

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Análisis y monitoreo de las vibraciones producidas por voladura para reducir daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020

Presentado por:

Roxana Herrera Yupanqui

Para optar el Título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**"ANÁLISIS Y MONITOREO DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR
VOLADURA PARA REDUCIR DAÑOS AL MACIZO ROCOSO EN EL TJ 753E DE
LA UEA SAN CRISTÓBAL - MINERA BATEAS S.A.C. - AREQUIPA - 2020"**

Presentado por **Roxana Herrera Yupanqui**, para optar el Título de:

INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado el 31 de agosto del 2022, ante el jurado evaluador:

Presidente:



Dr. Nelson Palemón Meza Peña

Primer Miembro:



Dr. Walquer Huacani Calsin

Accesitario:



MSc. Esther Ruth Calatayud Madarjaga

Asesor:



Mstr. Feliciano Escobedo Silva

Agradecimiento

A Dios y a mis padres por darme la vida y permitirme realizar cada día mis sueños propuestos.

A mi alma mater la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a los docentes de la Escuela Académico Profesional de ingeniería de minas, por aportar en mi formación profesional a través de sus conocimientos, consejos y experiencias.

A ECM ETRAMIM SRL - CIA MINERA BATEAS, por darme la oportunidad y confianza de formar parte del equipo de trabajo.

Al ing. Víctor Hugo Medina Aguilar por sus aportes de conocimiento en mi investigación.



Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mis padres Juan y Lucia, por el apoyo y esfuerzo incondicional que me brindan cada día para poder cumplir mis sueños.

A mis hermanos: Luis, Américo, Royer y mi sobrina Luciana por su amor infinito y apoyo emocional que me brindan cada día de mi vida.



“Análisis y monitoreo de las vibraciones producidas por voladura para reducir daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal – Minera Bateas S.A.C. – Arequipa – 2020”

Línea de investigación: Minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del Problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos	6
1.3 Justificación de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1 Objetivos de la investigación	8
2.1.1. Objetivo general	8
2.1.2. Objetivos específicos	8
2.2 Hipótesis de la investigación.....	8
2.2.1. Hipótesis general	8
2.2.2. Hipótesis específicas	8
2.3 Operacionalización de variables	9
CAPÍTULO III	10
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	10
3.1 Antecedentes	10
3.1.1 Internacionales	10
3.1.2 Nacionales.....	10
3.1.3 Locales	12
3.2 Marco teórico	13



3.2.1	Vibraciones producidas por la voladura.....	13
3.2.2	Vibraciones	13
3.2.3	Voladura.....	14
3.2.4	Variables que determinan las vibraciones en voladura.....	14
3.2.5	Generación de ondas por voladura.....	15
3.2.6	Tipos de ondas	15
3.2.6.1	Ondas internas.....	15
3.2.6.2	Ondas de superficie.....	16
3.2.7	Monitoreo de vibraciones	16
3.2.8	Calculo de la VPPc - velocidad pico de partícula critica.....	17
3.2.9	Modelos de vibraciones	19
3.2.9.1	Modelo de vibraciones para campo lejano - Modelo de Devine.....	20
3.2.9.2	Modelo de vibraciones para campo cercano - Modelo de Holmberg y Persson....	22
3.2.9.3	Diferencia de los modelos de campo cercano y campo lejano	24
3.2.10	Distribución de retardos	25
3.2.11	Macizo rocoso	26
3.2.12	Geomecánica.....	27
3.2.13	Clasificaciones geomecánicas.....	27
3.2.14	Clasificación RMR de Bieniawski.....	28
3.2.15	Índice de resistencia geológica (GSI)	28
3.2.16	Daño al macizo rocoso inducido por voladura.....	28
3.2.17	Normativas para el control de vibraciones.....	29
3.2.17.1	Normativas internacionales	30
3.3	Marco conceptual.....	32
3.4	Generalidades de la UEA San Cristóbal.....	33
3.4.1	Antecedentes	33
3.4.2	Ubicación	34
3.4.3	Contextualización	35



3.4.4	Relieve y altitudes	36
3.4.5	Clima y vegetación	36
3.4.6	Recurso agua	37
3.4.7	Recursos humanos	37
3.4.8	Recurso energético	37
3.4.9	Geología.....	38
3.4.9.1	Geología Regional de Caylloma	38
3.4.9.2	Geología local	40
3.4.9.3	Geología estructural	42
3.4.9.4	Geología económica.....	42
3.4.10	Mineralización	43
3.4.11	Exploraciones.....	45
3.4.11.1	Planes y programas	45
3.4.12	Diseño del método de explotación	59
3.4.12.1	Método de Minado	60
CAPÍTULO IV.....		67
METODOLOGÍA.....		67
4.1	Tipo y nivel de investigación	67
4.2	Diseño de la investigación	67
4.3	Población y muestra	67
4.4	Procedimiento	67
4.5	Técnica e instrumentos	68
4.6	Análisis estadístico.....	72
CAPÍTULO V		73
RESULTADOS Y DISCUSIONES		73
5.1	Análisis de resultados	73
5.1.1	Módulo de elasticidad del macizo rocoso	73
5.1.1.1	Evaluación Geomecánico zona de estudio.....	73



5.1.1.2	Constantes elásticas dinámicas de la roca.....	76
5.1.2	Cálculo de la velocidad crítica de la roca	80
5.1.2.1	Cálculo del índice Q de Barton mediante correlación con el RMR.....	80
5.1.2.2	Velocidad de propagación de onda P (Vp)	81
5.1.3	Monitoreo de vibraciones	82
5.1.3.1	Descripción de trabajo en campo	83
5.1.4	Modelamiento de vibraciones por voladura TJ 753E	87
5.1.5	Análisis de daño de campo lejano.....	96
5.1.6	Análisis de daño de campo cercano	99
5.2	Contrastación de hipótesis	103
5.2.1	Contrastación de hipótesis general.....	103
5.2.2	Contrastación de hipótesis específicas.....	104
5.3	Discusiones	107
5.3.1	Discusión 1.....	107
5.3.2	Discusión 2.....	108
5.3.3	Discusión 3.....	108
CAPÍTULO VI.....		109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		109
6.1	Conclusiones	109
6.2	Recomendaciones	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		111
ANEXOS		113



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	9
Tabla 2 — Velocidades de partículas críticas estimadas para distintas rocas	18
Tabla 3 — Criterios de daños utilizados según (Cameron mackenzi, 1993).....	19
Tabla 4 — Criterios para el cálculo de la distancia escalar	20
Tabla 5 — Resumen de normas internacionales existentes	30
Tabla 6 — Rutas de accesibilidad por la Panamericana Sur a la Minera Bateas S.A.C.....	35
Tabla 7 — Rutas de accesibilidad a la minera Bateas S.A.C desde la ciudad de Abancay...35	
Tabla 8 — Clasificación de minerales presentes	43
Tabla 9 — Cronograma IN FILL 2020.....	46
Tabla 10 — Conversión de recursos con perforación IN FILL 2020	48
Tabla 11 — Programa de plan de producción año 2020.....	48
Tabla 12 — Programa de plan anual de avances 2020	59
Tabla 13 — Clasificación RMR 89	74
Tabla 14 — Cálculo de la valoración del macizo rocoso RMR Bienawski 89	76
Tabla 15 — Parámetros para determinar el módulo de elasticidad según Hoek y Diederichs80	
Tabla 16 — Parámetros para el cálculo de la velocidad pico de partícula crítica VPPc.....	82
Tabla 17 — Evaluación del daño calculando la Vpp crítico según Cameron Mckenzie	82
Tabla 18 — Detalle de explosivos y accesorios utilizados	84
Tabla 19 — Detalle de cantidad de explosivo por taladro que se utiliza según estándar en la caja techo, corona y producción	85
Tabla 20 — Comparativo de cantidad de explosivo por taladro con y sin tubo PVC.....	85
Tabla 21 — Monitoreo de vibraciones – datos de campo	86
Tabla 22 — Monitoreo de vibraciones – datos de sismógrafo	86
Tabla 23 — Determinación de PPV mediante monitoreo en los taladros de caja techo	88
Tabla 24 — Determinación de los ejes para las constantes de atenuación en la caja techo..88	
Tabla 25 — Determinación de PPV mediante monitoreo en los taladros de la corona.....	91



Tabla 26 — Determinación de los ejes para las constantes de atenuación en los taladros de la corona	92
Tabla 27 — Determinación de PPV mediante monitoreo en los taladros de producción	94
Tabla 28 — Determinación de los ejes para las constantes de atenuación en los taladros de producción	95
Tabla 29 — Umbral de daño condicionando bajo rango de colores.....	96
Tabla 30 — Análisis de campo lejano de la detonación de un taladro.....	97
Tabla 31 — Parámetros para calcular los daños al macizo rocoso por modelo de Homberg y persson.....	99
Tabla 32 — Análisis de daño en la roca remanente, de acuerdo al grado de umbral de daño ocasionado	99
Tabla 33 — Análisis de tipo de daños al macizo rocoso de acuerdo el umbral de daño.....	103
Tabla 34 — Comparativo de cantidad de explosivo a utilizar.....	105



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Variables que influyen en las vibraciones terrestres.....	14
Figura 2 — Movimiento de partículas a través de la onda P.....	15
Figura 3 — Movimiento de las partículas a través de la onda S	16
Figura 4 — Integración de la onda de superficie en una región cercana a una carga cilíndrica	22
Figura 5 — Comparación entre los modelos de campo cercano y lejano	25
Figura 6 — Concepto ilustrativo de un macizo rocoso y su estructura.....	27
Figura 7 — Niveles de seguridad para vibraciones según norma USBM RI 8507.....	31
Figura 8 — Umbral seguro y umbral no seguro	31
Figura 9 — Lugar de localización de la Minera.....	35
Figura 10 — Clima y vegetación de la unidad San Cristóbal – minera Bateas	37
Figura 11 — Secuencia estratigráfica.....	39
Figura 12 — Geología simplificada del distrito de Caylloma.....	41
Figura 13 — Sistema de vetas	42
Figura 14 — Mineralización de la unidad San Cristóbal	44
Figura 15 — Mineralización de la unidad San Cristóbal	45
Figura 16 — Área de perforación INFILL 2020	47
Figura 17 — Ciclo de minado mecanizado explotación en breasting horizontal.....	64
Figura 18 — Ciclo de minado en realce semi mecanizado	65
Figura 19 — Secuencia de explotación mediante C&F ascendente con relleno hidráulico Bateas	66
Figura 20 — Metodología realizada para el control de monitoreo de vibraciones	68
Figura 21 — Mediciones del equipo Instantel	70
Figura 22 — Componentes de un sismógrafo - transductor.....	70
Figura 23 — Micrófono, equipo de monitoreo instantel.....	71
Figura 24 — Equipo sismógrafo instantel.....	71



Figura 25 — Esquema idealizado del comportamiento lito-estructural de la veta con dominio de sílice.....	75
Figura 26 — Ecuación de Hoek y Diederichs para determinar el módulo de deformación de masa rocosa (E_m).....	77
Figura 27 — Ecuación de Hoek y Diederichs para determinar la relación de E_m y E_i	79
Figura 28 — Comparativo de cantidad de explosivo utilizado por taladro utilizando tubería PVC y cantidad de explosivo sin tubería.	85
Figura 29 — Cálculo de las constantes k y α para taladros en la caja techo.....	89
Figura 30 — Malla de perforación Tj 753E – análisis caja techo.....	89
Figura 31 — Carguío de taladros caja techo Tj 753E.....	90
Figura 32 — Registro de vibración Tj 753E.....	90
Figura 33 — Análisis caja techo Tj 753E.....	90
Figura 34 — Cálculo de las constantes k y α para taladros en la corona.....	92
Figura 35 — Malla de perforación Tj 753E – análisis de la corona.....	93
Figura 36 — Registro de vibración Tj 753E.....	93
Figura 37 — Análisis de la corona Tj 753E.....	94
Figura 38 — Cálculo de las constantes k y α para taladros de producción.....	95
Figura 39 — Análisis de daño en la roca remanente, de acuerdo al grado de umbral de daño (Cameron Mckenzie) ocasionado.....	98
Figura 40 — Análisis de vibración en campo cercano en los taladros caja techo, vista en perfil.....	100
Figura 41 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro - caja techo, vista en planta.....	100
Figura 42 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro - corona, vista en perfil.....	101
Figura 43 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro - corona, vista en planta.....	101
Figura 44 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro-producción, vista en perfil.....	102
Figura 45 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro-producción, vista en planta.....	102
Figura 46 — Análisis de sismograma de la voladura del tajo 753E comparados con la norma USBM RI-8507.....	104
Figura 47 — Cantidad de explosivo por taladro a utilizar (con tubería PVC).....	105



Figura 48 — Distribución de retardos en la malla de perforación del tajo 753E.	106
Figura 49 — Malla de perforación marcado en el frente de trabajo.	120
Figura 50 — Perforación de taladros en el frente de trabajo.	120
Figura 51 — Actividad de carguío de taladros en el frente de trabajo.	121
Figura 52 — Utilización del cargador de Anfo a 80 psi en el frente de trabajo.	121
Figura 53 — Ubicación del sismógrafo, infraestructura próxima al tajo.	122
Figura 54 — Ubicación del transductor (geófono) antes de la voladura.	122
Figura 55 — Aplicación del software Blastware para la exportación del sismograma – comparación con la norma USBM RI750.	123
Figura 56 — Polvorín principal de explosivos y accesorios.	123
Figura 57 — Capacitación al personal antes de iniciar con los trabajos de la guardia – importancia del monitoreo de vibraciones.	124
Figura 58 — Capacitación al líder la labor en oficina técnica.	124
Figura 59 — Infraestructuras en interior mina, cámaras de bombeo, subestaciones eléctricas	125
Figura 60 — Inspección de equipos antes de inicio de los trabajos – Check list.	125
Figura 61 — Trabajos de supervisión en campo – capacitación al líder de la labor.	126
Figura 62 — Trabajos de supervisión después del marcado de malla de perforación.	126



INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento que en toda operación minera para poder realizar la explotación del yacimiento, una de las principales actividades a realizar es la perforación y la voladura de rocas, considerándose que la investigación se realizó en una mina subterránea en la unidad Minera Bateas S.A.C. donde se realiza diferentes actividades tanto de producción, desarrollo y preparación; para cumplir las metas establecidas; es necesario definir qué parámetros adecuados intervienen en el proceso de la perforación y voladura ya que esta última genera cierta intensidad de vibración lo que conlleva a daños en el macizo rocoso que puede afectar a una área determinada desde un campo cercano hasta un campo lejano.

Toda actividad minera es considerada como una actividad de alto riesgo por las condiciones que se tienen para su operación, dentro de la actividad minera los daños ocasionados al macizo rocoso producto de una voladura es una problemática presente en todas las operaciones de una mina ya sea en un tajo abierto o subterráneo, es así que, en la mina Bateas si bien es cierto se llegaron a estandarizar las mallas de perforación, el tipo y cantidad de explosivo a utilizar con el fin de reducir daños al macizo rocoso, aun así se observó que es necesario saber con exactitud los niveles de daño que están causando en el área de influencia detonada, mucho más cuando se está trabajando en distancias cercanas a labores permanentes donde se tienen alguna infraestructura de servicios tal es el caso del tajo 753E, observando este problema se decidió como zona de estudio dicho tajo; es por ello que, para obtener los resultados de los niveles de daño que ocasionan las voladuras se realizó monitoreo de las vibraciones a través de un equipo sismógrafo donde se obtuvo conocimiento de que el análisis de las vibraciones nos van a permitir reducir daños al macizo rocoso, si en caso los resultados son desfavorables.

Se eligió este tema de investigación porque tiene un aporte práctico ya que nos permitió posibilitar una propuesta de solución a los problemas que se suscitan en el área de perforación y voladura, de igual forma esta investigación puede motivar a más profesionales a que sigan investigando mejores soluciones ya que la ciencia y la tecnología están en constante desarrollo y estas dan como origen un nuevo conocimiento, con el fin de crear nuevos equipos para absolver los problemas que están en forma cotidiana en estas actividades de operación.



El presente trabajo es de tipo aplicativo, donde planteo como objetivo principal determinar en qué medida el análisis y monitoreo de las vibraciones producidas por la voladura permite reducir daños al macizo rocoso en el tajo 753E, es una investigación realizada en campo, donde se monitoreo las vibraciones por voladura a través de un equipo sismógrafo que tiene por función medir el grado de vibración producidas por la voladura, lo que se busca es obtener datos exactos los cuales nos permitan tomar iniciativas según los resultados obtenidos si en caso lo amerite reducir los niveles de vibraciones que excedan los límites permisibles establecidos de acuerdo a normas internacionales y al reducir este nivel de daño al macizo rocoso del área detonada nos ayuda a contribuir en la reducción de costos de los explosivos y, por ende, incrementar la rentabilidad de la empresa, de acuerdo a los resultados obtenidos.

El estudio está conformado de capítulos como el: Capítulo I donde se describió el problema que se va suscitando en la zona de estudio, en esta investigación se necesitó obtener información de las vibraciones producto de la detonación para la explotación en el tajo 753E, así analizar los resultados con precisión del nivel de daño que se suscita en el macizo rocoso, según el análisis y resultados se podrá tomar soluciones de mejora si así lo tendría que ameritar; Capítulo II se describió los objetivos e hipótesis de la investigación, así como también la operacionalización de variables; en el Capítulo III se describió los antecedentes que se investigaron los cuales son similares al proyecto que se está presentando, de igual forma se presenta las bases teóricas que nos sirve para ejecutar el proyecto, dentro de ellas se describen las formulas y los modelos a utilizar en la ejecución de los cálculos matemáticos para la obtención de resultados del proyecto; en el Capítulo IV se realizó una descripción de la metodología que se está utilizando en esta investigación, es decir el tipo, nivel, diseño y al final se describe la técnica, los instrumentos y el procedimiento de los trabajos a realizar en el proyecto; el Capítulo V se presentó el análisis y resultados y discusiones obtenidos de la investigación los cuales se realizaron a través de los cálculos matemáticos, análisis e interpretación; finalmente culmino con el capítulo VI donde se exponen las conclusiones en concordancia a las hipótesis planteadas inicialmente, también se presentara las recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.



RESUMEN

La siguiente investigación está basada en el análisis y monitoreo de vibraciones específicamente en el tajo 753E de la mina Bateas, por ser de mayor importancia económica y presentar ciertas peculiaridades como estar a distancias próximas a labores permanentes; estudios semejantes a la investigación determinaron que; con el análisis de vibraciones mediante equipos sismógrafos se puede demostrar y obtener los radios de influencia perturbadas producto de una voladura, a partir de criterios y modelos que se describieron líneas abajo. En la investigación el objetivo fue determinar el análisis y monitoreo de las vibraciones que se producen por las voladuras para reducir los daños al macizo rocoso en el tajo 753E. El tipo de investigación es aplicativo con un nivel explicativo ya que explica el comportamiento de una variable en función de otra (análisis de vibraciones respecto a la de reducción de daños al macizo rocoso), el diseño es no experimental por ser un trabajo correlacional de influencia de una variable a otra. la investigación fue de octubre a diciembre del año 2020, como se mencionó con el fin de analizar las vibraciones producidas por la detonación, es decir que, se necesitó saber con precisión el grado de daño, para esto se realizó pruebas en campo con el equipo sismógrafo Instantel (07 monitoreos en el tajo), donde se obtuvo datos como velocidades de partículas en tres vectores (longitudinal, transversal y vertical), se recolectó datos de la cantidad de explosivos, carga operante, distancia de monitoreo, evaluación geomecánica. Todos estos datos se utilizaron para los modelamientos de las vibraciones, primero se calculó; la velocidad pico de partícula crítico, las distancias escalares, las constantes de atenuación (k y α) y con los resultados se analizó los daños producidos en campo cercano con el modelo propuesto de Holmberg y Persson y los daños producidos en campo lejano con el modelo de Devine, ambos modelos se interpretaron con el criterio de daño de Cameron Mckenzi, teniendo como resultado principal un intenso fracturamiento de 0.94 metros en los taladros de producción, indicándonos que el daño al macizo rocoso es mínimo, las velocidades picos de partículas respecto a su frecuencia no sobrepasan los límites permisibles según la norma internacional USBM RI-8507. Por último, se llegó concluir que el análisis y monitoreo de las vibraciones determinaron cuál es el grado de la interacción de las variables utilizadas para una voladura, comprobándose que, se tiene una malla de perforación adecuada, número de retardos adecuados, adecuada cantidad y tipo de explosivos, lo que evita mayores daños al macizo rocoso en el tajo de estudio.

Palabras clave: Estudio de vibraciones, voladura, daños al macizo rocoso, velocidad pico de partícula.



ABSTRACT

The following investigation is based on the analysis and monitoring of vibrations specifically in the 753E pit of the Bateas mine, as it is of greater economic importance and presents certain peculiarities such as being at a distance close to permanent work; studies similar to the investigation determined that; With the analysis of vibrations using seismograph equipment, it is possible to demonstrate and obtain the disturbed influence radii resulting from a blast, based on the criteria and models that are described below. In the investigation, the objective was to determine the analysis and monitoring of the vibrations produced by the blasting to reduce the damage to the rock mass in the 753E pit. The type of research is applicative with an explanatory level since it explains the behavior of one variable as a function of another (analysis of vibrations with respect to the reduction of damage to the rock mass), the design is non-experimental because it is a correlational work of influence from one variable to another. the investigation was from October to December 2020, as mentioned in order to analyze the vibrations produced by the detonation, that is, it was necessary to know precisely the degree of damage, for this field tests were carried out with the equipment InstanTEL seismograph (07 monitoring in the pit), where data was obtained such as particle velocities in three vectors (longitudinal, transversal and vertical), data was collected on the amount of explosives, operating load, monitoring distance, geomechanical evaluation. All these data were used for vibration modeling, first it was calculated; the peak velocity of the critical particle, the scalar distances, the attenuation constants (k and α) and with the results, the damage produced in the near field was analyzed with the model proposed by Holmberg and Persson and the damage produced in the far field with the model of Devine, both models were interpreted with the Cameron Mckenzi damage criterion, having as main result an intense fracturing of 0.94 meters in the production drills, indicating that the damage to the rock mass is minimal, the peak velocities of particles with respect to their frequency do not exceed the permissible limits according to the international standard USBM RI-8507. Finally, it was concluded that the analysis and monitoring of vibrations determined the degree of interaction of the variables used for a blast, verifying that there is an adequate perforation mesh, adequate number of delays, adequate quantity and type. of explosives, which prevents further damage to the rock mass in the study pit.

Keywords: *Vibration study, blasting, rock mass damage, particle peak velocity.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La actividad principal para obtener el mineral ya sea en una mina subterránea o superficial es la perforación y voladura del tajo empleando diversos explosivos, la detonación de los explosivos en los taladros permite que se fragmente el macizo rocoso debido a la energía liberada durante la explosión. Además, cada tipo de explosivo tiene diferentes densidades, diferente velocidad de detonación y diferente nivel de energía, la cual son utilizadas según el tipo de labor y sus condiciones geo mecánicas, al final lo que se llega a buscar en la fragmentación del macizo rocoso es la precisión y la eficiencia para obtener una mejor producción.

Desde siempre la actividad minera es considerada como una actividad de alto riesgo y esto se puede corroborar con las estadísticas de accidentes mortales ocurridos en el sector minero, información que se puede obtener en la base de datos del Ministerio de Energía y Minas (MINEM, cuadro estadístico de accidentes mortales), debido a las condiciones que se tienen para su operación, dentro de esta actividad los daños ocasionados al macizo rocoso producto de una voladura es una problemática presente en todas las operaciones de una mina ya sea en un tipo de mina de tajo abierto o mina subterránea, es así que, en minera Bateas si bien es cierto se llegaron a estandarizar las mallas de perforación, el tipo y cantidad de explosivo a utilizar según el tipo de roca, con el fin de reducir daños al macizo rocoso, aun así se observó que es necesario saber con exactitud los niveles de daño que están causando en el área de influencia detonada, mucho más cuando se está trabajando en distancias cercanas a labores permanentes donde se tienen alguna infraestructura de servicios tal es el caso del tajo 753E, en la actualidad no se ha desarrollado algún método práctico para poder calcular el área de influencia de daño ocasionado por los taladros detonados.

Por ende, ese necesario indicar que, si no se realiza un análisis y monitoreo de las vibraciones producto de las voladuras, al no tener con exactitud los resultados de los niveles de daños que están ocasionando al macizo rocoso, sobre todo en tajos que se



encuentran a distancias cercanas a labores permanente donde se tienen algunas infraestructuras pueden ocasionar accidentes perjudiciales para la empresa y primordialmente no se estaría asegurando el bienestar de los trabajadores.

Estudios similares a nuestra investigación en su mayoría se realizaron en minas de tajo abierto, sin embargo, son muy pocos los estudios realizados en minas subterráneas como es el caso de la mina Bateas; según (HUANCA, 2019) indica que al analizar e interpretar las vibraciones producto de las voladuras se reducen significativamente los daños al macizo rocoso, pudiendo reducir la cantidad de explosivos que se estuvieron utilizando en la labor de estudio en la mina Volcan, donde se tenía problemas de inestabilidad de las labores y alta sobrerotura.

Observando esta problemática se vio por conveniente realizar un análisis y monitoreo de las vibraciones producido por las voladuras en el tajo 753E, con el objetivo de determinar el grado o nivel de daño ocasionado al macizo rocoso, estos datos exactos nos permiten tomar iniciativas según el análisis de resultados pudiendo reducir los niveles de vibraciones que excedan los límites permisibles establecidos de acuerdo a normas internacionales, también ayuda en la reducción de costos de los explosivos y, por ende, incrementar la rentabilidad de la empresa y poder continuar con las actividades de forma segura y sin inconvenientes.

1.2 Enunciado del Problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida el análisis y monitoreo de las vibraciones producidas por la voladura permite reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo afecta la cantidad de explosivo para reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020?
- ¿Cómo influye la distribución de los retardos para reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020?



1.3 Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación tiene aporte científico porque contribuye al conocimiento sobre cómo se realiza un monitoreo y poder analizar las vibraciones ocasionadas por las voladuras en este caso en el tajo 753E, con el fin de reducir los daños en el macizo rocoso, mediante una voladura contralada (nuevos diseños de mallas de perforación, cantidad de explosivos necesarios, distribución adecuada de los retardos, etc.).

Por otro lado, se eligió este tema de investigación porque nos permite posibilitar una propuesta de solución a los problemas que se suscitan en el área de perforación y voladura, específicamente al querer obtener datos exactos del nivel de daño que se ocasiona en el macizo rocoso, de tal forma que se pudo conocer el radio o área de influencia efectiva de la detonación de los taladros, lo que nos beneficia a poder mejorar nuestros estándares de mallas de perforación, tipo y cantidad de explosivos a utilizar, etc. El estudio de investigación está basado en la aplicación de los modelos de vibraciones para campo lejano con el modelo de Devine y campo cercano con el modelo de Holmberg y Persson, para que estos sean interpretados bajo el criterio de daño de Cameron Mckenzi

Finalmente el estudio es importante, ya que la investigación contribuye en la empresa minera Bateas porque se está asegurando la continuidad del ciclo de las operaciones de forma segura, contribuyendo también en el aspecto económico ya que un buen análisis de las vibraciones de las voladuras pueden reducir costos operativos, otro aspecto importante a abordar es la seguridad, con los resultados obtenidos se está reduciendo accidentes relacionados a la perforación y voladura que podrían suscitarse con el personal que trabaja en la zona de estudio. Para futuras investigaciones toda esta información que se recopiló y se procesó servirá como antecedente, para todo trabajo de investigación relacionada al área de perforación y voladura, primordialmente en minas subterráneas.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1. Objetivo general

- Determinar en qué medida el análisis y monitoreo de las vibraciones producidas por la voladura permite reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.

2.1.2. Objetivos específicos

- Analizar cómo afecta la cantidad de explosivo para reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.
- Comprobar cómo influye la distribución de los retardos para reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1. Hipótesis general

- El análisis de las vibraciones y monitoreo producidas por la voladura permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.

2.2.2. Hipótesis específicas

- La reducción de la cantidad de explosivo al analizar las vibraciones por voladura permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.



- La distribución uniforme de los retardos en el frente permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E de la UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	Unidad de medición
X: VARIABLE INDEPENDIENTE VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LA VOLADURA	Cantidad explosivo de	Carga por taladro	Kg/tal
		Factor de potencia	Kg/tm
		Carga operante	Kg
	Velocidad Partícula Pico	Velocidad	mm/s
	Distribución de retardos	Tiempo de retardo	ms
Uniforme			
No uniforme			
Y: VARIABLE DEPENDIENTE DAÑOS AL MACIZO ROCOSO	Comportamiento de las labores	Litología, estructura geológica	RMR
			GSI
			RQD



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Internacionales

Según (BARBOSA, y otros, 2019) en su tesis de investigación “Análisis de la afectación por vibraciones de la cantera La Roca en zonas cercanas a poblaciones” tiene como objetivo identificar los parámetros que influirán en el control de las vibraciones, para lo cual se realizó voladuras utilizando equipos como son los sismógrafos obteniendo resultados en tres sentidos y a partir de los datos obtenidos investigaron los parámetros para analizar las vibraciones resultantes dentro de la cantera “La Roca”; así como también se utilizó las normas internacionales para determinar si la voladura realizada se encuentra dentro de los parámetros vigentes. Esta investigación concluye que según los niveles de sismicidad producto de las voladuras no superan los valores permitidos por la norma DIN4150, no se presenta afectación a las edificaciones cercanas al utilizar 0,49 kg de explosivo de Emulin en un taladro dentro de un radio de 15,75 metros de distancia a las edificaciones cercanas.

Según (NATHAN, 2015) en su tesis de investigación titulada “El efecto relativo de las dimensiones de carga en la atenuación de la vibración elástica y los conceptos de energía sísmica inducida por explosiones” realizó un estudio para determinar si la geometría de carga tiene un efecto estadísticamente significativo sobre cualquiera de las tres características importantes de una vibración de explosión y cuantificar el efecto. Para ello empleó una matriz de prueba de campo, se llevó un análisis de regresión múltiple en la muestra. Con los resultados que se mostró en el estudio, se concluye que las variables como la distancia a la detonación, el peso de la carga del explosivo utilizado y la geología son variables estadísticamente significativas ya que estas producen un impacto en las vibraciones de la explosión.

3.1.2 Nacionales

Según (DUEÑAS, 2018) en su tesis “Reducción del daño inducido al macizo rocoso mediante monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones por voladuras en el



BYPASS 179 – minera Kolpa 2018” realiza la investigación para reducir la sobre rotura que se genera en 0.25 metros alrededor de la labor, de la misma forma controlar el daño de la creación de nuevas fracturas, lo cual trae como consecuencia labores inestables, mayor costo de sostenimiento, acarreo y transporte. Para esto se plantea como objetivo general experimentar el proceso de reducción de daño mediante monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones, a través de los modelamientos predictivos, el investigador concluye que en la voladura del bypass 179 la creación de nuevas fracturas se reduce utilizando el explosivo Famecorte E-20 que genera un daño de 0,19 metros, a comparación del Emulnor 1000 que genera un daño de 1,13 metros y Emulnor 1000 espaciada que genera un daño de 0,46 metros.

Según (MAYPÚ, 2020) en su tesis “Control de vibraciones por voladura para minimizar los efectos de daño en mina Cuajone de SPCC - año 2017” tuvo como motivo principal determinar el adecuado control de las vibraciones por voladuras para que de esta manera se reduzca los efectos que podría causar daños en las minas. Para ello llevo su investigación por camino científico, uso el método aplicativo, explicativo, con diseño cuasi experimental, cuantitativo y un estudio de campo. La muestra fueron los análisis de los registros sísmicos en el campo lejano en base al deslizamiento 50 en la fase 6A. La técnica que se aplico fue de una observación experimental y ensayo luego se llevó a una observación de los datos obtenidos. En el monitoreo la distancia entre campos fue 50 m. la cual los valores VPP se encontró en 100 mm/s, a 200 mm/s indicando como una distancia de monitoreo inadecuada. Se vio que los bloques se desplazaron por energía de bajas frecuencias (en distancia 50m) voladura campo lejano. Con respecto al promedio VPP a campo (145), este es similar al de VPP limite (144) ya que supera limite permisible, sus valores se encuentran en 20 mm/s y 9 mm/s (distancia 100 m.). Luego de ejecutar el estudio se vio en los resultados con respecto al tiempo de retardo este fue alto de 35-55 ms entre taladro, la cual significaría un retraso en la fragmentación puesto que esta zona 6A es mineral. Los 10 proyectos realizado a campo lejano de 17 ms, esto dio un desplazamiento de $< 0,211$ mm. La amplitud está por debajo del Grupo 3 esta indico que la vibración no genera daño. Se concluyó que existe un impacto en por bajas frecuencias por las voladuras con retraso de 5 ms a 11 ms de taladreo, este daño se reduce cuando se incrementa tiempos de retardos idóneos entre taladros de 17 ms (minimiza la superposición de ondas sísmicas por voladura). En el análisis de onda



el retardo de equilibrio igual a 17ms reduce los daños de taludes la frecuencia deberá ser mayor a 100ms y secuenciado tiro a tiro.

Según (HUANCA, 2019) en su investigación “Análisis de vibraciones producidas por voladura para reducir daños al macizo rocoso en BP. 1200E – U.P. Andaychagua - Volcan Compañía Minera S.A.A.” tuvo como motivo determinar las vibraciones que se producen por voladura y analizarlas para reducir los daños de macizos rocosos. Para ello se enfocó en el camino científico y empleo la metodología aplicada, de nivel y diseño experimental. La muestra se compuso por By pass 1200E, donde concluye que el analizar e interpretar las vibraciones producto de la voladura si permiten reducir de forma significativa los daños en el macizo rocoso del By pass 1200E, así como también la reducción de la cantidad de explosivos que se utilizaban. Los resultados obtenidos de las vibraciones altas evaluadas en el campo cercano de las voladuras ejecutadas en el By pass se deben a la concentración de carga de explosivos que tienen un mismo tiempo de retardo, lo que causa un pico de partículas elevadas, sin embargo, según la Norma USBM RI 8507 está en lo permitido.

3.1.3 Locales

Según (VILLAVICENCIO , 2016) en su estudio “Modelamiento predictivo de vibración durante la etapa de construcción del proyecto minero las Bambas” tuvo el motivo de analizar el impacto de la vibración por voladura en un modelo predictivo en las construcciones de caminos pioneros tramo 01 en la unidad minera. Para ello siguió la metodología aplicada, explicativa, experimental, cuyo diseño fue el de campo (experimental). La muestra de estudio fueron las vibraciones generadas por las detonaciones en la etapa de construcción, generó 34 registros. De acuerdo al análisis documental se recogió los datos mediante el Geófono. De acuerdo a los resultados se evidencio que el modelamiento predictivo dependerá de las vibraciones que van a producirse durante la actividad de la voladura debido a la onda sísmica en el macizo rocoso durante la explosión de los taladros en un rango de tiempo rápido. El VPP formulado por DEVINE a la aplicación no lineal dio amplitud $k= 109,83$ y decaimiento $b = 1,646$, además en las voladuras de las minas no dio vibraciones $> 50,8$ mm/s. por ende es fundamental contar con una distancia segura en viviendas (139 m) y edificaciones (100 m) con la zona de voladura.

Según (MUJICA, 2018) El autor en su tesis “Mejoramiento de la voladura utilizando emulsión gasificada (MEQ73) en el Tajo Ferrobamba - M.M.G. Las Bambas – Apurímac” su razón principal es realizar optimización de la actividad de



voladura en el tajo “Ferrobamba de Las Bambas” mediante utilización explosivos cuya emulsión gasificada que mejora los proyectos de voladura, a través de los procesos de fragmentación. Se emplea la metodología aplicada no experimental, nivel descriptivo. Al final podemos concluir que las actividades de pruebas han demostrado mejora el fraccionamiento y el porcentaje de humos naranjas también redujeron tiempos de carguío por taladro. Se consigue además un ahorro en los explosivos.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Vibraciones producidas por la voladura

Se realiza el análisis e interpretación de varios monitoreos de vibraciones, así como también el nivel de daños producidos al macizo rocoso.

Las vibraciones en la explotación de una mina son provocadas por los explosivos utilizados en la voladura por el aumento de la presión en un taladro lo que provoca tensiones dinámicas en el área detonada, producen ondas de tensión propagándose en el taladro. Esta onda vibratoria va disminuyendo su intensidad en referencia a la distancia, esta energía que transmite la detonación de la roca se debe distribuir en una superficie cada vez mayor (LOPÉZ, 2019).

Es decir, las ondas sísmicas que afectan al macizo rocoso producen un movimiento oscilatorio en las partículas que lo componen, alterando su estado de reposo y así va traspasando energía a la próxima en forma sucesiva, cada vez que va transmitiendo de energía se va perdiendo o disminuyendo un poco de la misma energía, entonces quiere decir que la intensidad del movimiento va disminuyendo cuando la onda se aleja de la fuente de explosión. finalmente, estas partículas van a volver poco a poco a su estado de reposo (LOPÉZ, 2019).

Para realizar el análisis anteriormente mencionado será necesario estudiar las siguientes bases teóricas:

3.2.2 Vibraciones

Se define como un movimiento cíclico que va a ocurrir dentro de un medio, en cuanto a las vibraciones producidas por voladura, en su mayoría estas se consideran que son ocasionadas por la detonación de un taladro utilizando explosivos.

Cuando se produce una detonación de un taladro cargado con explosivo, las vibraciones se irradian en todas las direcciones. La intensidad (amplitud, frecuencia, y duración) de estas vibraciones en un sitio dado dependerá de la



cantidad de explosivo, las vías de viaje y de las características del sitio (LOPÉZ, 2019).

3.2.3 Voladura

Es la acción de romper o de desprender algún elemento, por medio de la utilización de explosivos, la voladura de rocas es un proceso tridimensional, originadas por la presión generada de los explosivos que se utilizan en una detonación (LOPÉZ, 2019).

3.2.4 Variables que determinan las vibraciones en voladura

Según (LOPÉZ, 2019) existen variables que van afectar las características de una vibración y por ende influyen sobre los resultados de la voladura del macizo rocoso, estas se dividen en dos grupos:

- **Variables controlables**

(LOPÉZ, 2019) indica que; en cuanto a las variables controlables tienen una mayor significancia como son el tiempo de los retardos, la cantidad de la carga de los explosivos, el tipo de explosivos utilizados, la distribución de los explosivos, geometría de las voladuras.

- **Variables no controlables**

Dentro de esta categoría se encuentra las propiedades del macizo rocoso, y la ubicación de la voladura, etc.

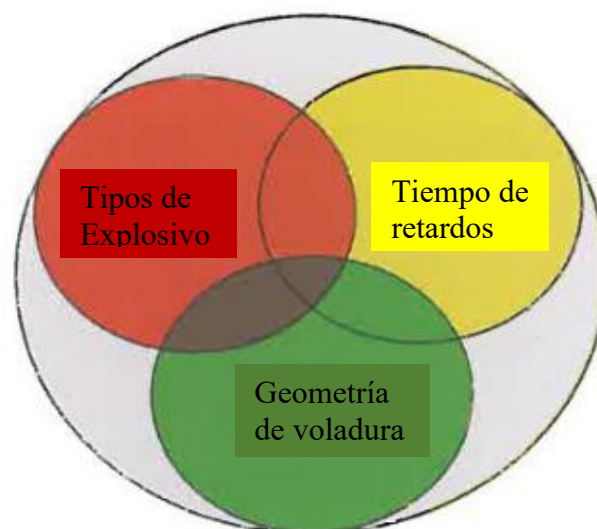


Figura 1 — Variables que influyen en las vibraciones terrestres

Extraído de Manual de perforación y voladura (LOPÉZ, 2019)

- Variables no controlables - color gris: Propiedades de las rocas y de los macizos rocosos
- Variables controlables - color verde – color amarillo – color rojo: geometría de las voladuras, tiempos de retardos, tipos de explosivos.

3.2.5 Generación de ondas por voladura

Una cierta cantidad de explosivo que está confinado en un taladro al momento de la detonación va a generar una onda de choque, debido a que la presión se eleva y esta va a actuar sobre las paredes del taladro detonado y se transmiten a la roca circundante, primero se transmite como onda de choque, luego a cierta distancia del taladro como una onda de compresión. Es necesario conocer los diferentes tipos de ondas y como éstas se van comportando en el macizo rocoso (PASCUAL, 2002).

3.2.6 Tipos de ondas

Según (PASCUAL, 2002), para un estudio de vibraciones producidas por una voladura, se necesita la propagación de las ondas en la zona elástica alrededor del taladro, ya que las ondas dentro del taladro son ondas elásticas, las cuales transmiten baja energía; es necesario indicar que la zona elástica son las zonas donde se van a producir las fracturas producto de los esfuerzos de tracción.

