

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA CONTROLADA APLICANDO EL PRINCIPIO DE VELOCIDAD PICO PARTÍCULA PARA DISMINUIR LA SOBRE ROTURA DEL MACIZO ROCOSO EN EL XC 9179 SE- VETA CACHACO 2T1 - NV 2420”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Felix Alberto Muñoz Barrueto

Asesor:

Mg. Ing. Edmundo Vereau Miranda
<https://orcid.org/0000-0003-1984-1734>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	José Alexander Ordoñez Guevara	40501603
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 2	Rubén Kevin Manturano Chipana	46905022
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	Elmer Luque Luque	02044966
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

INFORME DE SIMILITUD

Optimización de la voladura controlada aplicando el principio de velocidad pico partícula para disminuir el daño al macizo rocoso en el XC 9179 SE - Veta Cachaco 2T-1 – Nv. 2420

ORIGINALITY REPORT

18%

SIMILARITY INDEX

17%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

11%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	es.scribd.com Internet Source	1%
2	Submitted to Universidad Privada del Norte Student Paper	1%
3	1library.co Internet Source	1%
4	www.scielo.org.co Internet Source	1%
5	alicia.concytec.gob.pe Internet Source	1%
6	core.ac.uk Internet Source	1%
7	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Student Paper	1%
8	bibliotecas.unsa.edu.pe Internet Source	1%

DEDICATORIA

Agradecer a Dios, por acompañarme y ayudarme durante toda la carrera y permitirme concluir mis estudios y a todas esas personas que de una u otra forma me orientaron y apoyaron a lo largo del camino.

A mi familia por estar allí compartiendo entusiasmo en los momentos de felicidad y brindarme soporte y colaboración en los momentos difíciles. A mis padres Miguel y Victoria son mi mayor inspiración y mis pilares incondicionales. Los adoro.

A mis queridos hermanos Miguel y Rosa María, que han estado en los momentos más difíciles y me ha servido de apoyo incondicional, brindándome todo su aprecio y consideración. Los quiero.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al Ing. Edmundo Vereau Miranda, por su asesoramiento en la ejecución del proyecto de investigación.

A la plana docente de la Universidad Privada del Norte y supervisión de la empresa Minera Tauro S.A.C. que gracias a sus enseñanzas hicieron posible mi formación profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
Realidad problemática	14
Base teórica.....	16
Antecedentes	18
Antecedentes internacionales	18
Antecedentes nacionales.....	19
Formulación del problema	22
Problema general.....	22
Problemas específicos.....	22
Objetivos.....	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos	22
Hipótesis	23
Hipótesis general.....	23
Hipótesis específicas	23
Justificación	24

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	25
Ubicación del área de estudio	25
Acceso.....	25
Geología regional	27
Geología local.....	29
Tipo de investigación.....	31
Población y muestra	31
Unidad de estudio	31
Población	31
Muestra	31
Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	32
Técnicas de recolección de datos.....	32
Instrumentos.....	32
Aspectos éticos	33
Procedimientos de recolección de datos	34
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	35
Estándares de Perforación y Voladura	35
<i>Malla de Perforación.....</i>	<i>35</i>
<i>Explosivos y detonadores utilizados</i>	<i>37</i>
<i>Carguío y Secuencia de Iniciación de Taladros.....</i>	<i>38</i>
Análisis de la Velocidad Pico Partícula.....	40
<i>Velocidad Pico Partícula con Diseño de Malla Estándar</i>	<i>40</i>
<i>Velocidad Pico Partícula con Diseño de Malla Piloto</i>	<i>47</i>
<i>Velocidad Sónica del Macizo Rcoso</i>	<i>54</i>
<i>Velocidad Pico Partícula Crítica.....</i>	<i>54</i>
<i>Esfuerzo Inducido a la Roca</i>	<i>56</i>
<i>Malla Estándar vs. Malla Piloto</i>	<i>57</i>
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	58
<i>Discusión 58</i>	
<i>Resultados</i>	<i>58</i>
<i>Presentación de resultados del objetivo específico 1</i>	<i>59</i>
<i>Presentación de resultados del objetivo específico 2</i>	<i>60</i>
<i>Presentación de resultados del objetivo específico 3</i>	<i>61</i>
REFERENCIAS	63
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de perforación estándar	34
Tabla 2 Parámetros de perforación piloto	35
Tabla 3 Explosivos usados	36
Tabla 4 Detonadores usados	36
Tabla 5 Cantidad de explosivos usados en malla estándar	41
Tabla 6 Explosivos y accesorios utilizados en malla estándar	42
Tabla 7 Resultados de voladura malla estándar	42
Tabla 8 Resumen de monitoreo de vibraciones para malla estándar	44
Tabla 9 Cantidad de explosivos usados en malla piloto	48
Tabla 10 Explosivos y accesorios utilizados en malla piloto	49
Tabla 11 Resultados de voladura malla piloto	49
Tabla 12 Resumen de monitoreo de vibraciones para malla piloto	51
Tabla 13 Velocidad pico partícula	54
Tabla 14 Esfuerzo máximo inducido	55
Tabla 15 Comparación velocidad pico partícula	56
Tabla 16 Matriz de consistencia	67
Tabla 17 Matriz de Operacionalización de variables	68
Tabla 18 Parámetros geomecánicos de la roca intacta	69
Tabla 19 Parámetros geomecánicos de las discontinuidades	69
Tabla 20 RMR de la roca	70
Tabla 21 Correlación entre RMR – Q – GSI	73
Tabla 22 Resistencia a la Compresión Uniaxial	74
Tabla 23 Resistencia a la Tracción Dinámica de la Roca	75
Tabla 24 Especificaciones técnicas Pentacord	84
Tabla 25 Especificaciones técnicas Carmex	85
Tabla 26 Especificaciones técnicas Fanel	86
Tabla 27 Especificaciones técnicas Mecha rápida	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plano de ubicación de Minera Aurífera Retamas S.A.	25
Figura 2 Ubicación Política del área de estudio.....	25
Figura 3 Plano geológico regional de Pataz en donde se aprecia la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.....	27
Figura 4 Plano geológico local de Pataz en donde se aprecia la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.....	29
Figura 5 Procedimiento de recolección de datos	33
Figura 6 Malla de perforación estándar 2.4 m x 2.7 m	34
Figura 7 Malla de perforación piloto 2.4 m x 2.7 m.....	35
Figura 8 Carguío y secuencia de iniciación de taladros estándar 2.4 m x 2.7 m	37
Figura 9 Carguío y secuencia de iniciación de taladros estándar 2.4 m x 2.7 m	38
Figura 10 Diseño de malla estándar 2.4 m x 2.7 m	39
Figura 11 Arranque de malla estándar 2.4 m x 2.7 m.....	40
Figura 12 Sismograma de voladura con malla estándar	43
Figura 13 Gráfico de velocidad vs frecuencia con malla estándar	43
Figura 14 Gráfico de la vertical, velocidad vs frecuencia con malla estándar	45
Figura 15 Diseño de malla piloto 2.4 m x 2.7 m.....	46
Figura 16 Arranque de malla piloto 2.4 m x 2.7 m	47
Figura 17 Cuadrantes del arranque de malla piloto 2.4 m x 2.7 m.....	48
Figura 18 Sismograma de voladura con malla piloto.....	50
Figura 19 Gráfico de velocidad vs frecuencia con malla piloto.....	50
Figura 20 Gráfico de la vertical, velocidad vs frecuencia con malla piloto	52
Figura 21 Cartilla Geomecánica – Labores de explotación y avances.....	71
Figura 22 Factores influyentes en XC 9179-SE.....	72
Figura 23 Recomendación Geomecánica XC 9179-SE.....	76
Figura 24 Sostenimiento del XC 9179-SE	77
Figura 25 Plano XC 9179-SE	78
Figura 26 Monitoreo de VOD	79
Figura 27 Sismograma 1 emitido por el software	80
Figura 28 Sismograma 2 emitido por el software	81
Figura 29 Sismograma 3 emitido por el software	82
Figura 30 Sismograma 4 emitido por el software	83
Figura 31 Pentacord.....	84

Figura 32 Carmex.....	85
Figura 33 Fanel	86
Figura 34 Mecha rápida	87
Figura 35 Carguío de taladros	88
Figura 36 Veta Cachaco 2T - 1	89
Figura 37 Vista satelital de bocamina Rp Patrick	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Índice de calidad de la masa rocosa Q.....	53
Ecuación 2 Velocidad sónica del macizo rocoso.....	53
Ecuación 3 Velocidad pico partícula.....	53
Ecuación 4 Esfuerzo inducido a la roca.....	55

RESUMEN

La presente investigación tiene como lineamiento principal la etapa de perforación y voladura, ya que las operaciones continuas a esta dependen de sus resultados, los cuales deben ser eficientes para lograr un costo mínimo sin dejar de lado la seguridad del personal, por tanto el objetivo principal del informe es reducir el daño al macizo rocoso aplicando el principio de la velocidad pico partícula, optimizando de esta manera la etapa de voladura, haciendo de esta un proceso controlado y reduciendo a la vez la incidencia en los accidentes leves, permanentes y fatales. Ante ello para lograr demostrar la hipótesis se llevaron a cabo técnicas de recolección de datos en campo, observaciones y mediciones durante toda la etapa de voladura dentro de la labor XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nv. 2420, Minera Tauro S.A.C. Se concluye entonces, que la suma del tiempo de retardo entre la carga explosiva debe ser mayor o igual a 1 segundo para que la velocidad pico partícula, la cual es directamente proporcional a la misma no sea mayor a 40.41 mm/s y no genere mayores daños al macizo rocoso.

Palabras clave: Velocidad pico partícula, macizo rocoso, voladura de rocas, seguridad.

ABSTRACT

The present investigation has as its main guideline the drilling and blasting stage, since the continuous operations of this depend on its results, which must be efficient to achieve a minimum cost without neglecting the safety of the personnel, therefore the main objective of the report is to reduce the damage to the rock mass by applying the principle of particle peak velocity, thus optimizing the blasting stage, making it a controlled process and at the same time reducing the incidence of minor, permanent and fatal accidents. Given this, in order to demonstrate the hypothesis, data collection techniques were carried out in the field, observations and measurements during the entire blasting stage within the work XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nv. 2420, Minera Tauro S.A.C. It is concluded then, that the sum of the delay time between the explosive charge must be greater than or equal to 1 second so that the peak particle velocity, which is directly proportional to it, is not greater than 40.41 mm/s and does not generate greater damage. to the rock mass.

Keywords: Peak particle velocity, rock mass, rock blasting, safety.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La operación de las diferentes empresas mineras del mundo llevan a cabo un ciclo para explotar los yacimientos en donde la etapa de perforación y voladura es una de las más importantes al influir directamente en las etapas posteriores y el estado del macizo rocoso, en este último es una de las principales metas minimizar su daño y mantenerlo controlado, en ese sentido actualmente en Minera Tauro S.A.C. se realizan diferentes labores de avance como cruceros, galerías, bypass, etc., es así que para el cumplimiento de ciclo programado en el XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 en el Nivel 2420, en el cual existe un macizo rocoso de mala calidad con un RMR de 31 – 40, condición que presenta una mayor probabilidad de generar accidentes tanto leves como fatales por caída de rocas.

La etapa de voladura de rocas genera una intensidad de vibraciones, la relación entre estas y el estado del macizo rocoso es directa, las cuales están lindadas a diversos parámetros principalmente por la secuencia de taladros, diseño de malla y la elección del tipo de explosivos, en donde la principal característica a tomar es la simpatía, que varían en nivel de energía, velocidad de detonación y densidad tales como: Emulnor 500, Emulnor 1000 y Emulnor 5000 aplicados en el tipo de roca de la labor. El control de esta etapa sobre los efectos al macizo rocoso es primordial, por lo que el monitoreo constante a los resultados teniendo en cuenta la aplicación del principio de velocidad pico partícula generará una optimización, a partir de un análisis y estudio que determinará las causas a mejorar.

Realidad problemática

Las vibraciones que originan las voladuras de roca representan uno de los problemas más importantes que enfrentan hoy en día las operaciones mineras y las áreas pobladas próximas a éstas; por ello el efecto de las voladuras en operaciones mineras es un tema que ha sido abordado en estudios previos (Chakraborty et al., 1994; Raina et al., 2008; Sharma, 2010; Shrimali et al., 2014).

La onda de choque generada por la detonación de cargas explosivas se propaga en forma esférica y transfiere una energía vibracional al macizo rocoso. Estas ondas sísmicas transmiten a la roca movimientos de partículas en todas direcciones, con intensidades que dependen de la energía del explosivo, geometría de la voladura y la secuencia de detonación. Por lo tanto, para limitar estos efectos se debe emplear una técnica de voladura controlada, de manera tal de minimizar los efectos sobre el macizo rocoso. El control de las vibraciones hoy en día es un importante factor a considerar cuando se requiere que los taludes sean más estables y el resultado de la voladura sea el esperado (Quiroz, 2014).

