y voladura para minimizar la vibración del macizo rocoso, en la Unidad Minera San Cristóbal?	Determinar el diseño de la malla de perforación y voladura para minimizar la vibración del macizo rocoso, en la Unidad Minera San Cristóbal.	El diseño de la malla de perforación y voladura es factible para minimizar la vibración del macizo rocoso, en la Unidad Minera San Cristóbal.
¿Cómo será el diseño de la malla de perforación y voladura para el control de fracturas y agrietamientos de la corona de la labor de avance, en la Unidad Minera San Cristóbal?	Determinar el diseño de la malla de perforación y voladura para el control de fracturas y agrietamientos de la corona de la labor de avance, en la Unidad Minera San Cristóbal.	El diseño de la malla de perforación y voladura es factible para el control de fracturas y agrietamientos de la corona de la labor de avance, en la Unidad Minera San Cristóbal.

Anexo 2

Implementación de la malla de perforación

Implementación de Malla Perforación.



Perforación.



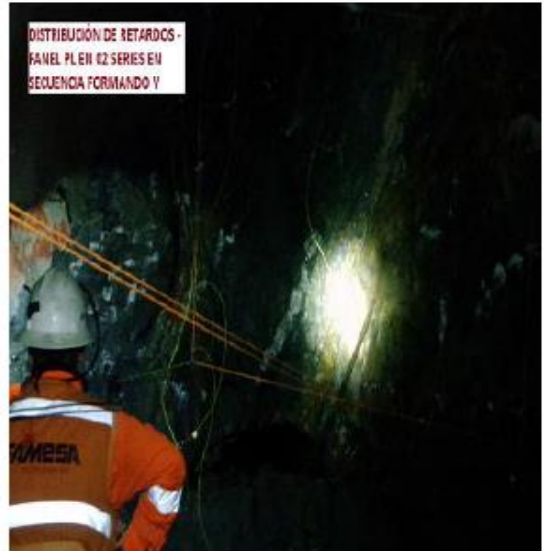
Desate de Rocas



Selección de Retardos

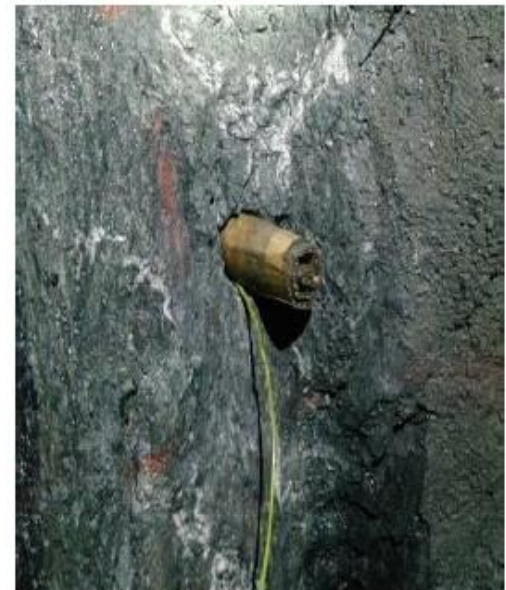
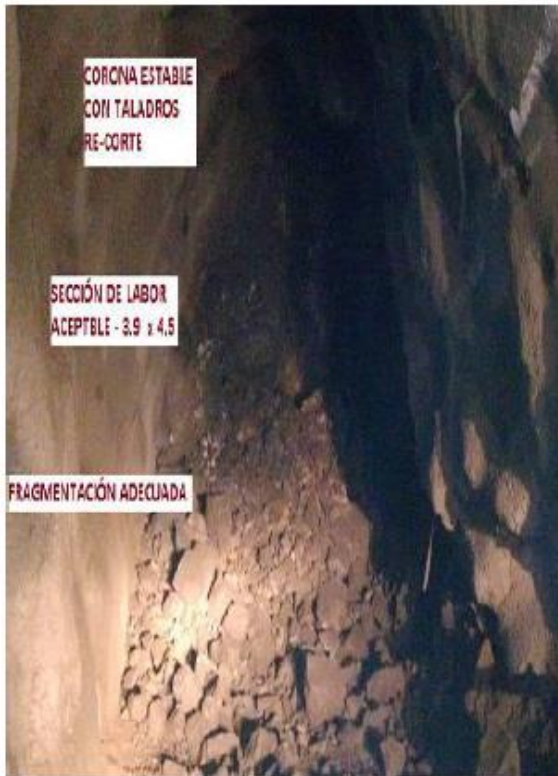


Carguío de explosivos



Amarre de línea troncal - Chispeo

Resultados de Voladura TJ SP 09 Acceso 625 - 2 - LIDIA



Implementación de Tacos de Cartón

Anexo 3

Capacitación al personal de la unidad minera San Cristobal - TJ SP 09 oeste, acceso 625, Nivel 1380 – Veta Lidia

VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.