Las ondas elásticas se clasifican en dos grupos:

3.2.6.1 Ondas internas

Se les denomina así ya que se propagan de forma interna es decir dentro del macizo rocoso, las ondas internas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Ondas longitudinales o principales (ondas P).**

Según (PASCUAL, 2002) la onda P es la que se transporta a mayor velocidad, esta onda deforma volumétricamente la roca en la misma dirección de su propagación.

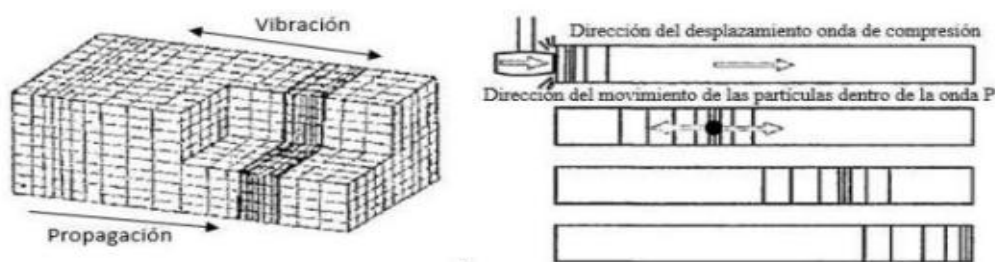


Figura 2 — Movimiento de partículas a través de la onda P

Extraído de Problemática de las vibraciones en las voladuras (PASCUAL, 2002)

- **Ondas transversales (Ondas S)**

(PASCUAL, 2002), después de la onda primaria (onda P), se realiza la propagación de la onda S, esta onda genera una deformación en la roca a diferencia de la onda P su deformación es perpendicular a la dirección de su propagación, esta onda no va a modificar el volumen de los materiales a su paso.

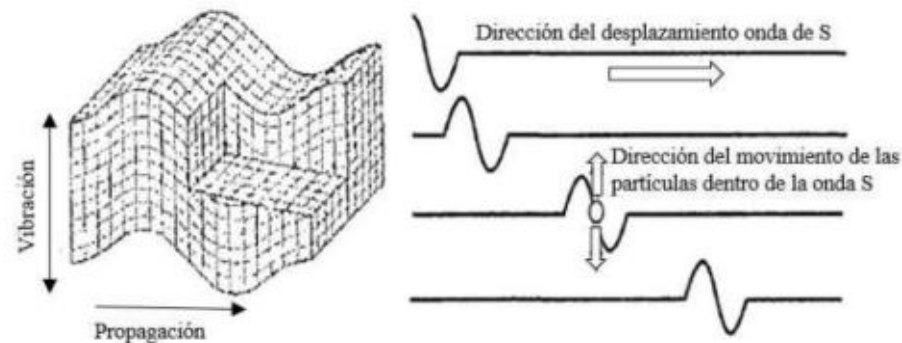


Figura 3 — Movimiento de las partículas a través de la onda S

Extraído de Problemática de las vibraciones en las voladuras (PASCUAL, 2002)

3.2.6.2 Ondas de superficie

Según (PASCUAL, 2002), se denomina ondas de superficie porque viajan por la interface de dos medios es decir la superficie del terreno, que separa la roca del aire. Estas ondas se clasifican en:

- **Onda rayleigh (ondas R)**

(PASCUAL, 2002), esta onda en cuanto a la velocidad de propagación esta es el 90% de la velocidad de propagación de las ondas S aproximadamente, esta onda tiene mayor amplitud y longitud que las ondas P y S.

- **Onda love (onda L)**

(PASCUAL, 2002), en cuanto esta onda su oscilación es similar al de las ondas rayleigh, elíptica, pero en un plano horizontal.

3.2.7 Monitoreo de vibraciones

La adecuada realización del monitoreo de vibración producido por las detonaciones es una herramienta o técnica que facilita diversas ventajas ya que permiten examinar a detalle el proceso de una voladura, medir el nivel de velocidades pico de las partículas que provoca una voladura según la cantidad de cada carga explosiva en los taladros, también es un medio por el cual se puede conocer la eficiencia de la voladura, la interacción que existe con las cargas adyacentes

(taladros de producción, caja techo y corona), el rendimiento general del diseño. Y obtener datos del sismógrafo para evaluar y analizar el nivel de daño provocado por la vibración (CINTEX, 2005).

Por lo general, se utilizan geófonos o transductores triaxiales a cierta distancia. La señal detectada por estos transductores va a ser transmitida mediante un cable hasta el equipo sismógrafo que lo recibe. Todos los datos adquiridos es almacenada en archivos digitales, que finalmente exportadas serán analizados (CINTEX, 2005).

3.2.8 Cálculo de la VPPc - velocidad pico de partícula crítica

(SEGARRA, 2004), indica que cuando se tienen vibraciones con niveles altos, estas causan mayores daños en el macizo rocoso, lo que puede producir nuevas fracturas o extender fracturas que ya existen. En este contexto la vibración podría considerarse como el esfuerzo o como la deformación del macizo rocoso.

(SEGARRA, 2004) indica que la velocidad de partículas, está relacionada con la creación de nuevas fracturas, esta se puede obtener de los datos y la relación entre la velocidad de partícula y el esfuerzo o deformación de la partícula, el cual es válido cuando la roca se encuentra confinada en el área inmediata a las cargas explosivas.

Como (SEGARRA, 2004) menciona que esta relación de la deformación de la partícula, y la velocidad de partícula podríamos analizar e indicar que tiene la cualidad para ser como un método de estimación del nivel de fracturamiento provocado al momento de realizar una voladura. Por ende, de lo mencionado líneas arriba se obtiene la siguiente ecuación:

FÓRMULA N° 1:

$$\varepsilon = \frac{VPP}{VP}$$

Donde:

ε : viene a ser la deformación inducida.

PPV: viene a ser la velocidad pico partícula.

Vp: Velocidad de la onda primaria u onda P

La ecuación anterior asume que la elasticidad de la roca es lineal mediante la cual la vibración se propaga y se realiza una estimación razonable de donde se obtiene



la relación entre una roca fracturada y las vibraciones inducidas producto de la voladura.

Según Hooke se obtiene la velocidad pico de partícula crítica con la siguiente ecuación:

FÓRMULA N° 2:

$$VPPc = \frac{\sigma t \times Vp}{E}$$

Donde:

VPPc: es la velocidad pico partícula crítica

σt : es la resistencia a la tracción de la roca

Vp: Velocidad de la onda primaria u velocidad de la onda P.

E: es el módulo de Young.

(SCHERPENISSE, y otros, 2006) indica que según la ecuación proporcionada de Hooke se realizó estudios en diferentes minas, para poder estimar las velocidades de partículas críticas (VPPc) en algunas rocas, estas estimaciones se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 2 — Velocidades de partículas críticas estimadas para distintas rocas

Tipo de roca	Resistencia a la tracción	Velocidad de onda P (m/s)	Módulo de Young (Gpa)	Velocidad de partícula crítica (mm/s)
Cuarzo-1	14.6	5102	55.5	1286
Brecha-1	7.3	4298	30.2	1037
Milonita	1.9	2940	14.6	380
Ox-1	6.7	4373	35.2	836
Ox-2	7.2	4804	44.4	774
Cuarzo-2	8.4	4207	42.7	823
Brecha-2	3.9	4041	39.3	401
Andesita-1	14.9	4975	67.3	1100
Dionita	13.2	4650	48.6	1260
Brecha-3	11.3	4650	58.3	900
Porfido-1	6.7	3829	31.2	823
Porfido-2	5.1	3661	46.6	401

Extraído de Monitoreo y modelamiento de vibraciones para el control y evaluación del daño por voladuras (SCHERPENISSE, y otros, 2006)



Una vez que se puede obtener el valor de VPPc, según (MACKENZI, 1993) indica que en relación a la PPVc a partir de esta se podrá estimar que el 25% del valor de VPPc o velocidad pico de partícula crítica, será suficiente para poder iniciar la extensión de fracturas preexistentes. Lo que Cameron indica es que el nivel de ¼ de PPVc lo utilizaremos como un límite de control para los diseños de carguío de explosivos, de esta manera las voladuras podrán minimizar los niveles de daño al macizo rocoso, las cuales se muestran en la siguiente tabla de criterio de daños al macizo rocoso:

Tabla 3 — Criterios de daños utilizados según (MACKENZI, 1993)

CRITERIO DE DAÑO	TIPOS DE DAÑO
Mayor a $4 \times VPP_{crítico}$	Intenso fracturamiento
Mayor a $1 \times VPP_{crítico}$	Creacion de nuevas fracturas
Mayor a $1/4 \times VPP_{crítico}$	Leve propagación fracturas pre- existentes

Extraído de Manual de perforación y voladura (LOPÉZ, 2019)

3.2.9 Modelos de vibraciones

Se llegaron a establecer diversos modelos que describen el cálculo de la velocidad pico de la partícula (VPP), en función a la carga detonada por retardo o carga operante y la distancia que existe del punto de medición a la detonación (LOPÉZ, 2019).

En la tabla 4 se presentan diversos modelos, para el cálculo de la distancia escalar “D”, esta distancia escalar se calcula con los datos de la distancia en metros entre la detonación y el punto de medición, el peso del explosivo por retardo o carga operante en kilogramos, para los siguientes modelos presentados se tienen varios criterios que se pueden observar en la siguiente tabla 4.

Para poder calcular la distancia escalar se utilizará para el estudio el criterio de Devine (1962), la cual se recomienda cuando se utilizan cargas de explosivos de forma cilíndrica, entonces según Devine la distancia escalar será igual a la distancia dividida por la raíz cuadrada de la carga del explosivo (LOPÉZ, 2019).



Tabla 4 — Criterios para el cálculo de la distancia escalar

<u>Criterio</u>	<u>Coefficiente Escalar</u>
Criterio General Exponencial	$D = \left(\frac{d}{W^{1/2}} \right)^{\frac{d^{\alpha\beta}}{\alpha}}$
Criterio General	$D = \left(\frac{d}{W^{\beta/\alpha}} \right)$
Langerfors (1963)	$D = \left(\frac{d}{W^{3/2}} \right)$
Hendron (Bulletin 656)	$D = \left(\frac{d}{W^{1/3}} \right)$
Devine (1962)	$D = \left(\frac{d}{W^{1/2}} \right)$

Extraído de Manual de perforación (LOPÉZ, 2019)

FÓRMULA N° 3:

$$D = \left(\frac{d}{W^{1/2}} \right)$$

Donde:

D: distancia escalar

d: distancia desde el transductor al punto de la voladura (m).

W: carga máxima del explosivo (kg).

Según (CONTRERAS, 2009) indica que este criterio está demostrado que es el mejor que representa el comportamiento de vibraciones de una voladura en campo lejano para cargas de forma cilíndrica.

3.2.9.1 Modelo de vibraciones para campo lejano - Modelo de Devine

Como ya se mencionó, los diversos modelos de vibraciones nos van a permitir calcular y analizar el nivel de vibración los cuales primero realizamos mediciones en campo, de las mediciones en campo se podrá obtener lo siguiente:

- Las velocidades pico de partículas o suma de vectores de la voladura.



- La cantidad de explosivos (Kg) utilizados para generar cierto nivel de vibraciones.
- La distancia del sismógrafo al punto de voladura.

Modelo General:

FÓRMULA N° 4:

$$VPP = K \times D^\alpha$$

Donde:

VPP: es la Velocidad pico de partícula medido en mm/s

El término “D” o distancia escalar, da cuenta de la influencia de la distancia en (m) y la cantidad de explosivo en kg. En relación a ésta formulación matemática existen varios criterios derivados de los cuales se emplea comúnmente el de DEVINE, ya que como se mencionó esta es la más adecuada para cargas de explosivos de forma cilíndrica, por lo tanto, reemplazando la anterior ecuación para el cálculo para el modelo de campo lejano sería la siguiente:

FÓRMULA N° 5:

$$VPP = K \left(\frac{d}{W^{1/2}} \right)^{-\alpha}$$

Donde:

VPP: Velocidad Pico de Partícula (mm/s)

d: viene a ser la distancia desde el transductor al punto de la voladura (m).

W: carga máxima de explosivo o carga operante (kg).

K y α : Según la ecuación de Devine son constantes adimensionales. Para estos valores de las constantes α y K, se van a obtener de una ecuación lineal, las cuales se representan mediante un gráfico de dispersión. Para poder representarlo en un gráfico el eje X viene a ser la distancia escalar “D” y el eje Y serán los valores de las velocidades picos de partículas “PPV” obtenidos por el sismógrafo medidos en campo.



3.2.9.2 Modelo de vibraciones para campo cercano - Modelo de Holmberg y Persson

En cuanto el campo cercano, se refiere al área muy cerca de los taladros donde ocurrirá el fracturamiento, para este campo la ecuación para la predicción de vibración en el campo cercano será como se muestra en la siguiente ecuación, la cual fue desarrollada por (ISEM, 2020)

Para poder explicar este modelo se analizará con la Figura 4. Se asume que se tiene un taladro con una carga larga de longitud H y con una densidad de carga lineal L . Para calcular 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 VPP de la vibración es representativa del esfuerzo causado por la vibración. (ISEM, 2020).

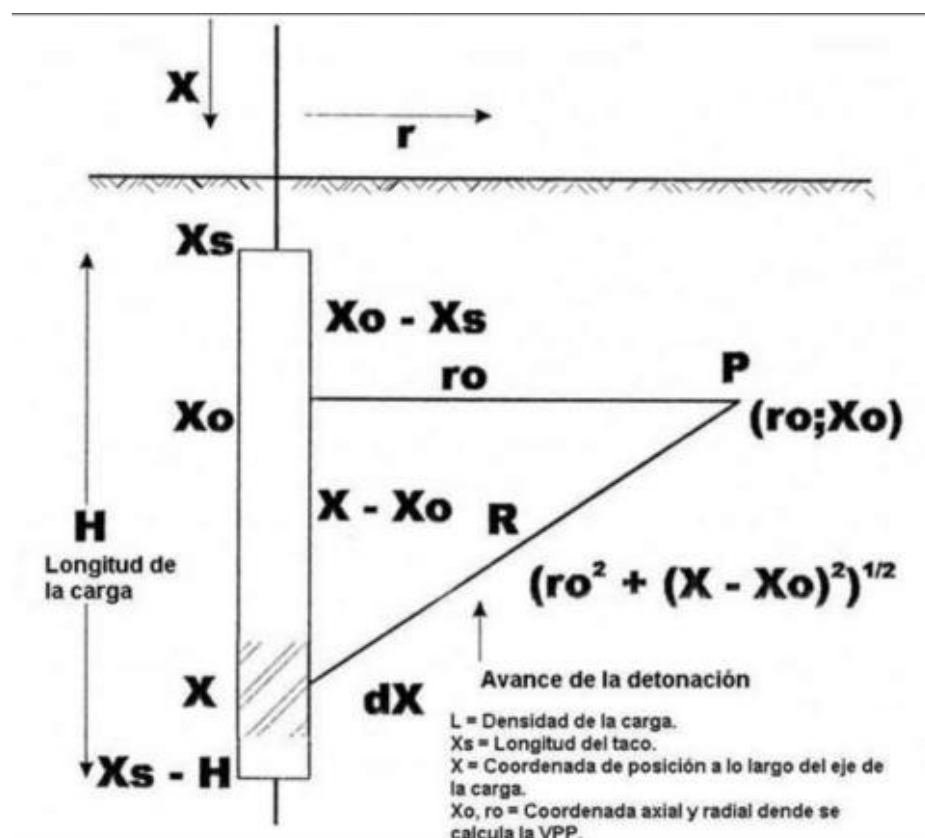


Figura 4 — Integración de la onda de superficie en una región cercana a una carga cilíndrica

Extraído de Diseño de los túneles para prevenir el daño a la roca (ISEM, 2020)



La siguiente ecuación nos permite observar la velocidad, como se mencionó anteriormente está en función del peso de carga total de explosivo (W) y la distancia (R) (ISEM, 2020).

FÓRMULA N° 6:

$$V = K \left(\frac{W^\alpha}{R^\beta} \right)$$

Donde:

W: peso de la carga del explosivo

R: distancia

k, α y β : constantes

(ISEM, 2020) usaron la ecuación anteriormente mencionada y derivaron dicha ecuación con el fin de determinar el valor de la velocidad pico de la partícula en la roca muy cercana a una carga explosiva alargada. Para esto consideraron la intensidad de vibración como “w”, se tiene que:

FÓRMULA N° 7:

$$w = \left[\frac{V}{K} \right]^{1/\alpha} = \frac{W}{R^{\alpha/\beta}}$$

La intensidad de la vibración para una carga explosiva muy pequeña realizando una derivación Dw, se observará la siguiente derivación:

FÓRMULA N° 8:

$$dw = \frac{1}{R^{\alpha/\beta}} = dW$$

Integrando la ecuación anterior se obtendrá:

FÓRMULA N° 9:

$$dw = \frac{1}{R^{\beta/\alpha}} = dW$$

Una vez integrada la ecuación:

FÓRMULA N° 10:

$$dw = ldx$$



De la figura 4 deducimos lo siguiente:

FÓRMULA N° 11:

$$R = [ro^2 + (x - xo)^2]^{1/2}$$

Luego se obtendrá:

FÓRMULA N° 12:

$$w = l \int_{xs}^{xo+H} \frac{dx}{[ro^2 + (x - xo)^2]^{\beta/2\alpha}}$$

De las ecuaciones anteriores resultará en:

FÓRMULA N° 13:

$$w = K \left[l \int_{xs}^{xo+H} \frac{dx}{[ro^2 + (x - xo)^2]^{\frac{\beta}{2\alpha}}} \right]^{\alpha}$$

Finalmente, para $\beta = 2\alpha$, la ecuación anterior puede ser integrada para dar

FÓRMULA N° 14:

$$w = VPP = K \left[\frac{l}{ro} \right]^{\alpha} \left[\arctan \left(\frac{H + xs - xo}{ro} \right) + \arctan \left(\frac{xs - xo}{ro} \right) \right]^{\alpha}$$

Donde:

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

H : Longitud de la carga

xs : Longitud del taco;

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

xo, ro : Coordenadas axial y radial del punto donde la vibración es observada.

3.2.9.3 Diferencia de los modelos de campo cercano y campo lejano

Se sabe que, para el modelamiento en campo cercano, se necesita primero datos de las vibraciones adquiridas lo más cercano posibles a una carga



explosiva típica (distancias mínimas), con geófonos de un alto rango dinámico. Por otro lado, para poder analizar, se considera la carga explosiva en forma distribuida, donde se tiene que considerar los aspectos geométricos, distancia a la carga, densidad del explosivo, etc., a diferencia del modelamiento tradicional modelo de campo cercano que utiliza una sola distancia para el total de la carga explosiva.

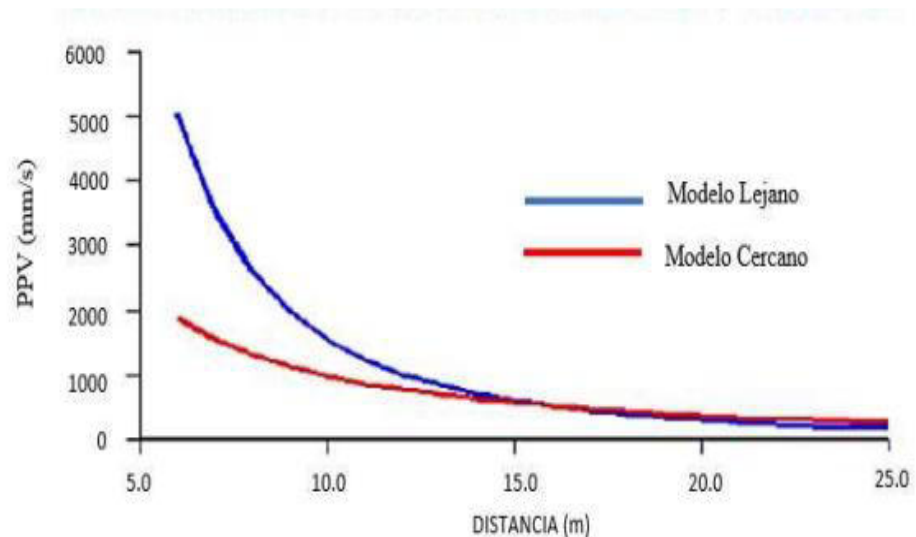


Figura 5 — Comparación entre los modelos de campo cercano y lejano

Extraído de Monitoreo y modelamiento de vibraciones para el control y evaluación del daño por voladuras (SCHERPENISSE, y otros, 2006)

Como líneas arriba se menciona la diferencia de ambos modelos una que considera la carga explosiva distribuida (Modelo Cercano de Holmberg & Persson) y la carga concentrada en un punto (Modelo Devine), es por ello que estos modelos van difiriendo fuertemente en el área más cercana a la carga explosiva, como se muestra en la figura 5 por parte del modelo Devine se produce una excesiva estimación de las velocidades pico de partículas (SCHERPENISSE, y otros, 2006).

3.2.10 Distribución de retardos

La distribución de retardos, nos permite realizar explosiones a tiempos previstos, para minimizar las vibraciones y, de este modo, evitar daños al macizo rocoso.

El intervalo de retardo entre la detonación de taladros puede referirse al tiempo de retardo nominal o al tiempo de retardo efectivo. El primero es la diferencia entre los tiempos nominales de iniciación, mientras que el segundo es la diferencia de los tiempos de llegada de los pulsos generados por la detonación de los taladros disparados con periodos consecutivos, en cuanto a voladuras donde se va a repetir



más de un número de detonadores, la mayor carga por retardo es la que va a influir en la intensidad de las vibraciones.

(LOPÉZ, 2019) indica que cuando en la voladura existen varios taladros con detonadores que poseen el mismo tiempo de retardo nominal, la carga máximo operante o también llamada carga instantánea máxima (CIM), suele ser menor que la total, debido a la dispersión en los tiempos de salida de los detonadores empleados, por esto según (LOPÉZ, 2019) indica que el máximo peso de carga explosiva permisible por retardo se considera como mínimo de 8 milisegundos.

3.2.11 Macizo rocoso

Según (LOPÉZ, 2019), el macizo rocoso es un medio discontinuo, de forma heterogénea, está compuesto de la unión de diversas estructuras (planos de estratificación, juntas, pliegues, fallas, etc) y bloques de matriz rocosa, al caracterizar un macizo rocoso se va a obtener un análisis que nos permitirá determinar la calidad del macizo, de esta forma disminuir accidentes por caída de rocas, controlar la estabilidad de las rocas, garantizando la estabilidad y brindar una operación segura y de calidad.

Por lo general al hablar de las características del macizo rocoso hablamos de los grados de fracturamiento, familias estructurales, condición o presencia de agua, condición de esfuerzos, etc.

Así pues, el macizo rocoso en la mecánica de rocas son el principal objeto de estudio y material de trabajo, como se menciona líneas arriba son una serie de bloques o roca intacta y estructuras que están formadas por múltiples discontinuidades las cuales están comúnmente agrupadas en familias, entonces su naturaleza y el comportamiento va a depender de ambos, ya sea una más que otra, esta estará en función de sus características y propiedades del macizo y la alteración que se realiza en el medio.



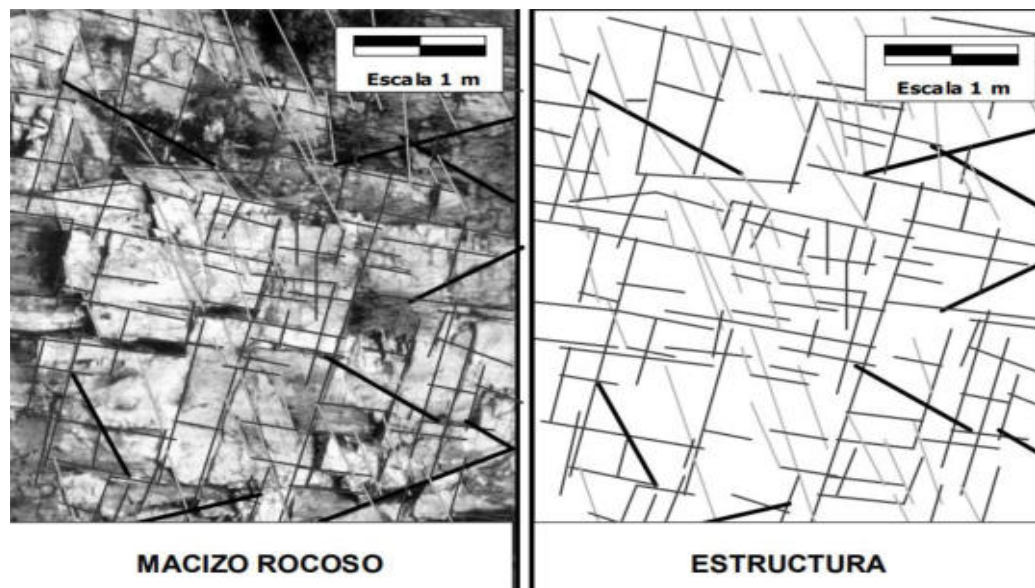


Figura 6 — Concepto ilustrativo de un macizo rocoso y su estructura

Extraído de criterio de rotura de hoek y Brown (HOEK, y otros, 2002)

En la figura 6 se observa un macizo rocoso sobre las que sean resaltado o marcado las discontinuidades que se puedan observar de forma in-situ, también se puede observar a la derecha de la figura del macizo rocoso sobre un fondo blanco para que se pueda ilustrar de mejor forma las estructuras.

3.2.12 Geomecánica

Según (TORRE, 2015) La geomecánica es una ciencia que estudia las características mecánicas de los materiales geológicos entre ellas el suelo y roca, que poseen las rocas, esta disciplina está basada en los conceptos de mecánica de rocas y suelos.

Los objetivos de la geomecánica en el minado son:

- Asegurar la estabilidad de la estructura de la mina
- Proteger las principales labores de servicio a través de su vida de diseño
- Tener accesos seguros a los lugares de trabajo en todas las labores mineras

3.2.13 Clasificaciones geomecánicas

Según (APARICIO, 2017) el sistema de clasificación geomecánica es una forma de representar con un solo valor las propiedades de la resistencia de un macizo rocoso. El macizo rocoso usualmente es un material altamente anisotrópico y puede ser representado por más de un sistema de clasificación; con lo que respecta en la

minera, el índice de GSI, el RMR y Q, son parámetros que se utilizan en su mayoría para clasificar métodos de diseño y parámetros de modelamientos numéricos.

3.2.14 Clasificación RMR de Bieniawski

Según (APARICIO, 2017) la clasificación de Bieniawski fue desarrollada en 1973, las cuales se actualizaron en los años 1979 y 1989; donde se realiza un sistema de clasificación del macizo rocoso como una forma de valoración el cual va a permitir relacionar índices de calidad con los parámetros geotécnicos del macizo rocoso, excavación y sostenimiento.

Los parámetros que se consideran son:

- Resistencia de la roca intacta
- RQD
- Espaciamiento de discontinuidades
- Condición de las discontinuidades
- Agua subterránea

3.2.15 Índice de resistencia geológica (GSI)

Según (CÓRDOVA, 2008) El GSI es un sistema para poder estimar las propiedades geomecánicas de un macizo rocoso a través de las observaciones geológicas de campo.

El GSI fue modificado por C. Vallejo (2002) con el fin de utilizar tablas originales de manera más práctica y sencilla de clasificar de forma cualitativa al macizo rocoso y de esta forma recomendar el sostenimiento requerido en una labor, en el anexo 3 se presenta la tabla GSI de la unidad minera, es necesario indicar que el GSI originalmente fue desarrollado con el fin de obtener parámetros para un criterio de falla de Hoek & Brown, por lo que en el año 2002 Vallejo utiliza las equivalencias del GSI con el RMR para recomendar y dimensionar el sostenimiento. estas tablas son muy prácticas para ser empleadas para los colaboradores; sin embargo, corresponderá a cada empresa del área de geomecánica la adecuación respectiva.

3.2.16 Daño al macizo rocoso inducido por voladura

Desde años pasados las investigaciones a lo que se refiera a los límites de seguridad para vibraciones se tenía deficiencia en la definición de la palabra daño, o por la inexistencia de una definición. Los primeros que tuvieron una precisa definición



fueron los canadienses Edwards y Northwood en 1960, quienes mencionaron las siguientes definiciones:

- Límites de daños: "Apertura de antigua fisuras y formación de nuevas fisuras en el revoque, desplazamiento de objetos sueltos".
- Daños menores: "No afecta la resistencia de la estructura, por ejemplo: quebradura de ventanas, caída de revoque, formación de fisuras en la mampostería".
- Daños mayores: "Ocurre cuando hay debilitación de la estructura, por ejemplo: grandes fisuras, debilitamiento de la estructura".

Según (SEGARRA, 2004) define como daño ocasionado por la voladura como "toda fragmentación de la roca, activación y/o generación de nuevas fracturas que debilita la calidad geotécnica del macizo rocoso y por ende afecta el rendimiento de las operaciones, el cual puede ocurrir por un mal diseño de voladura o una mala implementación del mismo". Por lo general el daño ocurrido a la roca adyacente a la voladura se va a producir por una mala distribución de la energía de explosivos, mal control en la secuencia de iniciación, distribución de retardos en una voladura. Entones se puede deducir que el daño será producido por los siguientes mecanismos principales:

- La existencia de nuevas grietas en el macizo rocoso después que se va a superar la velocidad crítica de partícula,
- La apertura o extensión de fracturas que ya existen a consecuencia de una excesiva presión de gases.
- La inestabilidad de algunos bloques o cuñas existentes, como consecuencia de la alteración de algunas estructuras geológicas.

De estos mecanismos es importante mencionar que los dos primeros afectan al campo cercano (< 50 m) del límite de la voladura), mientras que el último fenómeno puede ocurrir en el campo lejano (> 50 m) (SEGARRA, 2004).

3.2.17 Normativas para el control de vibraciones

En todos los países del entorno europeo y países desarrollados actualmente hay normativas específicas cuya finalidad es regular las vibraciones generadas por la práctica de diferentes actividades, lo cual esto facilita a que las empresas mineras ubicadas en esos países puedan saber si sus voladuras en esa área generan daño a



las estructuras. En cuanto a las normativas más utilizadas se tiene la norma alemana DIN 4150 y la norma estadounidense USBM RI8507, cuyos valores de vibración registrados en el área o campo de estudio serán comparadas con los valores permisibles propuestos por dichas normativas con la finalidad de verificar si son o no causal de daño (BARBOSA, y otros, 2019).

3.2.17.1 Normativas internacionales

Los límites permisibles establecidos por estas normas internacionales están en base a patrones ambientales, con el fin de mejorar el control de vibraciones los que tienen que ser respetados por las empresa minera o empresas de construcción, donde se utiliza explosivos.

Tabla 5 — Resumen de normas internacionales existentes

Pais de procedencia	Nombre de reglamentación	Fecha de expedición
Alemania ^a	DIN 4150	1975
Brasil	CETESB D7.013	1998
Escocia	PAN50	2000
EEUU - Federal	USBM RI8507	1980
EEUU - Federal	OSM 817.67	1983
España	UNE 22-381-93	1993
Francia	Recomendaciones GFEE	2001
Internacional	ISO 4866	1990
Italia	UNI 9916	1991
Nueva Zelanda	NZS 4403	1976
Portugal	NP2074	1983
Reino Unido	BSI 6472	1992
Reino Unido	BSI 7385	1993
Sueca	SS 460 48 46	1991
Suiza	SN 640 312a	1992

Extraído de Análisis de la afectación por vibraciones de la roca (BARBOSA, y otros, 2019)

- **United State Bureau of Mines (USBM)**

La USBM es una de las organizaciones líderes que investiga los efectos de una voladura, presentan un gráfico donde se muestra la relación de la velocidad de la partícula y el nivel de la frecuencia (USBM, 1980 – RI 8507).

Esta norma USBM – RI 8507 indica que la velocidad máxima de partículas (PPV) es de 0,75 in/s o 19 mm/s en un intervalo de frecuencias de 4 a 12 Hz estas recomendadas para edificios con interiores de yeso prefabricado; la velocidad máxima de partículas es 0,5 in/s o 12 mm/s en un intervalo de frecuencias mayores a 40 Hz estas para edificios con recubrimiento de escayola,



por ultimo para frecuencias mayores a 40 Hz el límite permitido es 2 in/s (50,8 mm/s), ver Figura 6 y 7.

Es decir, la norma nos indica que el daño está relacionado entre la velocidad pico de partícula versus el nivel de frecuencia, estableciendo límites donde posiblemente van a ocurrir daños mayores (USBM, 1980).

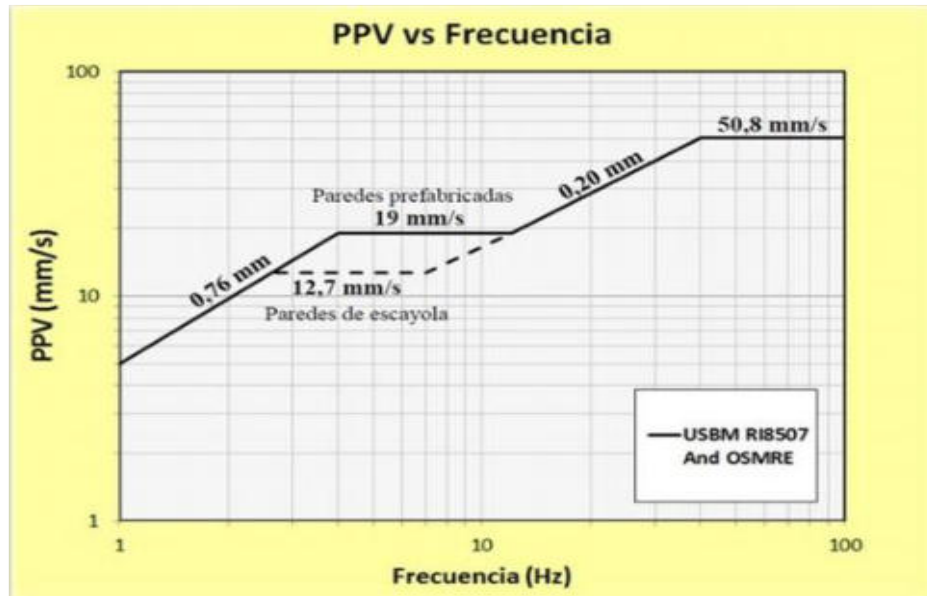


Figura 7 — Niveles de seguridad para vibraciones según norma USBM RI 8507

Extraído de (U.S. Bureau of Mines, 1980)

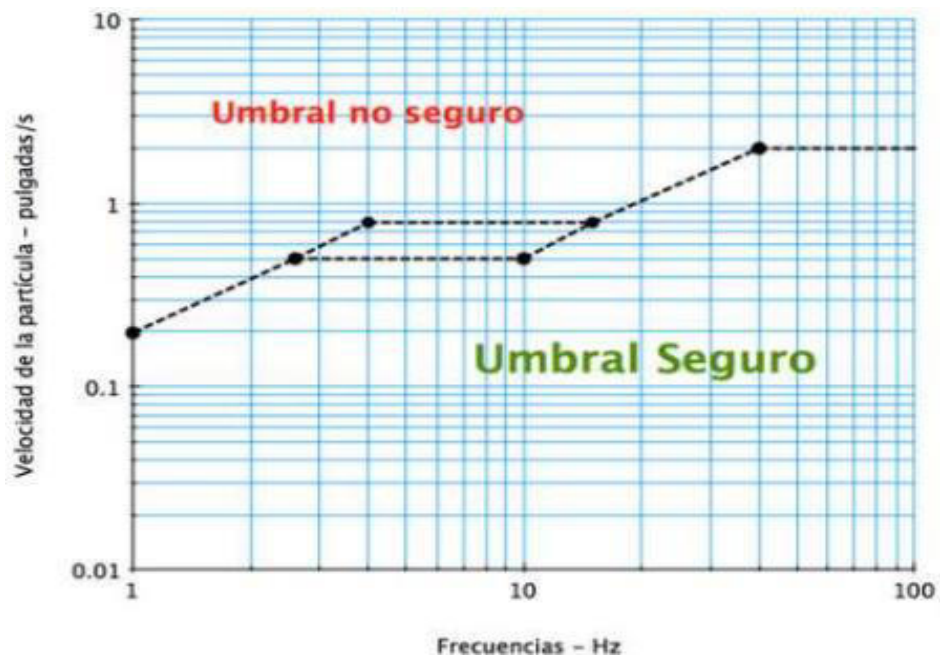


Figura 8 — Umbral seguro y umbral no seguro

Extraído de (U.S. Bureau of Mines, 1980)



3.3 Marco conceptual

- a) **Nivel de vibraciones producidas por las voladuras:** es el nivel o intensidad de las vibraciones van a variar de acuerdo a la cantidad de explosivos que serán detonados, estas voladuras generan vibraciones que pueden causar diferentes niveles de daño sobre el macizo rocoso, pudiendo afectar o alterar la estructura inicial de la roca.
- b) **Vibraciones:** es el movimiento que se realiza en forma reiterada a través de un medio.
- c) **Frecuencia:** se define como una magnitud, que va medir la cantidad de oscilaciones completas por unidad de tiempo.
- d) **Voladura:** se refiere a la actividad de poder fracturar o fragmentar la roca, para esta acción se hará uso de cierta cantidad de explosivo, estas fragmentaciones de rocas se realizan para lograr un objetivo las cuales se pueden ejecutar de forma controlada.
- e) **Roca:** material solido formado por uno o varios minerales de forma natural.
- f) **Macizo rocoso:** o masa rocosa viene a ser un medio anisotrópico, heterogéneo y también discontinuo esta masa está conformada por bloques de rocas con distintas discontinuidades que afectan al medio rocoso.
- g) **Explosivos:** son mezclas o compuestos químicos, estas sustancias pueden estar en un estado sólido, líquido o gaseoso. Estos explosivos a través de una reacción química exotérmica van a generar una serie de productos gaseosos que serán aprovechados como técnica para una voladura o fragmentación de la roca.
- h) **Velocidad de partícula:** es la velocidad a la que se desplaza una partícula en un medio cuando se transmite una onda en mm/s o in/s.
- i) **Velocidad pico de partícula:** es el nivel máximo de resistencia a la vibración que ofrece la matriz rocosa antes de generar fracturamiento en mm/s o in/s.
- j) **Sismógrafo:** es un equipo especializado que nos permite monitorear y también transmitir datos sísmicos producto de una voladura, está compuesto por un geófono y un micrófono de onda aérea; diseñadas para determinar la velocidad pico partícula y la dispersión producida por voladuras.
- k) **Densidad:** es el peso o masa de una sustancia sobre su volumen de dicha sustancia esta se expresa en unidades como g/cm^3 , kg/m^3 .



- l) **Carga operante:** llamada también carga máxima es la cantidad de explosivo en kilogramos que va a ser intervenido en una secuencia de un mismo número de retardos dentro de los 8 milisegundos.
- m) **Retardo en voladura:** es la acción de poder prolongar algo en un determinado tiempo, en voladura estos retardos permiten detonar varias cantidades de taladros en diferentes tiempos, lo que ayuda a minimizar las vibraciones.
- n) **Factor de potencia:** está definido como la cantidad total de explosivo utilizado para poder extraer o detonar una tonelada de mineral su medida es kg/t.
- o) **Factor de carga:** está definido como la cantidad de explosivos para poder obtener un volumen de la roca su medida es kg/m³.

3.4 Generalidades de la UEA San Cristóbal

3.4.1 Antecedentes

Históricamente el distrito de Caylloma es considerada una de las primeras minas más antiguas del Perú que explotaba de plata, extrayendo casi en forma continua por más de 500 años.

Según las investigaciones en el distrito de Caylloma mencionan que en la época colonial aproximadamente entre 1541 a 1821 se llegaron a explotar gran cantidad de mineral de plata con alta ley aproximadamente 48 millones de onzas de plata.

Al inicio en esas épocas la explotación que realizaban era a pequeña escala; su explotación era en la parte de óxidos a través de zanjas e inclinados utilizando barretas, en su mayoría estos óxidos afloraban en diversas partes de la zona.

Después de iniciar la explotación solo en las partes de afloramiento, decidieron realizar también la extracción de mineral de forma subterránea, a través de la excavación de galerías con dimensiones mínimas tratando de aprovechar la estructura y el ancho de la veta.