A través del modelamiento de la velocidad pico partícula y su relación de la carga máxima por retardo se ha mejorado la calidad de excavación y el rendimiento del diseño de voladura, identificando debilidades en el proceso de voladura sobre la cantidad de explosiva utilizada, mediante los resultados se ha permitido construir modelos confiables de predicción de vibración, y se han realizado diferentes modificaciones a los distintos parámetros de la voladura, tales como tipo y cantidad de explosivo según distancia, se ha evaluado el daño potencial que la vibración puede producir, incidiendo en el uso de explosivos con variación de su carga máxima por retardo sin cambiar su uso, llegando así a cumplir con el objetivo de mantener la corona y hastiales de las excavaciones completamente estables (Tovar, 2015).

Las vibraciones producidas por las voladuras y el conocimiento de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, permiten estimar la probabilidad de ocasionar daño en dicho macizo. Los altos niveles de vibración pueden dañar la roca, produciendo fracturas nuevas o extendiendo y dilatando fracturas existentes. La vibración en este contexto, puede ser considerada como un esfuerzo o deformación del macizo rocoso. Se muestra también en este trabajo un conjunto de datos representativos de diferentes tipo de rocas y los valores calculados para la Velocidad de Partícula Crítica (PPVc), valor que se puede usar inicialmente como referencia a partir del cual la vibración produce daño a nivel de la matriz de roca, los valores

presentados, también dan cuenta de una importante variación en las magnitudes de vibración que es capaz de resistir cada tipo de roca, debiendo en consecuencia tomarse mucha precaución respecto de los valores promedios manejados tradicionalmente (Contreras, 2009).

El tema se enmarca en la línea de investigación Nuevas tecnologías y sistemas de construcción, aprobada por la Universidad Privada del Norte, en esa línea y a partir de todo lo indicado es necesario realizar la investigación a partir de la siguiente pregunta: ¿Cómo influye la aplicación del principio de la velocidad pico partícula en la voladura controlada al daño en macizo rocoso del XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 en el Nv. 2420 en Minera Tauro S.A.C.?

Base teórica

«Optimización, se entiende por sistema de práctica matemática a toda actuación o expresión realizada para resolver problemas matemáticos, comunicar a otros la solución obtenida, validarla o generalizarla a otros contextos o problemas» (Balcaza et al. 2017).

«Voladura de rocas, es la fragmentación de la roca mediante la presión de los explosivos confinados dentro de los taladros de perforación los cuales generan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento» (Exsa, 2014).

«Ondas de choque, es la energía que se transmite a la roca en el punto de contacto entre la carga de explosivos y la roca» (Tovar, 2015).

«Proceso de fragmentación de roca, son las altas presiones generadas por la detonación de la columna de explosivo a la roca a través de ondas de choque. Estas se propagan radialmente por el macizo rocoso mediante pulsos de compresión concéntricos que se atenúan a medida que se alejan del centro de carga. Las propiedades estáticas del macizo rocoso comienzan a manifestarse de manera más efectiva debido al surgimiento de un campo semi estático de

tensiones correspondientes a la presión de los gases en las paredes del barreno» (Maxam, 2018).

«La presión de detonación, es la que se obtiene de manera casi instantánea como resultado del movimiento de la onda de choque a través del explosivo» (Cf. López, 1988; Exsa, 2008; Carrillo, 2003, p.11).

«Calor de explosión, Es el calor generado y liberado por el proceso de reacción de un explosivo al ser activado» (Cf. López, 1988; Exsa, 2008; Carrillo, 2003, p.13).

«La velocidad de detonación, llamada comúnmente VOD (Velocity of Detonation), es la velocidad a la cual las ondas de detonación viajan a través de un producto explosivo y es uno de los principales métodos para determinar las prestaciones de los explosivos y fulminantes» (Rodríguez, 2009)

«Macizo rocoso, es la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural, definido por la roca y la estructura, son discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas» (Ramírez & Alejano, 2004).

«Velocidad pico partícula, la velocidad a la que se desplazan las partículas en el subsuelo es la variable determinante de la magnitud de los esfuerzos a los que son sometidas las estructuras» (Persson et al. 1994).

«Desplazamiento de una partícula, es el movimiento de una partícula en un instante de tiempo desde su posición de equilibrio. Su unidad está dada en milímetros o pulgadas» (Jiménez, 2016).

«Velocidad de Partícula, es la velocidad de partícula en algún instante, es decir, el cambio de desplazamiento de la partícula con respecto al tiempo. Su unidad está dada en mm/s o pulgadas/s» (Jiménez, 2016).

«Aceleración de una partícula, es el rango de cambio de velocidad de la partícula respecto al tiempo, su unidad está en pulg/s^2 o mm/s^2 » (Jiménez, 2016).

Antecedentes

Antecedentes internacionales

Wang et al. (2018) en su investigación, señala que los parámetros que se pueden controlar es la carga de explosivo, el espaciado de los taladros, la desviación de los taladros, la sobre perforación y el tiempo que se le da al retardo para la voladura. Estos parámetros se pueden mejorar para tener mejores resultados en el diseño de la voladura para así poder disminuir los daños al macizo rocoso. Los parámetros que no se pueden controlar están sujetos a las características geomecánicas del macizo rocoso. Por otra parte, los daños ocasionando también se producen por utilizar diseños de voladura muy simples sin considerar los factores que contenga el macizo rocoso, ya sea presencia de agua, sobre carga de explosivo y la secuencia de salida de los taladros.

De Cospedal (2019) en su investigación, concluye que el uso de las vibraciones provocadas mediante voladuras en las excavaciones, permite conocer la daños a las estructuras más cercanas a los frentes de trabajo, la carga operante optima puede ser determinada mediante la información que brindan las ondas de esta manera permite controlar los daños colaterales al macizo rocoso, aplicado en la explotación de rocas ornamentales, cuyo principal objetivo en la fragmentación en grandes bloques sin el mayor daño posible.

Music (2007) en su investigación, el tema de mayor interés de evaluación fue el efecto vibracional y el daño en el contorno, por tanto, hubo una indagación de una idoneidad entre impacto vibracional y la respuesta de la roca medida por los límites de la sobre excavación. El estudio del comportamiento de la vibración en el perímetro de la labor en función de distintos parámetros de voladura, fue la idea practica para esta investigación, (básicamente su localización respecto al contorno y el tipo de carga), asimismo, calcular los niveles críticos de

vibración según las propiedades de la roca de modo de controlar el impacto vibracional en la zona afectada. La velocidad de partícula (vibración) que coincide con el límite de la excavación resultó en torno a los 5000 [mm/s] y el valor de Velocidad de Partícula Crítica estimado para el sector de pruebas, a partir de las propiedades elásticas y mecánicas de la roca, se encuentra en torno a los 1.100 – 1.200 [mm/s].

Antecedentes nacionales

Piñas (2007) en su investigación menciona: “para realizar la prevención y el control de las vibraciones ocasionadas por la voladura, un método muy usado es establecer la ley de propagación de la velocidad de partículas (VPP), teniendo en cuenta el tipo de macizo rocoso, sus propiedades geomecánicas, la carga explosiva, la distancia, una malla adecuada de perforación y voladura, su profundidad, sus respectivas cargas y las vibraciones de los tajos Mercedes Norte y Principal, de la mina Colquijirca”.

Contreras (2009) en su investigación nos dice que: “mediante el monitoreo de vibraciones se puede obtener diversos datos, entre los cuales se tiene las velocidades pico partícula en las tres direcciones para poder realizar una base de datos, modelar, analizar y evaluar el daño potencial que una voladura puede producir. Los puntos más importantes que se deben considerar cuando se hacen voladuras son: lograr un adecuado grado de fragmentación de la roca, de tal modo que se obtenga un costo mínimo combinado de las operaciones de carguío, transporte, chancado y molienda de la roca; minimizar el daño al macizo rocoso en su entorno permitiendo una operación sin riesgos, para poder lograr satisfacer esos dos requisitos contradictorios necesitamos de una correcta elección del explosivo, cuanto explosivo cargar por taladro o en su defecto, la cantidad de explosivo deberá causar el menor daño posible al entorno de la voladura, pero cumpliendo con los objetivos antes mencionados”.

Rivera et al. (2012) en su investigación, se estandarizó la malla de perforación basado en la respuesta sísmica de la roca en las labores de avance, reduciendo el daño en el macizo

rocoso, mediante la recolección de datos en campo (monitoreos) con los diseños usuales para obtener información y aplicándoles un replanteo en la geometría del diseño, sincronización de la voladura y carga operante, se observó el comportamiento de cada columna de taladro disparado con un determinado retardo, y traducido en VPP (Velocidad Pico Partícula) desde los más dañinos. Así como muchos taladros que no desarrollan un trabajo efectivo por su mala configuración geométrica o burden muy cercano o alejado, encontrando un él un pico más alto en el diseño usual que fue de 19.79 mm/s y en el diseño replanteado alcanzamos un promedio de 11.84 mm/s. mediante el modelo predictivo y ley de atenuación se logró reducir en 50% el daño severo ocasionado con la voladura al macizo. De la investigación, al referirse a taladros de la voladura de contorno cargados con el Famecorte E-20, generan intensidades de vibraciones bajas con respecto a los taladros de producción ya sea arranques, ayudas y cuadradores, son más bajas por el grado de acoplamiento que presenta el Famecorte E-20 con los taladros de contorno, obteniendo una reducción del 22% de daño en el macizo rocoso y un incremento en los avances en un 10%, además el nuevo diseño de malla en base a la respuesta sísmica de la roca responde en forma oportuna a los requerimientos y recomendaciones del organismo de fiscalización de seguridad y salud ocupacional OSINERGMIN y al Ministerio de Trabajo y Promoción Social, de la misma forma nos ayudó a estandarizar las mallas para toda la operación.

Cahill (2005) en su investigación menciona: mediante el control de las vibraciones que se realiza mediante pruebas de campo directamente, que a través de la interpretación de los resultados y la obtención de la velocidad pico partícula, y mediante el conocimiento de los parámetros de voladura, la geología del lugar, todas estas variables se pueden relacionar en distintas fórmulas empíricas, influenciadas por la Ley de Propagación de Ondas, logrando así el conocimiento de los efectos y las distancias a la que afecta las vibraciones, pudiéndose estas variables manejarse modificando algunos parámetros de la voladura o definiendo la distancia

mínima de las estructuras más cercanas que no se desea que sean afectadas, obteniéndose así energía sísmica de mayor frecuencia que es absorbida rápidamente que la de menor frecuencia, dependiendo fuertemente de la geología y de los intervalos de retardo utilizados en la secuencia de detonación.

Chávez (2018) en su investigación, concluye que antes de realizarse la perforación se crea el diseño de malla y se hace la distribución y la denominación de los taladros y de la misma manera su secuencia de salida al momento de ser disparados, pero esto dependerá mucho del tipo de roca. Los parámetros de la roca son propiedades físicas, propiedades elásticas, condiciones geológicas.

Gómez (2019) en su investigación, concluye que, mediante su propósito principal de realizar el modelamiento de vibraciones, evalúa la Velocidad de onda P de la roca, el cálculo de la Velocidad de Pico Partícula Crítico (VPP crítico), para medir el grado de perturbación en la que es afectado la estabilidad del frente, determinar y evaluar el nivel de energía resistido por la roca y generado por el explosivo en una voladura. Gómez usó el modelo de crosshole, el mismo que fue ajustado según el postulado y formulación de Holmberg & Persson (1994) para determinar la velocidad de propagación en 1820 m/s. y el VPP crítico de la roca han podido ser estimados en 831 mm/s.

Bustamante (2019) en su investigación nos dice que: “se optimizaron las mallas de perforación en avances utilizando el método de Holmberg-Persson demostrando que no se genera ningún tipo de daño en la corona ni en los hastiales y la vibración generada y el conocimiento de la geomecánica del macizo rocoso en función a la energía producida por la voladura, permiten estimar la probabilidad de ocasionar daño en dicho macizo, por consiguiente los altos niveles de vibración pueden dañar la roca, produciendo fracturas nuevas o extendiendo y dilatando fracturas existentes, y los resultados mencionados permitirán mantener la estabilidad del macizo rocoso”.

Formulación del problema

Problema general

¿De qué manera la voladura controlada al aplicar el principio de velocidad pico partícula disminuye el daño al macizo rocoso del XE 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420?

Problemas específicos

- ¿De qué manera aplicando un nuevo diseño de malla de perforación reduce el daño al macizo rocoso del XE 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420?
- ¿De qué manera hallando la cantidad de explosivos y retardos adecuados reduce el daño al macizo rocoso del XE 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420?
- ¿De qué manera hallar la velocidad pico partícula mediante el análisis del modelo matemático de Holmberg - Persson reduce el daño al macizo rocoso XE 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420?

Objetivos

Objetivo general

Disminuir el daño al macizo rocoso aplicando el principio de velocidad pico partícula optimizando la voladura controlada en el XE 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.

Objetivos específicos

- Determinar un nuevo diseño de malla de perforación para reducir el daño al macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.
- Determinar la cantidad de explosivos y retardos adecuados para reducir el daño al macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.
- Determinar mediante el análisis del modelo matemático de Holmberg – Persson, la velocidad pico partícula para reducir el daño al macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.

Hipótesis

Hipótesis general

Al aplicar el principio de la velocidad pico partícula en una voladura controlada optimizada disminuirá el daño al macizo rocoso en el XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.

Hipótesis específicas

- El control del diseño de la malla de perforación disminuye el daño al macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.
- El aumento de retardos y aumento de taladros disminuye la sobre rotura del macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.
- Hallar la velocidad pico partícula mediante el modelo matemático de Holmberg - Persson reduce la sobre rotura del macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.