ACTA DE ASISTENCIA

Nº Cer:

Asesoría
 Capacitación
 Sensibilización

LUGAR: Taller de Volcan S.A.A. - Oficina de Cargas y Mantenimiento
 PROPONER: Ing. Juan Antonio
 DIA: 12-03-2018 HORA INICIO: 8:30 p.m.
 DUR: 10:00 a 11:00 HORA TERMINO: 11:00 p.m.
 N.º DE ACT: 1

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES <small>(Nombre completo con sus apellidos)</small>	Nº DE RCHS	IDENTIFICACION DNI	FIRMA	SECCION
1	<u>Camacho, Juan Carlos</u>	<u>Volcan</u>	<u>81234567</u>	<u>[Firma]</u>	<u>Volcan</u>
2	<u>Alvarez, Juan</u>	<u>Volcan</u>	<u>81234567</u>	<u>[Firma]</u>	<u>Volcan</u>
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

[Firma]
Ing. Juan Antonio
Volcan - Explosivos S.A.
Programa Técnico

Capacitaciones en la labor, cargador y ayudante, **Volcan SAA.**





ACTA DE ASISTENCIA

- Reunión
- Capacitación
- Sensibilización

ASUNTO: CÁLCULO E INTERPRETACIÓN DEL FACTOR DE RIESGO Y FACTOR DE CARGA, EFECTOS SOBRE EL MAQUÍNEO PROFUNDO.
 RESPONSABLE: Ingeniero Maximo ASTRADA FUMES - FAMESA
 FECHA: 03-05-15 HORA INICIO: 04:30 p.m.
 LUGAR: TIENDA DE CANTINEROS HORA TERMINO: 05:00 p.m.
Nº 630 TANDA F

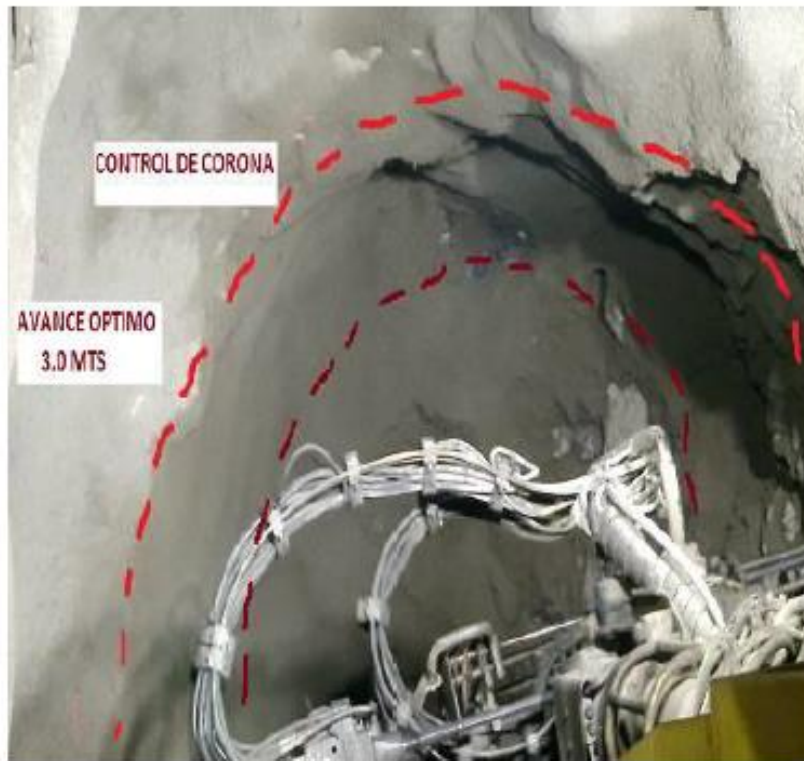
No.	APELLIDOS Y NOMBRES (Nombre completo con letra imprenta)	No. DE FICHA	IDENTIFIC DN/ILE	FIRMA	SECCIÓN
1	José Luis Ramírez Domínguez	700	41089571	[Firma]	CERRA
2	José Quirino Costero	VOLCAN	20516171	[Firma]	MINA
3	EDIN INSA CASPAR	VOLCAN	43143001	[Firma]	MINA
4	Alfonso Ramos Fierro	700	4112277	[Firma]	MINA
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

[Firma manuscrita]
 Sr. Ingeniero Maximo Fumes
 Asesoría Técnica
 FAMESA Explosivos S.A.C.

Tomado de unidad minera San Cristobal

Anexo 4

Resultados del control de la perforación y voladura



Resultados
Óptimos – P/V

Anexo 5

Vale de salida de explosivo del polvorín 500, unidad minera San Cristobal

VOLCAN COMPAÑIA MINERA		VALE DE SALIDA DE EXPLOSIVOS		Nº 032326	
VOLUMEN: 15 02 15 CANTIDAD: 250 UNIDAD: 500 VALOR: 2270000000			FECHA: 15/02/15 HORA: 12:00 LUGAR: SAN CRISTOBAL		
INDIC	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR	OTROS
00000001	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000002	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000003	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000004	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000005	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000006	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000007	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000008	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000009	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000010	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000011	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000012	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000013	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000014	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000015	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000016	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000017	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000018	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000019	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000020	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000021	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000022	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000023	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000024	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000025	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000026	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000027	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000028	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000029	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000030	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000031	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000032	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000033	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000034	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000035	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000036	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000037	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000038	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000039	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000040	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000041	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000042	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000043	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000044	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000045	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000046	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000047	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000048	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000049	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000050	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000051	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000052	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000053	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000054	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000055	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000056	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000057	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000058	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000059	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000060	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000061	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000062	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000063	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000064	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000065	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000066	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000067	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000068	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000069	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000070	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000071	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000072	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000073	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000074	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000075	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000076	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000077	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000078	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000079	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000080	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000081	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000082	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000083	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000084	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000085	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000086	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000087	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000088	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000089	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000090	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000091	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000092	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000093	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000094	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000095	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000096	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000097	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000098	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000099	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	
00000100	EXPLOSIVO 500	250	kg	2270000000	

Tomado de unidad minera San Cristobal

Anexo 6
Sismógrafo de marca White



Tomado de INTRIAL Equipos Industriales