La extracción del mineral de plata más activa en Caylloma se inicia aproximadamente en el año 1880, encabezando unos suecos que constituyeron la compañía Caylloma Mining, esta empresa minera empezó a explotar gran parte de los clavos mineralizados encontrados y que tenían en las vetas de alta ley de plata como son la veta el Toro, veta San Pedro y veta Bateas, al finalizar la explotación de las vetas mencionadas empezaron a explotar la veta San Cristóbal aproximadamente en el año 1890; finalmente, Caylloma Mining culmina sus



operaciones en el año 1906, entrando a explotar por un grupo Chileno quienes se hicieron cargo de la mina y por primera vez instalan una planta concentradora de 20 t/día de capacidad, seguido a esto pasaron a trabajar tres compañías a lo largo de unos 20 años aproximadamente, siendo la empresa ultima L.J. Rosenshine quienes pudieron instalar una planta de flotación de 30 t/día de capacidad, empezaron a construir campamentos mineros y avanzaron con los trabajos de desarrollo, después dos socios de la empresa Eliden y Bersiford en 1926 decidieron tomar a cargo las operaciones hasta el año 1936, donde paralizaron sus operaciones. Asimismo, entre los años 1932 a 1933 se constituyó una nueva organización que fue la compañía minera Caylloma S.A.L. Esta nueva empresa realizó su explotación de los minerales hasta el año 2003, priorizaron sus operaciones en las vetas San Pedro, Bateas, Trinidad y por ultimo San Cristobal, el método a explotar fue el de Open stopping, sostenimiento con puntales y pilares, Shirinkage y corte y relleno o Cut and Fill, la capacidad de planta en ese entonces fue de 700 t/día, después de esto ingresaría en grupo Hoschild en la explotación de las vetas Animas y veta la Plata, siguiendo el método de explotación de forma convencional utilizando maquinas manuales como la máquina perforadora Jack leg, para la limpieza del mineral se utilizaron winches eléctricos.

Ya en el 2005 del 08 de junio la mina de Caylloma era dirigida por la empresa Fortuna silver mine filial minera Bateas S.A.C. al haber adquirido los derechos mineros que conforman la unidad económica administrativa UEA San Cristóbal, en la actualidad su producción en planta consta de una capacidad de 1500 t/día.

3.4.2 Ubicación

La localización de la UEA San Cristóbal de la empresa minera Bateas está en:

- Distrito: Caylloma
- Provincia: Caylloma
- Región: Arequipa
- Datum: UTM – WGS84
- Zona: 19 S
- Coordenadas: 8 317 650 N 192 584 E
- Cota o altura: 4500 – 5000 m. s. n. m.

La accesibilidad a la mina desde Lima, vía terrestre, por medio de la carretera Panamericana Sur:



Tabla 6 — Rutas de accesibilidad por la Panamericana Sur a la Minera Bateas S.A.C

De	A	Via	Distancia (km)	Tiempo (h)	Estado de carretera
Lima	Arequipa	Terrestre	1005	15	Carretera asfaltada
Arequipa	Caylloma	Terrestre	225	6	Carretera asfaltada y afirmada
Caylloma	Mina Bateas	Terrestre	14	1	Carretera afirmada
Total			1244	22	

La accesibilidad a la mina por la ciudad de Abancay por medio terrestre, serán como la tabla 7 lo indica:

Tabla 7 — Rutas de accesibilidad a la minera Bateas S.A.C desde la ciudad de Abancay

De	A	Via	Distancia (km)	Tiempo (h)	Estado de carretera
Abancay	Cusco	Terrestre	186	4	Carretera asfaltada
Cusco	Espinar	Terrestre	225	5	Carretera asfaltada
Espinar	Caylloma	Terrestre	225	6	Carretera afirmada
Caylloma	Mina Bateas	Terrestre	14	0,75	Carretera afirmada
Total			650	14,50	

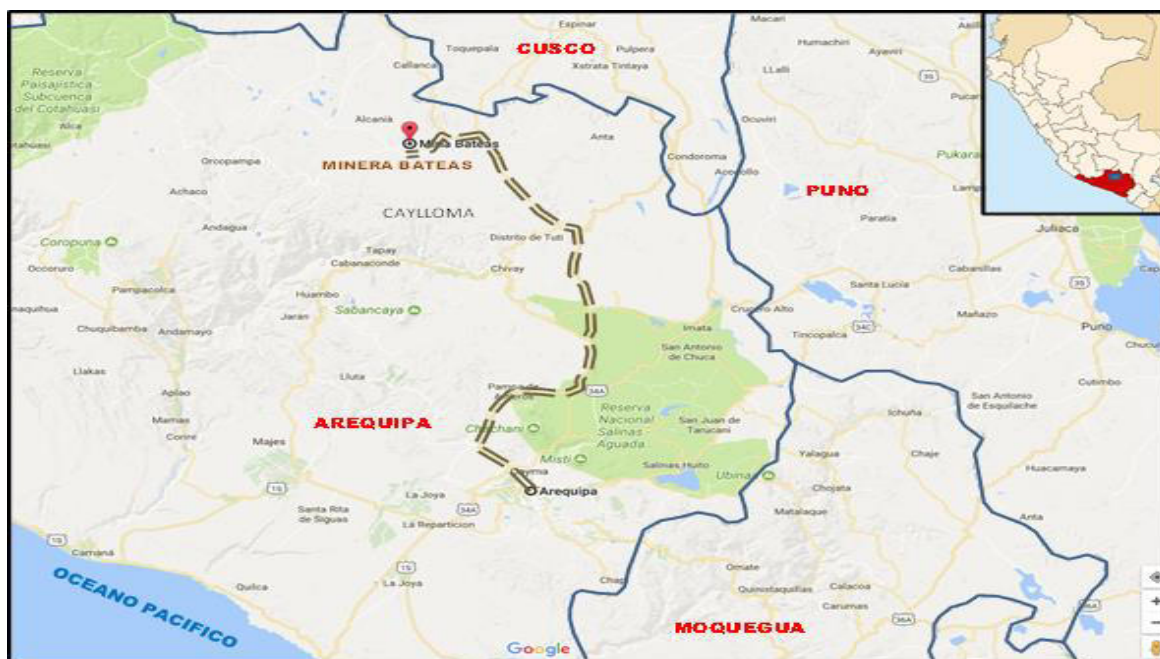


Figura 9 — Lugar de localización de la Minera

Extraído de Plan de minado 2020 minera Bateas S.A.C. (MIBSAC, 2020)

3.4.3 Contextualización

Minera Bateas es una empresa del sector minero, dedicada a actividades como la exploración, explotación y el procesamiento de minerales para tener como producto

final concentrados de plata, zinc y plomo, finalmente comercializarlo. Esta es una mina subterránea el método de explotación es el de corte y relleno ascendente mecanizado, semimecanizado y convencional.

Todas las infraestructuras como las instalaciones de campamentos, planta concentradora, central hidroeléctrica, talleres de maestranza, almacenes, maquinarias, equipos, etc. están dentro o constituidos por los derechos mineros a Los principales activos de la empresa están constituidos dentro de las concesiones ubicadas en la UEA San Cristóbal.

Como parte del cumplimiento al decreto supremo DS N° 024-2016-EM, con su modificatoria DS N° 023-2017-EM del reglamento de seguridad y salud ocupacional, se presenta cada año el “Plan de minado Bateas” donde sustenta que las reservas cubicadas a agosto del año 2019 reportan 2804000 toneladas, también mencionan que las leyes de Ag son de 77 g/t, Au de 0,18 g/t, Pb 2,14 % y Zn 3,70 %.

3.4.4 Relieve y altitudes

En cuanto a la geomorfología donde se encuentra la mina Bateas se puede observar una topografía muy accidentada como un típico valle glaciar, rodeada por cerros que tienen aristas agudas con fuertes pendientes en la zona alta y en la base una pendiente suave, con rumbo NE-SW, la altura oscila desde los 4500 hasta los 5000 msnm.

3.4.5 Clima y vegetación

En cuanto al clima según la clasificación climática de Koppen su clima es polar, ya que forma parte de la cordillera de los andes, en todo el año su clima es fría y seca, con vientos fuertes en los meses de agosto a setiembre, y con lluvias en el mes de diciembre a marzo, con fuertes granizadas.





Figura 10 — Clima y vegetación de la unidad San Cristóbal – minera Bateas

3.4.6 Recurso agua

El drenaje de la zona es encausado por el río Santiago y el río Huarajo siendo el principal colector de los pequeños afluentes el río Santiago, para el uso de agua ya sea para consumo de la población o para los trabajos de operación mina es obtenido por la vertiente del río Santiago, para dichos usos se describe:

- Para el consumo de la población se construyó una presa de captación la cual está en la parte alta de la zona de Bateas, donde se construyó un dique con concreto que capta el agua del río Santiago.
- Para poder utilizar en las operaciones mineras esta es captada por una presa que está ubicada al margen derecho del río por la zona llamada agua dulce.

3.4.7 Recursos humanos

Actualmente Minera Bateas S.A.C., cuenta con 2000 trabajadores estos incluyen a los de Compañía y Empresas contratistas, tanto como obreros y empleados.

3.4.8 Recurso energético

Minera Bateas para el suministro de electricidad se abastece mediante una línea de transmisión de 66 kV que viene desde la sub estación Callalli a la sub estación Caylloma donde se realiza la reducción de voltaje a 15 kV y esta es suministrada a

la unidad de operación, el suministro de energía que necesita la unidad minera es de 3 500 kW.

3.4.9 Geología

3.4.9.1 Geología Regional de Caylloma

(MONTROYA, y otros, 1979) indica que en el área afloran en su mayoría rocas volcánicas que pertenecen al grupo Tacaza las cuales yacen en discordancia angular sobre sedimentos como las cuarcitas y lutitas del grupo Yura. También estos depósitos Volcánicos Plio-Pleistoceno y sedimentos clásticos recientes cubren grandes extensiones del área.

- Grupo Yura: Representado por la formación labra la cual constituye la base de la columna estratigráfica regional. Litológicamente compuesta por niveles de orto-cuarcitas blanco grisáceo, limolitas gris oscuro y grauwas negras, mediante estratos en capas delgadas con intercalaciones delgadas de lutitas negras. El conjunto tiene una aproximada potencia de 400 metros. La edad de este grupo es del Jurásico Superior - Cretáceo Inferior.
- Grupo Tacaza: en este grupo se encuentran una serie de secuencias de las lavas y aglomerados y estas intercalados con algunos horizontes tufáceos que también descansan sobre rocas del grupo Yura, está compuesta por rocas andesíticas, de textura porfirítica, tiene un color predominante como es el marron rojizo, y estas cambian a color verdoso por tener una alteración clorítica, la potencia de este grupo es aproximadamente de 900 metros, en algunas secuencias se puede observar un adelgazamiento de los horizontes volcánicos tanto en su rumbo como en su buzamiento. La edad de este grupo es del Mioceno.
- Depósitos Volcánicos Recientes: por encima de las rocas basales en discordancia afloran extensas cubiertas de lavas andesíticas, riolitas, dacíticas y tufos que son de similitud composición. En su mayoría se presentan en bancos gruesos.
- Depósitos Clásticos Recientes: Compuesto por materiales coluviales, aluviales, morrénicos, fluvio-glaciares, entre otros, los cuales constituyen acumulaciones de potencia y extensión variables.



- Rocas Igneas Intrusivas: presentan intrusivos subvolcánicos compuestas por riolítica, riodacítica y andesítica, en forma de diques y domos.

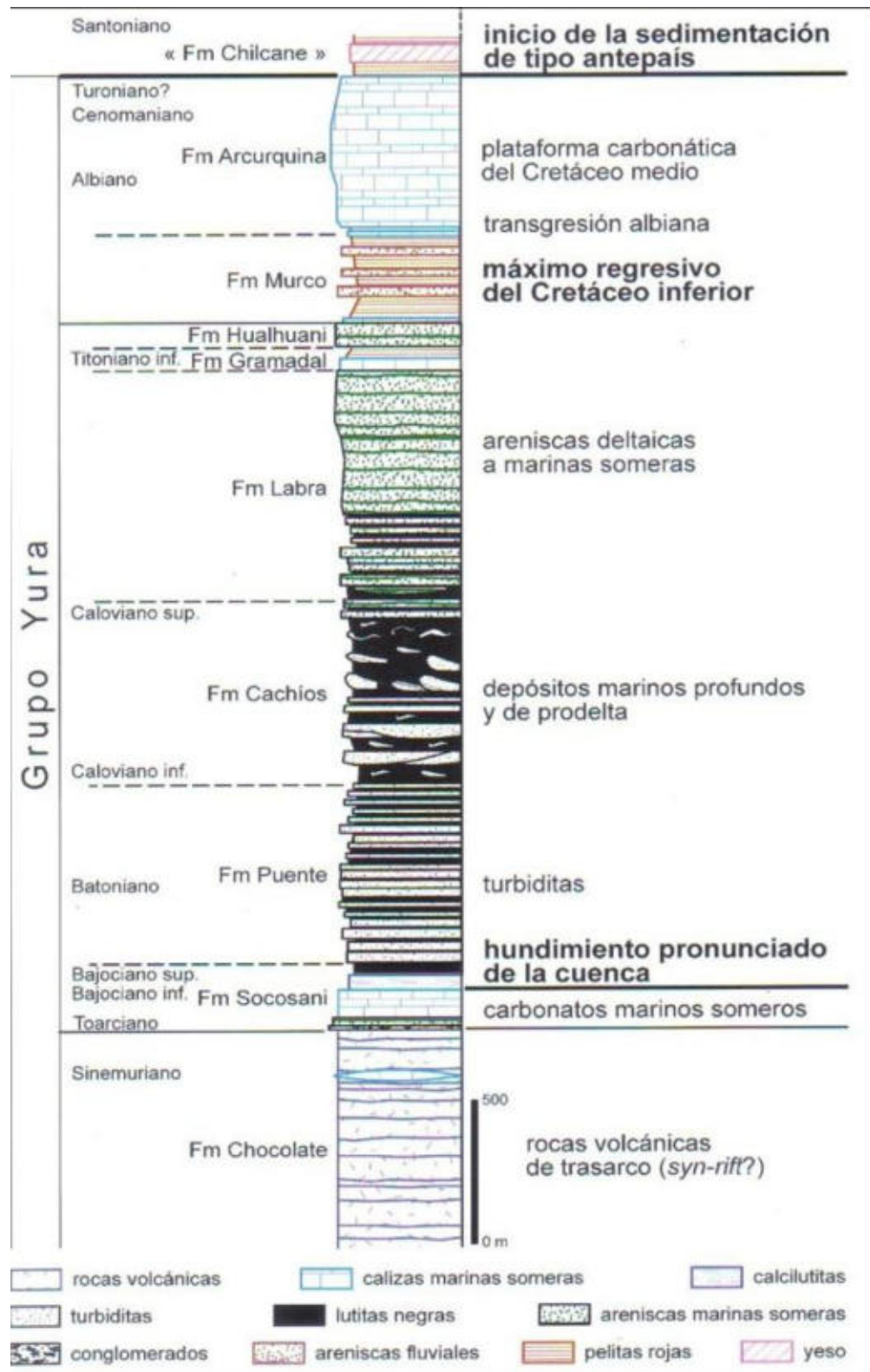


Figura 11 — Secuencia estratigráfica

Extraído de Área de geología (MIBSAC, 2020)

3.4.9.2 Geología local

Las rocas más antiguas aflorando en el área son sedimentos de edad jurásica, formadas por intercalaciones de lutitas negras y areniscas grauváquicas, en estratos tabulares de alrededor de 40 a 60 centímetros de espesor. En superficie estas rocas se encuentran fuertemente plegadas, desarrollando pliegues tipo kink, con flancos rectos y charnelas agudas, en general se encuentran volcados y con planos axiales subhorizontales. En subsuelo se hallan deformadas de manera mucho más suave constituyendo pliegues amplios y abiertos.

En discordancia sobre los sedimentos se apoya una potente secuencia volcánica terciaria de lavas, principalmente andesítica y volcanoclásticas de composición dacítica.

La secuencia volcánica está integrada por paquetes de 20 hasta 100 metros de lavas intercaladas con rocas volcanoclásticas. Andesitas porfíricas y andesitas finas, con fracturas paralelas. Las rocas volcanoclásticas están formadas por brechas que constan de litoclastos angulosos, principalmente de rocas volcánicas porfíricas. Las pómez son pequeños, verdosos debido a alteración propilítica y débilmente estirados. La brecha volcánica podría clasificarse como depósito piroclástico primario formado por flujo (ignimbrita). Las ignimbritas se encuentran intercaladas con delgados bancos de rocas volcanoclásticas más finas, estratificadas en bancos de pocos centímetros de potencia.

Al norte de la veta San Cristóbal la roca de caja (aflorante) de la mineralización es andesita de textura porfírica y presenta alteración hidrotermal de tipo propilitización y piritización por la presencia de cubos de pirita pequeños de forma diseminada.

Las rocas volcánicas suelen presentar en la extensión del distrito una alteración hidrotermal suave caracterizada por una leve propilitización y una piritización dada por la presencia de cubos de pirita pequeños de forma diseminada.

La secuencia volcánica se encuentra intruida por cuerpos dómicos y sus flujos lávicos asociados de composición ácida (riolitas). Estos cuerpos dómicos como el domo San Antonio y Trinidad no se encuentran alterados hidrotermalmente, y su emplazamiento está relacionado a fallas de carácter regional.



Completan la secuencia derrames lávicos más modernos, posteriores a la mineralización, posiblemente de edad plio-pleistocena que forman delgadas coladas de composición intermedia a básica.

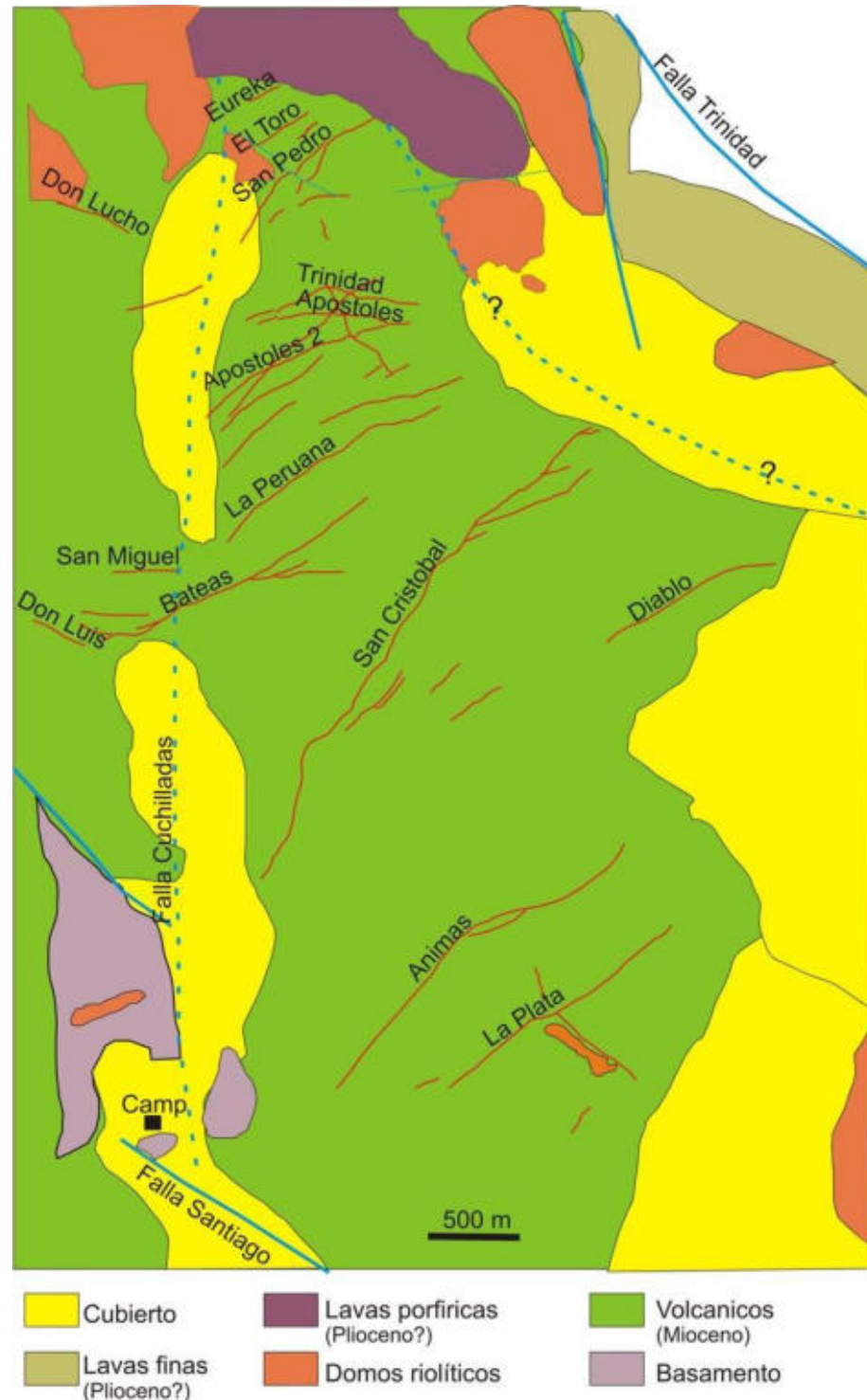


Figura 12 — Geología simplificada del distrito de Caylloma

Extraído de Área de geología (MIBSAC, 2020)

3.4.9.3 Geología estructural

En todo el distrito minero de Caylloma, se han identificado principalmente 5 sistemas de vetas de en general de rumbo NE, con el buzamiento en su mayoría al SE, las rocas encajonantes del sistema de vetas Caylloma están constituidas por brechas, lavas y aglomerados andesíticos del volcánico Tacaza.

Los sulfuros y sulfosales de Plata, primarios, están depositados en una ganga de cuarzo, rodonita y calcita.

Se tiene los siguientes sistemas de vetas:

- Sistema San Pedro: en este sistema se encuentra la veta Eureka, Copa de Oro, el Toro, San Pedro, La Blanca, Santa Rosa, Santa Isabel.
- Sistema Trinidad: En este sistema se encuentra la veta Trinidad, Elisa, Leona, San Carlos, Jerusalén 3, Sistema santo Domingo, La Peruana
- Sistema San Cristóbal: En este sistema se encuentra la veta San Cristóbal, Santa Catalina, Bateas.
- Sistema Ánimas: se encuentra dentro de este sistema la veta Animas, La Plata.
- Sistema Antimonio: se encuentra la veta Antimonio.

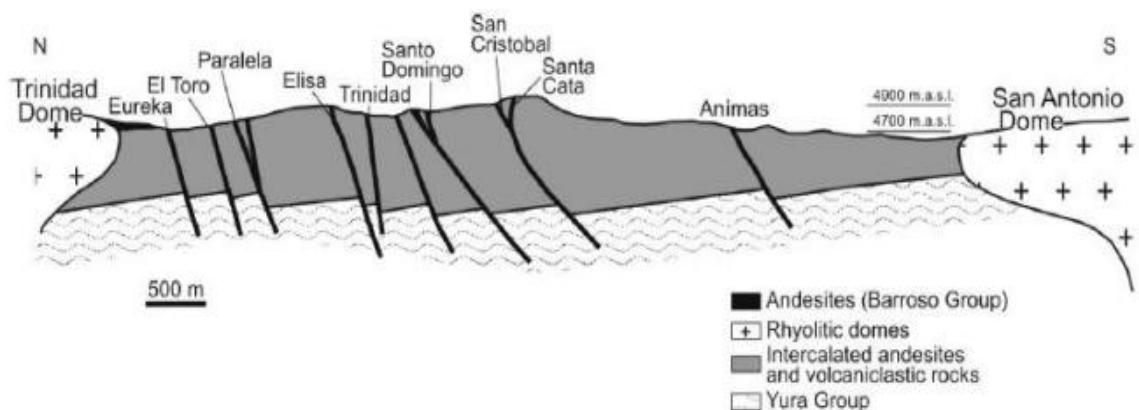


Figura 13 — Sistema de vetas

Extraído de Área de geología (MIBSAC, 2020)

3.4.9.4 Geología económica

En cuanto al yacimiento en la zona es un yacimiento hidrotermal de baja temperatura es decir epitermal, se puede observar que el mineral se encuentra en su mayoría rellenando las fracturas formando vetas y algunos



afloramientos, en cuanto a su textura se caracteriza por presentar tramos de mineralización de forma bandeada.

Es un yacimiento polimetálico con presencia de minerales argentíferos como son: la plata nativa, plata roja, tetraedrita, galena (argentífera), etc.

Tabla 8 — Clasificación de minerales presentes

Clasificación	Mineral	Símbolo
Sulfuros	Esfalerita	ZnS
	Galena	Pbs
	Calcopirita	CuFeS2
	Pirita	FeS
	Marcasita	FeS2
	Alabandita	MnS
	Bornita	Cu5FeS4
	Covelita	CuS
Carbonatos	Calcita	CaCO3
	Rodocrosita	MnCO3
Sulfosales	Tetraedrita	Cu12Sb4S13
	Pirargirita	Ag3SbS3
	Proustita	Ag3AsS3
Silicatos	Cuarzo	SiO2
Hidróxidos	Limonita	FeO.OH.ηH2O
	Psilomelano	Ba+2,Mn+2)3(O)
Óxidos	Magnetita	Fe3O4
	Hematina	Fe2O3
	Pirolusita	MnO2
Silicatos	Rodonita	Ba+2,Mn+2)3, Mg

Extraído de Área de geología (MIBSAC, 2020)

3.4.10 Mineralización

La mineralización reconocida en Caylloma es del tipo epitermal de baja sulfuración, sistemas ricos en platas, o carbonatos metales base Au-Ag.

Los minerales de mena más comunes son pirita, esfalerita, galena, calcopirita y tetraedrita. Minerales de mena de importancia secundaria por su menor abundancia incluyen stefanita, argentita, plata nativa, pirargirita, miargirita, calcosina, oro nativo, y otras sulfosales de plata y plomo.



Los minerales de ganga principales que forman la mayor parte del volumen de las vetas son cuarzo, rodonita (a manera de simplificación se cita como rodonita a una gama de silicatos de manganeso además de la rodonita), rodocrosita y calcita.

En general los minerales de mena se forman en bandas delgadas y ricas, mientras que los sulfuros diseminados en la ganga (a excepción de la pirita) son escasos. El estadió de cuarzo es una excepción a lo dicho precedentemente, ya que los sulfuros de los granos gruesos, principalmente esfalerita, se encuentran diseminado en la ganga, como se mencionó se caracterizan por una textura bandeada costriforme y escarapelada de minerales alrededor de clastos de roca caja o veta. El bandeo es muy persistente, formadas casi exclusivamente por sulfuros que poseen desde pocos milímetros hasta decenas de centímetros.

En cuanto a las alteraciones que más resaltan son la alteración propi lítica y la alteración argílica, que describiremos en los siguientes párrafos:

- Alteración propilítica: se observa áreas verdosas con gran intensidad en todo el yacimiento constituido por un agregado fino de clorita, calcita y pirita, la alteración Propilítica posee una amplia distribución que abarca casi la totalidad del distrito y es anterior a la formación de las vetas.
- Alteración argílica: se observa minerales arcillosos compuesto por limonitas. La silificación y adularización se encuentran localizadas en las estructuras de vetas y como impregnaciones en las rocas encajonantes siempre acompañado con diseminaciones de pirita



Figura 14 — Mineralización de la unidad San Cristóbal



Figura 15 — Mineralización de la unidad San Cristóbal

3.4.11 Exploraciones

3.4.11.1 Planes y programas

(MIBSAC, 2020) indica en su plan de minado 2020 poder iniciar un programa de exploraciones se debe iniciar teniendo en cuenta las características que presenta el yacimiento, se tiene que analizar los antiguos trabajos, los preliminares cálculos económicos.

Los trabajos de prospección en los yacimientos, como la geofísica, son muy beneficiosos y adecuados, la exploración con perforación diamantina es una herramienta principal utilizada para la recuperación de testigos para poder evaluar de forma más acertada, para poder obtener datos de litología, mineralización y alteraciones del depósito.

Después de obtener todos datos se realiza un detallado estudio en superficie, para luego poder planificar la ejecución las labores de exploración labores como: galerías, chimeneas y cruceros.

La ejecución de las labres mencionadas nos van permitir confirmar la información obtenidas en los programas anteriores de estudios exploratorios, de esta forma permitir a la empresa continuar con el planeamiento operacional de la mina.

- **Perforación en diamantina IN FILL 2020**

Se tiene como trabajos de exploraciones para el 2020, la perforación de 3830 metros; divididas en 04 áreas de exploración, para la conversión de recursos en 582000 toneladas; con una ley de 72 g Ag/t; 0,10 g Au/t; 2,91% Pb y 4,54% Zn.

Las áreas de impacto se muestran en la figura 15, en la tabla 9, se detalla el cronograma de perforación de diamantina IN FILL para el año 2020.

Tabla 9 — Cronograma IN FILL 2020

VETA	ÁREA	DDH (un)	LONG. (m)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
Animas NE	A1	8	1165			730	435					1165
	A2	13	1380	500	815	65						1380
	A3	7	675				400	275				675
	A4	4	610							450	160	610
TOTAL GENERAL												3830

Extraído de Área de exploraciones (MIBSAC, 2020)



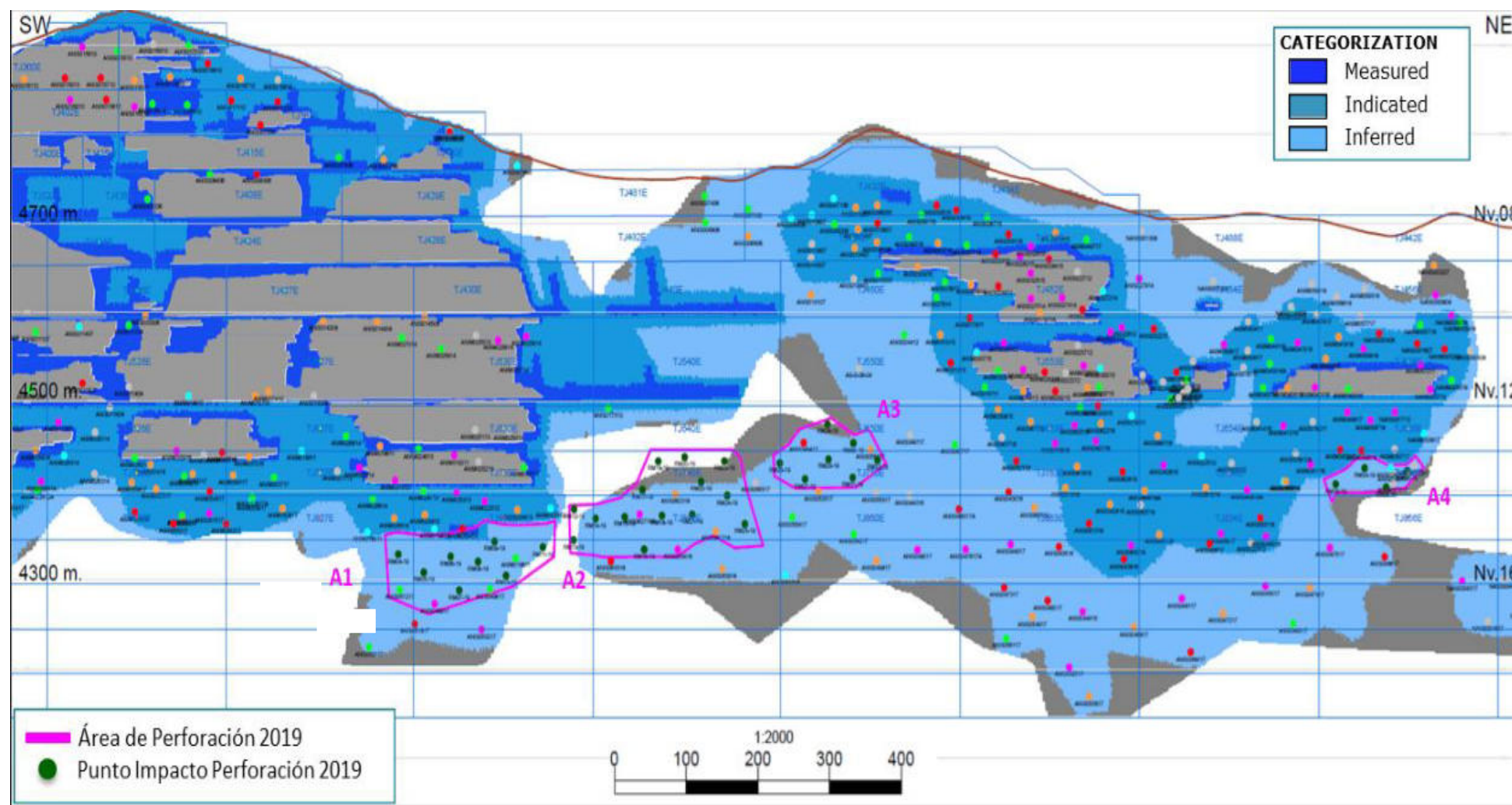


Figura 16 — Área de perforación INFILL 2020
Extraído de Área de exploraciones (MIBSAC, 2020)

Tabla 10 — Conversión de recursos con perforación IN FILL 2020

Veta	Area	t	Ag(g/t)	Au(g/t)	Pb(%)	Zn(%)	Cu(%)	Vpto(US\$)	Pot(m)
Animas NE	1	268,000	89	0.10	3.45	4.44	0.16	196	5.10
Animas NE	2	177,000	77	0.09	3.51	5.45	0.23	212	2.86
Animas NE	3	88,000	23	0.11	1.06	2.90	0.05	89	2.62
Animas NE	4	49,000	49	0.13	1.13	4.74	0.06	139	3.88
Total		582,000	72	0.10	2.91	4.54	0.16	180	3.94

Extraído de Área de exploraciones (MIBSAC, 2020)

- **Plan de producción 2020**

En cuanto al plan de producción para el año 2020 se programa la ejecución de la explotación de los siguientes tajos:

Tabla 11 — Programa de plan de producción año 2020

Veta	Nivel	Labor	Toneladas
Animas NE	9	TJ436E	45,017
	12	TJ553E	51,647
		TJ554E	15,422
		TJ556E	60,340
	13	TJ627E	1,470
	14	TJ750E	4,035
		TJ753E	58,424
		TJ754E	13,913
	15	TJ827E	7,098
		TJ830E	60,508
Animas	13	TJ612E	49,863
		TJ626E	32,284
		TJ627E	1,435
		TJ660E	11,606
Cimoide ASNE	12	TJ110E	16,637
		TJ111E	34,935
Nancy	10	TJ240E	15,695
		TJ260E	2,945
	12	TJ340E	13,120
		TJ360E	5,249
		TJ460E	15,414
Ramal Techo ASNE	12	TJ203E	13,516
		TJ204E	4,925
Total			535,500

Extraído de Plan de minado 2020 (MIBSAC, 2020)



Todos estos tajos harán una producción anual de 535500 toneladas, con leyes de 64 g Ag/t; 0,17 g Au/t; 2,57 % de Pb y 3,94 % de Zn. Esto nos permitirá obtener las 918095 onzas de Ag programadas.

- **Plan de avance 2020**

El plan de avances que soporta el plan de producción para el año 2020 implica 3850 metros en desarrollo y 4471 metros en preparación haciendo un total de 8321 metros de avances.

Los metrajes por fases son los siguientes:

- Avance en labores de desarrollos : 3850 metros
- Avance en labores de preparación : 4471 metros

Dentro de los metrajes de desarrollos, están incluidas todas las Raise Boring que son para establecer los circuitos principales de ventilación en mina.

El detalle de los programas de avances se puede observar en la tabla 13.

Tabla 12 — Programa de plan anual de avances 2020

Fase	Veta	Q1			Q2			Q3			Q4			Total
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Preparación	As	395	274	145	119	240	217	165	210	245	281	316	295	2,902
	Nan	98	54	40	16	68	84	138	94	100	54	75	69	891
	GAL	30	222	250	172	5								678
Total Preparación		523	550	435	307	313	301	303	304	345	336	391	364	4,471
Desarrollo	As	132	195	305	365	276	329	305	249	185	213	166	204	2,925
	Nan				26			31	91	87	25			260
	RB						106	97	161		105	101	96	665
Total Desarrollo		132	195	305	390	276	435	432	502	272	342	268	300	3,850
Total		655	745	740	697	590	736	736	806	617	678	659	664	8,321

Extraído de Plan de minado 2020 (MIBSAC, 2020)

3.4.12 Diseño del método de explotación

(MIBSAC, 2020), los métodos de explotación se definen como una forma geométrica usada para explotar un yacimiento, dividiendo un cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo. Tomando esta definición podemos decir que la

explotación de Minera Bateas se define como un conjunto de operaciones que permiten el arranque, carguío y extracción de mineral de manera planificada.

3.4.12.1 Método de Minado

(MIBSAC, 2020), para seleccionar el método de minado, es importante definir claramente las condiciones naturales del yacimiento, es decir factores de selección:

- Profundidad, forma y tamaño del yacimiento.
- La geología del yacimiento.
- Calidad geomecánica de la roca mineralizada y roca caja.
- Las reservas y distribución de leyes.
- Las condiciones hidrogeológicas del mismo.

Reconocidas las condiciones naturales del yacimiento se toma en cuenta también los criterios de selección:

- Rendimiento y productividad
- Seguridad al personal, equipos e infraestructura.
- Recuperación (Reservas extraídas y Reservas in situ).
- Selectividad.
- Dilución.
- Simplicidad.
- Costos (Inversión, Operación).

Para poder identificar las condiciones a las que se presenta el yacimiento es decir las condiciones naturales, se tienen información certera por los trabajos ejecutados por parte de los diferentes departamentos como el de geología y geomecánica de la unidad minera, ya que se tiene disponible la información geomorfológica como es la forma, potencia, rumbo, buzamiento, reservas, distribución de leyes, geomecánicas como calidad de la masa rocosa, resistencia de la roca, y detalles de la presencia de agua subterránea.

a) Método de corte y Relleno Ascendente

Minera Bateas viene utilizando el método de corte y relleno (Cut and Fill) semi mecanizado y mecanizado en forma ascendente empleándose la roca de desmonte como material de relleno y también el relleno hidráulico.



Es un método ascendente en que el mineral es arrancado por franjas horizontales y/o verticales empezando por la parte inferior de un tajo y avanzando verticalmente, comenzando del fondo del tajo y avanzando hacia arriba.

Cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril y/o relleno hidráulico, que sirve de piso de trabajo a los obreros proporcionando una plataforma mientras la próxima rebanada sea minada y al mismo tiempo permite sostener el área explotada.

Para el corte y relleno ascendente semi mecanizado (vetas con potencias entre 0,8 a 2 metros), se realiza cortes con perforación semivertical (realce) con una altura aproximada de 1,8 metros, manteniendo una abertura para la perforación de 2,7 metros.

Para el corte y relleno ascendente mecanizado (vetas con potencias mayores de 2 metros), la actividad a realizar es mediante cortes donde la perforación es de forma horizontal (breasting) la altura de banqueo es máxima de 4,5 metros, el ancho de minado es según la estructura mineralizada.

La explotación de Corte y Relleno Ascendente que utiliza Minera Bateas es debido a que éste presenta las siguientes características:

- Presenta una potencia de veta variada desde los 0,8 metros hasta los 7 metros de ancho de veta.
- Presenta mineral de buena ley.
- El yacimiento tiene límites regulares.
- La roca caja en la mayoría de los tajos a explotar es de tipo regular lo que ayuda a que la explotación del mineral sea más segura.

Los tajos explotados mediante tajadas son rellenadas y ajustadas a distancias de 50 metros que son las distancias de nivel a nivel, en cuanto al mineral pobre evaluado por el área de geología es dejado como material de relleno.



b) Método de corte y relleno ascendente convencional

Este método consiste en extraer el mineral o desmonte mediante cortes verticales en la estructura mineralizada y con un ancho mínimo del minado entre 0,8 y 3,5 metros. Estos cortes son perforados en forma vertical o inclinadas de acuerdo a una malla de perforación preestablecida y detonada, para luego limpiar el material roto, hacia el echadero. Una gran parte del material roto se deja como piso hasta una altura que posibilite perforar nuevamente (y se extrae hacia el echadero el excedente formado por el incremento en el volumen de la masa rocosa después del disparo (esponjamiento), Cabe indicar que la altura máxima a considerar en la explotación es de 3,9 metros (en el último corte se considerara la instalación de puntales en línea, la cual será nuestro techo hasta culminar la limpieza). Luego, se hará la limpieza total para su relleno. De esta manera se completa el ciclo de minado, el cual se repetirá hasta llegar al nivel superior del block; siendo el ciclo de minado el siguiente: Perforación, Voladura, Limpieza. Cabe indicar cada tres metros de corte se dejará pilares en los hastiales la cual será de dimensiones 2,5 por 2,5 metros y según recomendación geomecánica para su mejor performance en la estabilidad del block a minar.

Este método será aplicado a partir de las chimeneas sobre la cual se correrán subniveles paralelos a las galerías, a 3 metros de distancia vertical del techo y a ambos lados de las chimeneas. Se utilizarán maderas con frecuencia en la preparación de tolvas, caminos y en el armado de barreras para contener el relleno hasta terminar la explotación de los blocks.

c) Desarrollo y Preparación

(MIBSAC, 2020) en cuanto a las labores de desarrollo se debe ejecutar las siguientes labores:

- Una galería de transporte a lo largo del yacimiento en un nivel principal.
- Ejecución de chimeneas y caminos estas son construidos a una distancia requerida según al diseño de explotación.



- La ejecución de chimeneas de ventilación y transporte de relleno y servicios auxiliares serán construidos de nivel inferior a superior (verticalmente).