Justificación

Considerando los criterios de Giraldo (2010) toma en consideración el actuar de una voladura no controlada y las consecuencias de la misma para con la sociedad, la cual está conformada en primera línea por los trabajadores obreros e ingenieros, los cuales deben siempre laborar primordialmente en un ambiente libre de riesgos, en donde la caída de rocas por inestabilidad del frente es una de las principales causas de accidentes leves, permanentes y hasta mortales; es conveniente porque analiza el campo de las vibraciones causadas por la actividad humana, principalmente respecto al tema de las voladuras, a través de la unión de análisis de la literatura técnica existente en el ámbito global. Dar ejemplo a la problemática de control y la evaluación de sus consecuencias mediante la determinación de interpretación y análisis de datos verdaderos en situaciones locales para llegar a sugerencias de actuar aplicables en la práctica de la Ingeniería en nuestro medio; es importante porque se mostrará las grandes consecuencias perjudiciales de una voladura las cuales dependen de diversas características de las vibraciones, o de sus propiedades como: frecuencia, cantidad de ocurrencias, amplitud, duración, etc. contra las propiedades de comportamiento dinámico de los sistemas que excitan como: frecuencia de resonancia y resistencia, principalmente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Ubicación del área de estudio

La zona de Valeria IV de Minera Aurífera Retamas S.A. está ubicada en el centro poblado de Llacuabamba, en el distrito de Parcoy, provincia de Patáz, en el departamento de La Libertad, a una altura promedio de 3130 m.s.n.m. En las coordenadas geográficas siguientes:

- 77°44' Longitud Oeste.
- 08°03' Latitud Sur.

Acceso

El acceso a la labor se lleva a cabo a través de vía terrestre o por vía aérea. Por vía terrestre, al partir de Trujillo, se traslada en bus hasta Llacuabamba 14 horas (puede variar según condiciones climáticas).

Mediante vía aérea el viaje partiría desde las ciudades de Lima, desde Aeropuerto Jorge Chávez en una ruta de 75 minutos y desde la ciudad de Trujillo, desde Aeropuerto Internacional Capitán FAP Carlos Martínez de Pinillos en un trayecto de 45 minutos, ambas hasta el aeródromo de Pías, luego se toma un bus hacia el campamento minero ubicado en el centro poblado de Llacuabamba con una duración aproximada de 40 minutos.



Figura 1. Plano de ubicación de Minera Aurífera Retamas S.A. (Hinostroza, 2019).

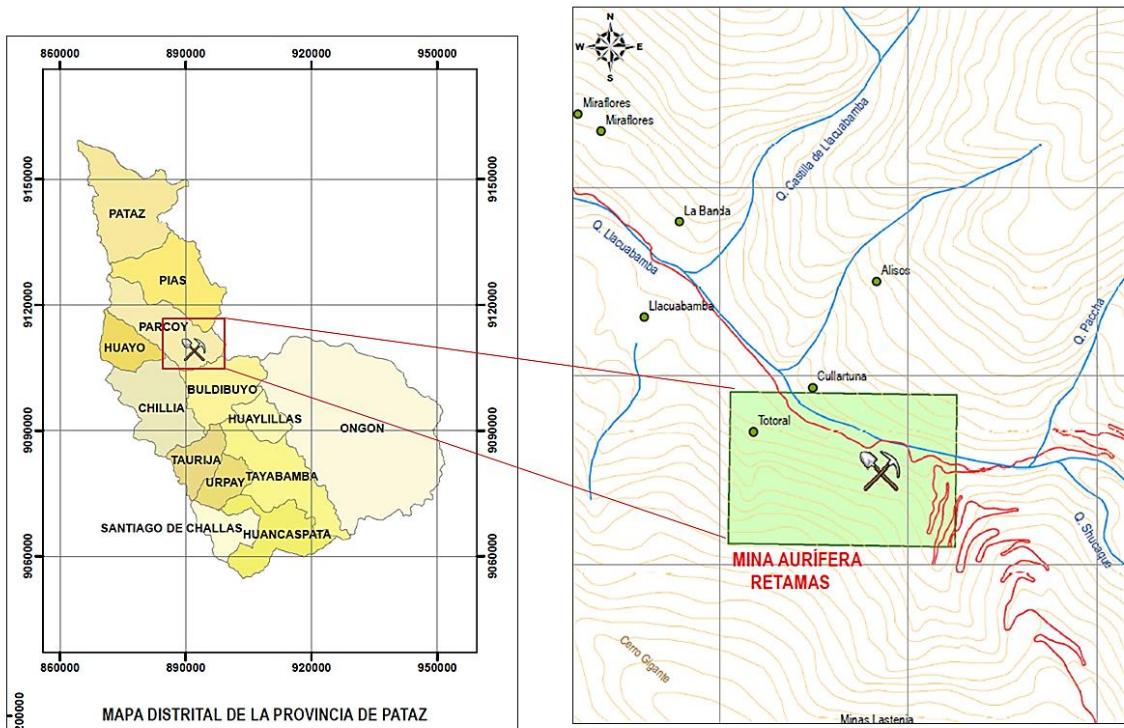


Figura 2. Ubicación Política del área de estudio. (Quispe, 2019).

Geología regional

El yacimiento de Parcoy – Gigante Buldibuyo está asociada al Batolito de Pataz, compuesta por diferentes intrusivos, los que intruyen a rocas meta volcánicas del complejo Marañón, compuesta por filitas y pizarras, con una extensión de 50 km x 2.5 km. Las distintas fases magmáticas y tectónicas, que produjo una gran sutura tectónica en las rocas meta volcánicas del marañón, que sirvió como mecanismo de emplazamiento del Batolito de Pataz, generando un gran fracturamiento en el intrusivo los que permitieron la circulación de soluciones mineralizantes, formando vetas de rumbo NW a SE (Huaranga, 2020).

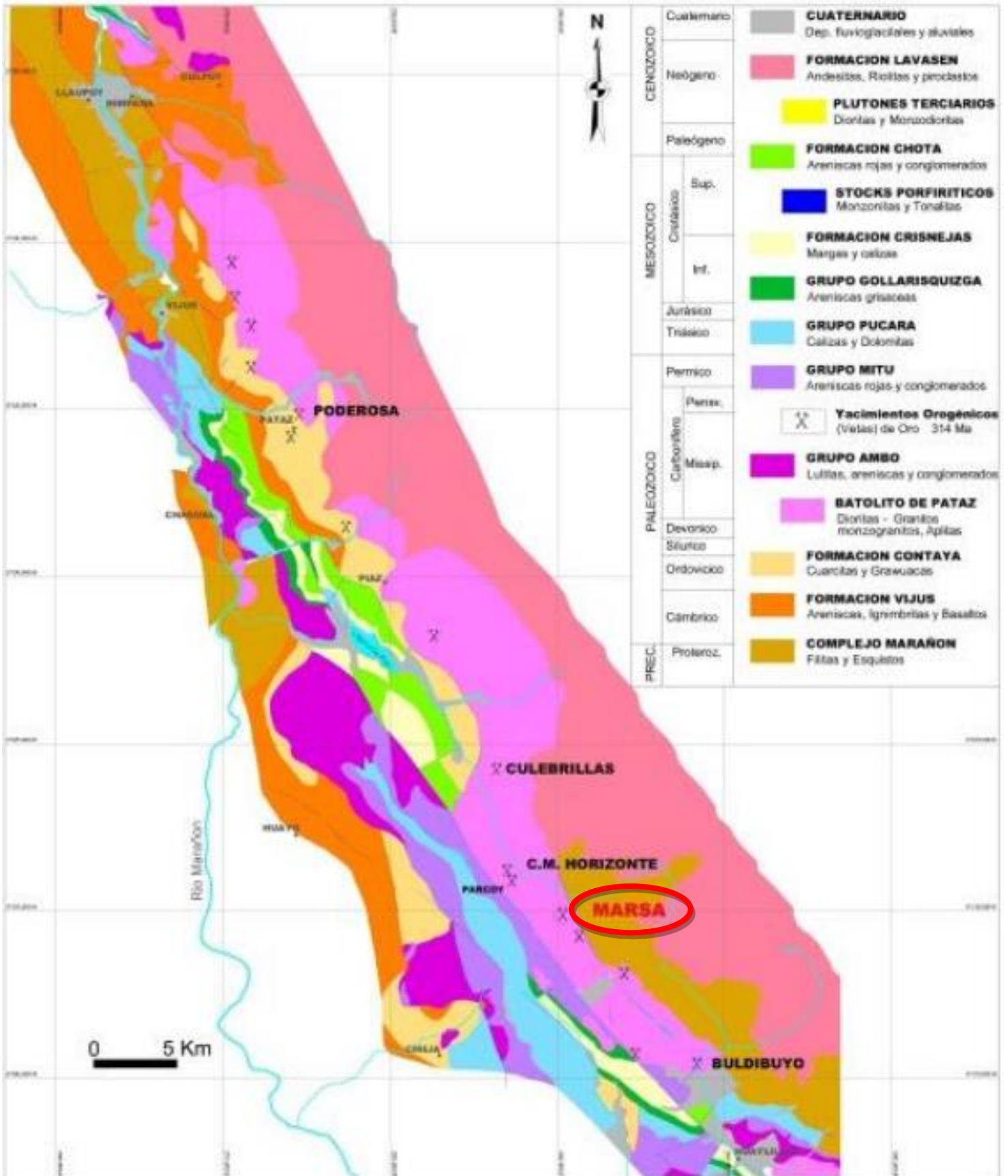


Figura 3. Plano geológico regional de Patate en donde se aprecia la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (Villanes, 2006).

Geología local

Localmente, las estructuras mineralizadas se emplazan en el pórfido tonalítico asociado al Batolito de Pataz. Estas estructuras son poco expuestas, hay mucha cobertura cuaternaria a excepción de las vetas El Gigante y Esperanza que afloran en el cerro el Gigante. La extensión de la veta en la mina el Gigante está cubierta por cuaternarios y se extiende el intrusivo de Pataz de naturaleza félsica a máfica. (Huaranga, 2020).

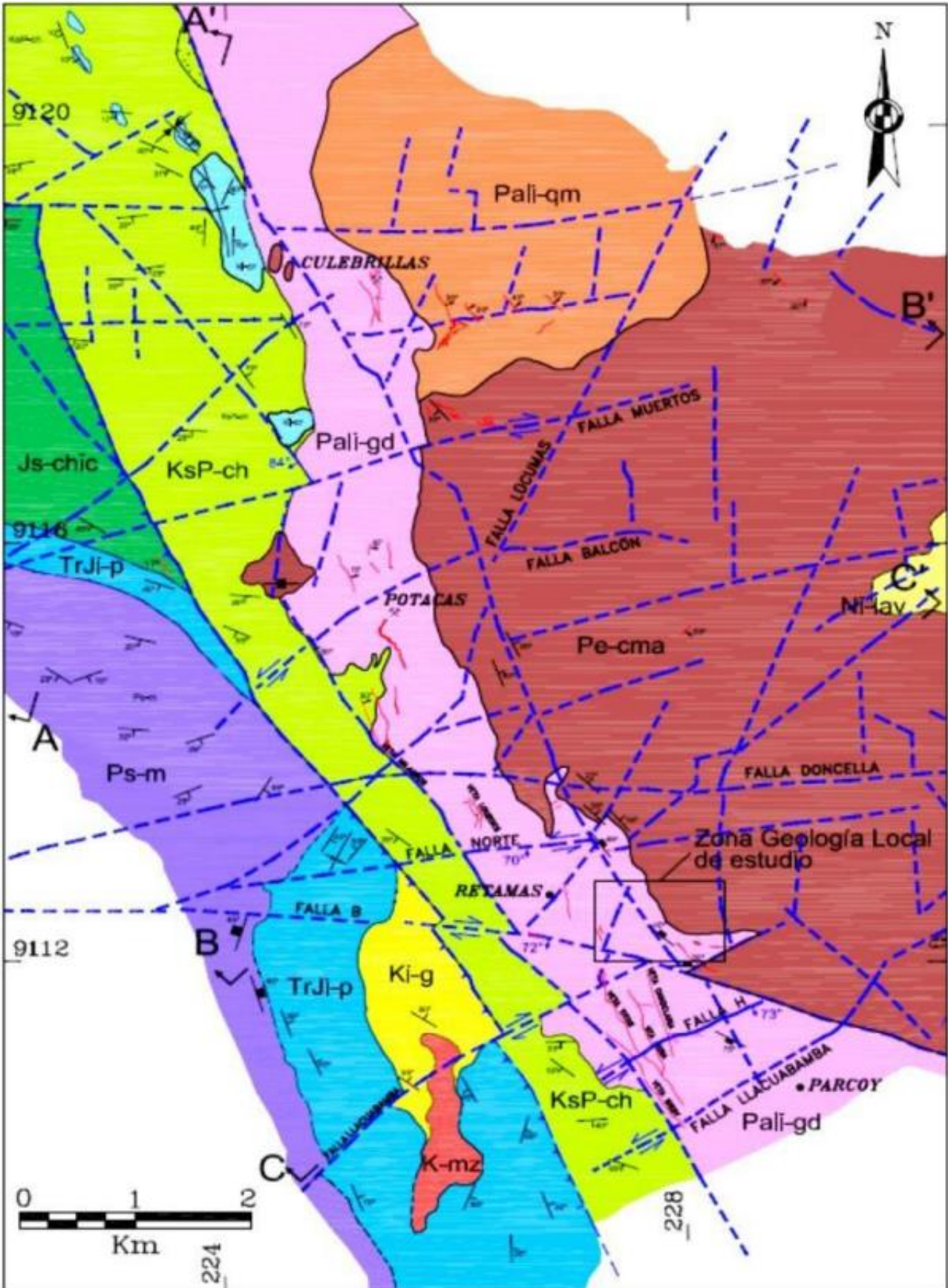


Figura 4. Plano geológico local de Patate en donde se aprecia la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (Galán, 2021).