En cuanto a las labores de preparación se realiza se tomará en cuenta:

- Una ejecución correcta, según la información y diseño proporcionada por el área de planeamiento ya que estos trabajos son la base para poder realizar las siguientes etapas de explotación de los tajos.
- Se tiene que tener un buen diseño de los para su explotación, para poder extraer y recuperar todo el mineral, garantizando primordialmente la seguridad del personal que está expuesto en la explotación.
- Los costos a diferencia de las otras fases son considerables en relación a los costos totales.

Para poder realizar la explotación de un tajo según el diseño de planeamiento esta tiene que ejecutarse primero una galería base en los tajos en la zona de Animas. Estas galerías son el inicio de explotación a la amplitud de la veta, y cuenta con un By Pass principal de extracción desarrollado en desmonte.

La construcción de un ore pass o echaderos de mineral es simple en vetas angostas como es el caso de algunos tajos de la veta Ánimas se extrae tonelaje bajo, sin embargo, es mucho más compleja en vetas de mayor potencia y a mayor tonelaje de producción.

La construcción de los ore pass se desarrolla en desmonte en forma de chimeneas verticales de sección de 2,4 metros por 1,50 metros de abertura.

En el método de explotación corte y relleno convencional se desarrollará la galería principal para la extracción de mineral o desmonte según recomendación.

d) Minado

El mineral es arrancado en forma de tajadas horizontales y/o verticales. El ciclo de minado consiste en: Perforación, voladura, ventilación, desatado de rocas, sostenimiento del tajo, limpieza y relleno.



La secuencia de minado se puede visualizar en la figura 16, figura 17.

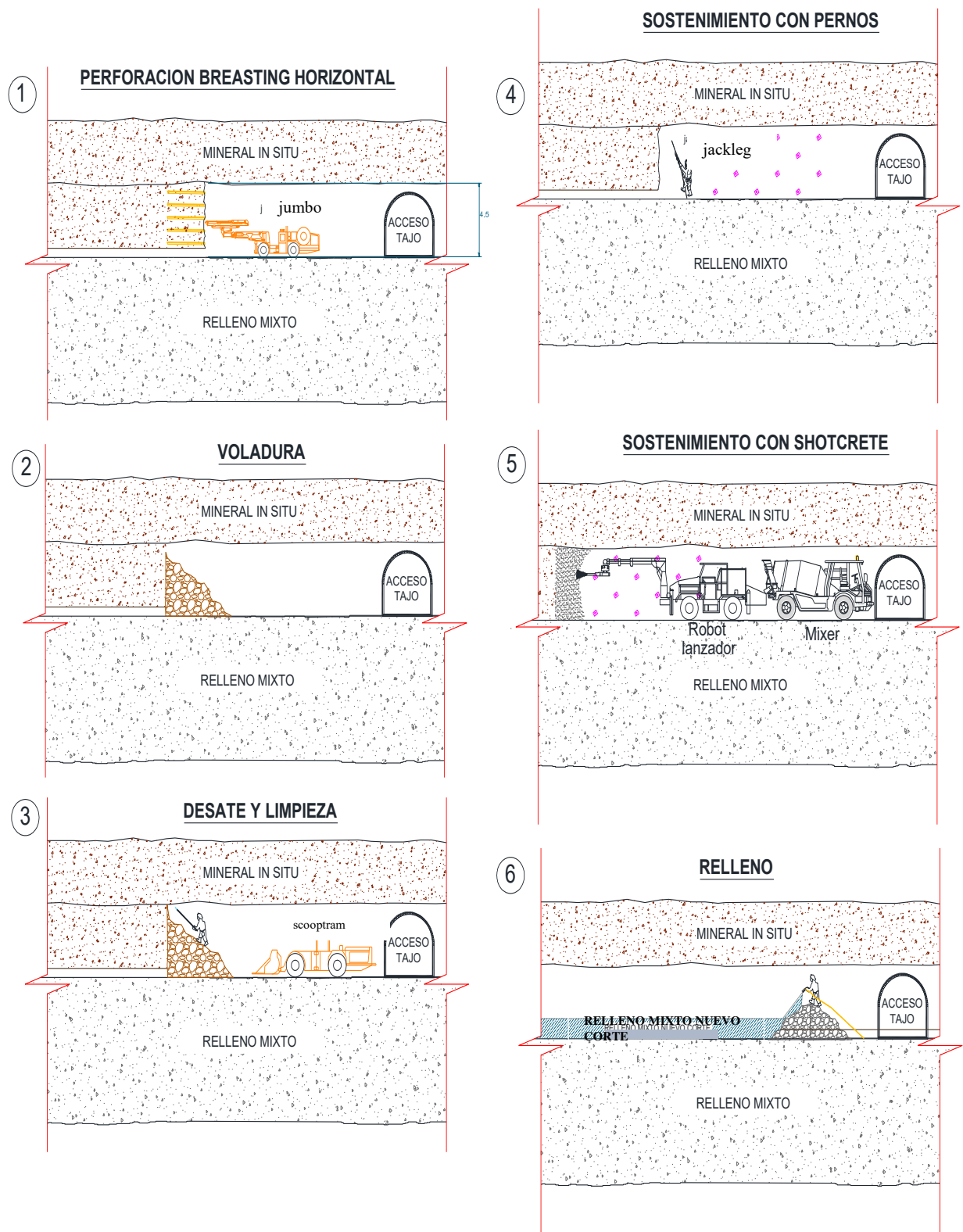


Figura 17 — Ciclo de minado mecanizado explotación en breasting horizontal

Extraído de Plan de minado 2020 (MIBSAC, 2020)



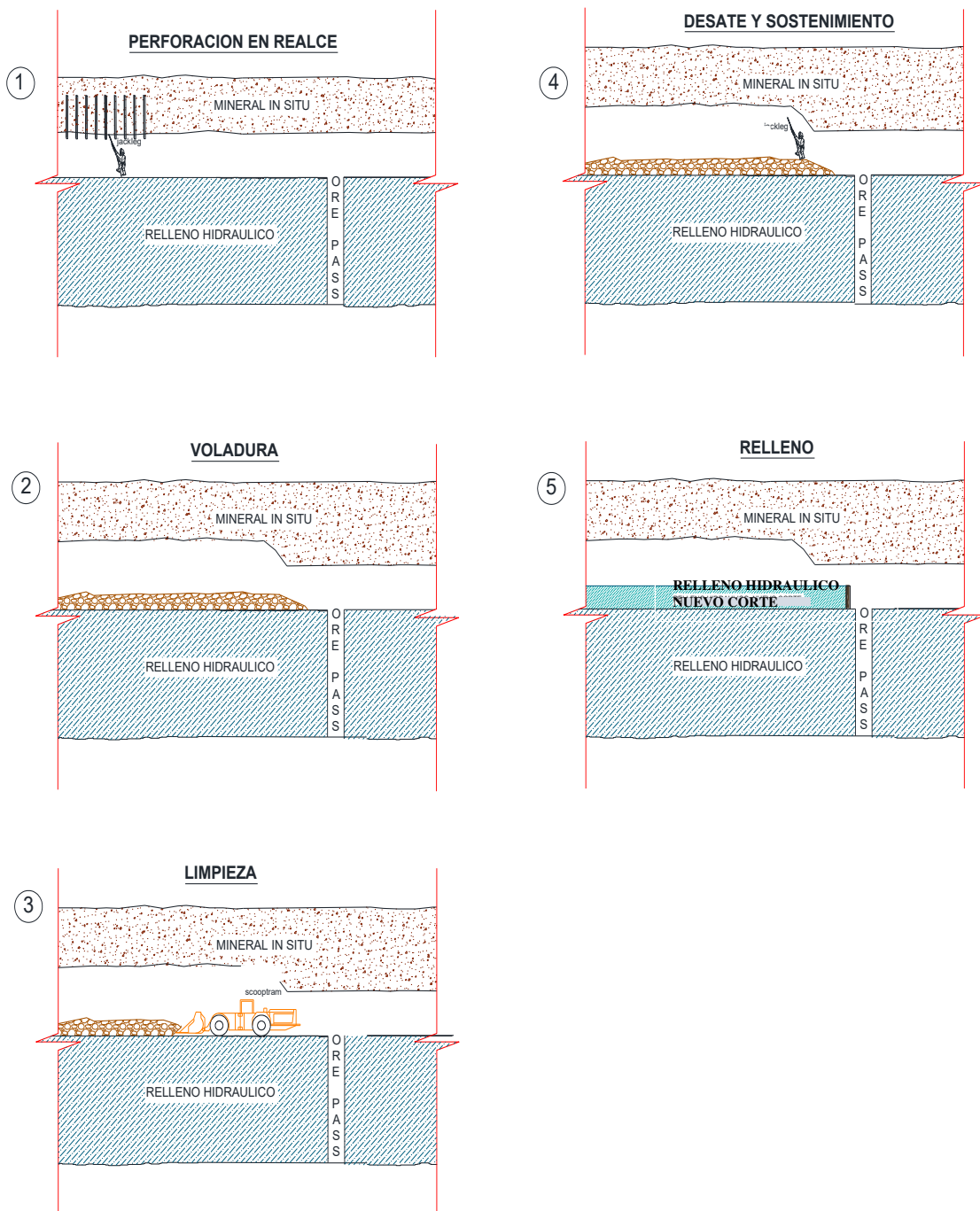


Figura 18 — Ciclo de minado en realce semi mecanizado

Extraído de Plan de minado 2020 (MIBSAC, 2020)

e) Relleno

Una vez que los tajos son explotados y se culmina con la limpieza del mineral el área queda expuesta o vacía entonces prosigue realizar el relleno del área excavada el material de relleno a utilizar es:

- Material o desmonte que se obtiene de las excavaciones de las labores de desarrollo, el tajo es relleno con este material en un 36 %.



- Material de relave o relleno hidráulico, esta es trasladada desde la planta de relleno hidráulico mediante tuberías que ingresan por chimeneas de servicios el relave a rellenar en el tajo es de un 64 %.

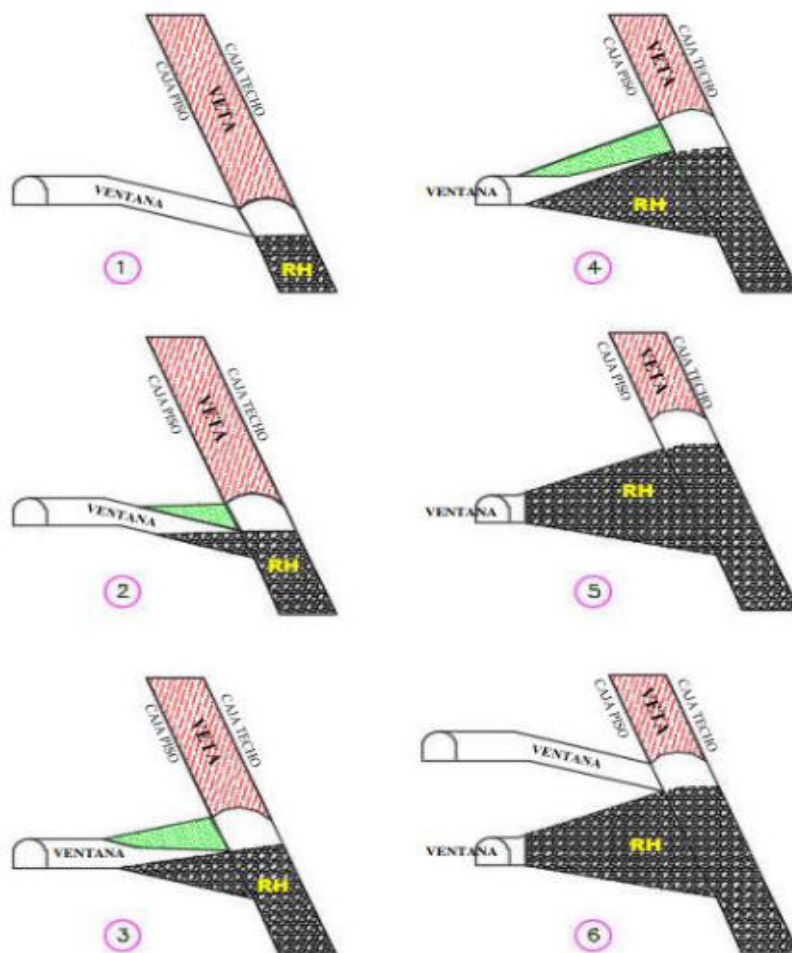


Figura 19 — Secuencia de explotación mediante C&F ascendente con relleno hidráulico Bateas

Extraído de Plan de minado 2020 (MIBSAC, 2020)

f) Producción de los Tajos

En minera Bateas, el diseño de los tajos está según las características de la veta, que permitan una total recuperación del mineral, la producción de los tajos como unidad individual, contribuye a la producción total de la mina. Las distintas leyes que presentan los diferentes tajos, ya sea mineral de baja ley, mineral común y mineral especial, estos son mezclados (Blending), para cumplir lo solicitado por la planta de tratamiento metalúrgico (5,47 Oz Ag/ t).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

Según (HERNÁNDEZ, y otros, 2019) el propósito que se tiene corresponde al tipo de investigación aplicativo, ya que se aplicó a una determinada realidad y se vió sus implicancias, la investigación aplicada consiste en el empleo practico de los conocimientos y teorías fundamentadas para obtener resultados que se pueden aplicar en otras investigaciones.

Como explica el comportamiento de una variable en función de otra; y el estudio es de causa-efecto, los cuales requieren control y deben cumplir otros criterios de causalidad, por lo tanto, corresponde al nivel explicativo.

4.2 Diseño de la investigación

Según (HERNÁNDEZ, y otros, 2019) el diseño es de tipo no experimental ya que no se ha variado en forma intencional ninguna variable para ver su efecto, es decir que solo se tomó datos del monitoreo de vibraciones producto de las voladuras con el fin de analizar el grado de daño que causa en el macizo rocoso.

4.3 Población y muestra

El presente trabajo de investigación es intencional no aleatorio, por lo que no se considera una población tampoco se calcula el número de muestras. Es estudio está circunscrito en el tajo 753E, el cual fue escogida de forma intencional por poseer peculiaridades como estar a distancias cercanas de labores permanentes con infraestructuras y ser una labor que tiene programado mayor cantidad de producción en el año.

4.4 Procedimiento

Para determinar los niveles de daños ocasionados por las vibraciones producto de las voladuras al macizo rocoso primero se realizaron los estudio de la caracterización geomecánica del área de estudio, para esta información el área de geomecanica nos facilitó la información necesaria para determinar los valores del RMR, se pudo obtener el valor del GSI, luego se calcularon las propiedades elásticas de las rocas y la velocidad de la onda P,



- Capacitación a los trabajadores líderes de la labor sobre los registros de monitoreo de vibraciones que se ejecutaran en su labor en este caso el Tj 753E nv 14, se les indicara a los trabajadores el beneficio de estos ensayos.
- Inspección del tajo 753E antes de colocar el equipo.
- Realizar el marcado de malla de perforación según el estándar establecido.
- Después de culminar con la perforación, se tomará datos de la cantidad de explosivos utilizados en el carguío de los taladros.

Una vez obtenida los resultados de la voladura se realizó lo siguiente:

- Evaluación de los resultados del tajo explotado, así como también el daño causado en el macizo rocoso.
 - Se recogió el equipo sismógrafo, en gabinete se exportó los registros de las vibraciones producidas por la voladura anteriormente realizada en el Tj 753E.
- b) **El instrumento:** se empleó la ficha técnica para la recopilación de datos de campo, así mismo las principales herramientas que se utilizaron fueron: Tesis, internet, estudios anteriores relacionados a la zona de estudio.

Para la medición de las vibraciones inducidas por la voladura utilizó el siguiente equipo:

- **Equipo sismógrafo**

Es un equipo que es especializado para poder realizar monitoreo que transmitirán datos sísmicos producto de una voladura, está compuesto por un geófono y un micrófono de onda aérea. Uno de los sismógrafos es el equipo Instantel que vienen de Series III y Series IV estos equipos están diseñados para determinar la velocidad pico partícula del movimiento sísmico y su dispersión producidos por voladuras a diferentes distancias; tanto a campo cercano y campo lejano. El equipo Instantel cuenta con diferentes modelos de sismógrafos para aplicaciones diversas y según la necesidad del usuario final. El monitor mide vibraciones transversales, verticales, y longitudinales.



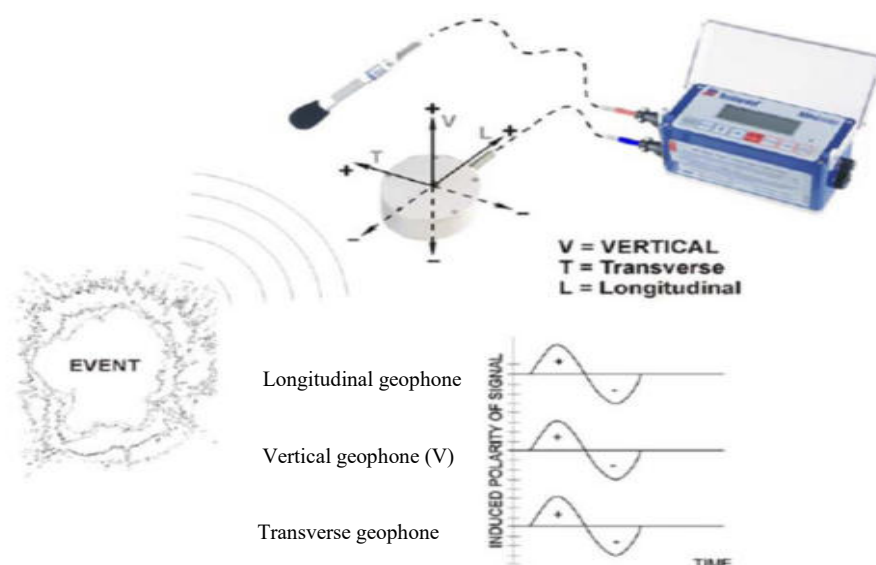


Figura 21 — Mediciones del equipo Instantel

Extraído de Manual de monitoreo de vibraciones generadas por tronaduras, análisis y modelamiento (CINTEX, 2005)

Estos equipos especializados tienen los siguientes componentes:

- **Transductores (Geófonos)**

Hoy en día en el mercado hay una gran variedad de estos equipos, el geófono o transductor es un componente del sismógrafo el cual se utiliza para medir las velocidades de las partículas, el transductor realiza una conversión del movimiento físico que genera la vibración y lo convierte en una señal de voltaje.



Figura 22 — Componentes de un sismógrafo - transductor

Extraído de Manual de monitoreo de vibraciones generadas por tronaduras, análisis y modelamiento (CINTEX, 2005)

- **Micrófono**

La finalidad es poder captar la onda sonora o aérea, que se da producto de la voladura, sus unidades de medición son en decibeles.



Figura 23 — Micrófono, equipo de monitoreo instantel

Extraído de Manual de monitoreo de vibraciones generadas por tronaduras, análisis y modelamiento (CINTEX, 2005)



Figura 24 — Equipo sismógrafo instantel

Extraído de Manual de monitoreo de vibraciones generadas por tronaduras, análisis y modelamiento (CINTEX, 2005)

- **Computador**

Una vez realizada el monitoreo con el equipo instantel se descargó toda la información que almacena dicho sismógrafo y fue transferida a una computadora, para esto se instaló los softwares convenientes.

4.6 Análisis estadístico

Una vez obtenida toda la información de campo se realizaron los análisis e interpretación de los resultados, para lo cual el estadístico del trabajo es el siguiente:

- El equipo sismógrafo “Instantel Minemate” que tiene su programa informático “Blastware” que analizó las vibraciones.
- Se utilizó el Microsoft Excel para el procesamiento de los datos.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Módulo de elasticidad del macizo rocoso

Para realizar la interpretación de un monitoreo de la deformación de excavaciones subterráneas el factor importante a considerar es el módulo de elasticidad de la masa rocosa, como también para determinar la deformación inducidas por voladuras, el cálculo de la velocidad crítica de partículas en las vibraciones del macizo rocoso.

Para poder calcular la deformación inducida por voladura y la velocidad crítica de partícula se ha considerado las evaluaciones y criterios geomecánicas que presentan Hoek y Diederichs (2006), quienes presentaron una relación que muestra los módulos del macizo rocoso y la matriz de la roca intacta con un factor de daño y el GSI (índice de resistencia geológica).

5.1.1.1 Evaluación Geomecánico zona de estudio

El proceso de clasificación geomecánica de la masa rocosa para propósitos de este estudio implica “analizar e interpretar” la información desarrollada en las etapas previas “investigaciones de campo e información geológica” usando el sistema de “clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, Modificado por Romana, 2000”. Los valores de resistencia a la compresión uniaxial de la roca fueron estimados usando “el martillo de rebote y la picota de geólogo”, los valores del índice de calidad de roca “RQD” fueron determinados mediante el registro volumétrico de diaclasas utilizando la relación propuesta por “Palmstrom”. Asimismo, para la caracterización del macizo se ha determinado realizar bajo dominios lito - estructurales conceptuados en el “Modelo geológico” de los diferentes niveles de explotación en la veta Animas esto incluye al tajo de estudio Tj 753E”.



Según información obtenida de las investigaciones geológicas - geomecánicas en el área de interés (Veta y Cajas /paredes de tajeos), la calidad de masa rocosa ha sido determinada usando el sistema de “clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, modificada por Romana 2000, definiendo los dominios geomecánicos en rangos de calidad según el criterio mostrado en la Tabla 13.

Tabla 13 — Clasificación RMR 89

TIPO DE ROCA	RANGO “RMR”	CLASIFICACIÓN “RMR”
I	81-100	Muy buena
II-A	71-80	Buena
II-B	61-70	Buena
III-A	51-60	Regular
III-B	41-50	Regular
IV-A	31-40	Mala
IV-B	21-30	Mala
V	0-20	Muy mala

Extraído de Área de geomecánica - clasificación de Bieniawski RMR 89 (MIBSAC, 2020)

Los resultados del proceso de clasificación geomecánica en este estudio se expresan en términos del RMR y se realizan sectorizándolos en la caja piso, estructura mineralizada y caja techo en referencia a la ubicación de la veta con la finalidad de conceptualizar un modelo geomecánico acorde con el modelo geológico. Los dominios geomecánicos están asociados a la matriz de la mineralización de la veta, constituido por “óxidos, silicatos y carbonatos”; donde las cajas “piso y techo” de la estructura mineralizada litológicamente están compuestas por andesitas y tobas andesíticas.

En los siguientes párrafos se presenta el resumen de características litológicas, estructurales y geomecánica que definen a cada dominio conceptualizado en las zonas de interés:



- **Dominio en Matriz de Sílice (Cuarzo - Rodonita)**

El dominio del macizo rocoso con matriz de Sílice (Cuarzo – Rodonita), actualmente se encuentra básicamente en el nivel 13 y 14, en los TJ 730E, TJ 626E, TJ 627E, TJ 753E, la calidad del macizo rocoso, están referidas a las estructuras mayores que son las fallas longitudinales paralelas al rumbo de la veta, como el control estructural de mayor persistencia que delimitan el contacto de las rocas de caja “techo y piso” con la estructura mineralizada. La matriz de la estructura mineralizada está compuesta por Rodonita y cuarzo, determinando el tipo de roca regular IIIA y IIIB con un RMR entre 41 a 60.

Estructuralmente se tipifica como un material moderadamente fracturado (RQD: 50 % - 75 %, 6 a 10 fracturas por metro lineal) presentan una resistencia a compresión simple variable entre “51-100 MPa”. Las características geomecánicas de las discontinuidades presentan espaciamientos variables entre “0,6 - 0,2 y 0,2 - 0,06 metros”; las persistencias varían entre los rangos “10 - 20, 3 - 10 y 1 - 3 metros”; las aperturas entre paredes opuestas de las discontinuidades varían entre “2 - 5 mm”

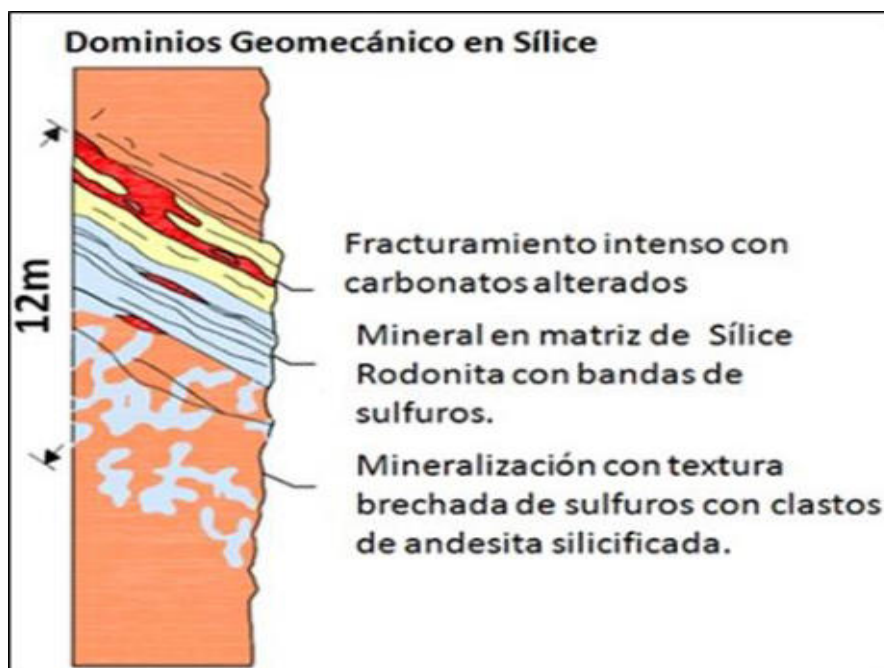



Figura 25 — Esquema idealizado del comportamiento lito-estructural de la veta con dominio de sílice

Extraído de Área de Geología (MIBSAC, 2020)

En la tabla 14, presentamos la valoración del RMR del macizo rocoso del tajo de estudio.

Tabla 14 — Cálculo de la valoración del macizo rocoso RMR Bienawski 89

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (RMR) NV 14 - TJ 753E									
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACION		
RCU (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	x	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	< 25 (2), < 5 (1), < 1 (0)	1	7	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	x	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	< 25 (3)	2	13	
ESPACIAMIENTO	> 2m (20)	0.6 - 2m (15)	x	0.6 - 0.2 (10)	0.2 - 0.06m (8)	< 0.06m (5)	3	10	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m (6)	1 - 3m (4)	x	3 - 10m (2)	10 - 20m (1)	> 20m (0)	4A	2
	APERTURA	Cerrada (6)	< 0.1mm (5)	x	0.1 - 1.0mm (4)	1 - 5mm (1)	> 5mm (0)	4B	1
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	x	Ligera (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpio (6)	x	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	4
	INTERPERISMO	Sana (6)	x	Ligero (5)	Moderado (3)	Muy intemp (2)	Descompuesto (0)	4E	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	x	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
RMR BASICO =								55	
AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS ESTRUCTURAS								-5	
RMR AJUSTADO =								50	
CORRECCION POR ORIENTACION DE LAS ESTRUCTURAS									
MUY FAVORABLE	FAVORABLE	MEDIA			DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE			
0	-2	-5			-10	-12			
DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL				DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0° - 20° CUALQUIER DIRECCION			
EXCAVACION CON BUZAMIENTO		EXCAVACION CONTRA BUZAMIENTO		DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL					
BUZ 45° - 90°	BUZ 20° - 45°	BUZ 45° - 90°	BUZ 20° - 45°	BUZ 45° - 90°	BUZ 20° - 45°				
MUY FAVORABLE	FAVORABLE	MEDIA	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE	MEDIA	DESFAVORABLE			
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	61 - 80	51 - 60	41 - 50	31 - 40	21 - 30	< 20			
DESCRIPCION	II - BUENA	III - A / REGULAR - A	III - B / REGULAR - B	IV - A / MALA - A	IV - B / MALA - B	V / MUY MALA			

Extraído de Área de Geomecánica (MIBSAC, 2020)

De la Tabla 14, lo que se puede concluir es que según las evaluaciones geomecánicas la calidad del macizo rocoso para el Tj 753 por la ventana 532E que es el lugar de estudio se tiene un RMR de 50 (ver anexo 02 plano geomecánico, facilitado por el área de planeamiento y geomecánica).

5.1.1.2 Constantes elásticas dinámicas de la roca

Se pudieron calcular las constantes elásticas obteniendo primero la velocidad de propagación o velocidad de onda P y el módulo de elasticidad o módulo de Young que lo calcularemos con las fórmulas propuestas de Hoek y Diederichs (2006), estos cálculos en la



investigación se utilizaran para obtener la velocidad pico de partícula crítica de la roca o VPP crítico.

- **Cálculo del módulo de young o módulo de roca intacta según la fórmula de Hoek – Diederichs**

Según Hoek - Diederich 2006 las formulas propuestas tienen una relación con los valores del GSI (índice de resistencia geológica) y el valor D (factor de perturbación), para esto primero hallaremos el módulo de deformación se utiliza la siguiente fórmula y, por ende, obtener los valores de GSI y factor D.

FÓRMULA N° 15:

$$E_{rm} (MPa) = 100000 \frac{1 - D/2}{1 + e^{(75+25D-GSI)/11}}$$

Donde:

Erm: Modulo de deformación del macizo rocoso

D: Factor de perturbación

GSI: Índice de resistencia geológica

La figura 25 nos permite observar unas estimaciones empíricas del módulo de deformación de la masa rocosa (Erm) que se relaciona con el GSI y factor de perturbación D solamente.

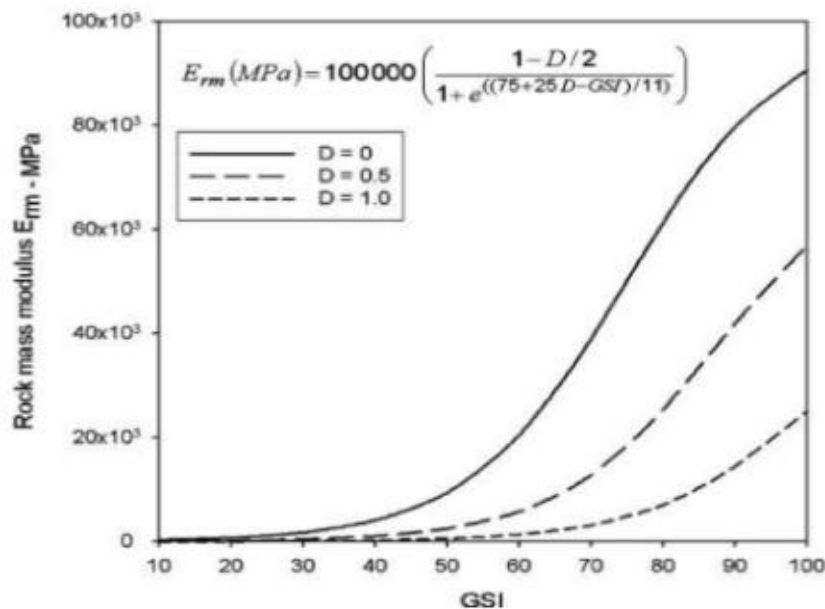


Figura 26 — Ecuación de Hoek y Diederichs para determinar el módulo de deformación de masa rocosa (Em)

Extraído de Estimación empírica de la masa rocosa (HOEK, y otros, 2006)

Entonces para realizar el cálculo de la deformación de la masa de roca (E_{rm}), se tendrá que calcular:

- el valor de GSI, la cual esta correlacionada al RMR de Bieniawski 89 por la expresión:

FÓRMULA N° 16:

$$GSI = RMR89 - 5$$

$$GSI = 89 - 5$$

$$GSI = 84$$

- el valor de D que viene a ser el factor de perturbación va a depender primordialmente del grado de alteración que ha sufrido el macizo rocoso. Estas alteraciones se producen por las relajaciones de los esfuerzos, ya sea por consecuencia de las excavaciones productos de la voladura, mecánicas, etc. Este factor fue presentado por Hoek y Brown (2002), presentan una guía para poder estimar el factor de alteración D, donde se presentan valores a partir de 0 para cuando la roca no sufre o no tiene ninguna alteración en condiciones in situ, y finalmente hasta un valor de 1 para la roca demasiado alterada.

En el anexo 04 se muestra la guía del factor de alteración D de (HOEK, y otros, 2002), para las distintas situaciones del macizo.

Para nuestro estudio el factor D tendrá un valor de **0.5** ya que este se considera de daño moderado para una excavación mecánica o manual que tiene alteraciones en el macizo rocoso (ver anexo 04).

Ahora reemplazando los datos obtenidos en la fórmula n° 15 se obtiene:

$$E_{rm} (MPa) = 100000 \left(\frac{1 - \frac{0.5}{2}}{1 + e^{\left(\frac{75 + 25 \times 0.5 - 45}{11} \right)}} \right)$$

$$E_{rm} (MPa) = 1542 MPa$$

La figura 26 representa el módulo de deformación de la masa rocosa E_{rm} calculada a partir de los valores D y GSI en relación al módulo de la deformación de la roca intacta E_i .



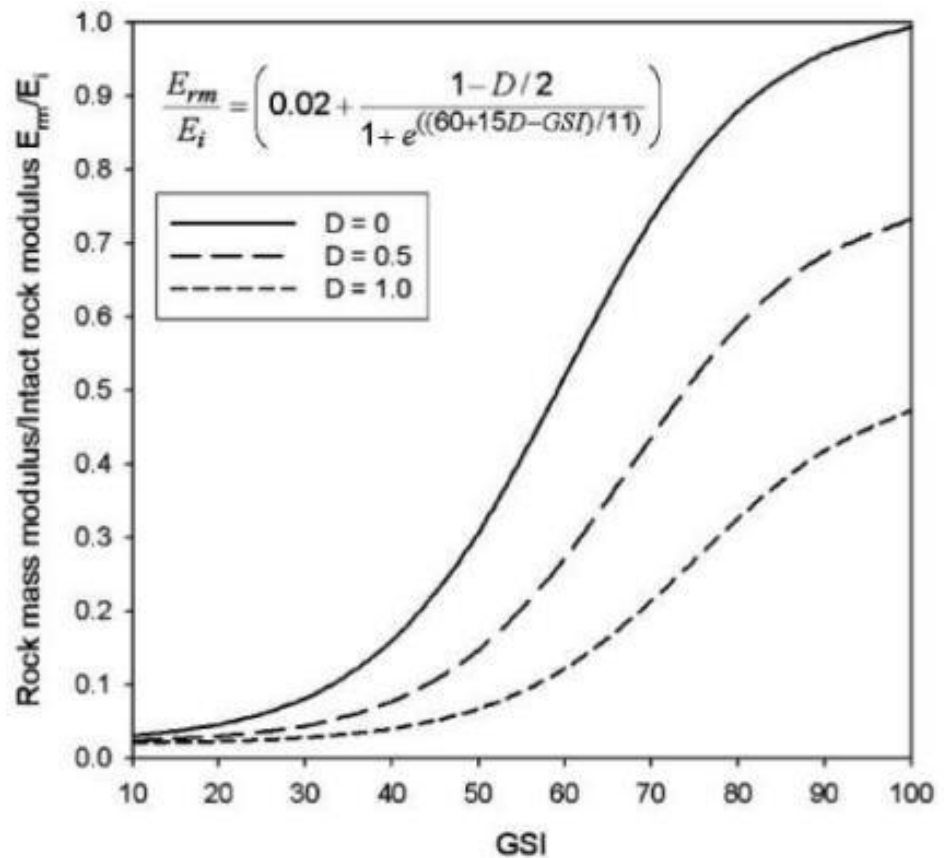


Figura 27 — Ecuación de Hoek y Diederichs para determinar la relación de E_{rm} y E_i

Extraído de estimación empírica de la masa rocosa (HOEK, y otros, 2006)

FÓRMULA N° 17:

$$\frac{E_{rm}(MPa)}{E_i} = 0,02 \left(\frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left(\frac{60+15D-GSI}{11}\right)}} \right)$$

$$\frac{E_{rm}(MPa)}{E_i} = 0,02 \left(\frac{1 - \frac{0,5}{2}}{1 + e^{\left(\frac{60+15(0,5)-45}{11}\right)}} \right)$$

$$\frac{E_{rm}}{E_i} = 0,11$$

Como en los cálculos anteriores se pudo hallar el módulo de deformación de la masa rocosa (E_{rm}) y el resultado de la relación de $\left(\frac{E_{rm}}{E_i}\right)$, entonces ahora se calcula el módulo de roca intacta que viene a ser el módulo de young (E_i) esto se utilizó para poder calcular más adelante la velocidad pico de partícula crítica.



FÓRMULA N° 18:

$$Ei = \left(\frac{E_{rm}}{0,11}\right)/1000$$

$$Ei = 14,6 \text{ GPa}$$

Tabla 15 — Parámetros para determinar el módulo de elasticidad según Hoek y Diederichs

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Clasificación geomecánica de Bieniawski	RMR89	50	
Índice de resistencia geológica	GSI	45	
Factor de perturbación (Ver anexo 13)	D	0,5	
Resistencia roca intacta	Si	100	MPa
Módulo del macizo	Em	1542	MPa
Relación de módulo	Em/Ei	0,11	
Módulo de la roca intacta	Ei	14,6	GPa

De la Tabla 15, se describe los parámetros a utilizar para calcular el módulo de la roca intacta o módulo de Young obteniendo un valor de 14,6 GPa.

5.1.2 Cálculo de la velocidad crítica de la roca

Las vibraciones producidas por una voladura generan daños al macizo rocoso, donde dan como consecuencia la creación de nuevas fracturas o extendiendo fracturas ya existentes según el nivel o grado de vibración.

Para calcular la velocidad pico de partícula crítica se utilizó la fórmula propuesta por Hooke y Forsyth, la cual tiene una relación con la velocidad de propagación, la resistencia a la tracción de la roca y el módulo de Young.

FÓRMULA N° 19:

$$VPP_{critico} = \sigma_t \times \frac{Vp}{Ei}$$

5.1.2.1 Cálculo del índice Q de Barton mediante correlación con el RMR

Para poder hallar la velocidad de propagación se necesitó inicialmente calcular el índice de calidad de la masa rocosa (Q), para esto se utilizó la fórmula del cálculo del RMR de Bieniawski 1973 que guarda una



correlación con el Q de Barton (1974), por medio de esta relación del RMR (anteriormente calculada para el área de estudio) y Q se obtuvo de la siguiente información:

FÓRMULA N° 20:

$$RMR = 9LnQ + 44$$

Se calculó el índice de calidad de la roca (Q) para poder utilizarlo en la fórmula del cálculo de la velocidad de propagación:

FÓRMULA N° 21:

$$Q = \exp\left(\frac{RMR-44}{9}\right)$$

$$Q = \exp\left(\frac{50 - 44}{9}\right)$$

$$Q = 1,95$$

5.1.2.2 Velocidad de propagación de onda P (Vp)

Se procedió a calcular la velocidad de propagación de onda P con la siguiente fórmula:

FÓRMULA N° 22:

$$VP = 3500 + 1000Log(Q)$$

Por lo tanto, la velocidad de propagación de onda P (Vp) reemplazando por la fórmula n° 22 se obtiene:

$$VP = 3500 + 1000Log(1.95)$$

$$VP = 3790.03 \text{ m/s}$$

Ahora procederemos a determinar el valor máximo de la velocidad pico de partícula crítica según la ley de Hooke y Forsyth, reemplazando por los datos obtenidos anteriormente:

$$VPPcritico = \sigma t \times \frac{Vp}{Ei}$$

$$VPPcritico = 6.11 \times \frac{3790.03}{14.56}$$

$$VPPcritico = 1590 \text{ mm/s}$$



Tabla 16 — Parámetros para el cálculo de la velocidad pico de partícula crítica VPPc

PARÁMETRO		VALOR	UNIDAD
Clasificación geomecánica de Bieniawski	RMR89	50	
Índice de calidad del túnel	Q	1.95	
Velocidad de propagación de onda P	Vp	3790,03	m/s
Resistencia roca intacta	Si	100	MPa
Resistencia a la tracción	σ_t	6,11	MPa
Módulo de Young	Ei	14,56	GPa
Velocidad pico de partícula crítico	VPPcrítico	1590	mm/s

De la Tabla 16, se describe los parámetros como el valor del RMR, Q de Barton, velocidad de onda P, resistencia roca intacta, resistencia a la tracción y el módulo de Young; para calcular la velocidad pico de partícula crítico obteniendo un valor de 1590 mm/s.

Una vez obtenida la velocidad de partícula crítico, se calculó el umbral del Valor Máximo de la velocidad de partícula para los distintos niveles de daño, para esto utilizaremos el cuadro de criterio de daño según Cameron Mckenzie.

Tabla 17 — Evaluación del daño calculando la Vpp crítico según Cameron Mckenzie

CRITERIO DE DAÑO	TIPOS DE DAÑO	Vpp crítico
Mayor a $4 \times VPP_{crítico}$	Intenso fracturamiento	6360
Mayor a $1 \times VPP_{crítico}$	Creación de nuevas fracturas	1590
Mayor a $1/4 \times VPP_{crítico}$	Leve propagación fracturas pre- existentes	397,5

De la Tabla 17, se observa la relación del criterio de daño con la velocidad pico de partícula crítico, donde se obtiene como resultado que a partir de 1590 mm/s habrá creación de nuevas fracturas.

5.1.3 Monitoreo de vibraciones

Para poder realizar un análisis del daño al macizo rocoso producto de la voladura en la zona de estudio, primero se calculó la velocidad pico de partícula (VPP) por el medio de la estimación de la ley de atenuación basada en el modelo de Devine (1962).

Para poder utilizar el modelo de Devine esta tiene una relación entre la velocidad pico de partícula obtenida de los registros de monitoreo y la distancia escalar



generado también con los datos de campo, finalmente se procede a trazar la línea de distribución de los registros mencionados sobre una gráfica de regresión exponencial; de la velocidad pico de partícula respecto de la distancia escalar (D_e), de la cual se obtuvo la ley de atenuación.

5.1.3.1 Descripción de trabajo en campo

En la zona de estudio que viene a ser el tajo 753E por la ventana 532E, se viene realizando trabajos de monitoreo de vibraciones para analizar daños colaterales producidos post voladura, como se mencionó anteriormente. Estos se realizaron a través de un sismógrafo. Este sismógrafo realizó una serie de monitoreos a las ondas elementales predominantes de una voladura, para conocer la Velocidad Pico Partícula (VPP) dado en mm/s de todos los taladros detonados en el tajo donde se analizó de tres maneras: 1) Los taladros detonados en la caja techo; 2) Los taladros detonados en la corona y 3) Los taladros de producción detonados, luego, se realizó la interpretación del daño inducido al macizo rocoso en estas áreas mencionadas.

Para la información adquirida por monitoreo de vibraciones se realizó 07 monitoreo entre las fechas del 06 – 11 - 2020 al 15 – 11 – 2020, dando un total de 07 monitoreo en el tj 753E por la ventana 532E. Por lo tanto, las actividades que se realizaron en la investigación se desarrollaron previa coordinación con los encargados de la labor del TJ 753E por la ventana 532E, registrando parámetros técnicos de voladura, trazos de perforación y carguío de explosivos en el frente. Asimismo, en esta labor se monitoreo las vibraciones que produce la voladura de las ondas longitudinales, transversales y verticales. Para evaluar las perturbaciones que se generan en el macizo rocoso durante las voladuras, se utilizó un sismógrafo Instantel, suministrado por la empresa Minera Bateas S.A.C.

- **Características de los explosivos utilizados**

Para los taladros perforados en los tajos de breasting según el estándar de compañía, el diámetro de taladro perforado es de 45 mm, los cuales están divididas en tres áreas; los taladros de producción, taladros de la caja techo y taladros de la corona. En cuanto al carguío de taladros, los explosivos que se utilizaron son dos; el emulnor que se utiliza como cebo y el anfo (ver detalle en la tabla 18). Según el estándar utilizado en Bateas para todos los taladros cargados se utilizaron tubos de PVC de 38mm y 30 mm para que se



aseguren la columna de carga y que el confinamiento del explosivo sea mejor (la presión a la que se carga el Anfo es a 80 psi). Como todo el frente del breasting está dividido en tres áreas, es importante poder tener controlado la corona para evitar que se realce y se genere dilución y tener algunas dificultades al momento del desatado de rocas y, de ese modo, el personal pueda sufrir algún accidente. Además, el realce también generará mayor área para sostener y como consecuencia generará mayor gasto. Para evitar estos efectos, es necesario que en la corona se utilice una menor cantidad de explosivos para generar menor daño al macizo, es decir el diámetro de carga de la corona es con tubos de 30 milímetros, lo cual nos ayuda a que la cantidad de explosivo por taladro en la corona sea menor que la cantidad de explosivos cargados por taladro en la caja techo y producción, ya que para estas dos últimas se utilizó como diámetro de carga con tubo de 38 milímetros. En consecuencia, se está asegurando un mejor control de voladura, ya que, si no se utilizaría los tubos de PVC y a diferentes diámetros se utilizará mayor cantidad de explosivos por taladro, lo que generarían un mayor realce, etc.

Tabla 18 — Detalle de explosivos y accesorios utilizados

Explosivo	Dimensiones	Densidad
E3000 (taladros en la corona)	1 1/8" x 8"	1,16
E5000 (taladros caja techo y produccion)	1 1/4" x 12"	1,16
Superfam Dos	147,72	0,9
Accesorios		
Carmex 7 pies		
Mecha rapida Z -18		
Pentadord 5p (amarre de fanel)		
Fanel Periodo corto N° 1 al 14		

En la tabla 18 se detalla los explosivos y accesorios que se utilizaron, para los taladros en la corona se utilizó emulnor de 3000 a diferencia de los taladros de la caja techo y producción donde se utilizó emulnor de 5000, lo que ayuda a una voladura controlada.



Tabla 19 — Detalle de cantidad de explosivo por taladro que se utiliza según estándar en la caja techo, corona y producción

Explosivo	ANFO con cebo E 5000	ANFO con cebo E 3000	ANFO con cebo E 5000	Unidades
	Caja techo	Corona	Produccion	
Dimensiones del cartucho	1 1/4" x 12"	1 1/8" x 8"	1 1/4" x 12"	
Diametro del taladro cargado con tubo PVC	38,00	33,00	38,00	mm
Long. Taladro perforado	3,00	3,00	3,00	
Long. Taco	1,00	0,50	0,30	m
Long. Carg.	2,00	2,50	2,70	m
Densidad carga	0,90	0,90	0,90	g/cm ³
Peso de explosivo (kg/tal)	2,22	1,70	2,93	kg
Carga Lineal	1,02	0,64	1,02	kg/m

En la tabla 19 se detalla la cantidad de taladro de explosivo utilizado en las tres zonas (caja techo, corona y producción), donde se utilizó como parte de la columna de carga tuberías PVC con diámetros de 38 mm y 33 mm.

Tabla 20 — Comparativo de cantidad de explosivo por taladro con y sin tubo PVC

Detalle explosivo	Zona	Peso de explosivo (kg/tal) con tubo PVC	Peso de explosivo (kg/tal) sin tubo PVC
ANFO con cebo E 5000	Caja techo	2,22	3,04
ANFO con cebo E 3000	Corona	1,70	3,69
ANFO con cebo E 5000	Producción	2,93	3,98

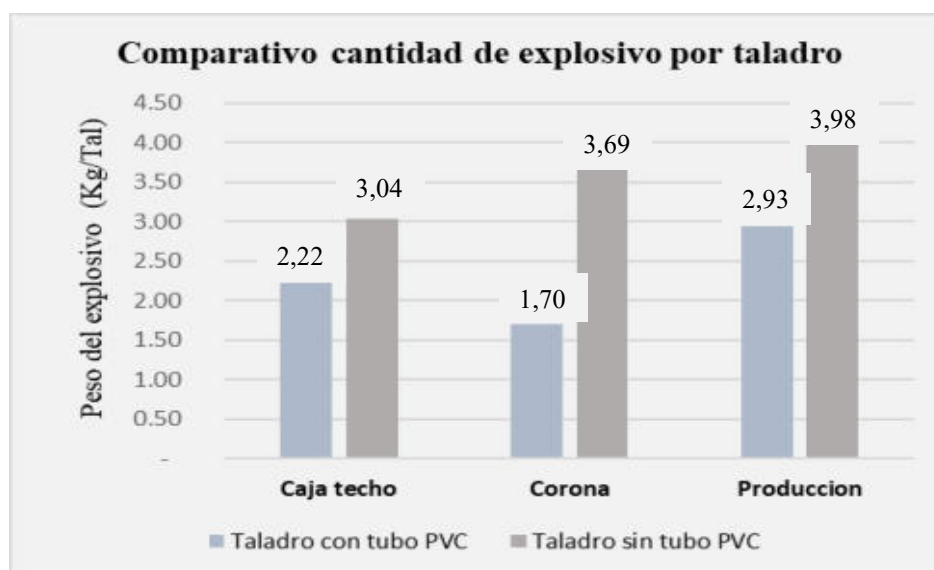


Figura 28 — Comparativo de cantidad de explosivo utilizado por taladro utilizando tubería PVC y cantidad de explosivo sin tubería



En la tabla 20 y figura 38 se observa un comparativo de la cantidad de explosivos utilizados por taladro cuando se utilizó tuberías con PVC, en la caja techo se redujo la cantidad de explosivos por taladro de 3,04 a 2,22 kilos de explosivo por taladro, en la corona se redujo de 3,69 a 1,70 kilos de explosivo por taladro, en los taladros de producción se redujo de 3,98 a 2,93 kilos de explosivo por taladro.

Tabla 21 — Monitoreo de vibraciones – datos de campo

DATOS DE CAMPO										
N°	Fecha de disparo	Turno	Labor	Ventana	Nivel	N° Tal. Cargados	Long. De Taladro (m)	Explosivo Utilizado (kg)	Ubicación de geofono (m)	Carga operante (kg)
1	06/11/2020	noche	TJ - 753E	532	14	65	2,9	126,00	16	2,93
2	07/11/2020	noche	TJ - 753E	532	14	80	2,95	246,02	30	2,93
3	08/11/2020	noche	TJ - 753E	532	14	88	2,98	236,80	35	2,93
4	09/11/2020	noche	TJ - 753E	532	14	66	3,00	227,13	38	2,93
5	10/11/2020	noche	TJ - 753E	532	14	50	2,80	152,50	40	2,93
6	11/11/2020	noche	TJ - 753E	532	14	58	2,94	194,90	43	2,93
7	15/11/2020	noche	TJ - 753E	532	14	46	2,92	162,30	37	2,93

En la tabla 21 se detalla los datos tomados en campo respecto a los 7 monitoreos realizados en tajo 753E, datos como; la cantidad de taladros detonados, la longitud de taladro, la cantidad de explosivos utilizados, la distancia del geófono al punto de detonación.

Tabla 22 — Monitoreo de vibraciones – datos de sismógrafo

DATOS DE SISMOGRAFO							
N°	Fecha de disparo	Turno	Labor	Radial o longitudinal (mm/s)	Vertical (mm/s)	Transversal (mm/s)	Vector Suma (mm/s)
1	06/11/2020	noche	TJ - 753E	37,08	67,06	24,89	67,18
2	07/11/2020	noche	TJ - 753E	35,05	30,99	29,97	43,69
3	08/11/2020	noche	TJ - 753E	26,92	28,96	48,26	50,17
4	09/11/2020	noche	TJ - 753E	20,83	18,80	45,72	46,36
5	10/11/2020	noche	TJ - 753E	16,26	14,22	34,04	35,94
6	11/11/2020	noche	TJ - 753E	19,81	18,29	27,43	33,78
7	15/11/2020	noche	TJ - 753E	11,18	19,30	23,37	28,58

En la tabla 22 se detalla los datos obtenidos por el equipo sismógrafo Instantel una vez que se realiza el monitoreo en campo los datos son exportados y se obtuvo las velocidades de vibración en tres direcciones



radial, vertical, transversal y como promedio el vector suma que es la representación de las tres direcciones mencionadas.

5.1.4 Modelamiento de vibraciones por voladura TJ 753E

Este análisis es principalmente para determinar si existe daño en la periferia de la detonación de los taladros periféricos de la malla de perforación y voladura que se viene ejecutando en la zona de estudio que viene a ser el Tj 753E, es decir, para conocer con más precisión el grado de daño o rotura periférica, por parte del explosivo en campo cercano y campo lejano.

Primero se determinó las velocidades pico de partículas, generadas en la zona de intenso fracturamiento (Crushing zone) del taladro. Luego, estas velocidades se obtuvieron por medio de la VPP en 03 áreas que son la caja techo, la corona y producción. Estas velocidades se obtienen del monitoreo con el equipo sismógrafo, así como también del registro de vibraciones se identificó para cada área (techo, corona y producción) la cantidad de retardos detonados que estén dentro de los 8 milisegundos y una vez que se tenga dicha cantidad poder calcular nuestra carga operante (kg) que es la cantidad de explosivo máximo, también se anotara la distancia donde está ubicado el equipo sismógrafo. Con los datos mencionados se calculó la distancia escalar.

Por último, se relacionó la velocidad pico de partícula (VPP) con la distancia escalar para poder trazar una gráfica de regresión respecto a la distancia escalar (eje x) versus a la velocidad pico de partícula (eje y), de la cual se obtuvo la ley de atenuación, y, de este modo obtener las constantes k y α que se utilizó para realizar el análisis de campo cercano y campo lejano.

a) Análisis de los taladros en la caja techo

Se obtuvo la VPP en los taladros de la caja techo a través de los registros de monitoreo de vibraciones y se calculó la distancia escalar con el método Devine con datos también obtenidos en campo, la carga operante se calculó evaluando la cantidad de retardos detonados que estén dentro de 8 milisegundos.



Tabla 23 — Determinación de PPV mediante monitoreo en los taladros de caja techo

TALADROS DE CAJA TECHO : LONG. DE CARGA 2.0m y Diametro de taladro= 45mm				
Datos de monitoreo		Explosivos: SUPERFAM DOS CON CEBO E5000 1.1/4"x12"		
Veta Animas		V (mm/s)	D (m)	W (Kg)
Disparo (Fecha)	Equipo	Vel. Pico Particula	Distancia Monitoreo	Carga operante
06-nov-20	Instantel	19,86	25,00	4,40
07-nov-20	Instantel	36,30	30,00	2,20
08-nov-20	Instantel	26,62	35,00	4,40
09-nov-20	Instantel	17,81	38,00	2,20
10-nov-20	Instantel	27,85	40,00	4,40
11-nov-00	Instantel	15,96	43,00	4,40
15-nov-20	Instantel	10,43	37,00	2,20

En la tabla 23 se detalla las velocidades de vibración en la caja techo estas fueron obtenidas del monitoreo realizado donde se puede calcular la carga operante, los datos de la tabla 23 son utilizados para el cálculo de las constantes k y α según la ley de atenuación.

Tabla 24 — Determinación de los ejes para las constantes de atenuación en la caja techo

Eje (x)	Eje (y)
$De = D/W^{(1/2)}$	VPP (mm/s)
Distancia escalar	Vel. Pico Particula
11,92	19,86
7,35	36,30
16,69	26,62
25,62	17,81
11,50	27,85
20,50	15,96
24,95	10,43

De la tabla 24, se observa los datos de la distancia escalar (eje x) y las velocidades de vibración (eje y) de los 07 monitoreos realizados estos datos se utilizaron para el gráfico de dispersión.

- **Determinación de las constantes de atenuación**

Una vez realizado nuestro gráfico de dispersión (figura 29) en relación a la distancia escalar y la velocidad pico de partícula a través de la fórmula exponencial, se pudo calcular nuestras constantes de atenuación k y α , de la Figura 29, $k = 159,71$ y $\alpha = - 0,746$.



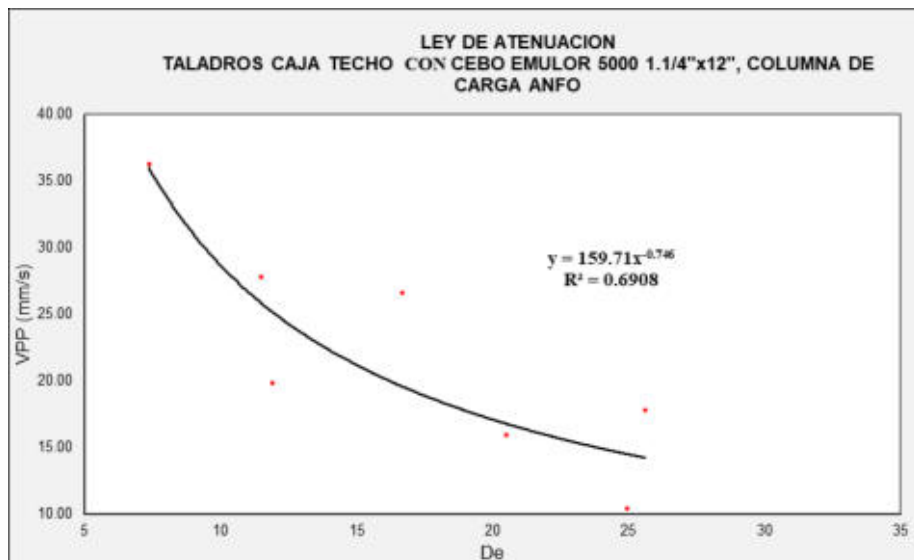


Figura 29 — Cálculo de las constantes k y α para taladros en la caja techo

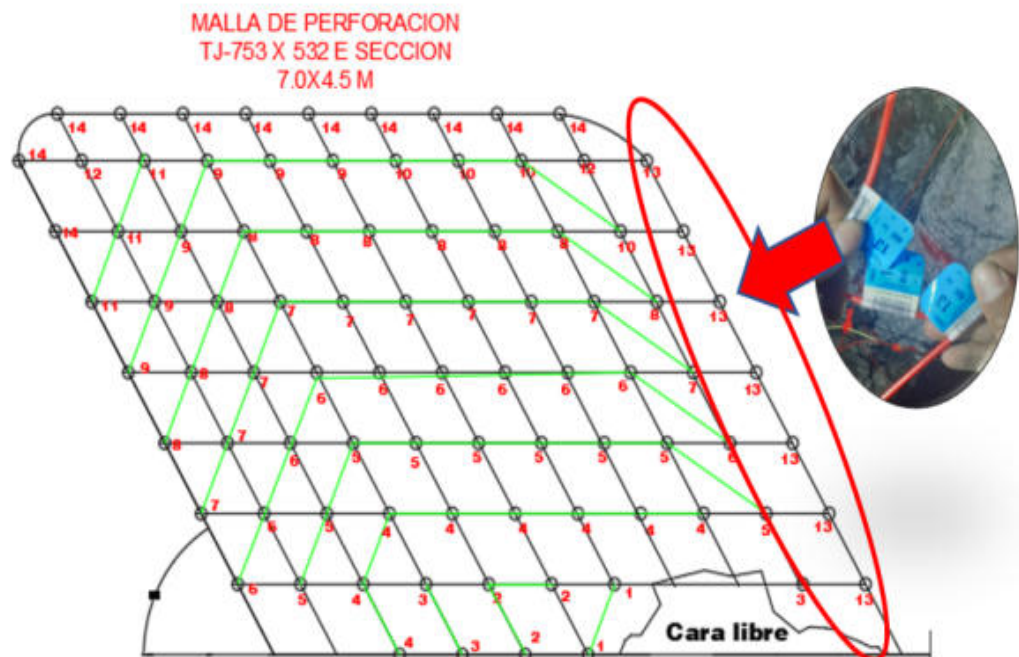


Figura 30 — Malla de perforación Tj 753E – análisis caja techo

- **REGISTRO TJ – 753 x 532 fecha 08/11/20** (figura 30 y tabla 21), se dispararon un total de 88 taladros, y se usaron detonadores no eléctricos periodo corto del N° 13 para los taladros de la caja techo (ver anexo 9 guía técnica de las características de detonadores fanel periodo corto de Famesa) y se colocó el geófono a una distancia de 35 metros.



Figura 31 — Carguío de taladros caja techo Tj 753E



Figura 32 — Registro de vibración Tj 753E

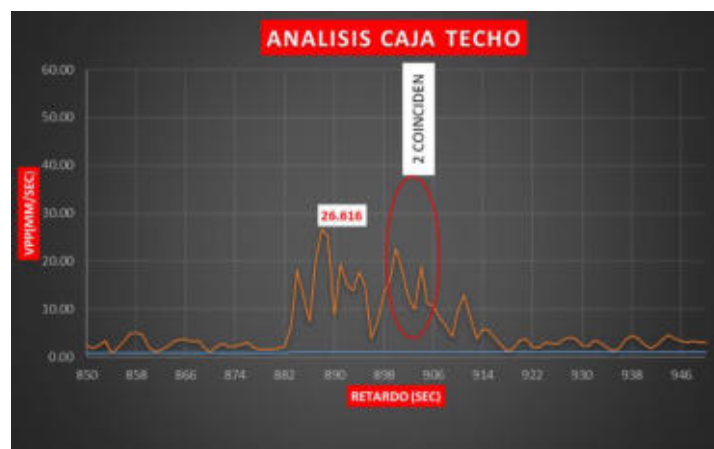


Figura 33 — Análisis caja techo Tj 753E

- **INTERPRETACIÓN:** Se puede observar en la figura 32 un sismograma respecto a la velocidad de vibración y el tiempo de detonación, producto de

una voladura del tajo 753E donde se ha perforado 88 taladros disparados de 3 metros de longitud de perforación y 45 mm de diámetro perforado, donde se ha llegado a utilizar 236.8 kg. de explosivo, de la figura 33 se observa que en caja techo se utilizó 07 faneles de periodo corto del N° 13 y el mayor movimiento de partícula se registró con velocidad pico de partícula de **26,616 mm/s**; la carga operante en de 4,40 kg, debido a que en 8 milisegundos coinciden solo 02 retardos tal como se muestra en la figura 33.

b) Análisis de taladros en la corona

Se obtuvo la VPP en los taladros de la corona a través de los registros de monitoreo de vibraciones y se calculó la distancia escalar con el método Devine con los datos también obtenidos en campo, la carga operante se calculó evaluando la cantidad de retardos detonados que estén dentro de 8 milisegundos.

Tabla 25 — Determinación de PPV mediante monitoreo en los taladros de la corona

TALADROS DE CORONA : LONG. DE CARGA 2.5m y Diametro de taladro= 33mm.				
Datos de monitoreo		Explosivos: SUPERFAM DOS CON CEBO E3000 1.1/8"x8"		
Veta Animas		V (mm/s)	D (m)	W (Kg)
Disparo (Fecha)	Equipo	Vel. Pico Particula	Distancia Monitoreo	Carga operante
06-nov-20	Instantel	23,75	25,00	3,40
07-nov-20	Instantel	26,67	30,00	3,40
08-nov-20	Instantel	30,96	35,00	3,40
09-nov-20	Instantel	10,79	38,00	3,40
10-nov-20	Instantel	24,35	40,00	3,40
11-nov-00	Instantel	22,48	43,00	3,40
15-nov-20	Instantel	11,70	37,00	1,70

En la tabla 25 se detalla las velocidades de vibración de los taladros de la corona las cuales fueron obtenidas del monitoreo realizado donde se puede calcular la carga operante, los datos de la tabla 25 son utilizados para el cálculo de las constantes k y α según la ley de atenuación.



Tabla 26 — Determinación de los ejes para las constantes de atenuación en los taladros de la corona

Eje (x)	Eje (y)
$De = D/W^{(1/2)}$	VPP (mm/s)
Distancia escalar	Vel. Pico Particula
13,56	23,75
16,27	26,67
8,20	30,96
20,61	10,79
9,50	24,35
11,90	22,48
28,38	11,70

De la tabla 26, se observa los datos de la distancia escalar (eje x) y las velocidades de vibracion (eje y) de los 07 monitoreos realizados en la corona estos datos se utilizo para el grafico de dispersion.

- **Determinación de las constantes de atenuación**

Una vez realizado el gráfico de dispersion (figura 34) en relación a la distancia escalar y la velocidad pico de partícula, a través de la formula exponencial se pudo calcular las constantes de atenuacion k y α , $k = 170,36$ y $\alpha = - 0,803$.

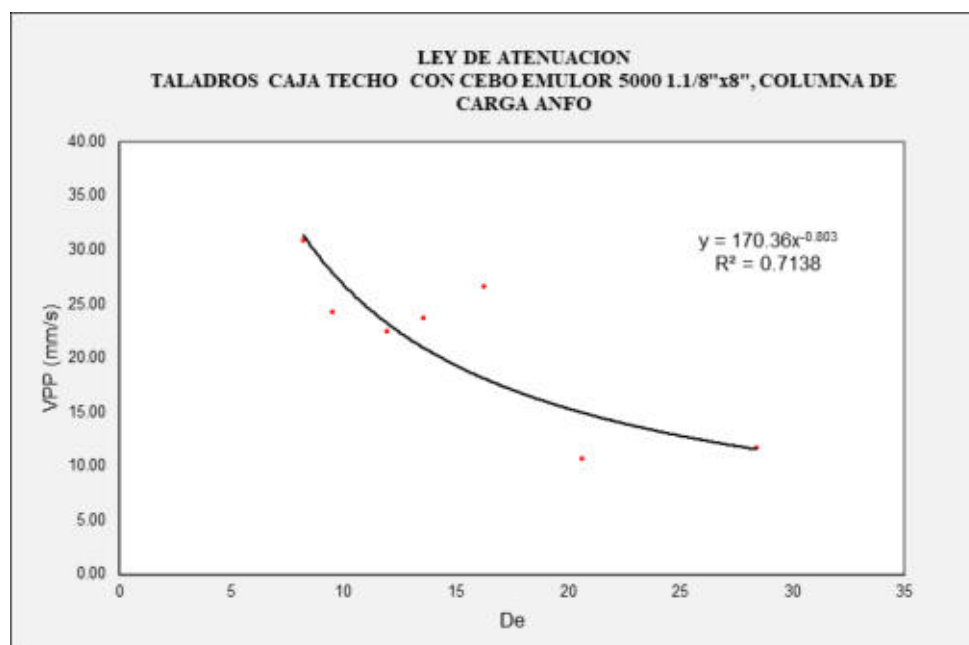


Figura 34 — Cálculo de las constantes k y α para taladros en la corona



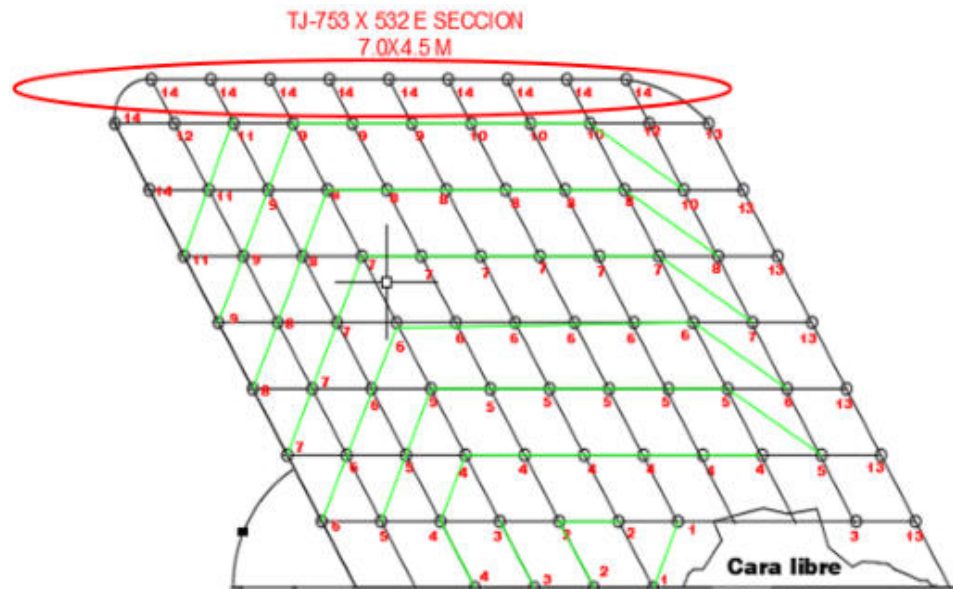


Figura 35 — Malla de perforación Tj 753E – análisis de la corona

- **REGISTRO TJ – 753 x 532 fecha 08/11/20**, se dispararon un total de 88 taladros, de las cuales 11 son taladros en la corona, en la figura 35 se observa que se usaron detonadores no eléctricos periodo corto del N° 14 (ver anexo 9 guía técnica de las características de detonadores fanel periodo corto de Famesa) y se colocó el geófono a una distancia de 35 metros.



Figura 36 — Registro de vibración Tj 753E

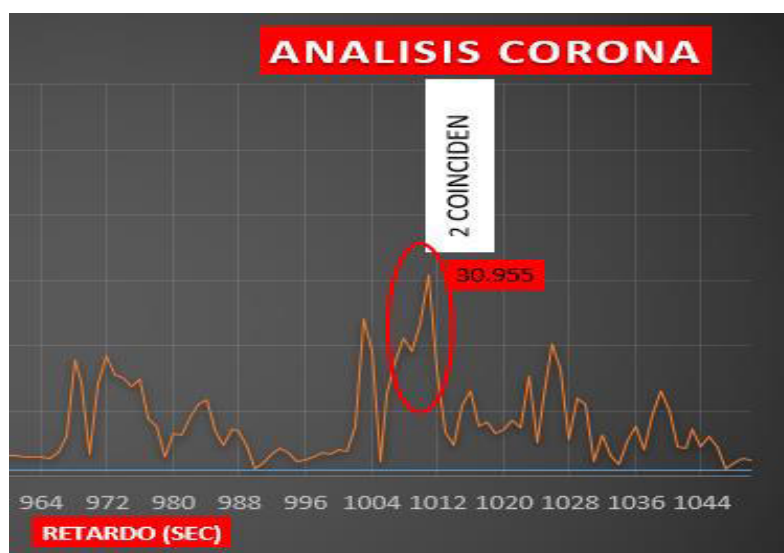


Figura 37 — Análisis de la corona Tj 753E

- **INTERPRETACIÓN:** en la figura 36 y 37 se observa el sismograma respecto a la velocidad de vibración y el tiempo de detonación en los taladros de la corona donde se utilizó 11 faneles de periodo corto del N° 14 y el mayor movimiento de partícula se registró con una velocidad pico de partícula de **30,955 mm/s** tal como se muestra en la figura 37; la carga operante en de 3,40 kg, debido a que en 8 milisegundo coinciden solo 02 retardos. El diámetro de taladro es de 33 mm.

c) **Análisis de taladros de producción**

Se obtuvo la VPP en los taladros de producción a través de los registros de monitoreo de vibraciones y se calculó la distancia escalar con el método Devine con los datos también obtenidos en campo, la carga operante se calculó evaluando la cantidad de retardos detonados que estén dentro de 8 milisegundos.

Tabla 27 — Determinación de PPV mediante monitoreo en los taladros de producción

TALADROS DE PRODUCCION : LONG. DE CARGA 3.0 m y Diametro de taladro= 45mm.				
Datos de monitoreo		Explosivos: SUPERFAM DOS CON CEBO E5000 1.1/4"x12"		
Veta Animas		V (mm/s)	D (m)	W (Kg)
Disparo (Fecha)	Equipo	Vel. Pico Particula	Distancia Monitoreo	Carga operante
06-nov-20	Instantel	67,18	25,00	2,93
07-nov-20	Instantel	43,69	30,00	2,93
08-nov-20	Instantel	50,17	35,00	2,93
09-nov-20	Instantel	46,36	38,00	2,93
10-nov-20	Instantel	35,94	40,00	2,93
11-nov-00	Instantel	33,78	43,00	2,93
15-nov-20	Instantel	28,58	37,00	2,93



En la tabla 27 se detalla las velocidades de vibración de los taladros de producción, las cuales fueron obtenidas del monitoreo realizado donde se puede calcular la carga operante, los datos de la tabla 27 son utilizados para el cálculo de las constantes k y α según la ley de atenuación.

Tabla 28 — Determinación de los ejes para las constantes de atenuación en los taladros de producción

Eje (x)	Eje (y)
$De = D/W^{(1/2)}$	VPP (mm/s)
Distancia escalar	Vel. Pico Particula
14,61	67,18
17,53	43,69
14,85	50,17
22,20	46,36
23,37	35,94
25,12	33,78
21,62	28,58

De la tabla 28, se observa los datos de la distancia escalar (eje x) y las velocidades de vibración (eje y) de los 07 monitoreos realizados en los taladros de producción estos datos se utilizo para el grafico de dispersión (figura 38).

- **Determinación de las constantes de atenuación**

Una vez realizado el gráfico de dispersión en relacion a la distancia escalar y la velocidad pico de partícula, a través de la fórmula exponencial se calculó las constantes de atenuacion k y α , de la Figura 38, $k = 865,74$ y $\alpha = - 1,017$.

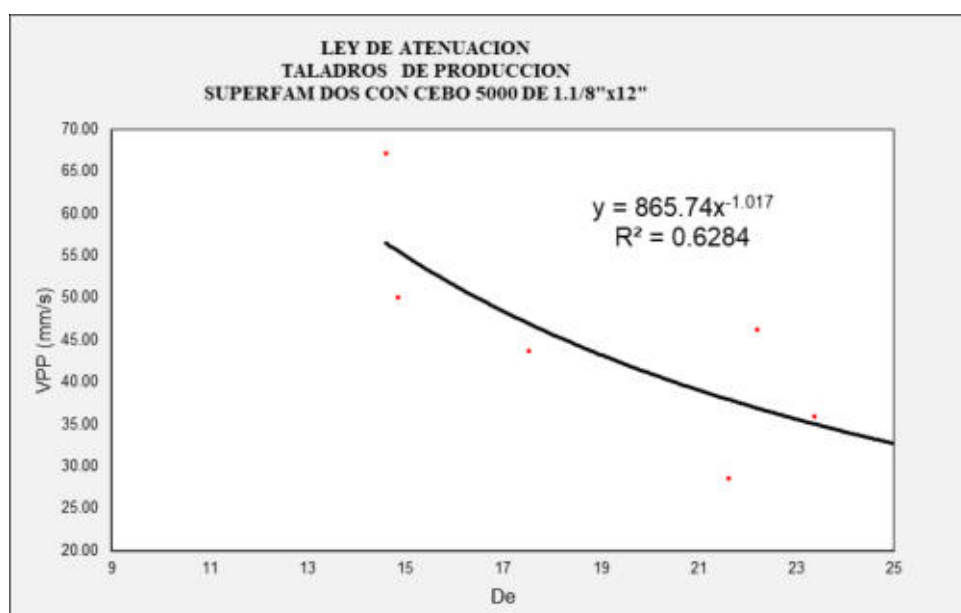


Figura 38 — Cálculo de las constantes k y α para taladros de producción

- **INTERPRETACIÓN:** en el caso de los taladros de producción se utilizaron faneles de periodo corto desde el N° 1 al 12, para este caso como se ve en el sismograma la velocidad pico de partícula es de 50,17 mm/s que a su vez viene a ser el vector suma de velocidad de la voladura de la fecha 08-11-2020 en el tajo 753E, la carga operante es de 2,93 kg.

5.1.5 Análisis de daño de campo lejano

Este modelo de campo lejano ayuda a predecir el nivel de vibraciones a través de las mediciones en campo. De estas mediciones se obtienen los principalmente antecedentes como:

- El nivel de vibraciones que genera la detonación de una carga de explosivo.
- La cantidad de explosivos que genera cierto nivel de vibraciones.


Como anteriormente se mencionó para este análisis de campo lejano es adecuado utilizar el modelo de Devine.

Tabla 29 — Umbral de daño condicionando bajo rango de colores

VELOCIDAD CRITICA	CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
6359	$> 4 * PPV_{critico}$	Intenso fracturamiento
1590	$> 1 * PPV_{critico}$	Creacion de nuevas fracturas
397	$> 1/4 * PPV_{critico}$	Leve propagacion fracturas pre-existentes



Tabla 30 — Análisis de campo lejano de la detonación de un taladro

EXPLOSIVO	ANFO con cebo E 5000	ANFO co cebo E 3000	ANFO con cebo E 5000	 Minera Bateas Compañía de Fortuna Silver Mines Inc.		
	1.1/4" X 12"	1.1/8" X 8"	1.1/4" X 12"			
Columna de Carga	Continua	Continua	continua			
K	159.71	170.36	865.74			
Alfa	-0.746	-0.803	-1.017			
W (Kg)	2.20	1.70	2.93	Umbral de daño		
Radio de Influencia(m)	VPP (mm/s)	VPP (mm/s)	VPP (mm/s)	MINIMO	PROMEDIO	MAXIMO
0.10	1194	1339	15552	397	1590	6359
0.20	712	768	7685	397	1590	6359
0.30	526	554	5088	397	1590	6359
0.40	425	440	3797	397	1590	6359
0.50	359	368	3026	397	1590	6359
0.60	314	318	2514	397	1590	6359
0.70	280	281	2149	397	1590	6359
0.80	253	252	1876	397	1590	6359
0.90	232	229	1665	397	1590	6359
1.00	214	211	1496	397	1590	6359
1.10	200	195	1357	397	1590	6359
1.20	187	182	1242	397	1590	6359
1.30	176	171	1145	397	1590	6359
1.40	167	161	1062	397	1590	6359
1.50	158	152	990	397	1590	6359
1.60	151	145	927	397	1590	6359
1.70	144	138	872	397	1590	6359
1.80	138	131	823	397	1590	6359
1.90	133	126	779	397	1590	6359
2.00	128	121	739	397	1590	6359
2.10	123	116	703	397	1590	6359
2.20	119	112	671	397	1590	6359
2.30	115	108	641	397	1590	6359
2.40	112	104	614	397	1590	6359
2.50	108	101	589	397	1590	6359
2.60	105	98	566	397	1590	6359
2.70	102	95	545	397	1590	6359
2.80	99	92	525	397	1590	6359
2.90	97	90	506	397	1590	6359
3.00	94	87	489	397	1590	6359
3.10	92	85	473	397	1590	6359
3.20	90	83	458	397	1590	6359
3.30	88	81	444	397	1590	6359
3.40	86	79	431	397	1590	6359
3.50	84	77	418	397	1590	6359
3.60	82	75	406	397	1590	6359
3.70	81	74	395	397	1590	6359



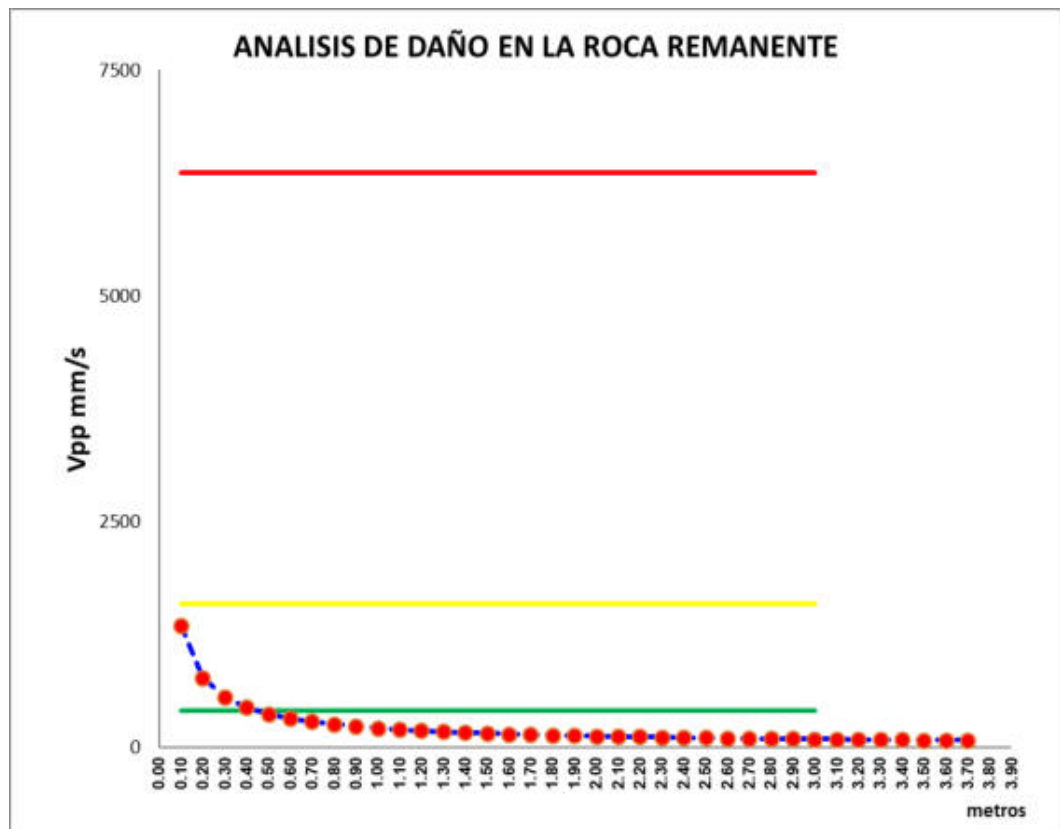


Figura 39 — Análisis de daño en la roca remanente, de acuerdo al grado de umbral de daño (Cameron Mckenzie) ocasionado

Interpretación: La tabla 30 nos muestra según el criterio de Camero Mckezone el umbral de daño al macizo rocoso que ocasiona la detonación de los taladros en la voladura del tajo de estudio 753E. Asimismo, se observa el radio de influencia desde 0,1 metros hasta un radio de 3,70 metros, la tabla está dividida en 3 columnas de diferentes explosivos que vienen a ser las áreas anteriormente divididas (caja techo, corona y producción), se tiene para cada distancia una velocidad crítica de la roca, lo que nos puede indicar el grado del umbral de daño que está ocasionando al macizo rocoso, comparándolo con el criterio de colores que está relacionado con el umbral de daño (ver tabla 29), por tanto, interpretando la tabla 30 podemos indicar que en la zona de color rojo de la detonación existe un intenso fracturamiento que va hasta los 0,30 metros, la zona de color amarillo nos representa la creación de nuevas fracturas que van hasta los 1 metros y la zona de color verde nos representa leve prolongación fracturas pre-existentes.