Tipo de investigación

La presente investigación desde un enfoque cuantitativo, debido a que plantea un problema de estudio, de la cual deriva una hipótesis y la pone a prueba para obtener resultados, los cuales se obtienen a recolectando datos numéricos, que estudia y analiza mediante procedimientos estadísticos. Con un tipo de investigación, aplicada, ya que se tiene por objetivo optimizar un proceso, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación. Con una planificación la investigación se presentó como prospectivo. Por otro lado, según el número de mediciones en un determinado tiempo la investigación es transversal puesto que manipulan las variables independientes para observar sus efectos sobre otras variables denominadas dependientes. Así mismo, según la intervención del investigador es causa y efecto, y finalmente se declara que la investigación presenta un diseño experimental.

Población y muestra

Unidad de estudio

Unidad de estudio: Minera Tauro S.A.C.

Población

Para la tesis, se consideró como población las labores de avance en la Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420 de Minera Tauro S.A.C.

Muestra

La muestra se estableció el XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420 de Minera Tauro S.A.C.

Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Las técnicas que uso para la recolección de datos son las observaciones, el uso de datos de campo, mediciones a través de ensayos y corroboración a través de la calificación generada, antes, durante y después de la voladura. Los datos tomados de operación mina fueron verídicos insertados en una lista de cotejo, obtenidos mediante las distintas áreas que aportan al proceso y observación directa. Se utilizó la consulta de operación mina a los profesionales mineros mediante la entrevista con respecto a los resultados.

El procedimiento para el recojo de datos se evaluó la calidad del macizo rocoso. Como segundo paso se registró los niveles de vibración de partículas y frecuencias dominantes de cada disparo efectuado. Finalmente, usaron técnicas para el procesamiento y análisis de datos (vibración pico-partículas), como el proceso computarizado en los programas de software, Excel y Word, que llevaron a determinar diversos cálculos estadísticos de utilidad y brindar resultados en reacción a los objetivos planteados.

Para ello se recurrió a realizar mapeo geomecánico del macizo rocoso, procesamiento de los datos ordenados en tabla, uso de software especializado para los cálculos y procesamiento de datos, y documentación como tesis bibliográficas, monografías de las minas, eventos de actualización, trabajos inéditos, etc., los cuales actuaron como sustento durante la etapa de análisis de datos.

Instrumentos

Los instrumentos que se emplearon:

- Brújula
- Picota
- GPS

- Geófono
- Equipo de monitoreo Minimate Pro

Aspectos éticos

El trabajo de investigación se ejecutó con la total transparencia y honestidad debido a que se basó en los lineamientos del código de ética de la Universidad Privada de Norte dado que toda la información adquirida en este estudio de investigación se utilizó para fines académicos y para poder optimizar la voladura controlada aplicando el principio de velocidad pico partícula y a su vez disminuir el daño al macizo rocoso dentro de las labores de avance en la Veta Cachaco 2T-1. Se siguió los parámetros éticos citándose de manera correcta a los investigadores de cada investigación leída, bajo los lineamientos de las normas APA que la universidad considera como el más adecuado, por otro lado, el trabajo de tesis fue sometido al software Turniting para constatar el porcentaje de plagio o similitud. La práctica de valores y lineamientos éticos estuvieron presentes de inicio a fin de la investigación.

Procedimientos de recolección de datos

Se realizó mediante el siguiente procedimiento

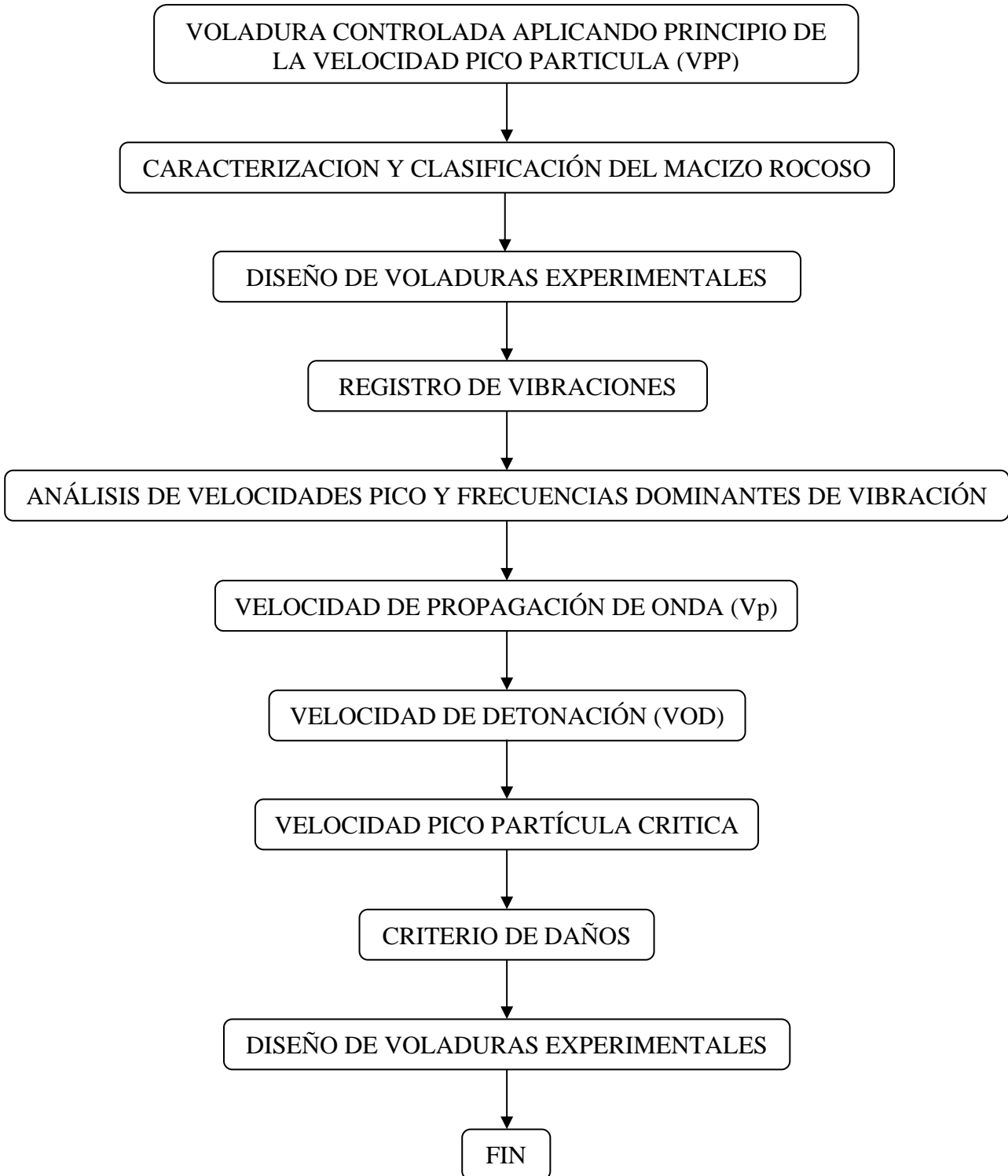


Figura 5. Procedimiento de recolección de datos (Fuente; Elaboración propia).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Estándares de Perforación y Voladura

Malla de Perforación

Malla de Perforación Estándar

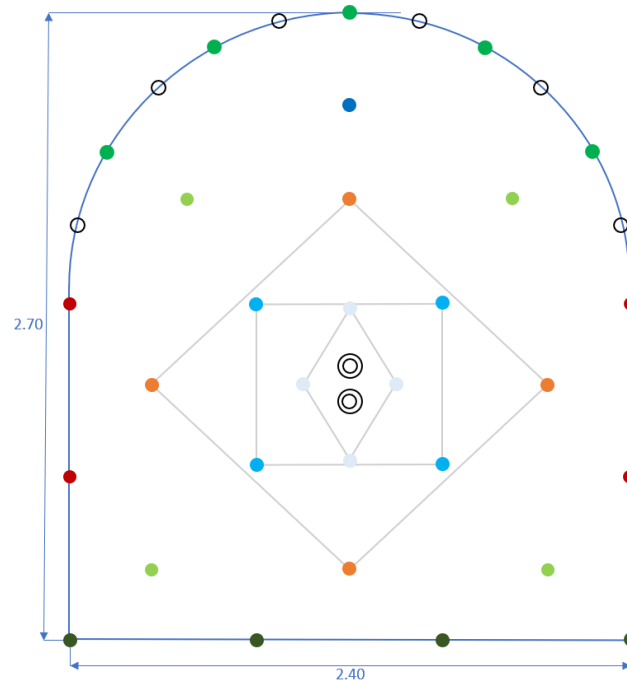


Figura 6. Malla de perforación estándar del frente XC 9179-SE con sección 2.4 m x 2.7 m., Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración propia)

Tabla 1

Parámetros de perforación

Parámetros	Cantidad
Longitud de barra (pies)	8
Longitud de perforación (pies)	2.3
Taladros cargados (unid)	30
Taladros rimados	2
Taladros de alivio	6
Broca (mm)	38
Broca de rimado (mm)	64

Parámetros de perforación para malla estándar utilizados en el XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración propia)

Malla de Perforación Piloto

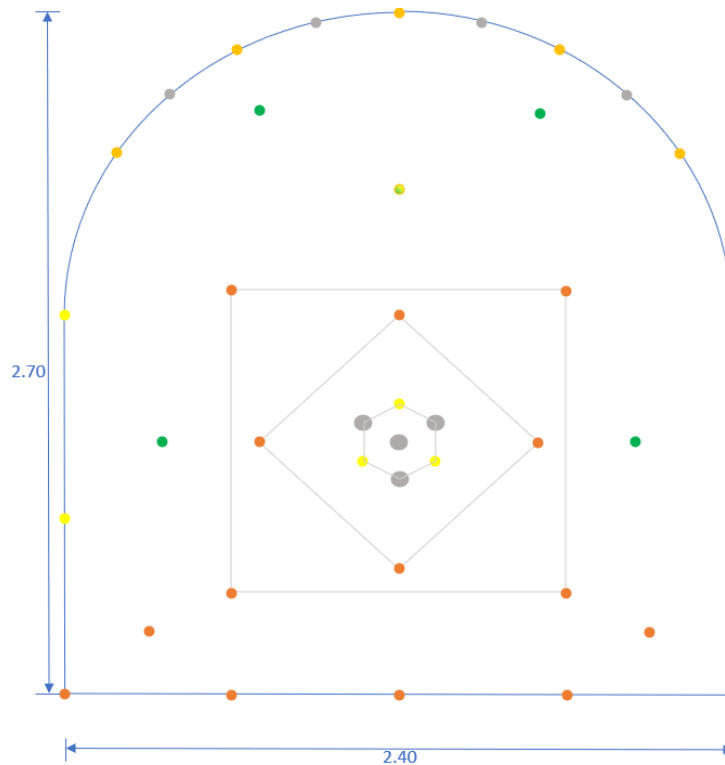


Figura 7. Malla de perforación piloto del frente XC 9179-SE con sección 2.4 m x 2.7 m., Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración propia)





Tabla 2
Parámetros de perforación

Parámetros	Cantidad
Longitud de barra (pies)	8
Longitud de perforación (pies)	2.3
Taladros cargados (unid)	32
Taladros rimados	4
Taladros de alivio	4
Broca (mm)	38
Broca de rimado (mm)	64

Parámetros de perforación para malla piloto utilizados en el XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración propia)

Explosivos y detonadores utilizados

Tabla 3
Explosivos usados

Explosivos	
	Emulnor 5000, 1 1/8"x 16"
	Emulnor 3000, 1 1/8" x 16"
	Emulnor 1000, 1 1/8" x 16"
	Emulnor 500, 1" x 12"

Explosivos utilizados en el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración propia)

Tabla 4
Detonadores usados

Nº Serie	Tiempo Retardo (s)
1	0.5
2	1.0
3	1.5
4	2.0
5	2.5
6	3.0
7	3.5
8	4.0
9	4.5
10	5.0
11	5.6
12	6.2
13	6.8
14	7.4
15	8.0
16	8.6

Detonadores usados en los taladros del frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420 y su tiempo de retardo (Famesa, 2022).

Carguío y Secuencia de Iniciación de Taladros

Carguío y Secuencia de Iniciación de Taladros Estándar

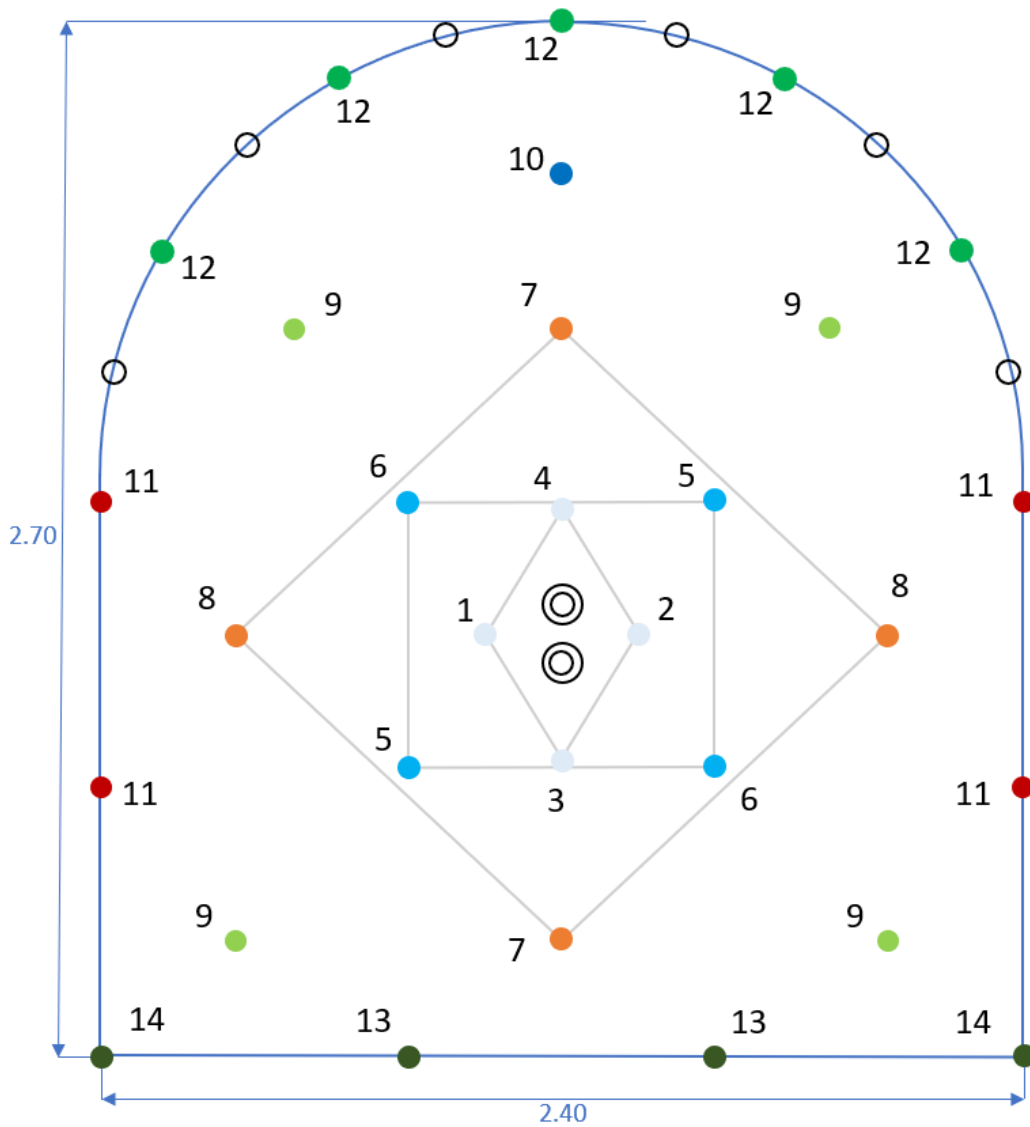


Figura 8. Secuencia de retardos para malla de perforación estándar del frente XC 9179-SE con sección 2.4 m x 2.7 m., Veta Cachaco 2T-1, Nivel 2420. (Fuente; Elaboración propia)

Carguío y Secuencia de Iniciación de Taladros Piloto

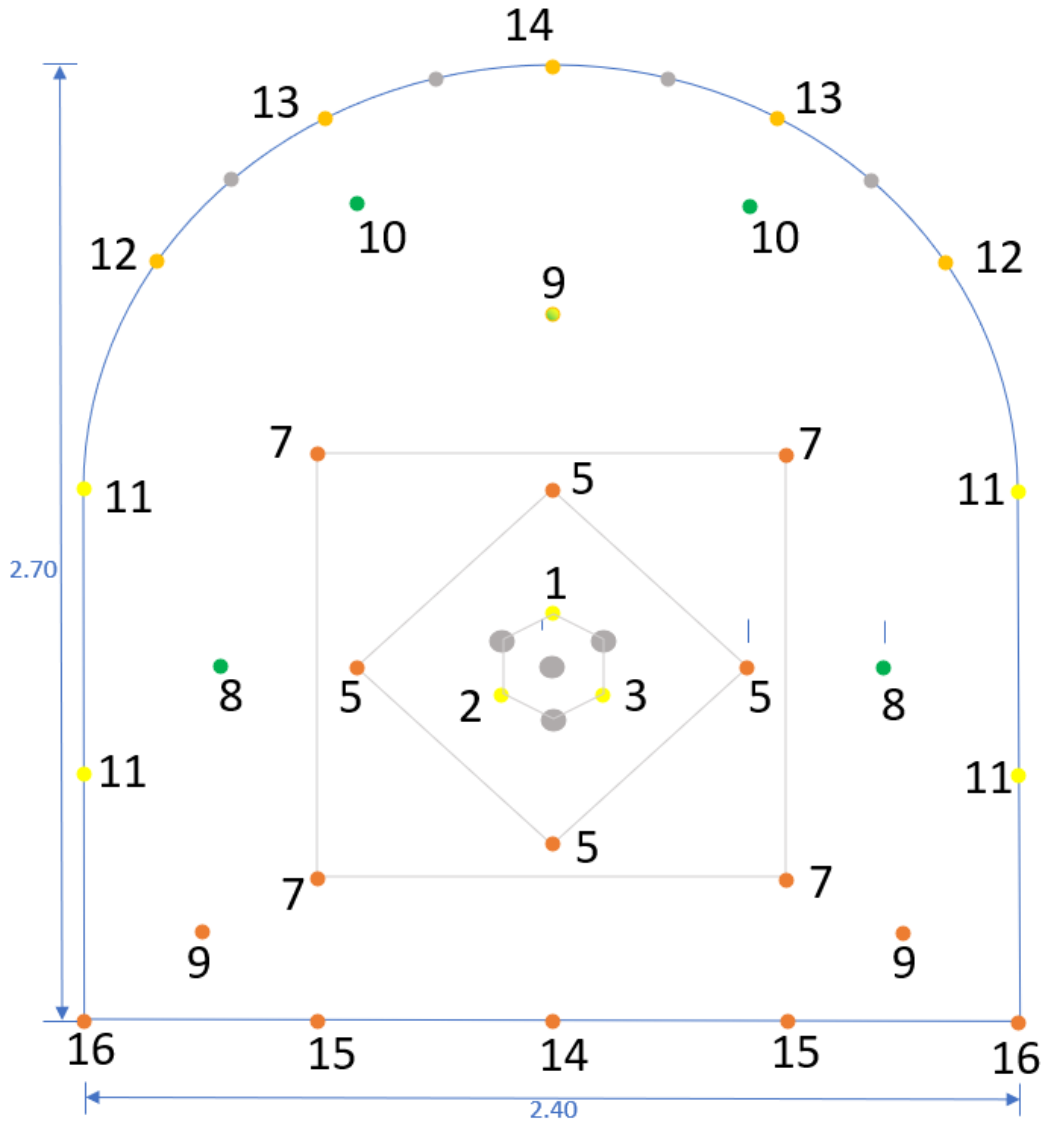


Figura 9. Secuencia de retardos para malla de perforación piloto del frente XC 9179-SE con sección 2.4 m x 2.7 m., Veta Cachaco 2T-1, Nivel 2420. (Fuente; Elaboración propia)

Análisis de la Velocidad Pico Partícula

Velocidad Pico Partícula con Diseño de Malla Estándar

Descripción del Diseño y Secuencia de Detonación Estándar

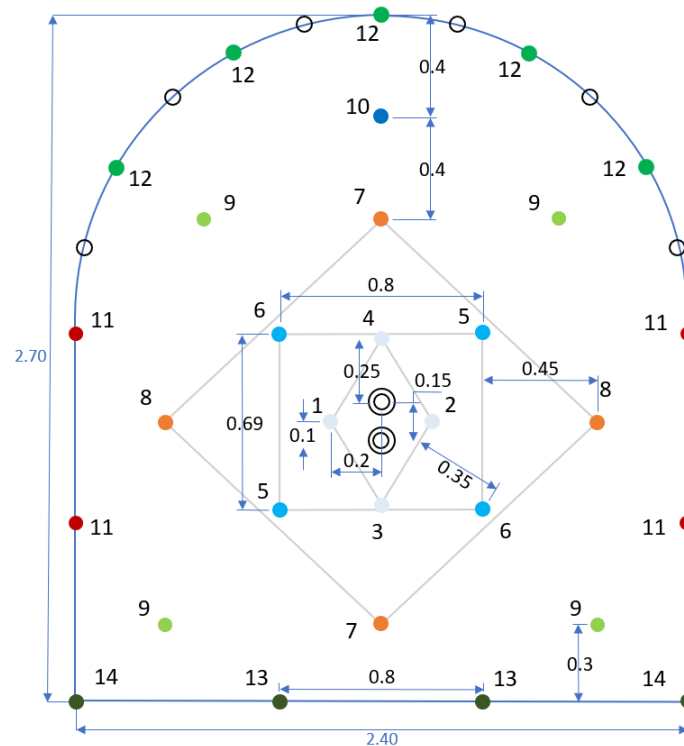


Figura 10. Diseño de malla estándar empleado en el XC 9179-SE, esta labor tiene una sección de 2.4 m x 2.7 m, se perforan un total de 36 taladros con un diámetro de 38 mm y una longitud de 8 pies, además se perforan 2 taladros de alivio rimados en el arranque con un diámetro de 64 mm (total 38 taladros). (Fuente; Elaboración Propia)

- Los taladros de la corona se perforan con un espaciamiento de 0.3 m y un burden de 0.4 m con respecto a la ayuda de corona. Son cargados con Emulnor 500, emulsión explosiva de bajo poder rompedor, usado en la voladura controlada, en cartuchos de 1” x 12” (4 unidades/taladro, color crema).
- El taladro de ayuda de corona se perfora con un burden de 0.4 m con respecto a la corona y es cargado con Emulnor 1000, una emulsión explosiva en cartuchos de 1” x 8” (4 unidades/taladro, color verde).
- Los taladros cuadradores se perforan con un espaciamiento de 0.8 m y son cargados con Emulnor 1000, una emulsión explosiva en cartuchos de 1” x 8” (4 unidades/taladro, color verde).

- Los taladros de producción se perforan con un con un burden de 0.3 m con respecto al arrastre y son cargados con Emulnor 3000 (4 unidades/taladro, color rojo).
- Los taladros de arrastre se horadan con un espaciamiento de 0.80 m y se cargan con Emulnor 3000 (4 unidades/taladro, color rojo).

Arranque

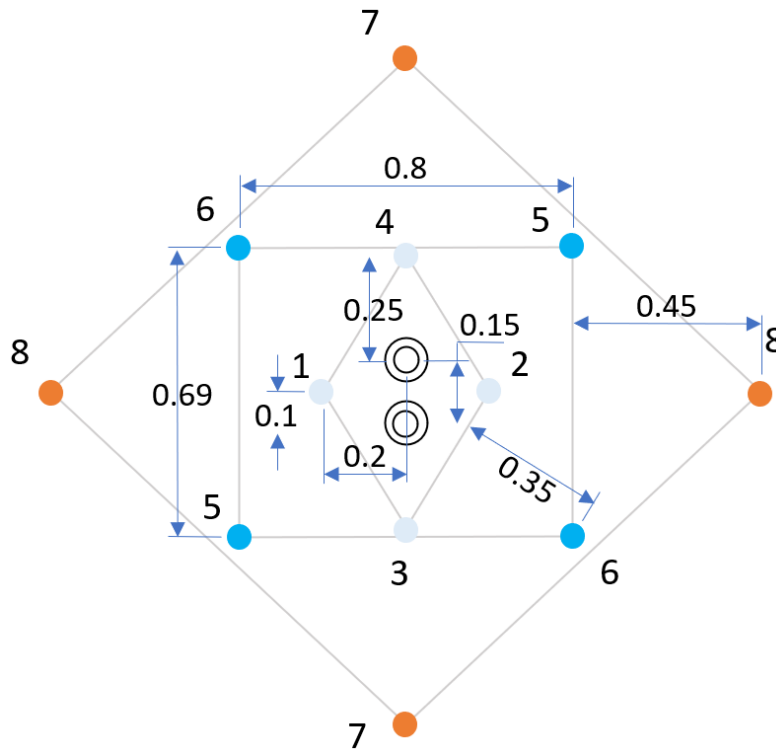


Figura 11. El arranque estándar tiene forma romboide con 3 cuadrantes, los cuales exhiben distancias estrechas (espaciamiento 0.4 m y burden 0.2 – 0.25 m). Los taladros son cargados con Emulnor 3000 e iniciados con Emulnor 5000. La secuencia de salida del disparo inicia el primer cuadrante con la serie LP del 1 al 4, el segundo cuadrante con la serie LP del 5 al 6 y el tercer cuadrante con la serie LP del 7 al 8. (Fuente: Elaboración Propia)