5.1.6 Análisis de daño de campo cercano

El análisis de campo cercano se realizó para verificar las vibraciones que afecta directamente a las estructuras alrededor del taladro, exactamente para medir el nivel de vibraciones que afecta la estabilidad del tajo de estudio Tj 753E. Por lo tanto, para clasificar el daño a la roca se usará la tabla 32 donde se ve el umbral de daño en la roca

Tabla 31 — Parámetros para calcular los daños al macizo rocoso por modelo de Homberg y persson

Explosivo	ANFO con cebo E 5000	ANFO con cebo E 3000	ANFO con cebo E 5000	Unidades
Dimension Cartucho	1.1/4" X 12"	1.1/8" X 8"	1.1/4" X 12"	
Diametro del taladro cargado con tubo de PVC	38,00	33,00	38,00	mm
k	159,71	170,36	865,74	
Alfa	- 0,75	- 0,80	- 1,02	
Long. Taco	1,00	0,50	0,30	m
Long. Carg.	2,00	2,50	2,70	m
Long. Taladro	3,00	3,00	3,00	m
Densidad carga	0,90	0,90	0,90	g/cm ³
Peso de explosivo por taladro	2,22	1,70	2,93	kg
Carga Lineal	1,02	0,64	1,02	kg/m

En la tabla 31 se detalla los valores que se utilizaron para el análisis de daño en campo cercano, los valores que se utilizaron son las constantes de atenuación, la longitud de carga, densidad del explosivo, cantidad de carga lineal.

Tabla 32 — Análisis de daño en la roca remanente, de acuerdo al grado de umbral de daño ocasionado

$V_{pp} = K \times \left(\frac{d}{\sqrt{w}} \right)^{-\alpha}$	Explosivo	ANFO con cebo E 5000	ANFO co cebo E 3000	ANFO con cebo E 5000
	Dimension	1.1/4" X 12"	1.1/8" X 8"	1.1/4" X 12"
	Carga	Continua	Continua	continua
	VPP (mm/s)	d (m)	d (m)	d (m)
Intenso fracturamiento (4 x VPPc)	6359	0.01	0.01	0.24
Creación de nuevas fracturas (1 x VPPc)	1590	0.07	0.08	0.94
Extender fracturas preexistentes (1/4 x VPPc)	397	0.44	0.45	3.68

En la tabla 32 se detalla el análisis de daño que ocasionan (distancias de alcance) al macizo rocoso en un campo cercano respecto a las tres zonas de estudio (caja techo, corona y producción) bajo el criterio de daño de Cameron.



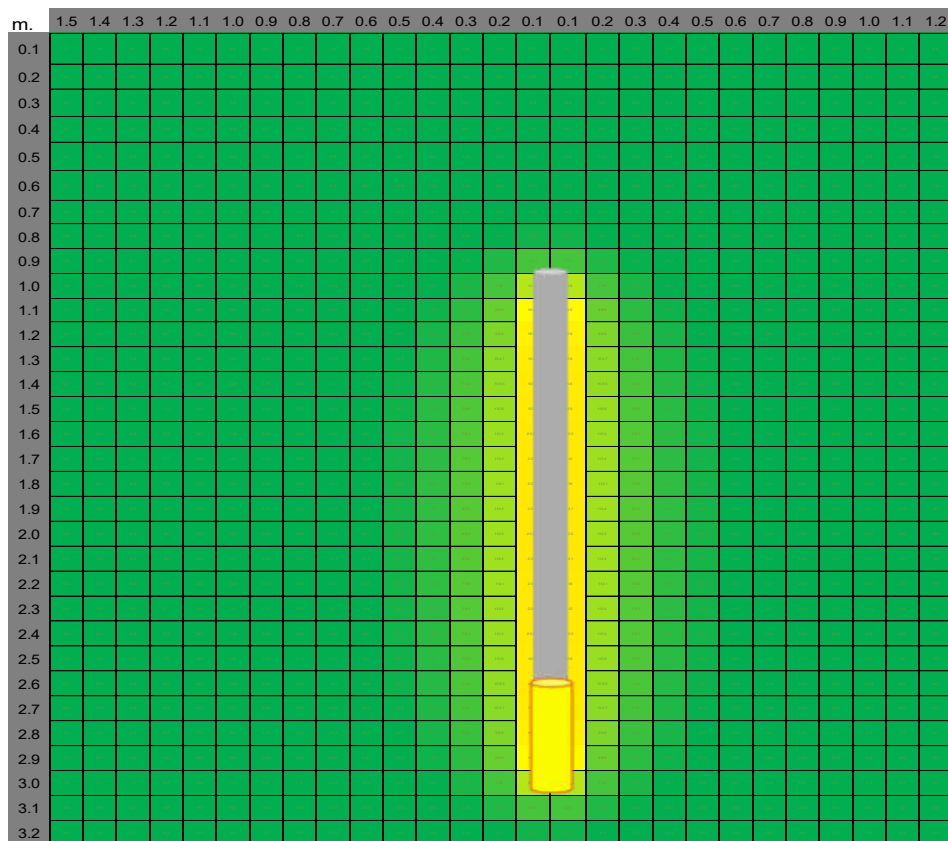


Figura 40 — Análisis de vibración en campo cercano en los taladros caja techo, vista en perfil

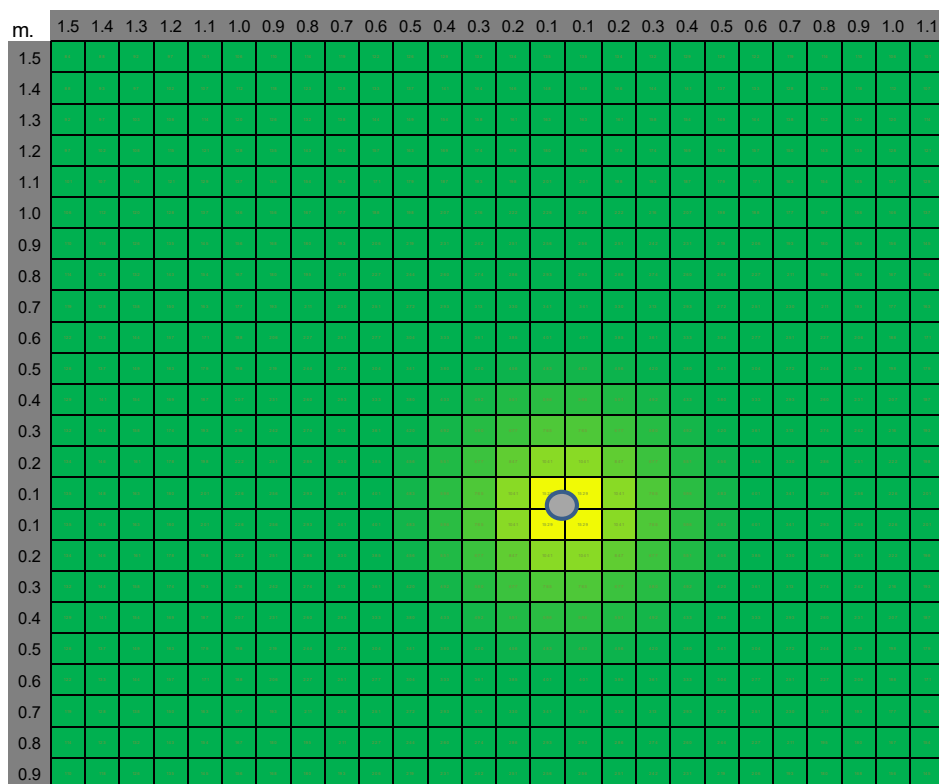


Figura 41 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro - caja techo, vista en planta

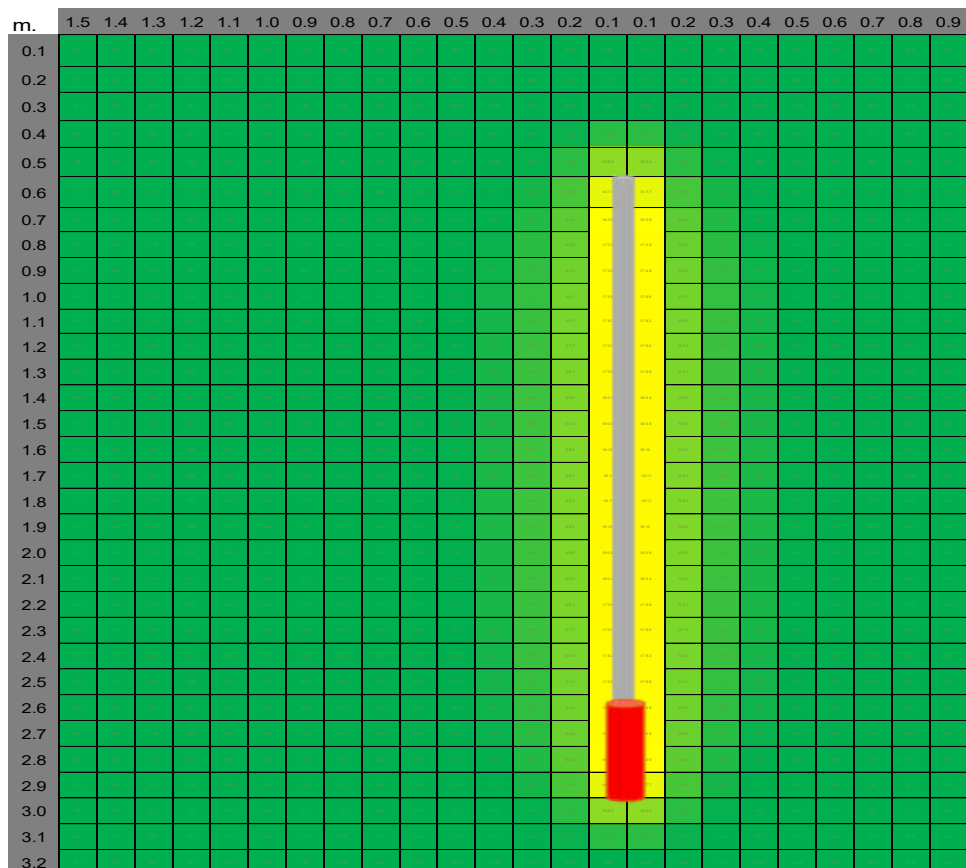


Figura 42 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro - corona, vista en perfil

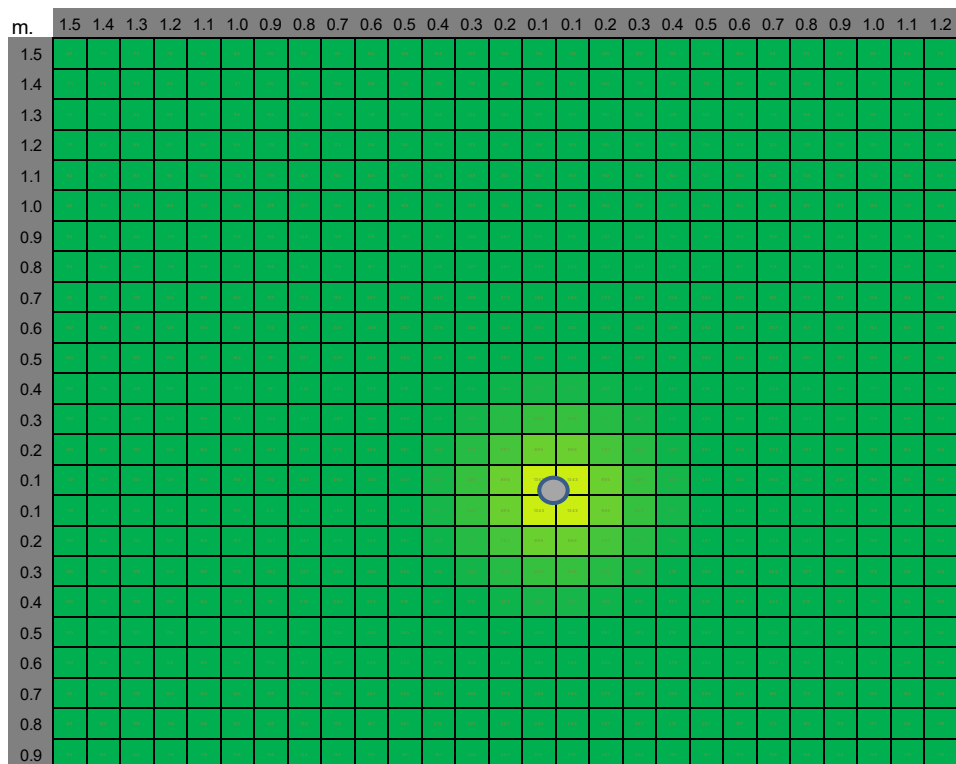


Figura 43 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro - corona, vista en planta

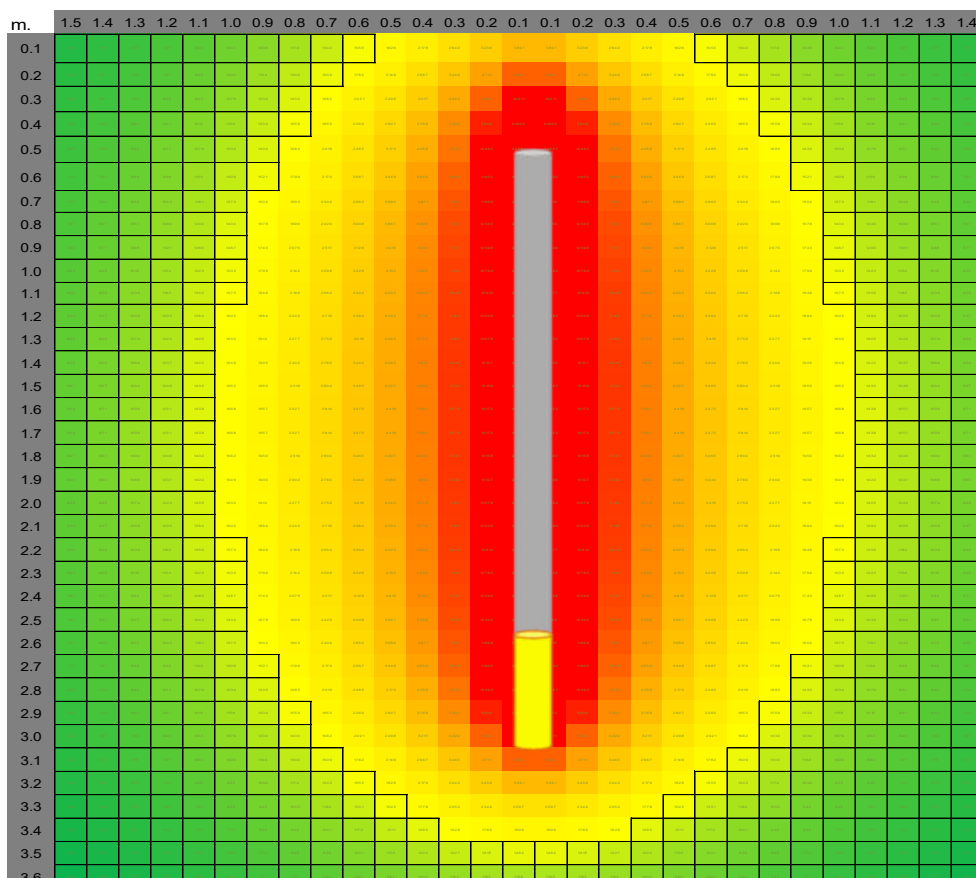


Figura 44 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro-producción, vista en perfil

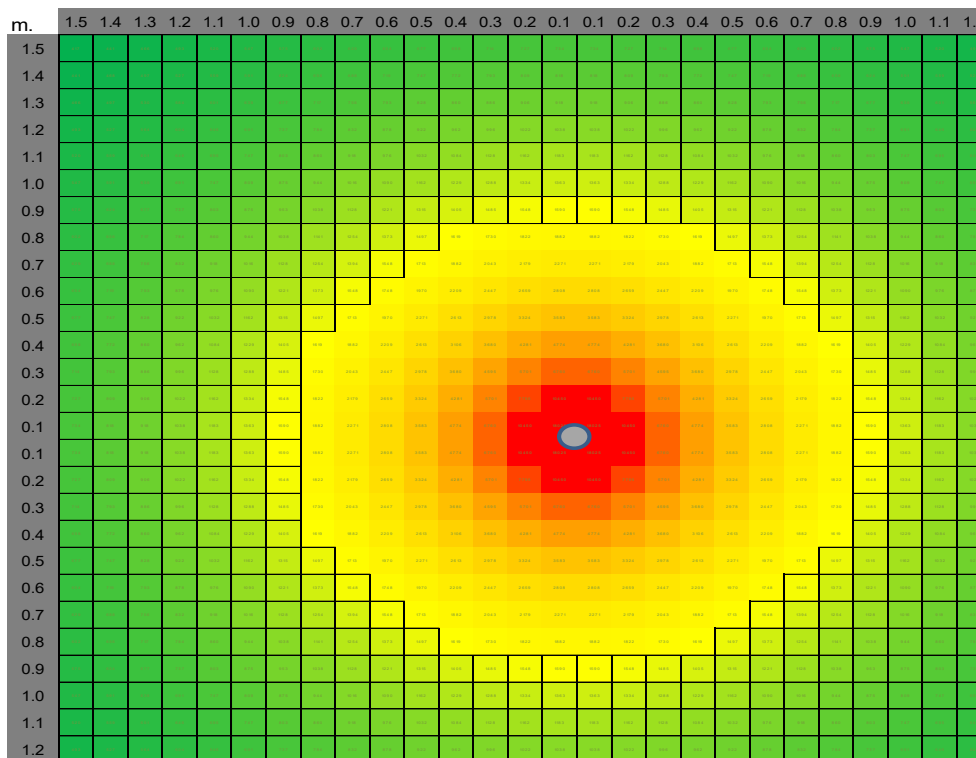


Figura 45 — Análisis de vibraciones a campo cercano taladro-producción, vista en planta

Interpretación: Las figuras 40, 41, 42, 43, 44 y 45 hacen referencia a la distribución de la energía de detonación en el área donde se realiza la voladura. Además, cada cuadro representa a una velocidad crítica de la roca, es decir, se puede verificar si a esa velocidad la roca ha sufrido algún daño o existe nuevas fracturas. Estas velocidades de igual forma se relacionan con el umbral de daño que lo representamos en colores para poder interpretarlo de la mejor manera posible. Por lo tanto, según la tabla 32 se puede deducir que en la caja techo tiene un alcance de daño de intenso fracturamiento de 0,01 metros y creación de nuevas fracturas en un alcance de 0,07 metros, en la corona se tiene un intenso fracturamiento hasta 0,01 metros y creación de nuevas fracturas hasta los 0,08 metros y finalmente en los taladros de producción el intenso fracturamiento de tiene un alcance es de 0,24 metros, creación de nuevas fracturas de 0,94 metros.

5.2 Contratación de hipótesis

5.2.1 Contratación de hipótesis general

- Hipótesis nula – HG (O): El análisis de las vibraciones y monitoreo producidas por la voladura no permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E.
- Hipótesis alternativa – HG (A): El análisis de las vibraciones y monitoreo producidas por la voladura permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E.

Una vez realizada todos los trabajos tanto en campo y gabinete, los resultados son analizados e interpretados según la siguiente tabla:

Tabla 33 — Análisis de tipo de daños al macizo rocoso de acuerdo el umbral de daño

VELOCIDAD CRITICA	CRITERIO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO	DISTANCIA (m)
6359	$> 4 * PPV_{critico}$	Intenso fracturamiento	0,30
1590	$> 1 * PPV_{critico}$	Creación de nuevas fracturas	1,00
397	$> 1/4 * PPV_{critico}$	Leve propagacion fracturas pre-existentes	3,70

Analizando según el umbral de daño de McKenzie a una velocidad crítica de 6360 mm/s se obtiene un intenso fracturamiento que alcanza un radio de 0,30 metros y a una velocidad crítica de 1590 mm/s se abre campo a la creación de nuevas fracturas que alcanza un radio de 1,0 metro.



Así mismo del monitoreo con el equipo Instantel, una vez exportado el sismograma se analiza la siguiente figura:

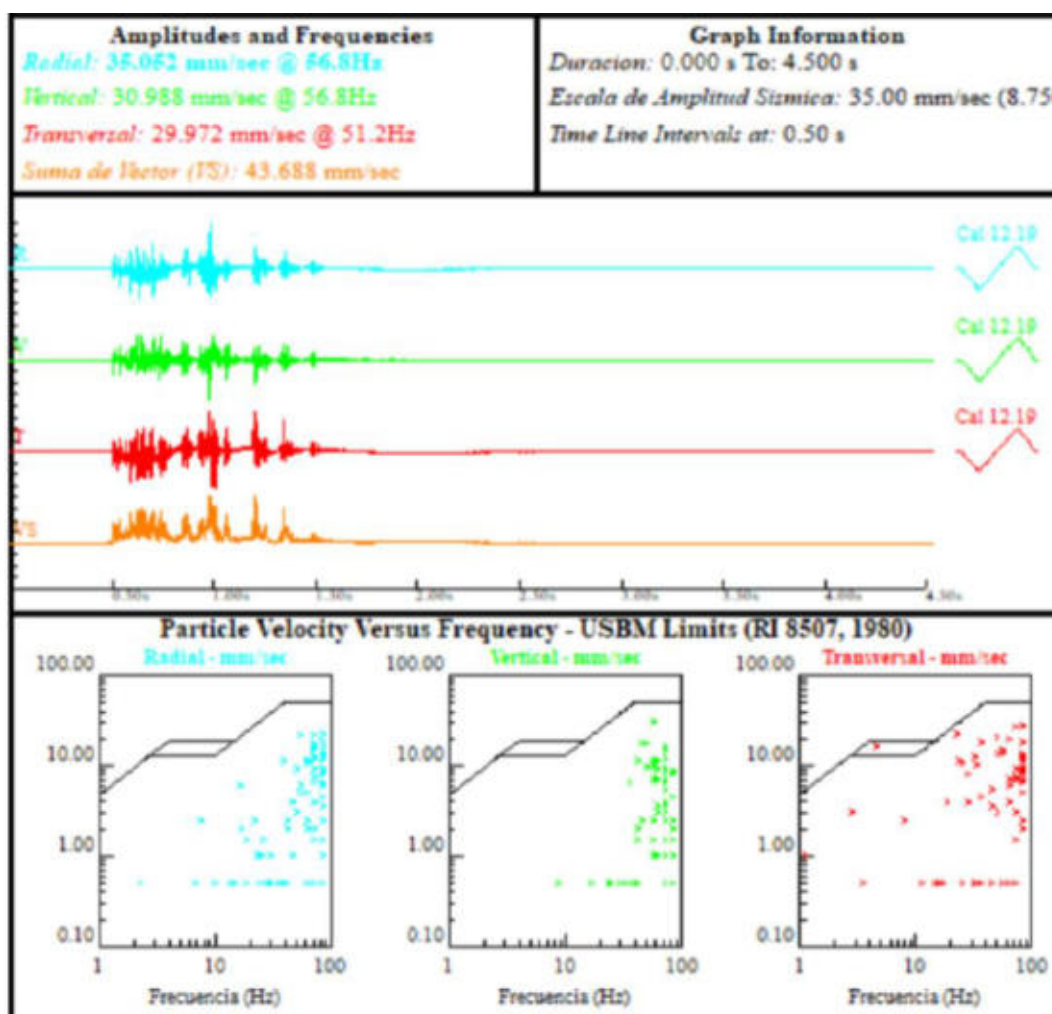


Figura 46 — Análisis de sismograma de la voladura del tajo 753E comparados con la norma USBM RI-8507

La interpretación de la figura 45 nos indica que las velocidades pico de partículas producto de la detonación respecto a su frecuencia según las normas internacionales USBM RI-8507 se encuentran dentro de los límites permisibles.

Con todos los resultados descritos líneas arriba se acepta la hipótesis general alternativa - HG (A), afirma que un buen análisis de las vibraciones y monitoreo producidas por la voladura permite reducir daños al macizo rocoso.

5.2.2 Contrastación de hipótesis específicas

- **Hipótesis específica nula – HE (O):** La reducción de la cantidad de explosivo al analizar las vibraciones por voladura no permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E.

- **Hipótesis específica – HE (A):** La reducción de la cantidad de explosivo al analizar las vibraciones por voladura permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E.

Uno de los factores para que se incremente el daño al macizo rocoso es la cantidad de explosivos a utilizar, en el tajo 753E con el fin de tener una voladura controlada y tener menos impacto de daño en la caja techo y corona se utilizó tubería PVC como columna de carga lo que hizo que se redujera la cantidad de explosivo como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 34 — Comparativo de cantidad de explosivo a utilizar

Detalle explosivo	Zona	Peso de explosivo (kg/tal) con tubo PVC	Peso de explosivo (kg/tal) sin tubo PVC
ANFO con cebo E 5000	Caja techo	2,22	3,04
ANFO con cebo E 3000	Corona	1,70	3,69
ANFO con cebo E 5000	Producción	2,93	3,98

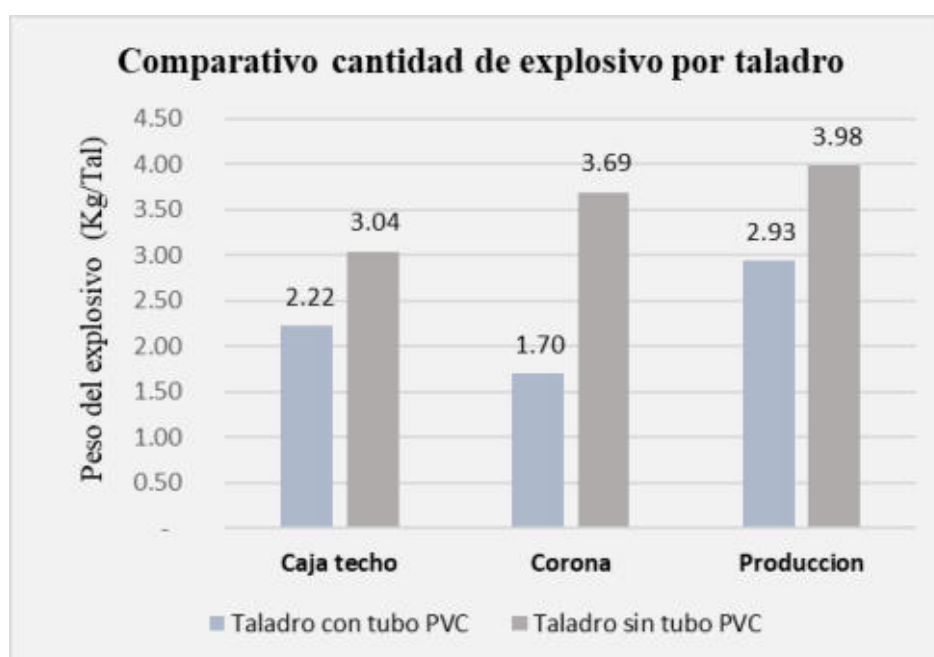


Figura 47 — Cantidad de explosivo por taladro a utilizar (con tubería PVC)

La interpretación que se obtiene de la figura 46 es que para las tres zonas (caja techo, corona, producción) al utilizar tuberías PVC se reduce la cantidad de explosivos por taladro; en la caja techo se utilizó un total de explosivos de 2,22 kg/tal, lo que da como resultado un alcance de radio de daño de intenso fracturamiento de 0,01 metros y creación de nuevas fracturas con un alcance de radio de 0,07 metros. Asimismo, para los taladros de la corona se utilizó un total de

explosivos de 1,70 kg/tal, lo que da como resultado un alcance de radio de daño de intenso fracturamiento de 0,01 metros y creación de nuevas fracturas un alcance de 0,08 metros.

Con todos los resultados descritos líneas arriba se acepta la hipótesis específica alternativa - HE (A), donde se afirma que la reducción de la cantidad de explosivos reduce significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E, según los análisis de vibraciones.

- **Hipótesis específica nula – HG (O):** La distribución uniforme de los retardos en el frente no permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E.
- **Hipótesis específica alternativa – HG (A):** La distribución uniforme de los retardos en el frente permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E.

Otro de los factores que pueden reducir los daños al macizo rocoso producto de una voladura es una adecuada distribución de retardos, entonces para los trabajos en el tajo 753 se decidió como una más de las formas de tener una voladura controlada utilizar solo un número de retardo tanto en la caja techo como en la corona.

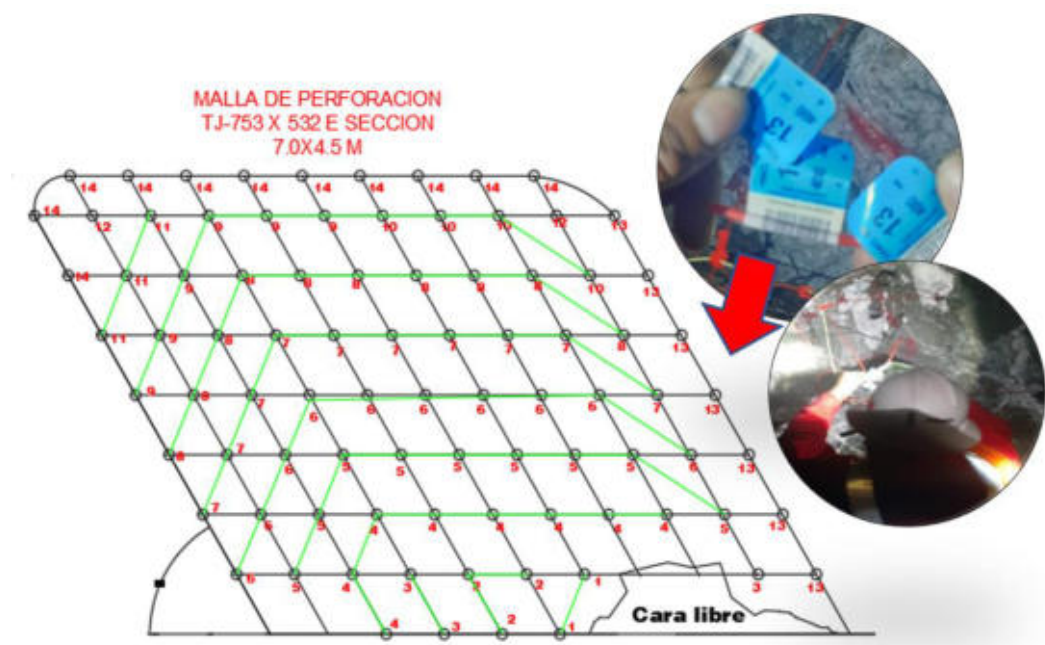


Figura 48 — Distribución de retardos en la malla de perforación del tajo 753E

Interpretando la figura 47; observamos que los primeros 70 taladros detonados son los taladros de producción, que fueron distribuidos uniformemente con retardos del N° 1 al 12, sin embargo para los 11 taladros de la caja techo se utilizó un mismo número de retardo de N° 13 y de igual forma, para los 7 taladros de la corona se utilizó retardos del mismo N° 14, entonces, el penúltimo y último lugar en detonar serán los taladros de la caja techo y corona respectivamente, asegurando el control de la voladura y reduciendo el daño al macizo rocoso, evitando que se realce la corona y esto traiga como consecuencia la inestabilidad del tajo, aumento de costos operativos, etc.

Por lo tanto, con todos los resultados descritos líneas arriba se acepta la hipótesis específica alternativa - HE (A), donde se afirma que una distribución uniforme de los retardos en el frente reduce los daños al macizo rocoso, teniendo controlado la corona del tajo 753E.

5.3 Discusiones

5.3.1 Discusión 1

(DUEÑAS, 2018) en su tesis ejecutada en la mina Kolpa, afirma que el daño al macizo rocoso se reduce y controla mediante el monitoreo, modelamiento y el análisis de vibraciones en el ByPass 179, para esto indica que es importante el conocimiento de las propiedades geomecánicas de la zona de estudio, con estos datos representativos se puede obtener los valores de velocidad pico de partícula crítica (VPPc) que es de 1159 mm/s valor que se utiliza como referencia inicialmente, para después realizar los modelamientos, donde se obtuvo como resultado la creación de nuevas fracturas en un alcance de radio de 1.13 metros con Anfo.

En la investigación lo primero que se evaluó fueron los datos geomecánicos del tajo 753E, para continuar con el cálculo de la velocidad pico de partícula crítica (VPPc) el cual es de 1590 mm/s, dicho valor sirve como base para los modelamientos y análisis de campo lejano y cercano, donde se obtuvo como resultado la creación de nuevas fracturas que tiene un alcance de radio de 1.0 metro.

Entonces se afirma que el objetivo es alcanzado ya que; el análisis de las vibraciones y monitoreo producidas por la voladura permiten reducir los daños al macizo rocoso.



5.3.2 Discusión 2

Según (DUEÑAS, 2018) en su tesis de estudio en el ByPass 179 de la mina Kolpa, determina que la utilización de explosivo de famercorte E-20 tiene mejor control de daño al macizo rocoso con respecto a los demás explosivos experimentados como el Emulnor 1000 corrido, Anfo, Emulnor 1000 espaciado. Por lo tanto, concluye que una buena cantidad y elección de explosivo reduce el daño al macizo rocoso. Del resultado obtenido de la investigación para generar niveles de vibraciones más bajas y con mayor control en la corona se utilizó tuberías de PVC como columna de carga, por ende, se redujo la cantidad de explosivos de Anfo con Emulnor 5000 1 1/4" X 12" en la caja techo de 3.04 kg/tal a 2.22 kg/tal, lo que nos da como resultado un alcance de radio de daño de intenso fracturamiento de 0,01 metros y creación de nuevas fracturas con un alcance de radio de 0,07 metros, el cual es mínimo, ya que, está comprobado que a mayor cantidad de explosivo utilizado mayor será el daño al macizo rocoso. Por lo tanto, se afirma que el objetivo es alcanzado, porque se pudo analizar y comprobar que la cantidad de explosivos afecta en la reducción del daño al macizo rocoso en el tajo 753E.

5.3.3 Discusión 3

(HUANCA, 2019) en su tesis en el BP 1200E en la mina Andaychagua, concluye que la distribución de los retardos, en los frentes deben utilizarse de forma uniforme de acuerdo a la salida en grupos menores, evitando de esta forma la inestabilidad del macizo rocoso.

De los resultados en el tajo 753E para tener un menor daño en el macizo rocoso y poder controlar la corona se utilizó para los taladros de producción retardos uniformes del N° 1 al N° 12, para los taladros de la caja techo y corona se utilizaron retardos con un solo número (caja techo N° 13, corona N° 14), dando seguridad en la estabilidad del tajo, evitando su realce. Por lo tanto, se afirma que el objetivo es alcanzado, porque una buena distribución de los retardos reduce el daño al macizo rocoso.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Según el análisis de vibraciones producidas por las voladuras realizadas en el tajo 753E se determina que en la caja techo se obtiene un intenso fracturamiento de 0,01 metros, en la corona un intenso fracturamiento de 0,01 metros, en la producción un intenso fracturamiento de 0,94 metros lo que nos indica que el daño al macizo rocoso es mínimo. Además, al analizar el monitoreo de vibraciones se muestra que las velocidades picos de partículas respecto a su frecuencia no sobrepasan los límites permisibles estipulados en la prevención de daños, según criterios de daños de la norma USBM RI-8507.

Por lo tanto, se determina que el análisis de las vibraciones y monitoreo producidas por la voladura si permiten reducir significativamente los daños al macizo rocoso; en esta investigación, si los resultados hubieran sido desfavorables y por encima de los límites permisibles con daños mayores al macizo rocoso, se tendría que analizar y cambiar varios factores como la cantidad de explosivos utilizados, la distribución de los retardos, la malla de perforación, etc para reducir o minimizar el daño al macizo rocoso.

- Se determinó que para la caja techo el explosivo utilizado es Anfo con Emulnor 5000 1 1/4" X 12" con un total de explosivos de 2,22 kg/tal, lo que nos da como resultado un alcance de daño de intenso fracturamiento de 0,01 metros y creación de nuevas fracturas de 0,07 metros. Asimismo, para los taladros de la corona se utilizó Anfo con Emulnor 3000 1 1/8" X 18" con un total de explosivos de 1,70 kg/tal, lo que nos da como resultado un alcance de daño de intenso fracturamiento de 0,01 metros y creación de nuevas fracturas de 0,08 metros.

Por lo tanto, se analizó la utilización de la cantidad de explosivos mencionados y esto nos determina que el daño al macizo rocoso es mínimo en nuestra investigación; sin embargo, es necesario indicar que si se realiza el carguío de taladros sin utilizar los tubos de PVC como columna de carga la cantidad de explosivo será mayor y, por ende,



el daño al macizo rocoso aumentará, no se controlará la corona teniendo un mayor realce, y el costo por operación aumentará.

- Las distribuciones de los retardos influyen significativamente en la reducción del daño al macizo rocoso, en este caso para reducir el daño al macizo rocoso, se utilizó un solo retardo para la caja techo N° 13 y para la corona un solo retardo de N° 14, esto nos asegura que una vez detonado todos los retardos de los taladros de producción recién se podrá detonar la caja techo y por último la corona lo que reduce el daño al macizo rocoso evitando que se realce la corona y, por ende, otras consecuencias desfavorables.

6.2 Recomendaciones

- Continuar con la voladura controlada en la corona con carga desacoplada, utilizando tubos de diámetro de 30 mm y realizar pruebas en caja techo para el mismo diseño de carguío, realizando monitoreo de vibraciones cada 06 meses según el DS N° 024 – 2016 - EM y su modificatoria DS N° 023 – 2017 - EM.
- Es necesario el control de la cantidad de la carga explosiva y el despacho tendrá que ser de acuerdo al estándar de malla de perforación y carguío.
- Continuar con la correcta distribución de los retardos para disminuir el daño al macizo rocoso, utilizando para los taladros de la caja techo un solo número de retardo y de igual forma para los taladros de la corona. Asimismo, es necesario aclarar que la carga operante es la carga explosiva permisible por retardo y esta se considera como mínimo de 8 milisegundos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APARICIO, Armando. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Lima : Osinergmin, 2017.
- BARBOSA, Juan y VALLEJO, Andrés. Análisis de la afectación por vibraciones de la cantera "la roca" en zonas cercanas a poblaciones. Tesis (Ingeniero civil). Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2019.
- CINTEX. Manual de Monitoreo de Vibraciones Generadas por Tronaduras, Análisis y Modelamiento. Chile : ENAEX, 2005.
- CONTRERAS, Willy. Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones - Aplicación en minas Ares. Tesis (Ingeniero de minas). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.
- CÓRDOVA, Nestor. Geomecánica en el minado subterráneo caso mina Condestable. Tesis (Magister en Ciencias). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2008.
- DUEÑAS, Jhol. Reducción del daño inducido al macizo rocoso mediante monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones por voladuras en el Bypass 179. Compañía Minera Kolpa. Tesis (Ingeniero de minas). Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2018.
- HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México : MC Graw Hill, 2019. pág. 753. ISBN: 9781456260965 .
- HOEK, Evert y CARRANZA, Carlos. El criterio de rotura de Hoek-Brown. Canada : Consulting Engineer, 2002.
- HOEK, Evert y DIEDERICHS, Mark . Empirical Estimation of Rock Mass Modulus. Canada : International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2006.
- HUANCA, Jonatan. Análisis de vibraciones producidas por voladura para reducir daños al macizo rocoso en BP. 1200E – U.P. Andaychagua - Volcan Compañía Minera. Tesis (Ingeniero de minas). Huancayo : Universidad nacional del centro del Perú, 2019.
- ISEM. Efectos de la voladura en el macizo rocoso - Modelo de Holmberg y Pearsson para estimar la velocidad de vibración de partícula. Lima : Instituto de Seguridad Minera, 2020.
- LOPÉZ, Carlos. Manual de perforación y voladura. Lima : Famesa explosivos S.A.C., 2019. pág. 494. ISBN 9786124810015.
- MACKENZI, Cameron. Métodos de mejora de las operaciones de voladura. Inglaterra : Pέργamo, 1993.
- MAYPÚ, Alfredo. Control de vibraciones por voladura para minimizar los efectos de daño en mina Cuajone de SPCC - 2017. Tesis (Ingeniero de minas). Huaraz : Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2020.
- MIBSAC. Plan de minado UEA San Cristobal de Minera Bateas. Arequipa : s.n., 2020.



MONTOYA, Manuel y DIAZ, Guillermo. Geología - cuadrangulo de Caylloma. Lima : INGEMMET, 1979.

MUJICA, Rodolfo. Mejoramiento de la voladura utilizando emulsión gasificada (MEQ73) en el Tajo Ferrobamba - M.M.G. Las Bambas - Apurímac. Tesis (Ingeniero de minas). Cusco : Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, 2018.