Cantidad de Explosivos Usados Malla Estándar

Tabla 5

Distribución de carga explosiva por taladro

Tipo	Cantidad Taladros	Emulnor 5000 1 1/8"x 16"	Emulnor 3000 1 1/8"x 16"	Emulnor 1000 1 1/8"x 16"	Emulnor 500 1"x 12"
Arranque	4	4	16		
1 ayuda	4		16		
2 ayuda	4		16		
3 ayuda	4		16		
Cuadrador	4			16	
Ayuda cuadrador	0				
Ayuda corona	1			4	
Corona	5				20
Arrastre	4		16		
Total	30	4	80	20	20

Cantidad de cartuchos por tipo de explosivo utilizados en la malla estándar del frente y la cantidad de taladros perforados por tipo de explosivo XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración Propia)

Tabla 6
Explosivos y accesorios utilizados

Parámetros	Unidad	Cantidad
Emulnor 5000 1 1/8"x 16"	Cart.	4
Emulnor 3000 1 1/8"x 16"	Cart.	80
Emulnor 1000 1 1/8"x 16"	Cart.	20
Emulnor 500 1"x 12"	Cart.	20
Total de explosivos	Kg.	33.4
Cordón detonante 5P	Mts.	25
Mecha rápida	Mts.	0.3
Fanel LP 3.0 m	Pzas.	30
Carmex x 7'	Pzas.	2

Parámetros de explosivos para malla estándar utilizados en la XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración Propia)

Tabla 7
Resultados de voladura malla estándar

Resultados	
Avance (m)	2.19
Eficiencia de avance (%)	95.0
Densidad de mineral (Tn/m ³)	2.85
Factor de avance (kg/m)	15.3
Factor de carga (kg/m ³)	5.6
Factor de potencia (kg/tn)	0.96

Resultados de voladura para malla estándar utilizados en la XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración Propia)

Monitoreo de Vibraciones con Malla Estándar

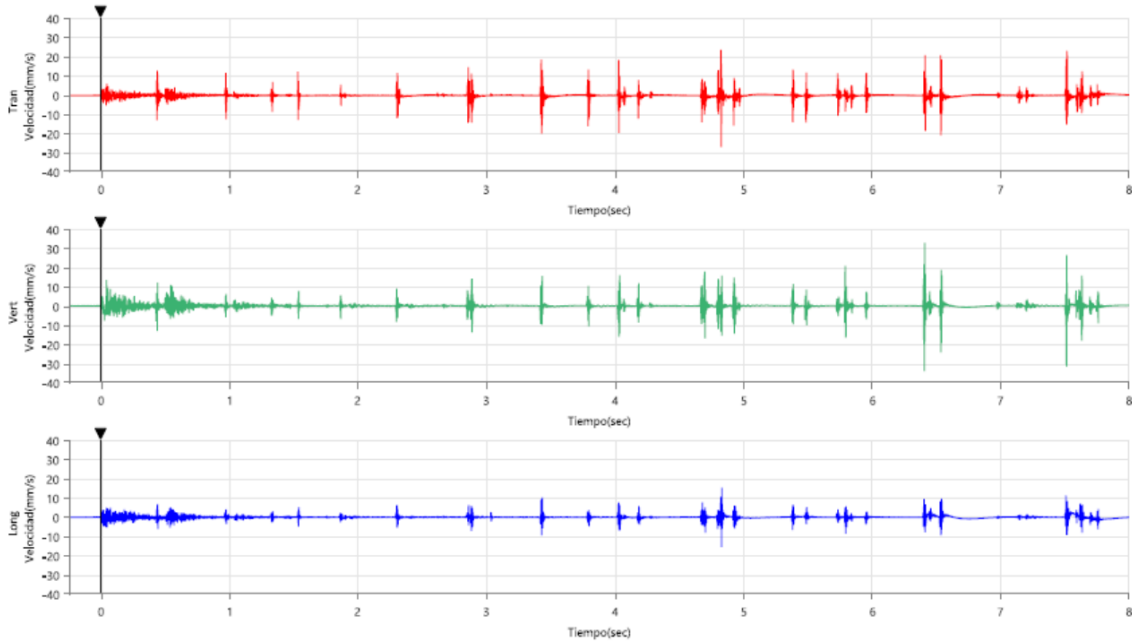


Figura 12. Sismograma de la voladura con malla estándar realizada en el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, con la secuencia estándar (Fuente; Elaboración Propia).

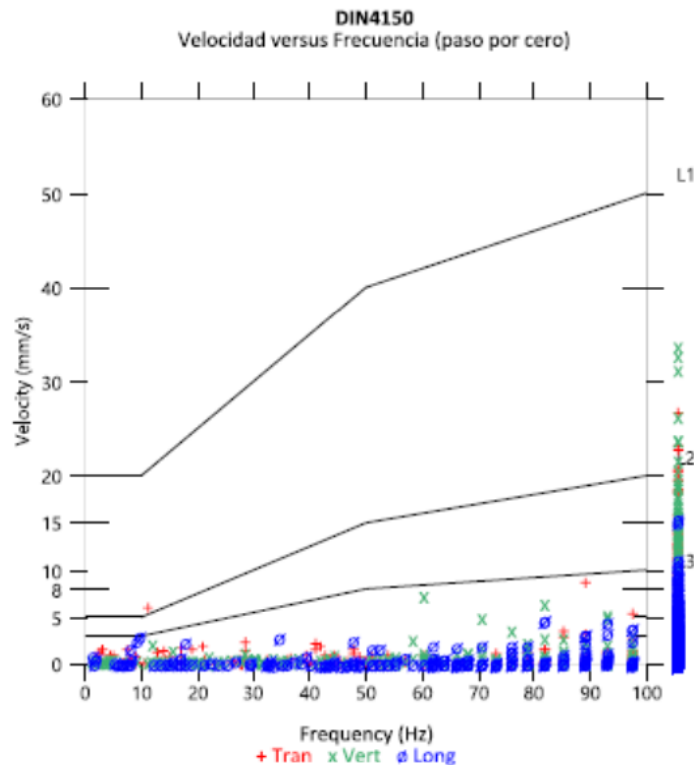


Figura 13. Gráfico de velocidad vs frecuencia con malla estándar del frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420 (Fuente; Elaboración Propia).

Tabla 8

Resumen de monitoreo de vibraciones en la malla estándar

Resumen Monitoreo de Vibraciones							
N°	N° Geófono	Turno	VPP Canal	VPP Canal	VPP Canal	VPP Vector	Distancia
			Longitudinal (mm/s)	Vertical (mm/s)	Transversal (mm/s)	Suma (mm/s)	
1	MP-14057	DIA	15.48	33.821	26.916	35.814	45.7
2	MP-14057	DIA	0.938	1.773	0.82	1.809	42.0

Los valores pico fueron alcanzados por la propagación de las ondas verticales, esto influye directamente en la creación de nuevas fracturas. (Fuente; Elaboración Propia)

En este monitoreo con la malla estándar se usaron como iniciador el sistema no eléctrico Fanel de periodo largo (Lp), la distribución es como sigue; 1/1, 2/1, 3/1, 4/1, 5/2, 6/2, 7/2, 8/2, 9/4, 10/1, 11/4, 12/5, 13/2 y 14/2

Como podemos apreciar en la figura 8, el mayor movimiento generado fue en el eje de la vertical, esto en los taladros de corona con el retardo N° 12 y en los taladros de los hastiales con los retardos N° 11 esto por la concentración de carga explosiva, teniendo como carga operante en la corona de 3.37 kg/retardo y como carga operante en el hastial es de 5.71 kg/retardo.

Para la malla estándar se utilizó un total de 33.4 kg de explosivo, teniendo un factor de potencia de 0.96 kg/t, los retardos produjeron un efecto sumatorio al momento de la detonación, lo que origino de acuerdo a los datos tomados por los geófonos una “VPP” de 33.821 mm/s.

Para cuantificar la efectividad y el daño del disparo con este valor pico se hizo la medición del avance y la sección dando como resultado los datos observados en la tabla 7.

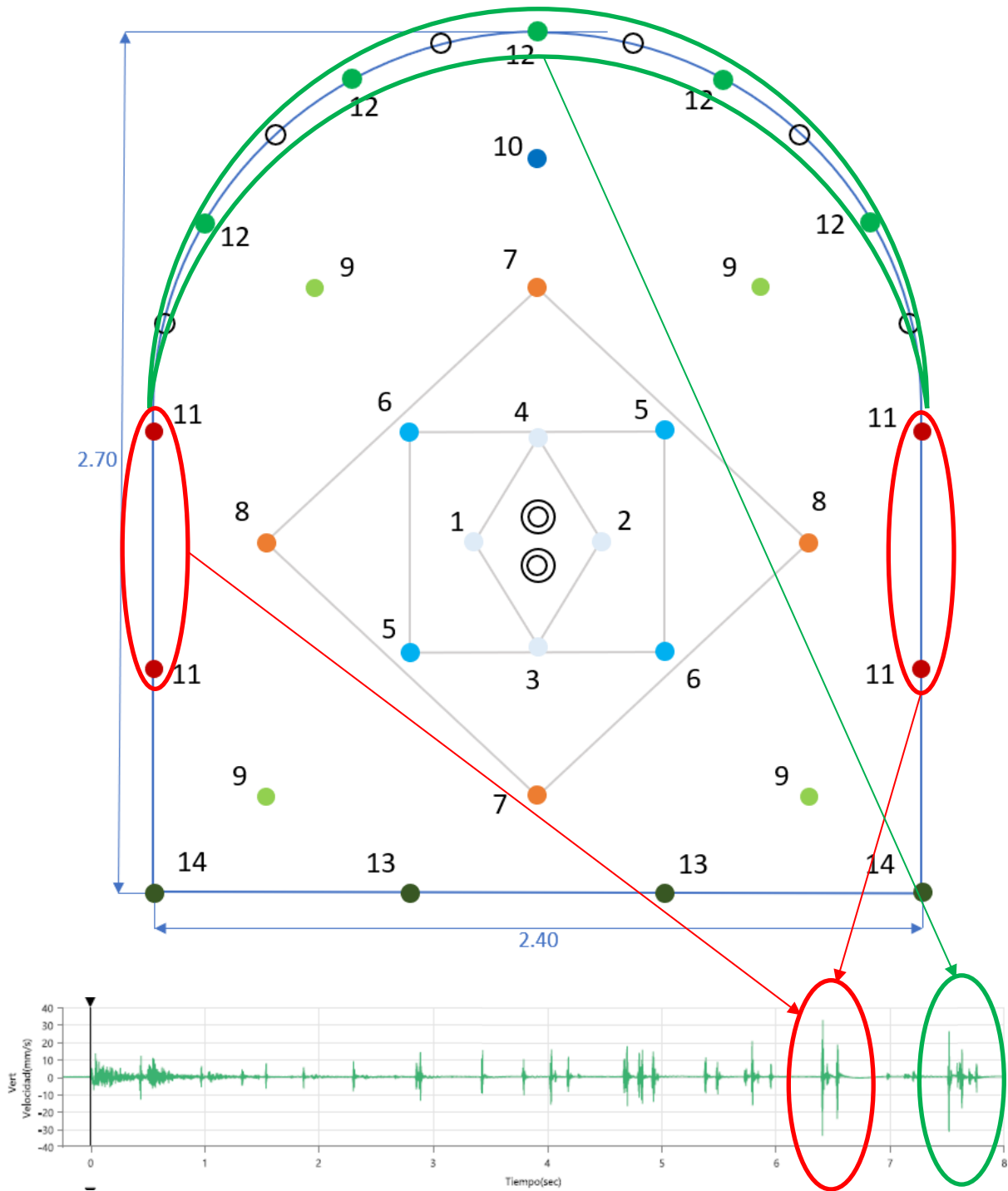


Figura 14. Gráfico de la vertical, velocidad vs frecuencia con malla estándar del frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, donde se aprecia los picos altos en corona y hastiales. (Fuente; Elaboración Propia).

Velocidad Pico Partícula con Diseño de Malla Piloto

Descripción del Diseño y Secuencia de Detonación Piloto

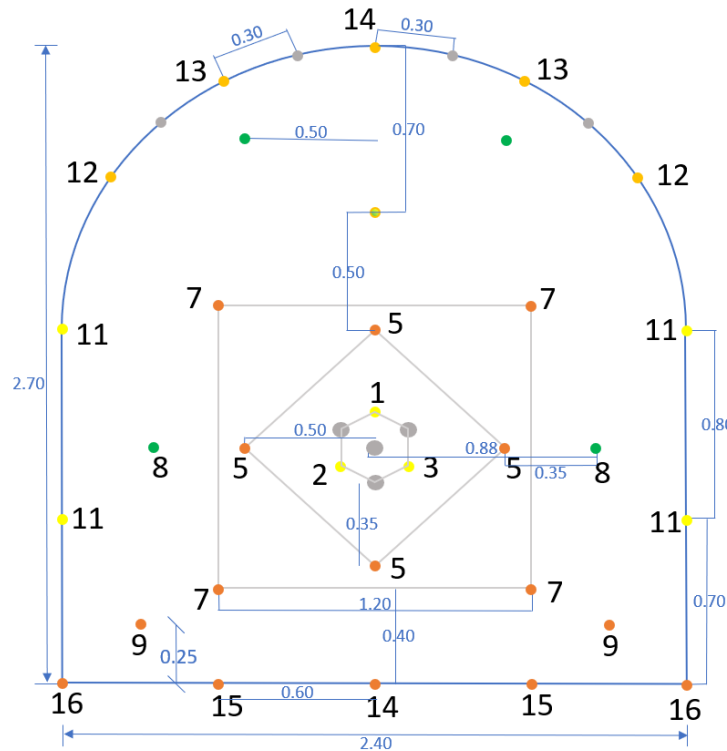


Figura 15. Diseño de malla piloto empleado en el XC 9179-SE, esta labor tiene una sección de 3.5 m x 3.5 m, se perforan un total de 36 taladros con un diámetro de 36 mm y una longitud de 8 pies, además se perforan 4 taladros de alivio rimados en el arranque con un diámetro de 64 mm (total 40 taladros). (Fuente; Elaboración Propia)

- Los taladros de la corona se perforan con un espaciamiento de 0.3 m y un burden de 0.35 m con respecto a la ayuda de corona. Son cargados con Emulnor 500, emulsión explosiva de bajo poder rompedor, usado en la voladura controlada, en cartuchos de 1” x 12” (4 unidades/taladro, color crema).
- El taladro de ayuda de corona se perfora con un burden de 0.35 m con respecto a la corona y es cargado con Emulnor 1000, una emulsión explosiva en cartuchos de 1” x 8” (4 unidades/taladro, color verde).
- Los taladros cuadradores se perforan con un espaciamiento de 0.8 m y son cargados con Emulnor 1000, una emulsión explosiva en cartuchos de 1” x 8” (4 unidades/taladro, color verde).

- Los taladros de producción se perforan con un con un burden de 0.25 m con respecto al arrastre y son cargados con Emulnor 3000 (4 unidades/taladro, color rojo).
- Los taladros de arrastre se perforan con un espaciamiento de 0.60 m y son cargados con Emulnor 3000 (4 unidades/taladro, color rojo).

Arranque

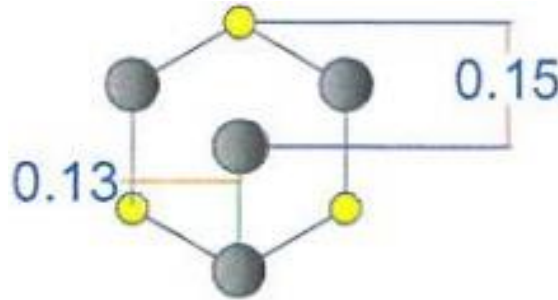


Figura 16. El arranque piloto tiene forma hexagonal con 3 cuadrantes, los cuales exhiben distancias estrechas (espaciamento 0.15 m y burden 0.13 m). (Fuente; Elaboración Propia)

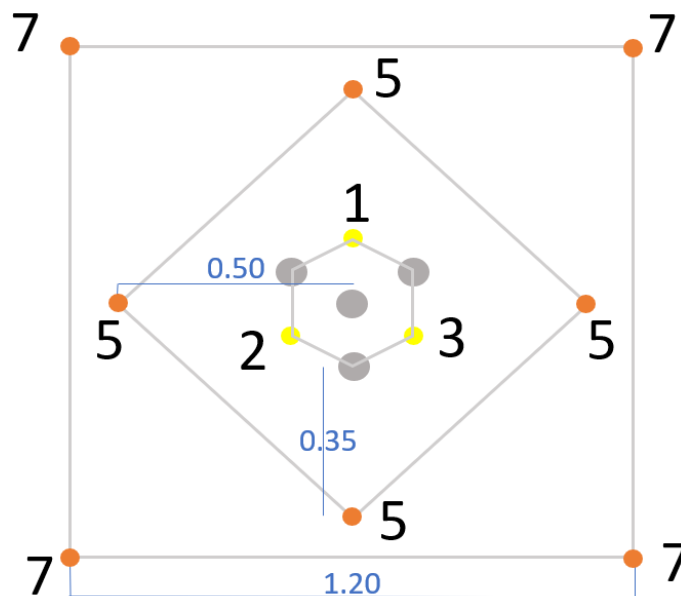


Figura 17. El arranque piloto es cargado con Emulnor 5000 (4 unidades/taladro) y sus ayudas son cargadas con Emulnor 3000 (4 unidades/taladro). La secuencia de salida del disparo inicia el primer cuadrante con la serie LP del 1 (Fuente; Elaboración Propia).al 3, el segundo cuadrante con la serie LP del 4 al 5 y el tercer cuadrante con la serie LP del 6 al 7. (Fuente; Elaboración Propia).

En resumen, la malla piloto se diferencia con respecto a la estándar porque:

- Se cambió la forma del arranque a hexagonal, disminuyendo 1 taladro y aumentando 2 taladros rimados
- Se disminuyó 1 taladros de producción y aumentó 1 taladro de ayuda de corona teniendo como espaciamiento 1.0 m.
- Se aumentó 1 taladro de arrastre disminuyendo su espaciamiento de 0.80 a 0.60 m.
- Se redujo la carga explosiva en 0.3 kg.

Cantidad de Explosivos Usados Malla Piloto

Tabla 9
 Distribución de carga explosiva por taladro

Tipo	Cantidad Taladros	Emulnor 5000 1 1/8"x 16"	Emulnor 3000 1 1/8"x 16"	Emulnor 1000 1 1/8"x 16"	Emulnor 500 1"x 12"
Arranque	3	12			
1 ayuda	4		16		
2 ayuda	4		16		
3 ayuda	1		2	2	
Ayuda cuadrador	2			8	
Ayuda corona	2			8	
Hastial	4			4	12
Ayuda arrastre	2		8		
Corona	5				20
Arrastre	5		20		
Total	32	12	62	22	32

Cantidad de cartuchos por tipo de explosivo utilizados en la malla piloto del frente y la cantidad de taladros perforados por tipo de explosivo XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1, Nivel 2420. (Fuente; Elaboración Propia)

Tabla 10
Explosivos y accesorios utilizados

Parámetros	Unidad	Cantidad
Emulnor 5000 1 1/8"x 16"	Cart.	12
Emulnor 3000 1 1/8"x 16"	Cart.	62
Emulnor 1000 1 1/8"x 16"	Cart.	22
Emulnor 500 1"x 12"	Cart.	32
Total de explosivos	Kg.	33.1
Cordón detonante 5P	Mts.	35
Mecha rápida	Mts.	0.1
Fanel LP 3.0 m	Pzas.	32
Carmex x 7'	Pzas.	2

Parámetros de voladura para malla piloto utilizados en la XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración Propia)

Tabla 11
Resultados de voladura malla piloto

Resultados	
Avance (m)	2.3
Eficiencia de avance (%)	100
Densidad de mineral (Tn/m ³)	2.85
Factor de avance (kg/m)	14.4
Factor de carga (kg/m ³)	2.5
Factor de potencia (kg/tn)	0.9

Resultados de voladura para malla piloto utilizados en la XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420. (Fuente; Elaboración Propia)

Monitoreo de Vibraciones con Malla Piloto

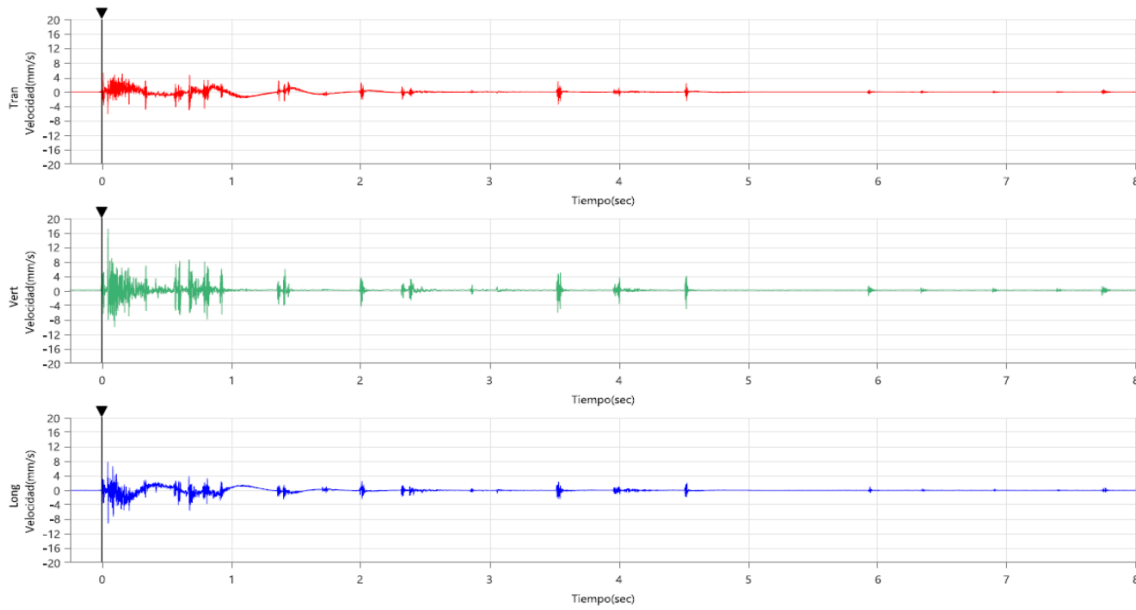


Figura 18. Sismograma de la voladura con malla piloto realizada en el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420 (Fuente; Elaboración Propia).

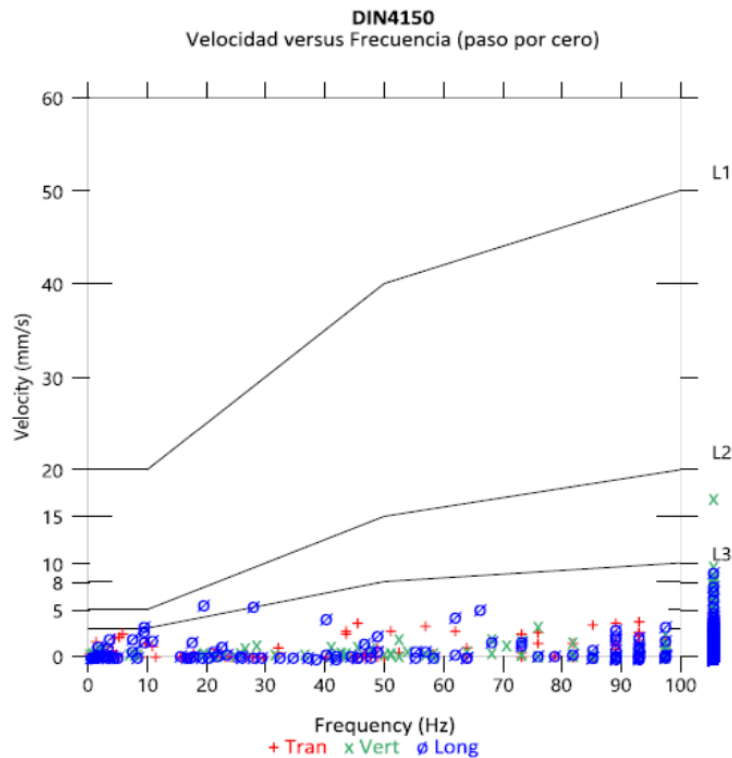


Figura 19. Gráfico de velocidad vs frecuencia con malla piloto del frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420 (Fuente; Elaboración Propia).

Tabla 12
Resumen de monitoreo de vibraciones en la malla piloto

Resumen Monitoreo de Vibraciones							
N°	N° Geófono	Turno	VPP Canal	VPP Canal	VPP Canal	VPP Vector Suma (mm/s)	Distancia
			Longitudinal (mm/s)	Vertical (mm/s)	Transversal (mm/s)		
1	MP-14057	DIA	9.308	17.127	6.148	18.945	29.5
2	MP-14057	DIA	2.964	3.515	4.942	5.05	33.2

Los valores pico fueron alcanzados por la propagación de las ondas verticales, esto influye directamente en la creación de nuevas fracturas. (Fuente; Elaboración Propia)

En este monitoreo con la malla piloto se usaron como iniciador el sistema no eléctrico Fanel de periodo largo (Lp), la distribución es como sigue; 1/1, 2/1, 3/1, 5/4, 7/4, 8/2, 9/3, 10/2, 11/4, 12/2, 13/2, 14/2, 15/2 y 16/2.

Teniendo como precedente los resultados de la malla estándar, para la malla piloto se disminuyó 2 taladros uno en el arranque y uno de producción, aumentando 2 taladros uno en el arrastre y uno en la ayuda de corona, con lo cual la cantidad total de explosivos utilizado fue de 33.1 kg donde la mayor concentración de carga estuvo en el arranque y las ayudas, pero gracias a las modificaciones se logró disminuir el factor de potencia a 0.9 kg/t, para los retardos en el arranque al disminuir un taladro en el arranque, 1ª ayuda y 2ª ayuda se aumentó el tiempo en los intervalos a 0.1 s con lo cual se consiguió un menor efecto sumatorio durante la detonación. Con las mejoras realizadas se disminuyó la “VPP” a 17.127 mm/s.

Para cuantificar la efectividad y el daño del disparo con este valor pico se hizo la medición del avance y la sección dando como resultado los datos observados en la tabla 11.