NATHAN, Rouse. El efecto relativo de las dimensiones de carga en la atenuación de la vibración elástica y los conceptos de energía sísmica inducida por explosiones. Tesis (Ingeniero de minas). Estados Unidos : Universidad de Ciencia y Tecnología, Missouri, 2015.

PASCUAL, Jesus. Problemática de las vibraciones en las voladuras medicion, control y regulacion legal. Tesis (Ingeniero de minas). Universidad Politécnica de Madrid. España : s.n., 2002.

SCHERPENISSE, Carlos, ADAMSON, William y DIAZ, Juan. Monitoreo y modelamiento de vibraciones para el control y evaluacion del daño por voladuras. Lima : ASP BLASTRONICS S.A, 2006.

SEGARRA, Pablo. Análisis experimental de la fragmentacion, vibraciones y movimiento de la roca en voladura a cielo abierto. Tesis (Doctor en Tecnología de voladura). España : Escuela tecnica superior de ingenieros de minas, 2004.

TORRE, Edwin. Sistema de carguio para la voladura eficiente en el pique 2000 compañía minera Casapalca. Tesis (ingeniero de minas). Lima : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015.

VILLAVICENCIO , Ismael. Modelamiento predictivo de vibración durante la etapa de construcción del proyecto minero las Bambas. Tesis (Ingeniero de minas). Abancay : Universidad nacional Micaela Bastidas de Apurimac, 2016.



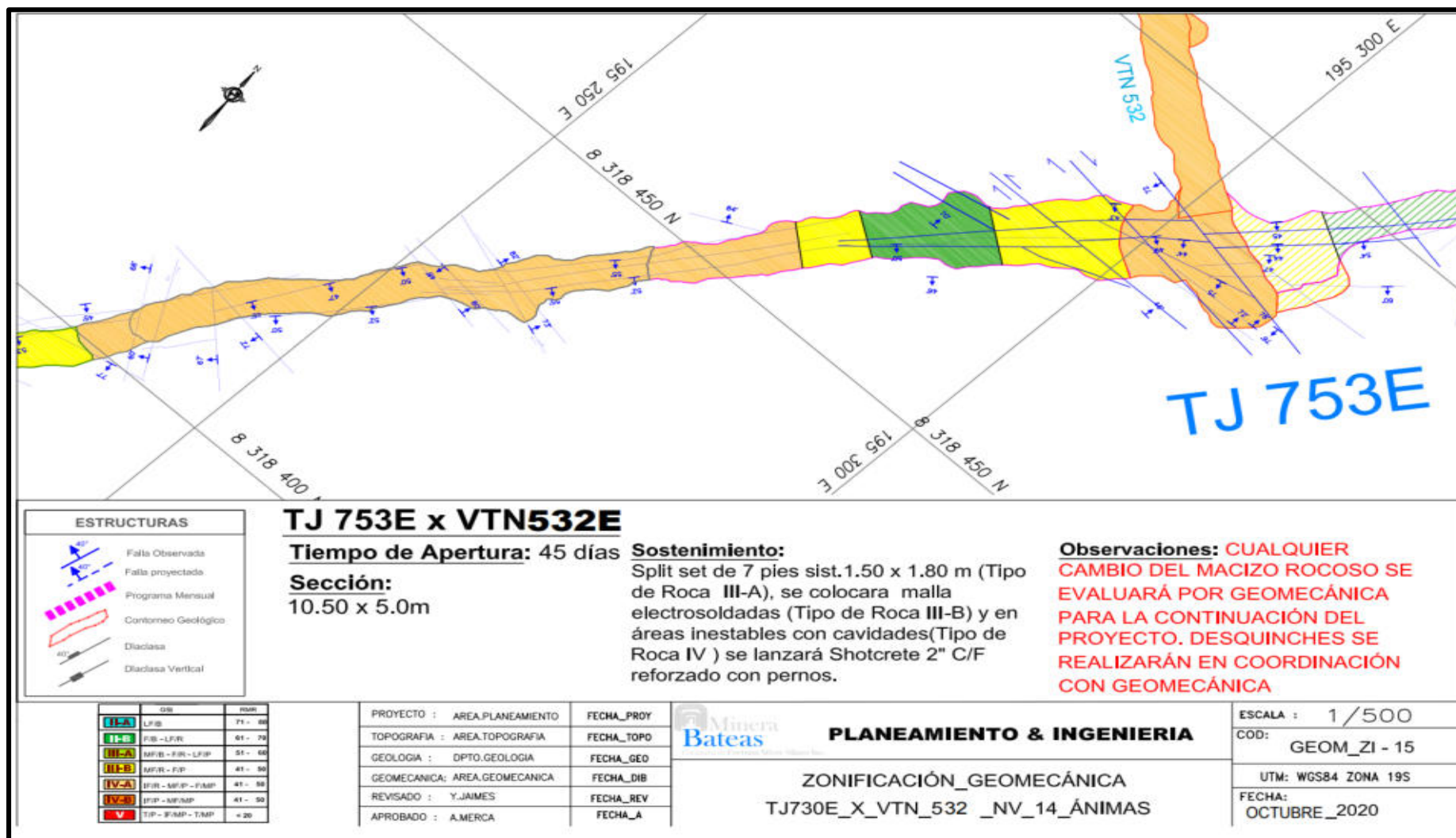
ANEXOS



ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

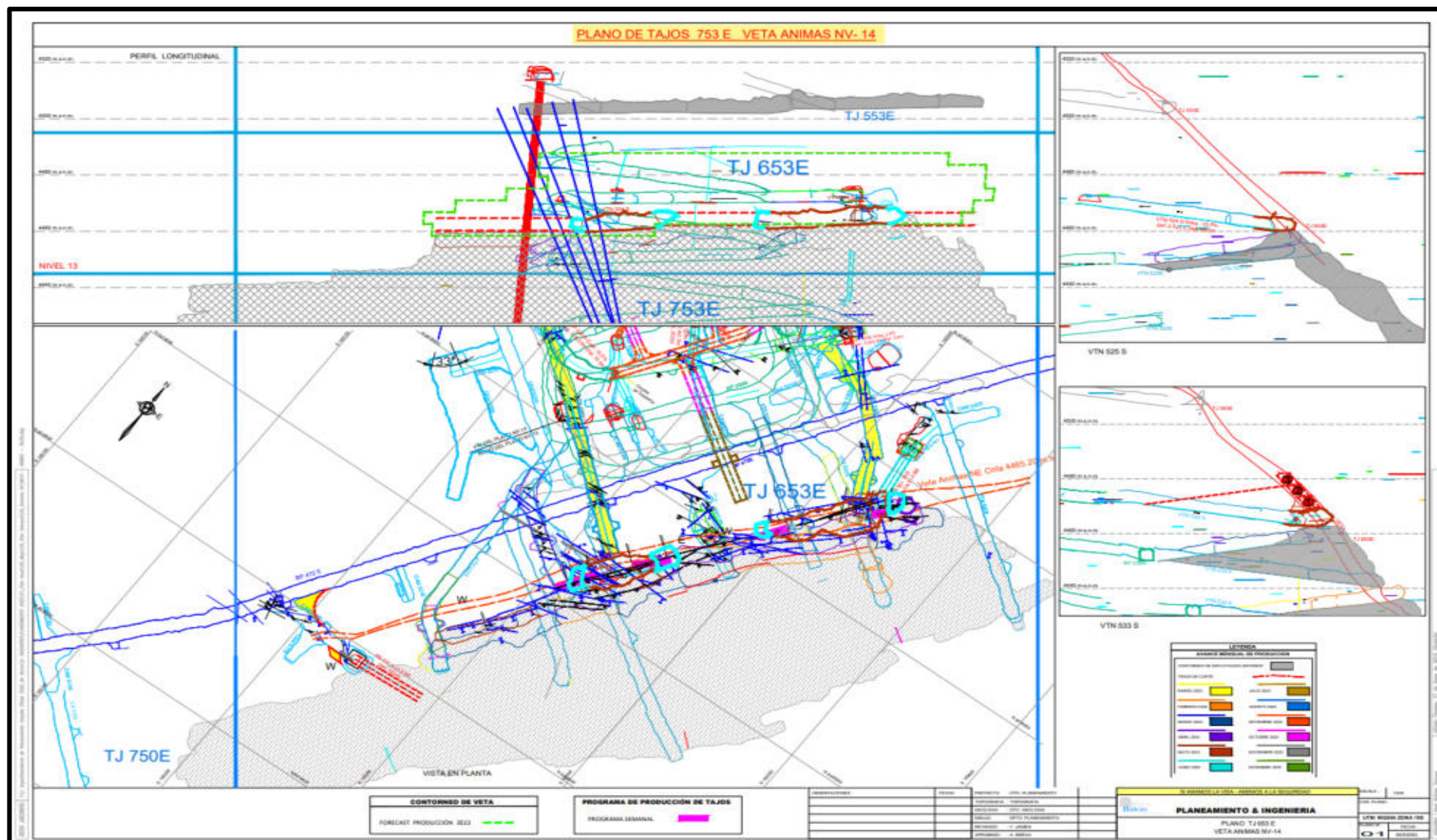
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema General ¿En qué medida el análisis y monitoreo de las vibraciones producidas por la voladura permite reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020?</p>	<p>Objetivo General Determinar en qué medida el análisis y monitoreo de las vibraciones producidas por la voladura permiten reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.</p>	<p>Hipótesis General El análisis y monitoreo de las vibraciones producidas por la voladura permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>X: VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LA VOLADURA</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Y: DAÑOS AL MACIZO ROCOSO</p>	<p>POBLACIÓN Y MUESTRA El presente trabajo de investigación es intencional no aleatorio, por lo que no se considera una población tampoco se calcula el número de muestras. El estudio está circunscrito en el tajo 753E</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN No experimental</p> <p>TÉCNICAS Recolección de datos, Observación</p> <p>INSTRUMENTOS Ficha técnica</p>
Problema Específicos	Objetivo Específicos	Hipótesis Específicos		
<p>a. ¿Cómo afecta la cantidad de explosivo para reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E - UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020?</p> <p>b. ¿Cómo influye la distribución de los retardos para reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020?</p>	<p>a. Determinar cómo afecta la cantidad de explosivo para reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.</p> <p>b. Determinar cómo influye la distribución de los retardos para reducir los daños al macizo rocoso en el Tj 753E UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.</p>	<p>a. La reducción de la cantidad de explosivo al analizar las vibraciones por voladura permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.</p> <p>b. La distribución uniforme de los retardos en el frente permite reducir significativamente los daños al macizo rocoso en el Tj 753E UEA San Cristóbal - Minera Bateas S.A.C. - Arequipa - 2020.</p>		

ANEXO 02 PLANOS
PLANO GEOMECÁNICO TJ 753E



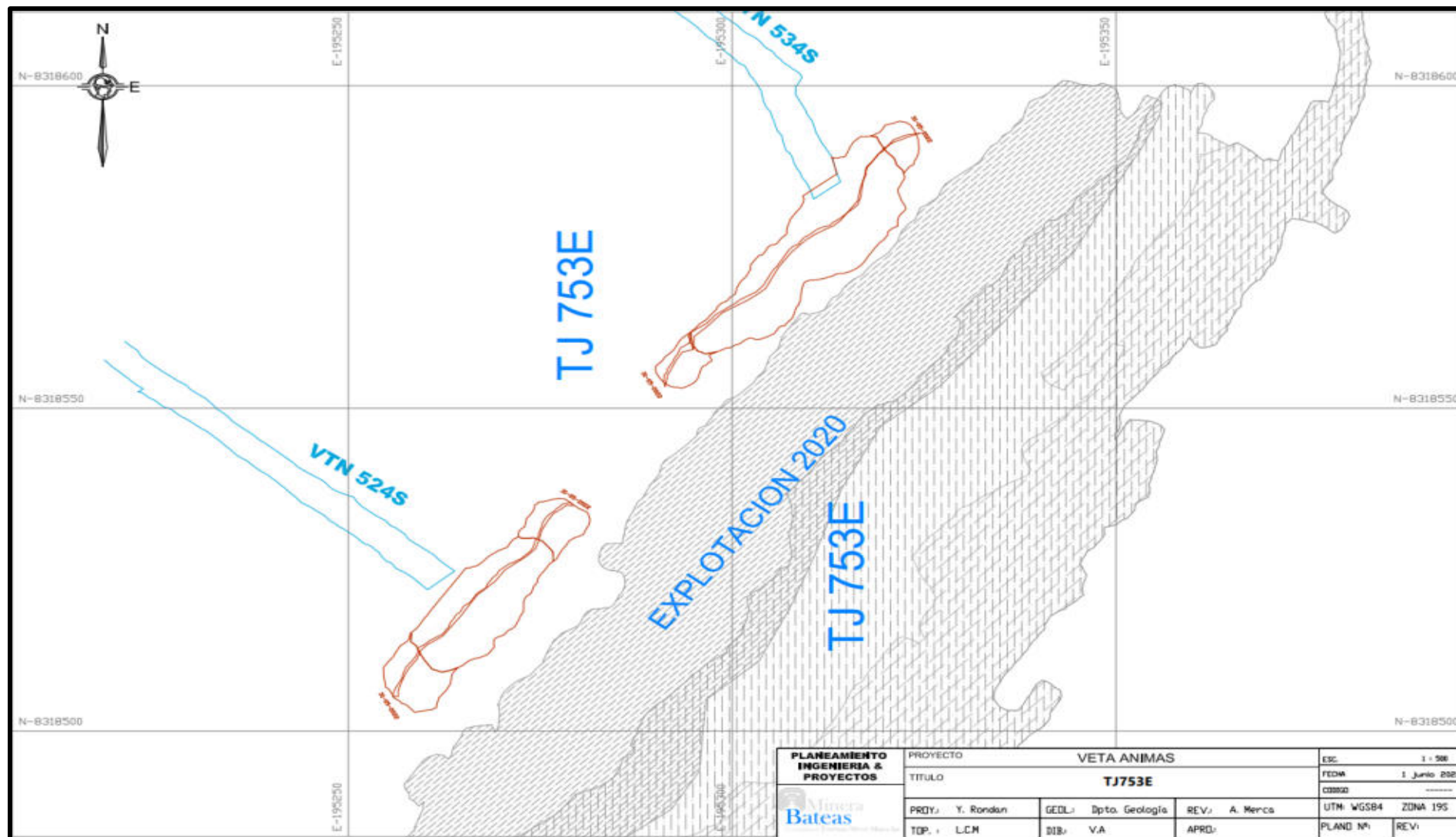
Extraído de Área de Geomecánica (MIBSAC, 2020)

PLANO TOPOGRÁFICO TJ 753E



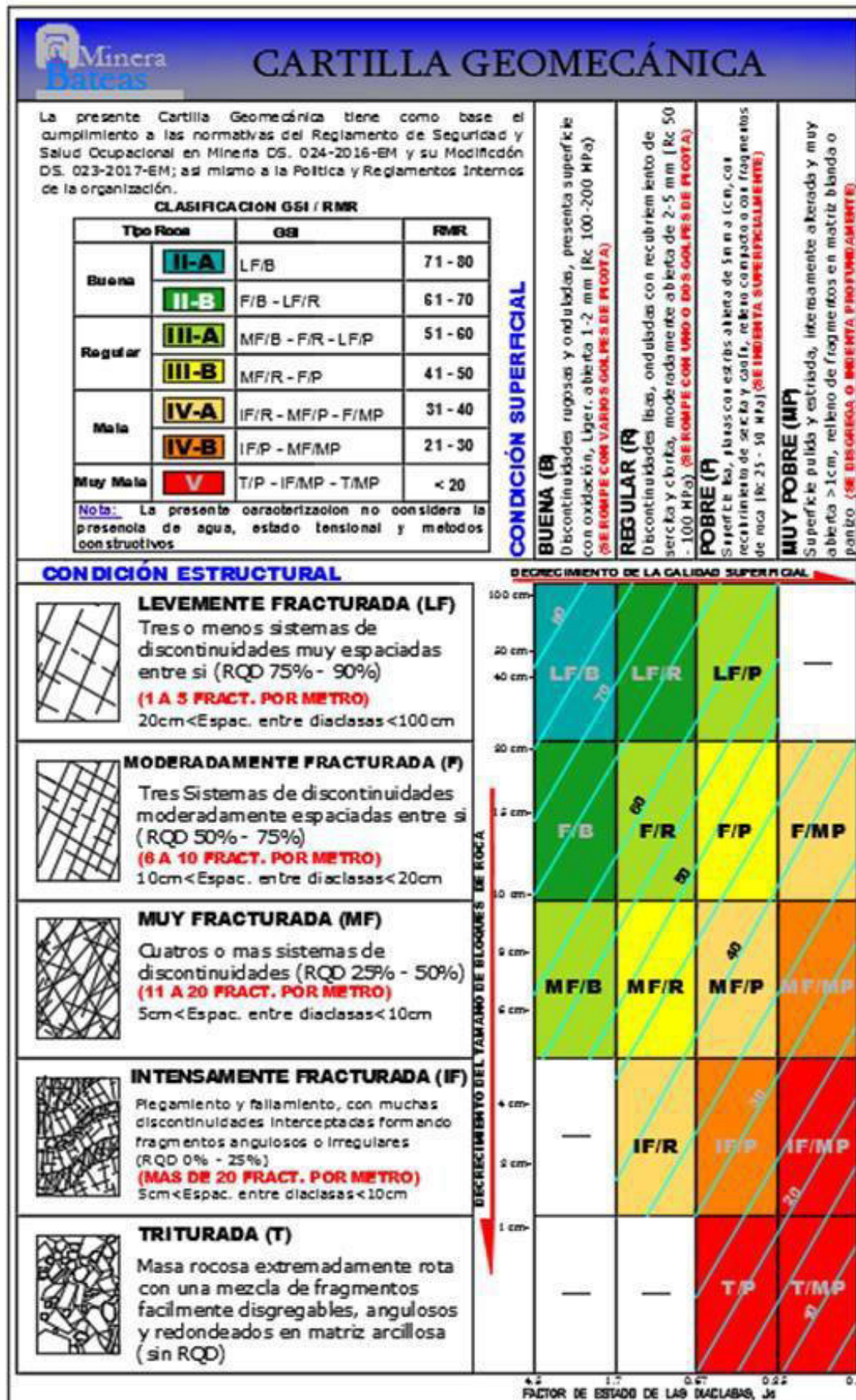
Extraído de Área de planeamiento (MIBSAC, 2020)

PLANO DE EXPLOTACIÓN TJ 753E



Extraído de Área de planeamiento (MIBSAC, 2020)






ANEXO 03 CARTILLA GEOMECÁNICA – CLASIFICACIÓN GSI



Extraído de Área de Geomecánica (MIBSAC, 2020)



ANEXO 04 GUÍAS PARA ESTIMAR EL FACTOR DE ALTERACIÓN D

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor <i>D</i> sugerido
	<p>Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel</p>	<p><i>D</i> = 0</p>
	<p>Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.</p> <p>Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.</p>	<p><i>D</i> = 0</p> <p><i>D</i> = 0.5 No invert</p>
	<p>Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.</p>	<p><i>D</i> = 0.8</p>
	<p>Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.</p>	<p><i>D</i> = 0.7 Good blasting</p> <p><i>D</i> = 1.0 Poor blasting</p>
	<p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.</p> <p>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.</p>	<p><i>D</i> = 1.0 Production blasting</p> <p><i>D</i> = 0.7 Mechanical excavation</p>

Extraído de Criterio de rotura (HOEK, y otros, 2002)

ANEXO 05 REGISTROS FOTOGRÁFICOS

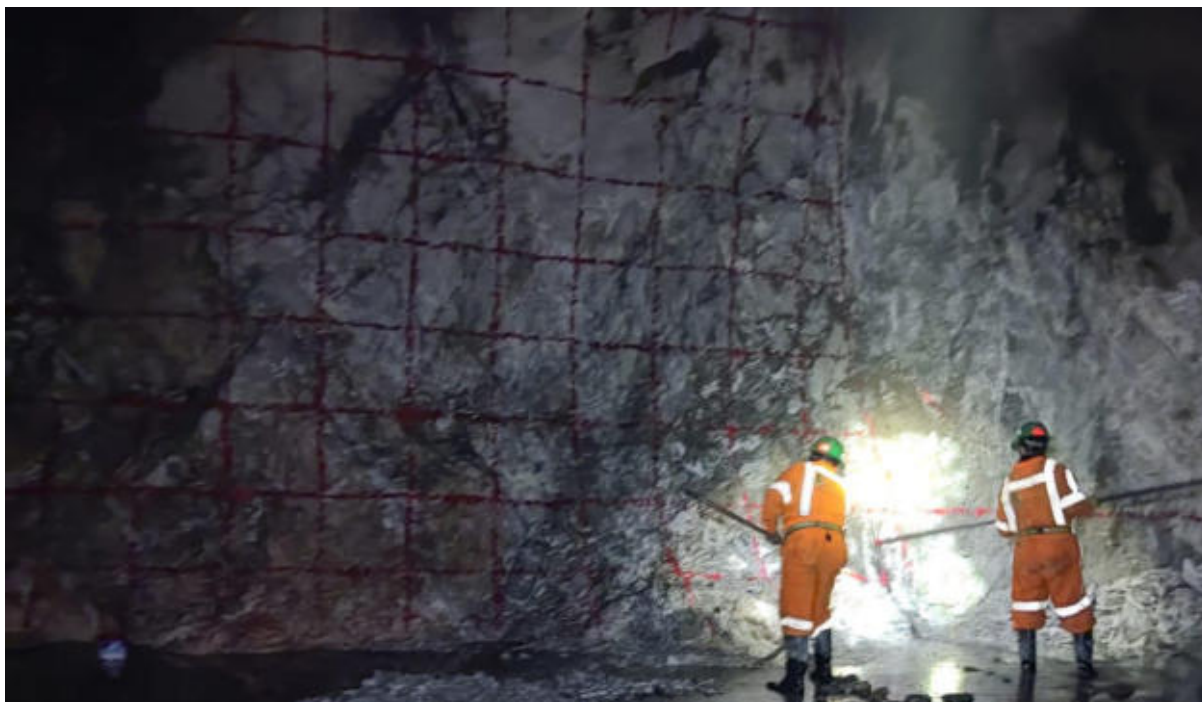


Figura 49 — Malla de perforación marcado en el frente de trabajo



Figura 50 — Perforación de taladros en el frente de trabajo



Figura 51 — Actividad de carguío de taladros en el frente de trabajo

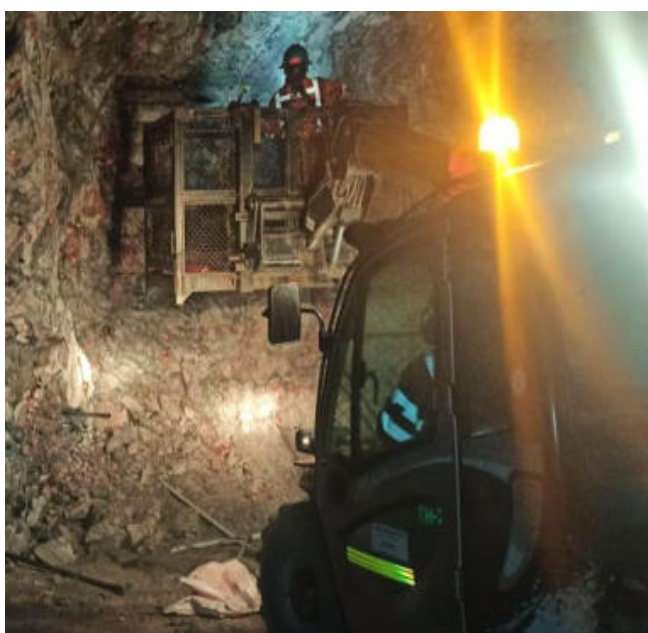


Figura 52 — Utilización del cargador de Anfo a 80 psi en el frente de trabajo



Figura 53 — Ubicación del sismógrafo, infraestructura próxima al tajo



Figura 54 — Ubicación del transductor (geófono) antes de la voladura

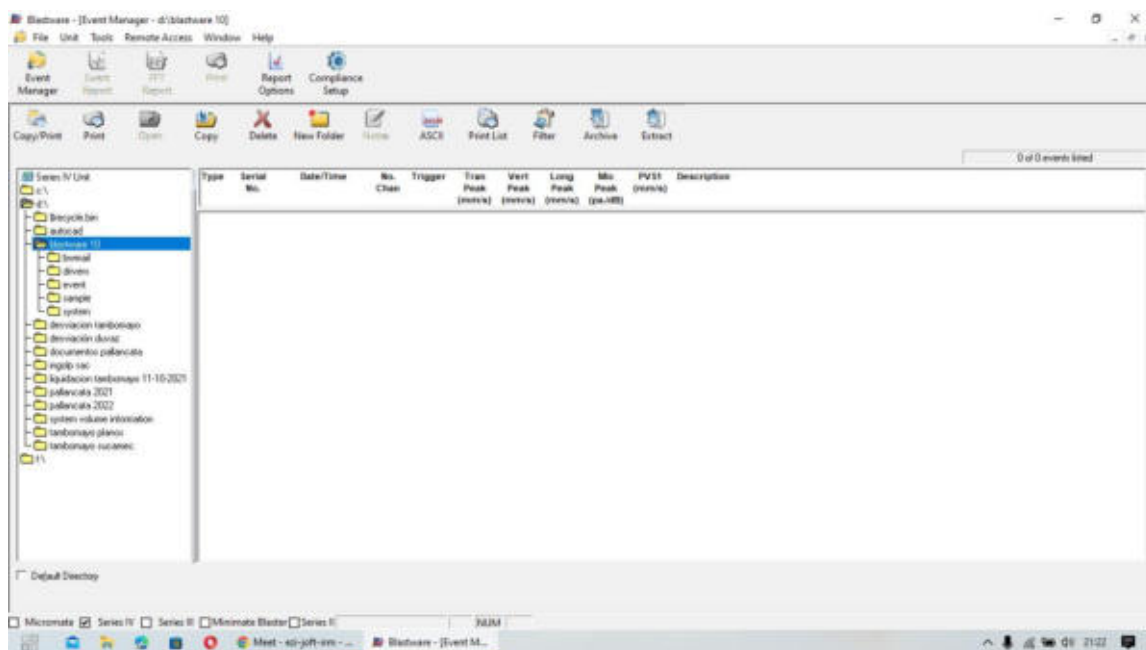


Figura 55 — Aplicación del software Blastware para la exportación del sismograma – comparación con la norma USBM RI750

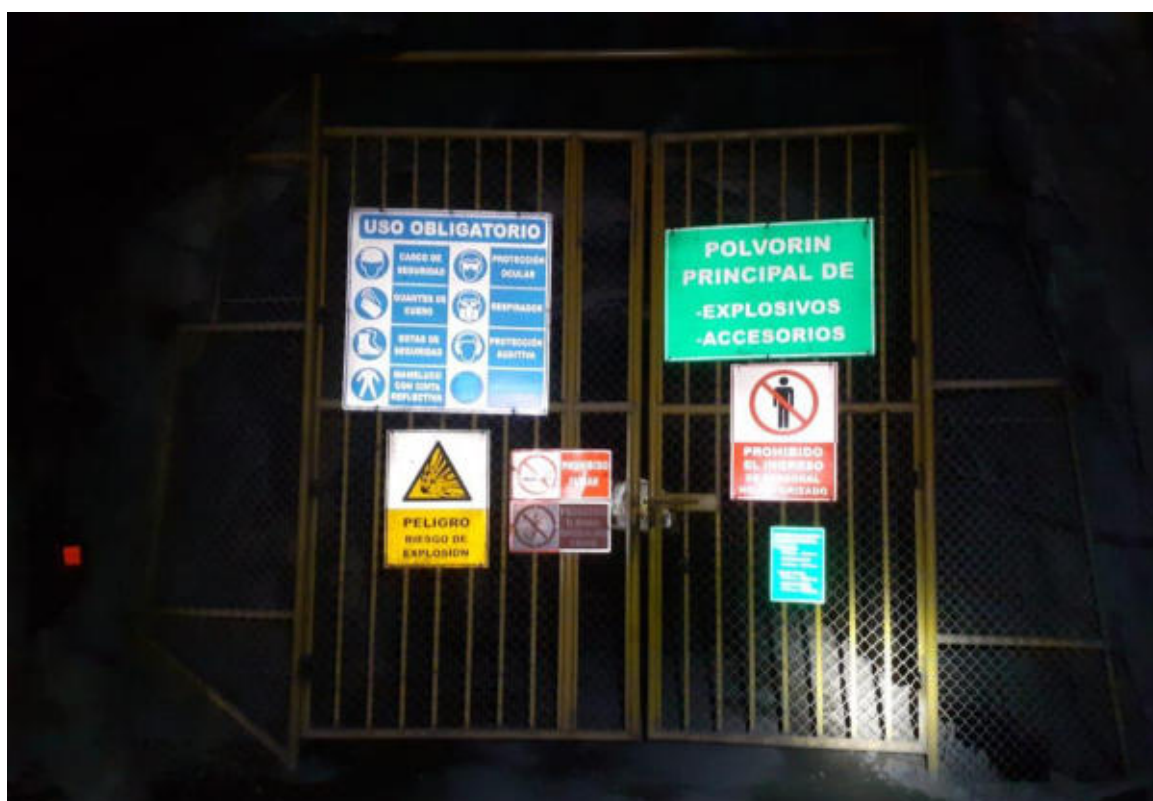


Figura 56 — Polvorín principal de explosivos y accesorios



Figura 57 — Capacitación al personal antes de iniciar con los trabajos de la guardia – importancia del monitoreo de vibraciones



Figura 58 — Capacitación al líder la labor en oficina técnica



Figura 59 — Infraestructuras en interior mina, cámaras de bombeo, subestaciones eléctricas



Figura 60 — Inspección de equipos antes de inicio de los trabajos – Check list

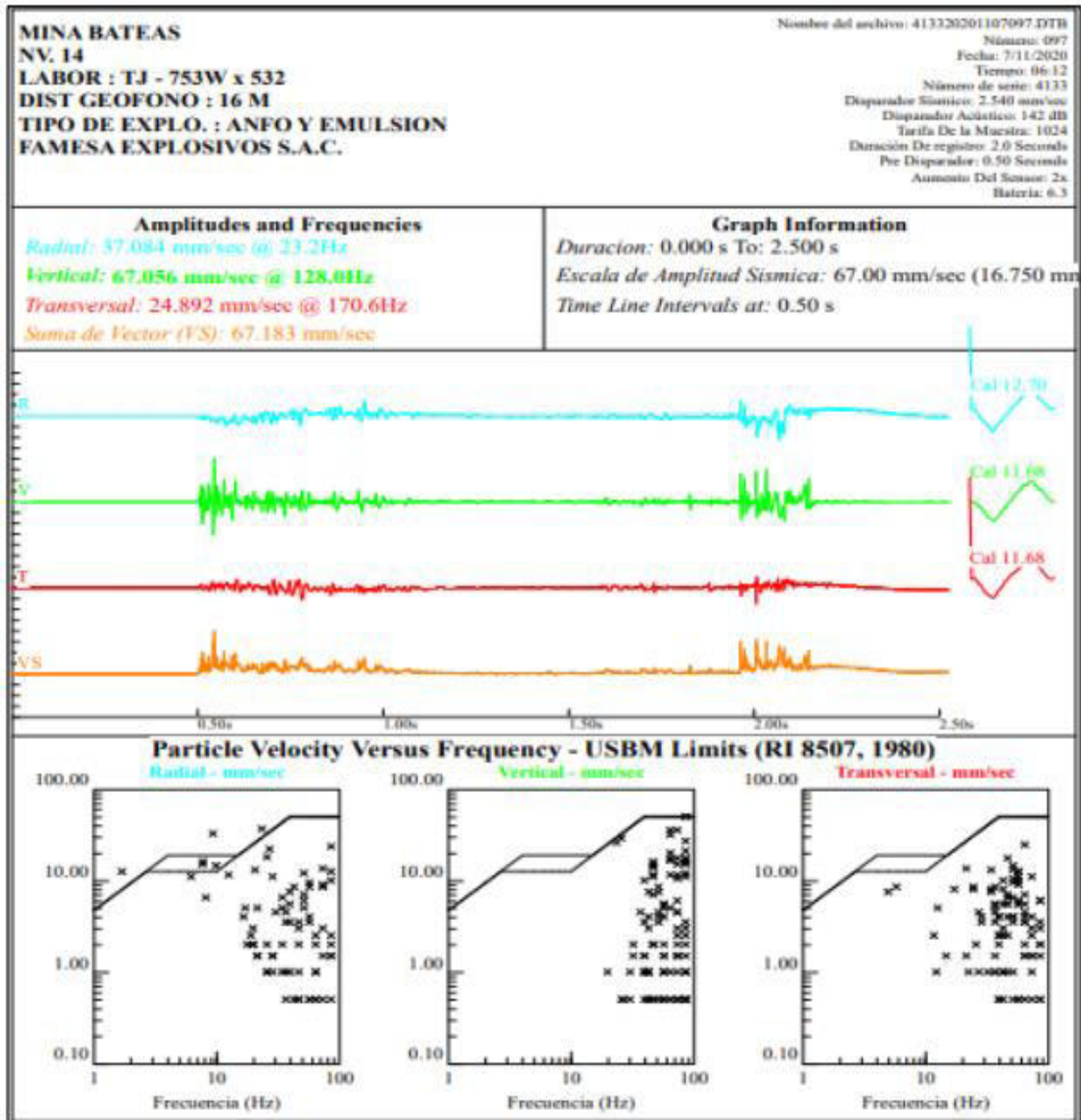


Figura 61 — Trabajos de supervisión en campo – capacitación al líder de la labor

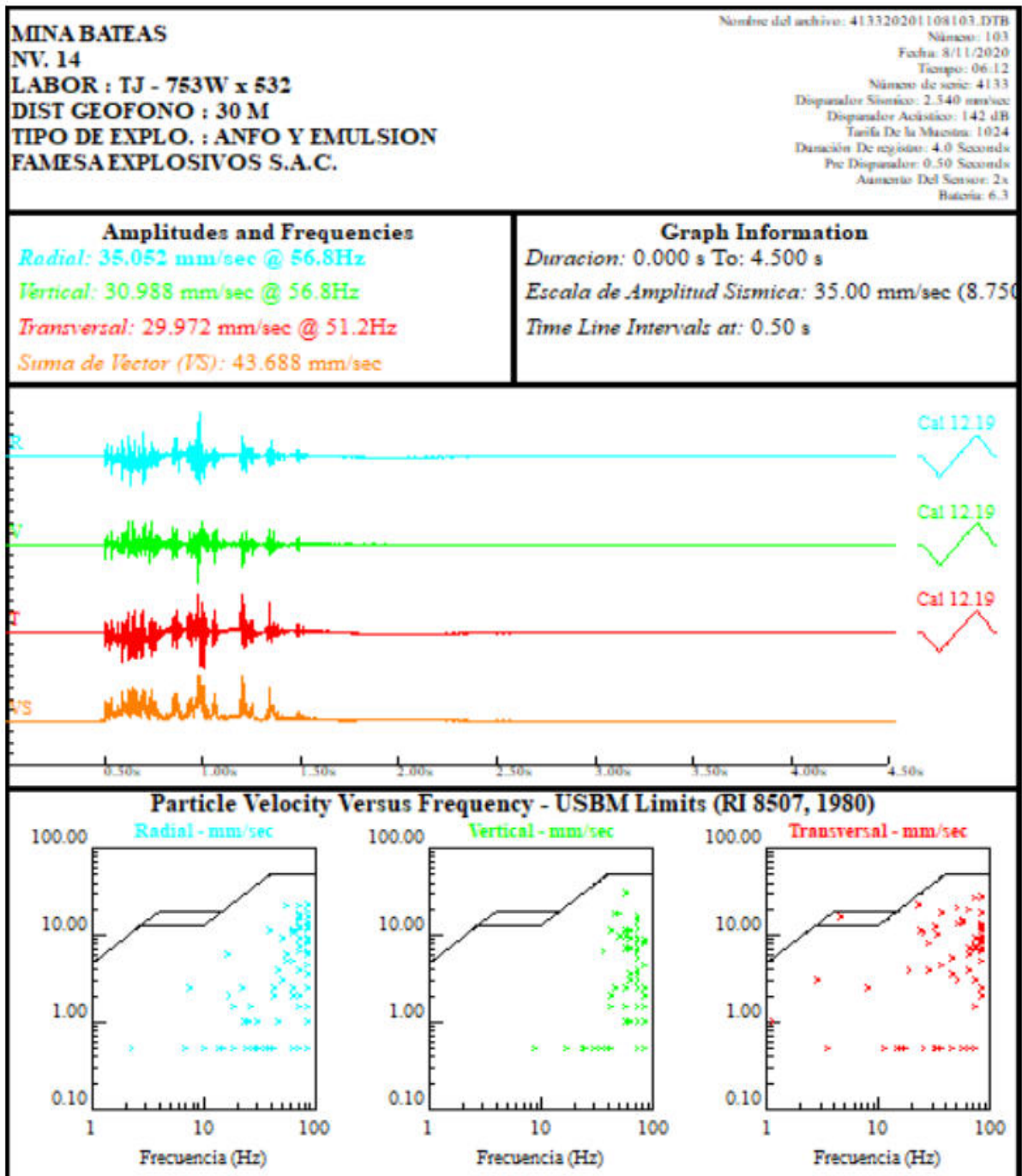


Figura 62 — Trabajos de supervisión después del marcado de malla de perforación

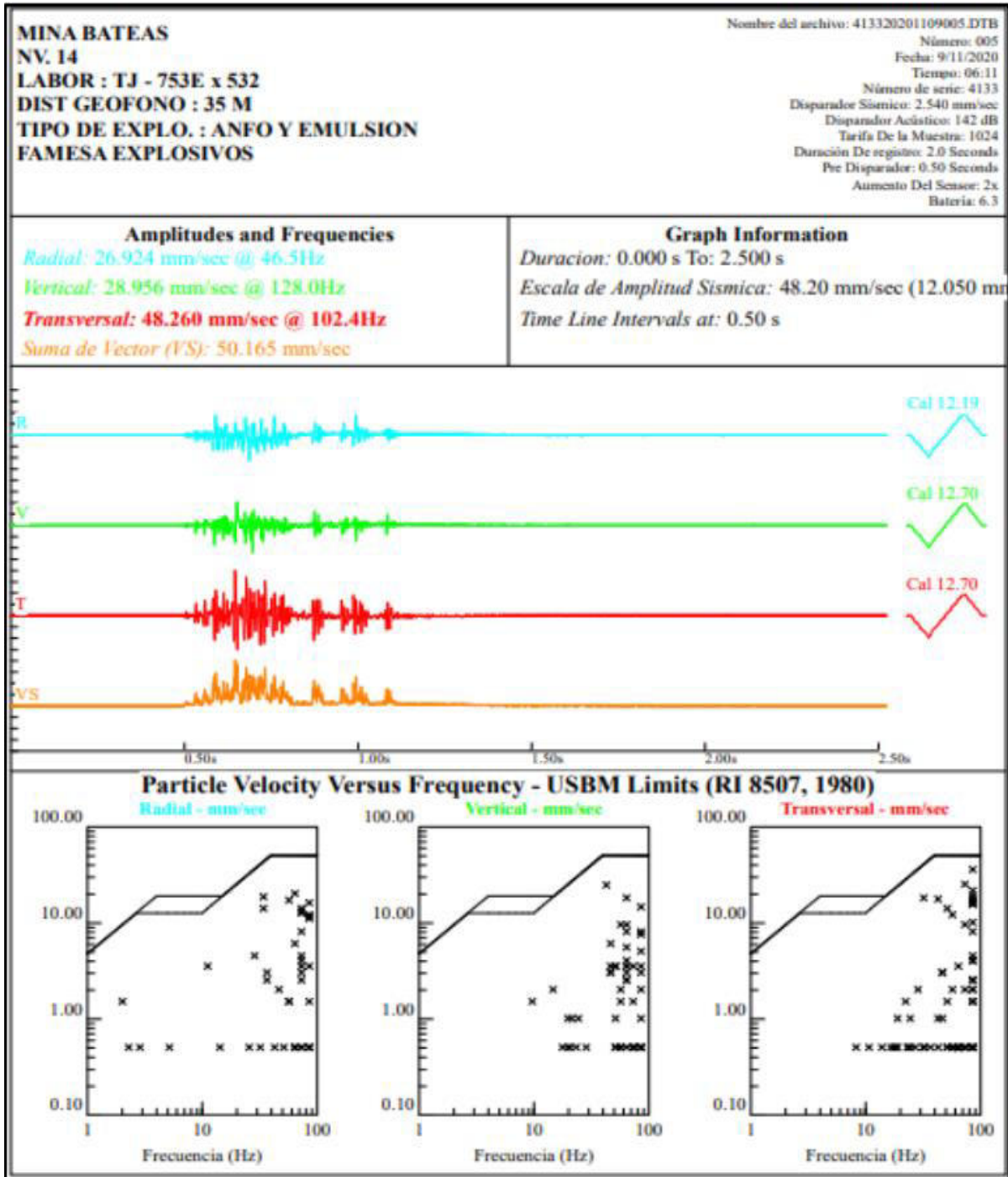
ANEXO 06 SISMOGRAMAS DE VOLADURA TJ 753E SISMOGRAMA 1



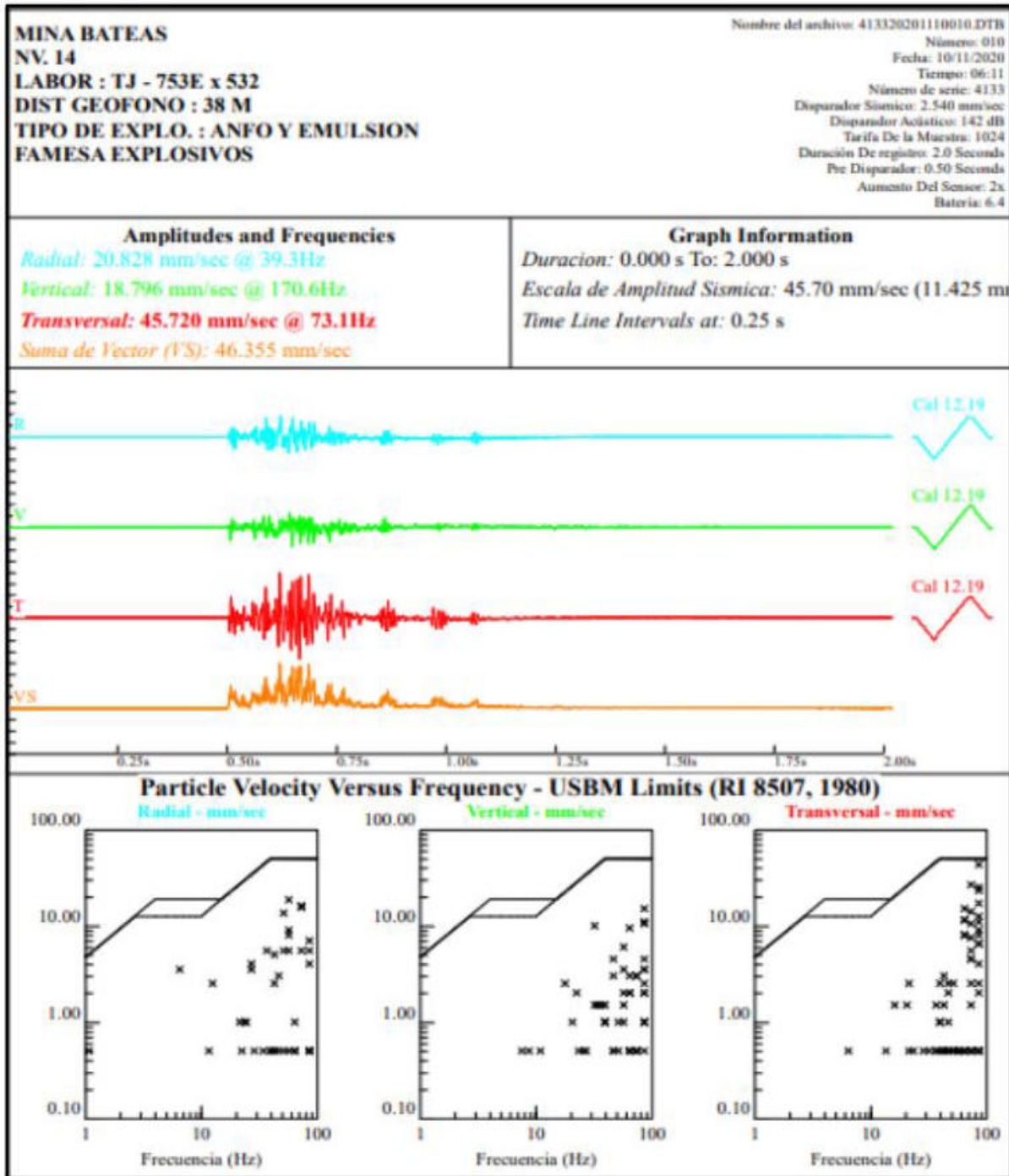
SISMOGRAMA 2



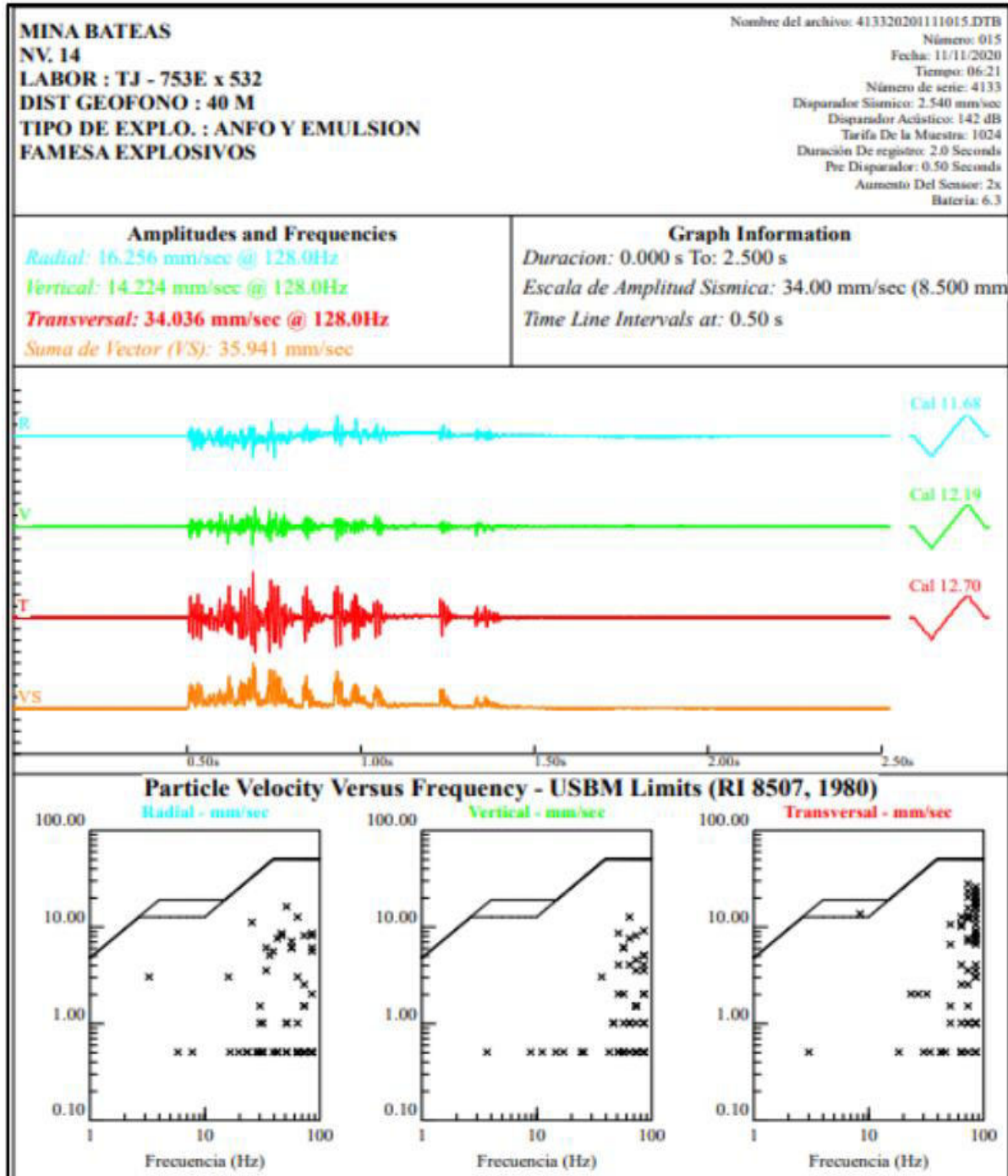
SISMOGRAMA 3



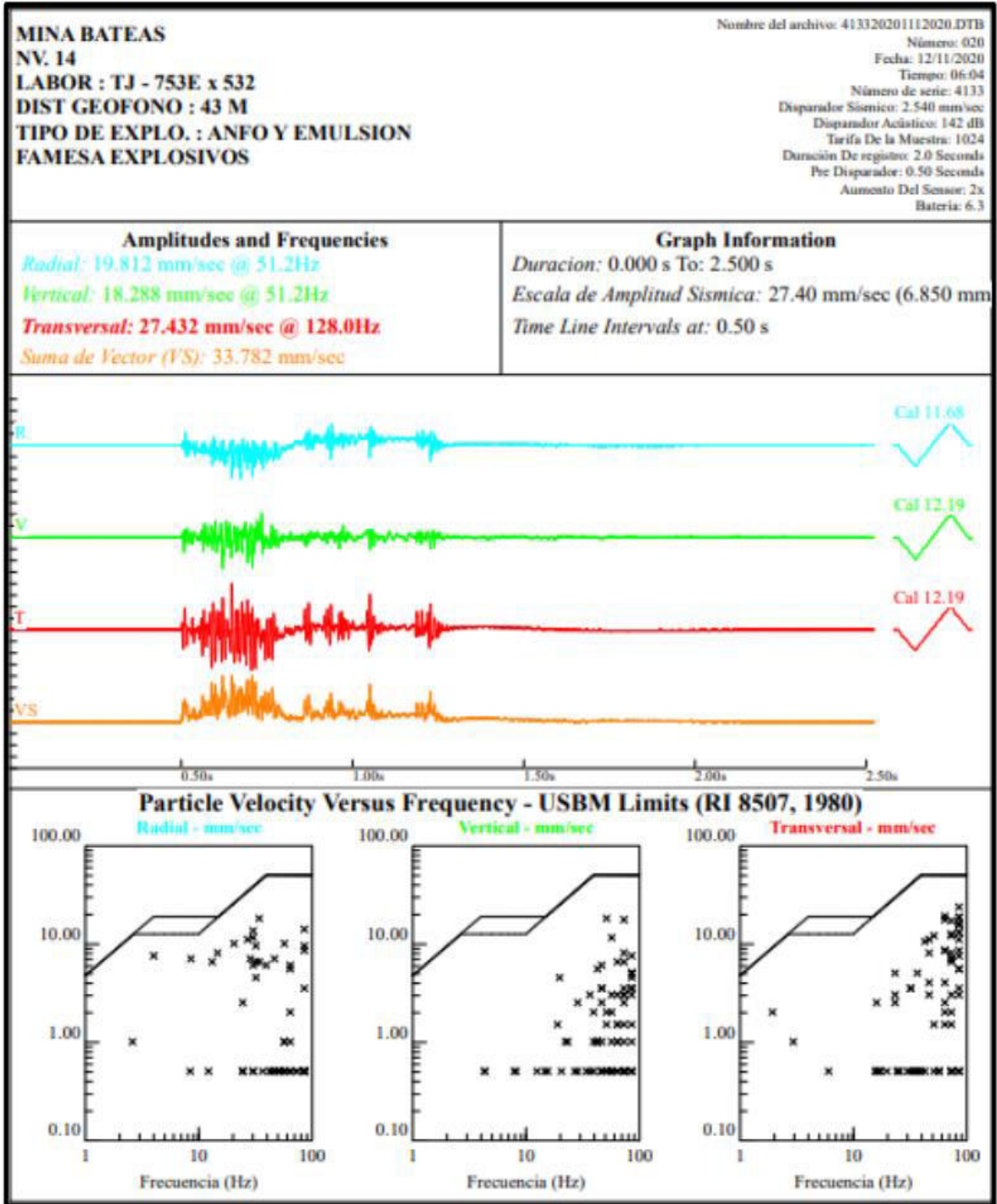
SISMOGRAMA 4



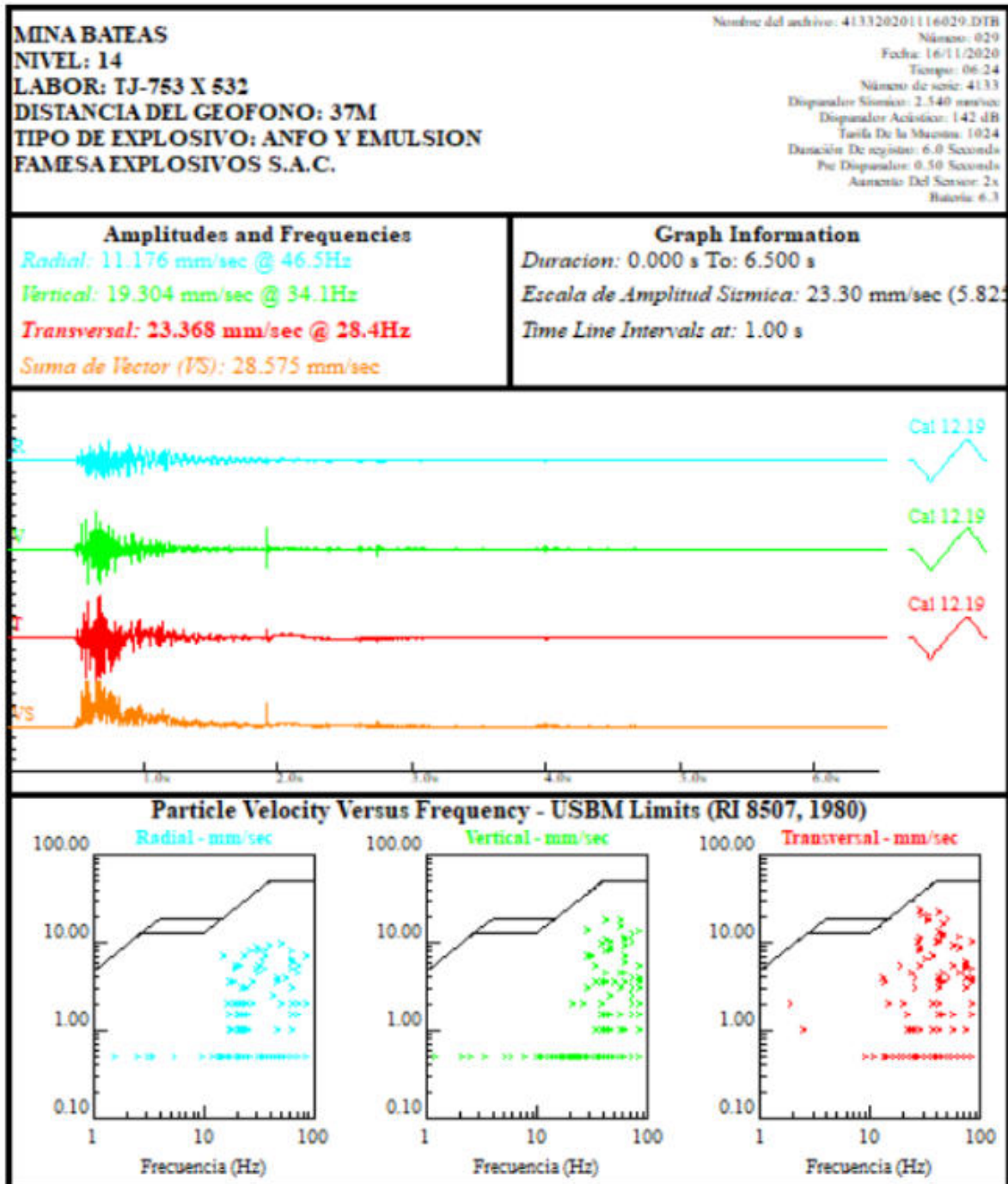
SISMOGRAMA 5



SISMOGRAMA 6



SISMOGRAMA 7



ANEXO 07 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO SISMÓGRAFO

**SEISMOGRAPH
CALIBRATION CERTIFICATE**
201013 - 0050

Instrument Model: MSJL-2G
Instrument S/N: 4133
Seismic S/N: 4132
Acoustic S/N: 4069

Seismic Results (in/s)



Frequency	Input	Radial	Vertical	Transverse	Tolerance	Pass/ Fail
2	1.00	0.98	0.98	0.97	+5% to -3 dB	Passed
3	1.00	1.00	1.01	0.98	+5% to -3 dB	Passed
10	1.00	1.01	1.00	1.00	+/-5% or +/- 0.02 in/s whichever is greater	Passed
30	1.00	1.00	1.00	1.00	+/-5% or +/- 0.02 in/s whichever is greater	Passed

Acoustic Results (dB)

Frequency	Input	Acoustic	Tolerance	Pass/ Fail
2	136.9	135.8	-3 dB, +/-1 dB	Passed
3	136.9	136.7	-3 dB, +/-1 dB	Passed
10	136.9	136.9	+/-1 dB	Passed
30	136.9	136.9	+/-1 dB	Passed

Statement:
I certify that all seismic and acoustic components of this instrument were calibrated on a shake table, and in an acoustic chamber, at the listed input level and frequencies.
The results are within the International Society of Explosives Engineers (ISEE) Performance Specifications for Blasting Seismographs.


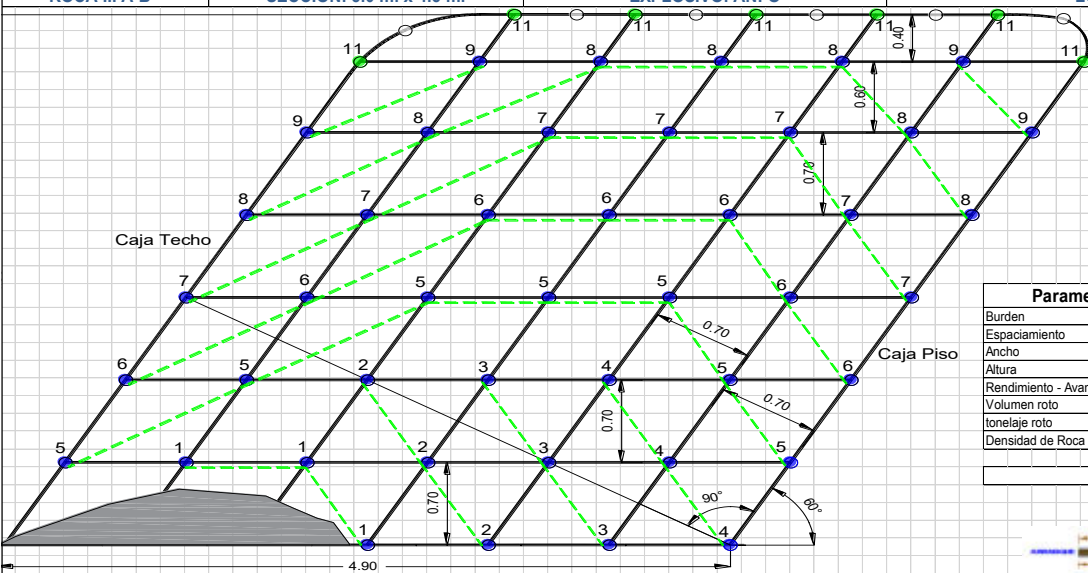



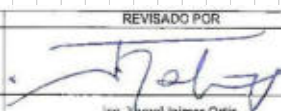

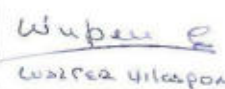
Date: 13/10/2020 Technician: Juan Cisneros
Due date: 12/10/2021

 **White Industrial Seismology, Inc.** 

**WHITE INDUSTRIAL SEISMOLOGY, INC. certifies that
GEOENGINEERING SERVICES & CONSULTING E.I.R.L.
is an authorized Calibration Facility for White seismographs.**
Blas Engineering S.A.S. Av. de Naya 1462, No. 363, San Andrés, Línea Pura, Cali, COLOMBIA. TEL: +57 (313) 4610000 www.whiteindustrial.com



ANEXO 08 MALLA ESTANDAR DE PERFORACIÓN TAJEO EN BREASTING

	ESTANDAR DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN TAJOS EN BREASTING - ROCA TIPO III A-B				UEA SAN CRISTOBAL																																																																																
	Código: STDR - MIN - 001 - A11	Fecha de Aprobación: 28/11/2019	Versión: 02	Página: 11/17																																																																																	
ROCA III A-B	SECCIÓN: 5.0 m. x 4.5 m.	EXPLOSIVO: ANFO	LONG. PERF. 3.30 METROS	12 PIES																																																																																	
																																																																																					
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parametros Técnicos</th> <th>Diámetro de Broca</th> <th>mm.</th> <th>45</th> <th>Kg Anfo / taladro</th> <th>Kg/tal</th> <th>3.0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Burden</td> <td>m.</td> <td>0.7</td> <td>Diámetro de Rimadora</td> <td>mm.</td> <td>102</td> <td>Anfo</td> <td>Kg.</td> <td>132</td> </tr> <tr> <td>Espaciamento</td> <td>m.</td> <td>0.7</td> <td>Long. Prom. De Taladros</td> <td>m.</td> <td>3.3</td> <td>Emulnor 5000 1 1/4"x12"</td> <td>und.</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td>m.</td> <td>4.9</td> <td>Taladros Alivio Corona</td> <td>und.</td> <td>6</td> <td>Emulnor 3000 1 1/4"x12"</td> <td>und.</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Altura</td> <td>m.</td> <td>4.5</td> <td>Taladros de producción</td> <td>und.</td> <td>44</td> <td>Faneles</td> <td>und.</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>Rendimiento - Avance</td> <td>m.</td> <td>3</td> <td>Taladros de control corona</td> <td>und.</td> <td>7</td> <td>Carmex</td> <td>und.</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Volumen roto</td> <td>m3.</td> <td>66.2</td> <td>Taladros Cargados</td> <td>und.</td> <td>51</td> <td>Cordon detonante</td> <td>m.</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>tonelaje roto</td> <td>ton.</td> <td>189.2</td> <td>Taladros Perforados</td> <td>und.</td> <td>57</td> <td>Mecha rapida</td> <td>m.</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>Densidad de Roca</td> <td>ton/m³</td> <td>2.86</td> <td>Densidad lineal Anfo</td> <td>Kg/m</td> <td>1.2</td> <td>Explosivo Total</td> <td>Kg.</td> <td>154.6</td> </tr> </tbody> </table>						Parametros Técnicos		Diámetro de Broca	mm.	45	Kg Anfo / taladro	Kg/tal	3.0	Burden	m.	0.7	Diámetro de Rimadora	mm.	102	Anfo	Kg.	132	Espaciamento	m.	0.7	Long. Prom. De Taladros	m.	3.3	Emulnor 5000 1 1/4"x12"	und.	51	Ancho	m.	4.9	Taladros Alivio Corona	und.	6	Emulnor 3000 1 1/4"x12"	und.	35	Altura	m.	4.5	Taladros de producción	und.	44	Faneles	und.	51	Rendimiento - Avance	m.	3	Taladros de control corona	und.	7	Carmex	und.	2	Volumen roto	m3.	66.2	Taladros Cargados	und.	51	Cordon detonante	m.	45	tonelaje roto	ton.	189.2	Taladros Perforados	und.	57	Mecha rapida	m.	0.25	Densidad de Roca	ton/m³	2.86	Densidad lineal Anfo	Kg/m	1.2	Explosivo Total	Kg.	154.6
Parametros Técnicos		Diámetro de Broca	mm.	45	Kg Anfo / taladro	Kg/tal	3.0																																																																														
Burden	m.	0.7	Diámetro de Rimadora	mm.	102	Anfo	Kg.	132																																																																													
Espaciamento	m.	0.7	Long. Prom. De Taladros	m.	3.3	Emulnor 5000 1 1/4"x12"	und.	51																																																																													
Ancho	m.	4.9	Taladros Alivio Corona	und.	6	Emulnor 3000 1 1/4"x12"	und.	35																																																																													
Altura	m.	4.5	Taladros de producción	und.	44	Faneles	und.	51																																																																													
Rendimiento - Avance	m.	3	Taladros de control corona	und.	7	Carmex	und.	2																																																																													
Volumen roto	m3.	66.2	Taladros Cargados	und.	51	Cordon detonante	m.	45																																																																													
tonelaje roto	ton.	189.2	Taladros Perforados	und.	57	Mecha rapida	m.	0.25																																																																													
Densidad de Roca	ton/m³	2.86	Densidad lineal Anfo	Kg/m	1.2	Explosivo Total	Kg.	154.6																																																																													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Factores</th> <th>Factor de potencia</th> <th>kg/m³</th> <th>2.34</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Factor de potencia</td> <td>Kg/ton</td> <td>0.82</td> </tr> </tbody> </table>						Factores		Factor de potencia	kg/m³	2.34			Factor de potencia	Kg/ton	0.82																																																																						
Factores		Factor de potencia	kg/m³	2.34																																																																																	
		Factor de potencia	Kg/ton	0.82																																																																																	
																																																																																					
Nota: La presión de carga debe ejecutarse a 80 PSI Realizar un secuenciamiento de salida en trapezio																																																																																					
 Ing. Mao Muñoz Huamán Ing. Perforación y Voladura 28/11/2019	 Ing. Pedy Mocerías Fernández Superintendente de Mina	 Ing. Yonel Jaimes Ortiz Superintendente de Planeamiento	 Ing. Adolfo Merca Conde Gerente de Operaciones 28/11/2019	 Wupau Controladora																																																																																	

Extraído de Área de perforación y voladura (MIBSAC, 2020)

ANEXO 09 FICHAS TÉCNICAS DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS

FICHA TÉCNICA EXPLOSIVO ANFO - FAMESA



AGENTES DE VOLADURA
SUPERFAM DOS®
ANFO

Descripción y composición

El SUPERFAM DOS® es un agente explosivo granular compuesto con Nitrato de Amonio en prills grado ANFO, un combustible líquido y un colorante. La mezcla se realiza en equipos modernos de alta precisión que sumados a la alta calidad de los componentes, nos permite producir un agente de voladura de óptima calidad.

El Nitrato de Amonio con el cual se fabrica el SUPERFAM DOS® presenta una alta capacidad de retención de petróleo, con lo cual obtenemos un producto más estable, de manera que no migre el combustible después de un prolongado tiempo de fabricación.

Usos

El SUPERFAM DOS® se utiliza principalmente en minería superficial como también en minería subterránea, obras civiles y donde el tipo de roca sea blanda o semidura.

El SUPERFAM DOS® es recomendable utilizarlo en labores donde exista una buena ventilación y ausencia de afloramiento de agua, en minería superficial, minería subterránea, obras civiles y trabajos de tunelería.

Cuando se usa en taladros de diámetros convencionales en minería subterránea, con el propósito de optimizar su rendimiento recomendamos iniciarlo con Dinamita tipo Semigelatina® o Gelatina® o Emulsiones, tipo Emulnor® 3000; ambas fabricadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. para diámetros mayores, se debe emplear cebos de alta densidad tipo BOOSTER HDP.

Características técnicas

		SUPERFAM DOS®
Densidad aparente (g/cm ³)		0,80 ± 0,05
Velocidad de detonación (m/s) (*)		3 000 ± 300
Energía teórica	Por peso (cal/g)	932
	Por volumen (cal/cm ³)	746
Energía relativa	Por peso (%)	100
	Por volumen (%)	100
Presión de detonación (kbar)		51

* Confirmado en tubo de 2 pulgadas de diámetro.

Presentación

Se presenta envasado en doble bolsa: la bolsa interior es de polietileno con características impermeables, mientras que la bolsa exterior es de polipropileno, material resistente al manejo y almacenamiento en la cual se exhibe la identificación del producto.

Material	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)	
SUPERFAM DOS®	Plástico	25,0	25,3	83,8 x 50,8

Transporte

Clase: 1
División: 1.5D
N° ONU: 0331





MANUELO Y ALMACENAMIENTO

Los productos y servicios de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son suministrados por el canal de distribución de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. a través de sus representantes autorizados. FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no es responsable de los daños o lesiones causados por el uso incorrecto de los productos suministrados por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. o por el uso de los productos suministrados por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. en condiciones no autorizadas.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso los precios, condiciones de venta, especificaciones técnicas y características de los productos suministrados por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. sin que ello implique responsabilidad alguna por parte de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. o de sus representantes autorizados.

ATENCIÓN

La información y documentación técnica de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. es propiedad intelectual de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. y no debe ser divulgada, copiada, reproducida, distribuida o utilizada sin el consentimiento escrito de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso los precios, condiciones de venta, especificaciones técnicas y características de los productos suministrados por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. sin que ello implique responsabilidad alguna por parte de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. o de sus representantes autorizados.



FICHA TÉCNICA EXPLOSIVO EMULNOR – FAMESA



EMULNOR®

EMULSIÓN / HIDROGEL ENCARTUCHADA

Descripción y composición

El EMULNOR® es una emulsión explosiva encartuchada en una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura.

Tipos y usos

Para satisfacer los requerimientos del mercado, FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. cuenta con los siguientes tipos:

• EMULNOR® 500.-
Para la voladura de rocas muy suaves.

• EMULNOR® 1000.-
Para la voladura de rocas suaves a intermedias.

• EMULNOR® 3000.-
Para la voladura de rocas intermedias a duras.

• EMULNOR® 5000.-
Para la voladura de rocas muy duras.

Su uso está orientado a cualquier tipo de trabajo: En explotaciones y desarrollos mineros, en obras de ingeniería civil, en canteras, en taladros secos, húmedos e inundados, con una modalidad de aplicación similar a las dinamitas convencionales, pudiendo trabajar como columna explosiva o como "cebos" de iniciación de columnas de nitro-carbonitratos.

Debido a la buena calidad de los gases residuales y al no contener nitroglicerina en su composición, permite que el personal reingrese a la labor en menor tiempo; obteniéndose mejoras en los ciclos de trabajo, sin desmedro de la seguridad.

Transporte

Clase: 1
División: 1.1 D
N° ONU: 0281



Características técnicas

	EMULNOR® 500	EMULNOR® 1000	EMULNOR® 3000	EMULNOR® 5000
Densidad relativa (g/cm³)	0,90 ± 0,15	1,13 ± 0,1	1,14 ± 0,1	1,16 ± 0,1
Velocidad de confinado* (m/s)	4 400 ± 300	5 800 ± 300	5 700 ± 300	5 500 ± 300
Velocidad de detonación** (m/s)	3 500 ± 300	4 500 ± 300	4 400 ± 300	4 200 ± 300
Presión de detonación (MPa)	44	95	93	88
Energía (kcal/kg)	628	785	820	1010
Volumen normal de gases (litro)	952	920	860	870
Potencia relativa en peso (%) (***)	70	87	102	112
Potencia relativa en volumen (%) (***)	77	120	142	150
Sensibilidad al fabricante	Nº 8	Nº 8	Nº 8	Nº 8
Resistencia al agua	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos	Primera	Primera	Primera	Primera

* Velocidad de detonación en tubo de 1" de diámetro de aluminio.
** Velocidad de detonación como estándar de 1 pulgada de aluminio.
*** Potencias relativas referidas al ANFO con potencia convencional de 100.

Presentación

	Material de caja	Capacidad de caja (Pza.)	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
EMULNOR® 500 1' x 7"	Cartón	318	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 500 1' x 8"	Cartón	294	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 30,0
EMULNOR® 1000 1' x 7"	Cartón	264	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 1000 1' x 8"	Cartón	230	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 1000 1' x 12"	Cartón	150	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0
EMULNOR® 3000 1' x 7"	Cartón	260	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 3000 1' x 8"	Cartón	228	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 3000 1' x 12"	Cartón	144	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0
EMULNOR® 5000 1' x 7"	Cartón	248	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 5000 1' x 8"	Cartón	216	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 5000 1' x 12"	Cartón	142	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0

Check formato de empaque de acuerdo a pedido.



MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Los productos e instalaciones de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son propiedad exclusiva de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. y no deben ser utilizados para fines distintos a los autorizados por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. sin el consentimiento escrito de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no se responsabiliza por los daños ocasionados por el uso indebido de los productos, instalaciones y/o servicios de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. ni por el uso de los mismos en condiciones distintas a las autorizadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no acepta responsabilidad alguna por el uso indebido de los productos e instalaciones de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. ni por el uso de los mismos en condiciones distintas a las autorizadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no se responsabiliza por los daños ocasionados por el uso indebido de los productos, instalaciones y/o servicios de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. ni por el uso de los mismos en condiciones distintas a las autorizadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.

ATENCIÓN

La información y recomendación que describe el uso de los productos de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son propiedad exclusiva de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. y no deben ser utilizados para fines distintos a los autorizados por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. sin el consentimiento escrito de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no se responsabiliza por los daños ocasionados por el uso indebido de los productos, instalaciones y/o servicios de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. ni por el uso de los mismos en condiciones distintas a las autorizadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.



FICHA TÉCNICA ACCESORIOS DE VOLADURA FANELES – FAMESA



SISTEMAS DE INICIACIÓN

FANEL®

DETONADOR NO ELÉCTRICO

Descripción y composición

El FANEL® es un sistema eficaz de iniciación para uso en minería subterránea, superficial y obras civiles, que ofrece los beneficios de sincronización sin riesgo, eliminando toda posibilidad de conexiones erróneas.

El FANEL® está formado por los siguientes componentes:

- **Fulminante de retardo:** Consiste de un Fulminante N° 12 que contiene en su interior un explosivo primario muy sensible, uno secundario de alto poder explosivo y un elemento de retardo de acuerdo a su número de serie, que permite detonarlo a diferentes intervalos de tiempo. Para ello se ofrece al mercado dos (2) escalas: periodo corto y periodo largo. (MS y LP)

- **Manguera Fanel® o tubo de choque:** Fabricado con materiales termoplásticos de alta resistencia mecánica, la cual en su interior está uniformemente cubierto por una sustancia reactiva que al ser activada conduce una onda de choque cuya presión y temperatura son suficientes para iniciar al fulminante de retardo.

En uno de sus extremos está sellado por ultrasonido y en el otro extremo ensamblado con el Fulminante de retardo. El color de la Manguera Fanel® permite identificar la escala de tiempo de retardo del FANEL®, así tenemos que:

Para el periodo corto la Manguera Fanel® es de color rojo o naranja. (MS). Para el periodo largo la Manguera Fanel® es de color amarillo. (LP).

- **Etiqueta:** Indica el número de serie y el tiempo de retardo en milisegundos o segundos. Adicionalmente, tenemos un código de barras que permite la trazabilidad del producto.

- **Conector plástico tipo "J":** Es un bloque plástico especialmente diseñado para facilitar la conexión y asegurar el contacto entre la Manguera Fanel y el Cordón Detonante.

Adicionalmente, el color del conector plástico permite identificar el periodo de tiempo de retardo del FANEL®, así tenemos:

Para el periodo corto el conector plástico tipo "J" es de color rojo. Para el periodo largo el conector plástico tipo "J" es de color azul.

Tipos y usos

Para satisfacer las necesidades del mercado nacional e internacional, FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. cuenta con dos tipos en función de su tiempo de retardo:

- FANEL® - Periodo corto (MS)
- FANEL® - Periodo largo (LP)

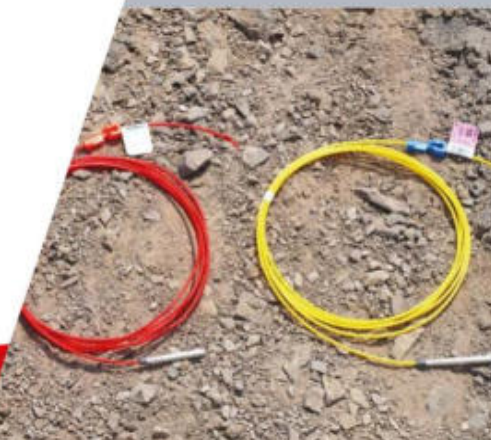
El FANEL®, es un accesorio de voladura con características mejoradas en la tracción y abrasión de la manguera Fanel®, haciéndolo apropiado para todas las aplicaciones de la minería superficial, subterránea y obras civiles; logrando de esta manera una alta eficiencia, seguridad e incrementando la productividad.



AVISO IMPORTANTE Y ALMACENAMIENTO
Este producto es un explosivo de uso profesional. Debe ser almacenado en un lugar seguro, protegido contra el fuego y la humedad. No debe ser utilizado en presencia de personas o animales. El uso indebido de este producto puede causar graves consecuencias. Se debe seguir las instrucciones de uso y almacenamiento que se encuentran en el manual de instrucciones.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no acepta responsabilidad alguna por el uso indebido de este producto. Este producto es un explosivo de uso profesional. Debe ser almacenado en un lugar seguro, protegido contra el fuego y la humedad. No debe ser utilizado en presencia de personas o animales. El uso indebido de este producto puede causar graves consecuencias. Se debe seguir las instrucciones de uso y almacenamiento que se encuentran en el manual de instrucciones.

ATENCIÓN: Este producto es un explosivo de uso profesional. Debe ser almacenado en un lugar seguro, protegido contra el fuego y la humedad. No debe ser utilizado en presencia de personas o animales. El uso indebido de este producto puede causar graves consecuencias. Se debe seguir las instrucciones de uso y almacenamiento que se encuentran en el manual de instrucciones.



Características técnicas

DEL FULMINANTE DE RETARDO	FANEL®
Diámetro (mm)	7,3
Longitud (mm)	60 / 68 / 88 / 92
Prueba de esopo,	Min. 11
Diámetro de perforación (mm)	
Volumen trauszl (cm ³)	Min. 34
Resistencia al impacto 2kg / 1m	No detona
DEL LA ETIQUETA	FANEL®
Material	Plástico
Color de letra	Negro
Color de fondo	En función del tiempo de retardo

DE LA MANGUERA FANEL	FANEL®
Material	Termoplástico flexible y de gran resistencia mecánica
Diámetro (mm)	3,3 ± 0,2
Longitudes (m)	Variable
Color periodo corto	Rojo ó Naranja
periodo largo	Amarillo
Velocidad de onda (m/s)	2 000 ± 200
DEL CONECTADOR PLÁSTICO TIPO "J"	FANEL®
Material	Plástico
Color periodo corto	Rojo
periodo largo	Azul

ESCALA DE TIEMPOS NOMINALES DE RETARDO:

Serie Estándar

Periodo corto		Periodo largo		Periodo largo	
N° serie	TDR (ms)	N° serie	TDR (ms)	N° serie	TDR (s)
0	0	11	300	1	0,5
1	25	12	350	2	1,0
2	50	13	400	3	1,5
3	75	14	450	4	2,0
4	100	15	500	5	2,5
5	125	16	600	6	3,0
6	150	17	700	7	3,5
7	175	18	800	8	4,0
8	200	19	900	9	4,5
9	225	20	1 000	10	5,0
10	250			11	5,6
				12	6,2
				13	6,8
				14	7,4
				15	8,0
				16	8,6

Serie Universal (TDR / ms = Tiempo de retardo / Milsegundo)

Periodo corto		Periodo corto		Periodo largo		Periodo largo	
N° serie	TDR (ms)	N° serie	TDR (ms)	N° serie	TDR (s)	N° serie	TDR (s)
0	0	11	350	0	0	8	3,0
1	25	12	400	1	0,2	9	3,8
2	50	13	450	2	0,4	10	4,6
3	75	14	500	3	0,6	11	5,5
4	100	15	600	4	1,0	12	6,4
5	125	16	700	5	1,4	13	7,4
6	150	17	800	6	1,8	14	8,5
7	175	18	900	7	2,4	15	9,6
8	200	19	1 000				
9	250	20	1 100				
10	300	21	1 200				

Presentación

Embalaje tipo 1.1B:

	Material de caja	Capacidad de caja (pza)	Periodo	Neto (kg)	Bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
FANEL® 4,0 m	Cartón	150	Corto	5,9	6,7	56,0 x 30,5 x 18,0
			Largo	6,6	7,4	
FANEL® 4,2 m	Cartón	150	Corto	6,2	7,0	56,0 x 30,5 x 18,0
			Largo	6,8	7,6	
FANEL® 4,8 m	Cartón	150	Corto	6,7	7,5	56,0 x 30,5 x 18,0
			Largo	7,5	8,3	

Embalaje tipo 1.4B:

	Material de caja	Capacidad de caja (pza)	Periodo	Neto (kg)	Bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
FANEL® 12,0 m	Cartón	80	Corto	8,5	14,0	66,5 x 33,5 x 32,5
FANEL® 15,0 m	Cartón	80	Corto	10,1	15,6	66,5 x 33,5 x 32,5
FANEL® 18,0 m	Cartón	70	Corto	10,2	15,7	66,5 x 33,5 x 32,5

Transporte

Clase: 1
División: 1.1 B
N° ONU: 0360



Clase: 1
División: 1.4 B
N° ONU: 0361



MANEJO Y ALMACENAMIENTO
Los explosivos y accesorios de FAMESA S.A.C. son productos explosivos y deben ser manejados en consecuencia. El transporte y el almacenamiento deben ser realizados de acuerdo a las normas de seguridad y salud, las cuales estarán disponibles a cada momento en cualquier momento.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no asume responsabilidad alguna por el uso indebido, almacenamiento, transporte y uso de los explosivos y accesorios de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. en cualquier momento y circunstancia. Toda información adicional puede obtenerse en cualquier momento de la FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. en cualquier momento.

ATENCIÓN
La información y documentación que describe los explosivos y accesorios de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. debe ser manejada y almacenada de acuerdo a las normas de seguridad y salud, las cuales estarán disponibles a cada momento en cualquier momento. Toda información adicional puede obtenerse en cualquier momento de la FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. en cualquier momento.