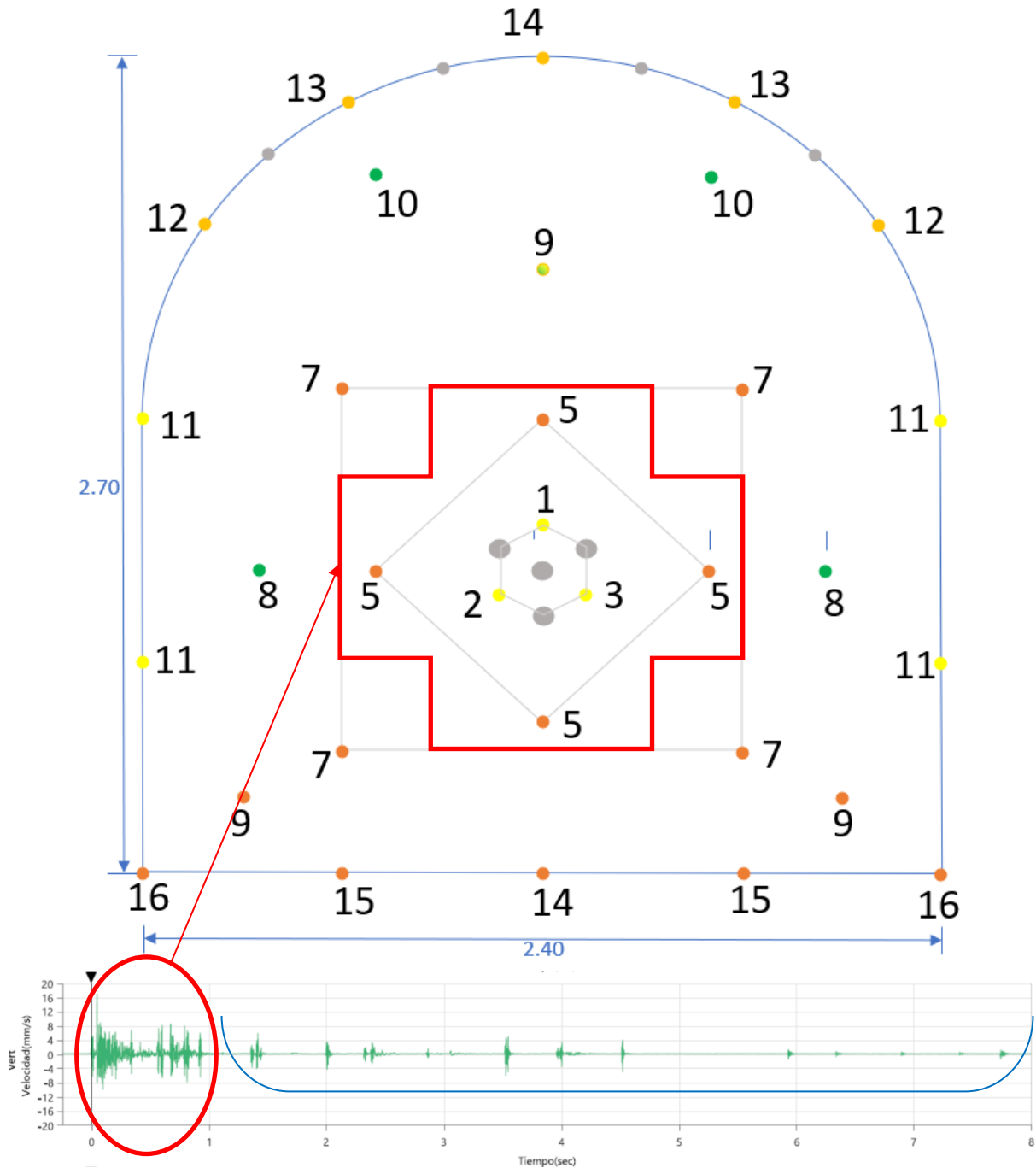


Figura 20. Gráfico de la vertical, velocidad vs frecuencia con malla piloto del frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, donde se aprecia los picos altos y la atenuación ideal de caída de picos por los tiempos de retardo, esto por el desglosamiento de los secuenciamientos de salida (Fuente; Elaboración Propia).

Velocidad Sónica del Macizo Rcoso

Hallando de índice de calidad de la masa rocosa Q:

Para mayor facilidad de cálculo Bieniawski en el año 1979 relacionó el RMR con Q, quedando representado numéricamente como:

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

De acuerdo a los Anexos 4 y 10, indican en la Recomendación Geomecánica que el RMR del XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nv. 2420 es 40, por tanto:

$$40 = 9 \ln Q + 44$$

$$Q = e^{(40-44)/9}$$

$$Q=0.641$$

Cálculo de la velocidad sónica del macizo rocoso: Vp (m/s).

Es la velocidad a la cual una roca transmitirá las ondas de compresión. Como a este tipo corresponden las ondas sonoras, también se le refiere como velocidad de onda longitudinal. Es una función del Índice de calidad del túnel (Bieniawski, 1979).

$$Vp = (1000 \times \text{Log } Q) + 3500$$

$$Vp = (1000 \times \text{Log } 0.641) + 3500$$

$$Vp = 3306.18 \text{ mm/s}$$

Velocidad Pico Partícula Crítica

Para corroborar la afectación al macizo rocoso más acertado se debe cotejar con la velocidad pico partícula crítica del macizo rocoso, para ello es preciso aplicar la siguiente fórmula:

$$V_{\text{crit}} = \frac{0.1 \times \sigma_c \times V_p}{E_i}$$

Donde:

σ_c : Resistencia a la compresión de roca (MPa)

E_i : Modulo de elasticidad de la roca intacta (GPa).

V_p : Velocidad de propagación de onda (m/s)

V_{crit} : Velocidad crítica de la roca (mm/s)

La velocidad pico partícula crítica es el resultado máximo (mm/s) que la roca puede soportar antes obtener consecuencias críticas, por tanto, los monitores del equipo Minimate Pro no puede sobrepasar en velocidad pico partícula (mm/s) para asegurar que no exista demasiado daño al macizo rocoso.

Tabla 13
Velocida pico partícula critica

Tipo de Roca	RMR	St (MPa)	VPP máx.	VPP Crítica
I	81 - 100	> 35	> 11.71	> 117.1
II	61 - 80	20 - 35	7.39 – 11.32	73.90 – 113.20
III	41 - 60	05 - 20	4.27 – 7.08	42.70 – 70.80
IV	21 - 40	2.5 - 05	3.08 – 4.14	30.80 – 41.40
V	0 - 20	0.5 - 2.5	0.00 – 2.54	0.00 – 25.40

En Valeria IV el tipo de roca está dentro del tipo IV, con un RMR de 40 (Piñas, 2007; p. 111).

Luego de interpolar, la velocidad pico partícula (mm/s) máxima para asegurar que no exista demasiado daño al macizo rocoso es 41.40 mm/s.

Esfuerzo Inducido a la Roca

La ecuación de Langerfors, se puede utilizar como criterio para analizar daños al macizo rocoso utilizando la siguiente fórmula:

$$e = VPPc / Vs$$

Donde:

e: Esfuerzo inducido (mm/m)

VPPc: Velocidad pico partícula crítica (mm/s)

Vp: Velocidad sónica del macizo rocoso (m/s)

$$e = 41.40/3306.18$$

$$e = 0.0125 \text{ mm/m}$$

Tabla 14
Esfuerzo máximo inducido

Tipo de Roca	RMR	St (MPa)	Vs (m/s)	e (mm/m)
I	81 - 100	> 35	5285 - 5736	0.000 – 0.004
II	61 - 80	20 - 35	4320 – 5284	0.008 – 0.009
III	41 - 60	05 - 20	3355 - 4319	0.010 – 0.021
IV	21 - 40	2.5 - 05	2390 - 3354	0.022 – 0.047
V	0 - 20	0.5 - 2.5	1377 - 2389	0.047 – 0.050

En Valeria IV el tipo de roca está dentro del tipo IV, con un RMR de 40 (Piñas, 2007; p. 111).

Para el tipo de roca que se tiene en la Veta Cachaco 2T-1, Nivel 2420 con una velocidad pico partícula crítica de 41.40 mm/s el esfuerzo máximo que se debe inducir por causa de vibraciones debe ser 0.0125 mm/m.

Malla Estándar vs. Malla Piloto

Tabla 15

Comparación velocidad pico partícula

Malla y secuencia de retardos estándar	Malla y secuencia de retardos piloto
Velocidad pico partícula máxima 33.821 mm/s	Velocidad pico partícula máxima 17.127 mm/s
Uso de menos números de retardos	Uso de más números de retardos
Retardos en el arranque con intervalos de 0.5 s	Retardos en el arranque con intervalos de 1.0 s
Uso de mayor cantidad de explosivo 33.4 kg	Uso de menor cantidad de explosivo 33.1 kg
Tiempo total de disparo aproximadamente 7 s	Tiempo total de disparo aproximadamente 9 s
Mayor daño al macizo rocoso	Se redujo el daño al macizo rocoso

Cuadro comparativo entre las VPP originadas por la malla estándar y la malla piloto (Fuente; Elaboración Propia).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

En este estudio, se logró precisar de qué manera la aplicación del principio de la velocidad pico partícula permite reducir el menoscabo al macizo rocoso, optimizando de esta manera la etapa de voladura, los resultados reflejaron que hubo una reducción en el porcentaje de sobrerotura. Esto quiere decir que es un proceso controlado y reduce a la vez la incidencia en los accidentes leves, permanentes y fatales, presentados comúnmente en labores con macizos rocosos de mala calidad, los cuales son muy vulnerables a riesgos como: caída de rocas, aplastamiento, fracturas, etc.

Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis, donde refiere que existe una relación entre optimización de la voladura y la velocidad pico partícula. Estos resultados son respaldados por Cahill (2005) quien refiere que a través de la interpretación de los resultados y la obtención de la velocidad pico partícula, se logra el conocimiento de los efectos y las distancias a la que afecta las vibraciones, pudiéndose estas variables manejarse modificando algunos parámetros de la voladura, obteniéndose así energía sísmica de mayor frecuencia, dependiendo fuertemente de los intervalos de retardo utilizados en la secuencia de detonación. Analizando estos resultados podemos confirmar que aplicando el principio de velocidad pico partícula y parámetros que optimizan la voladura, disminuye el porcentaje de sobrerotura (daño macizo rocoso).

Resultados

Se presento los resultados del proyecto en base a la información recogida mediante las técnicas e instrumentos de estudio en datos cuantitativos de análisis descriptivo e inferencial, las que se objetivizan mediante cuadros estadísticos, gráficos y testimonios de acuerdo a las hipótesis de trabajo y su relación con cada una de las manifestaciones de la variable independiente.

Presentación de resultados del objetivo específico 1

“Determinar un nuevo diseño de malla de perforación para reducir el daño al macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420”

En esta investigación al determinar la relación de la voladura controlada y la velocidad pico partícula, los resultados reflejaron que, al usar la malla y secuencia de retardos piloto, optimizaron la voladura, en donde se aprecia los picos altos y la atenuación ideal de caída de picos por los tiempos de retardo en el arranque, esto por el desglosamiento de los secuenciamientos de salida, y no en coronas y hastiales donde generaba sobrerotura como se pudo demostrar en la malla estándar, por tanto, se logró una velocidad pico partícula máxima de 17.127 mm/s; esto quiere decir que al analizar la etapa de voladura y las operaciones siguientes a esta como lo son carguío, transporte, chancado y molienda de la roca, es inasequible tener un alto grado de sobrerotura en el macizo rocoso por tener bastante carga de explosivo por retardo, teniéndolos de manera inútil en la operación, además de que influyen mucho en la velocidad pico partícula, incentivando a tener un alto grado de daño en el macizo rocoso. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis, donde refiere que existe relación entre la optimización de la voladura controlada y la velocidad pico partícula. Estos resultados son corroborados en la investigación de Contreras (2009) donde concluye que, para lograr un adecuado grado de fragmentación con menor velocidad pico partícula, costo mínimo combinado de las operaciones siguientes a la etapa de voladura y con un mínimo de daño en el macizo rocoso, se necesita de una correcta elección del explosivo, cuanto explosivo cargar por taladro o en su defecto, la cantidad de explosivo deberá causar el menor daño posible al entorno de la voladura. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al

analizar estos resultados, se confirma que el factor que incide en el rendimiento del disparo y la sobrerotura es el daño que producen los altos niveles de vibración y que para su análisis pueden ser traducidos en varios niveles de velocidad de partícula, este daño es inducido por la secuencia de retardos y cargas explosivas, los que originan, dependiendo de la distancia, nuevas fracturas, extensión y dilatación de facturas preexistentes.

Presentación de resultados del objetivo específico 2

“Determinar la cantidad de explosivos y retardos adecuados para reducir el daño al macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420”

El estudio al determinar la cantidad de explosivos y los retardos adecuados para disminuir la velocidad pico partícula, se pudo encontrar que el uso de retardos con intervalos mayores o iguales a 1.0 segundos, han generado el uso de menores cargas de explosivo por retardo obteniendo 0.3 kg menos, la aplicación de este intervalo no mostró efectos sumatorios significativos. Esto quiere decir que la velocidad pico partícula que se genera disminuye, por lo tanto, también el daño al macizo rocoso, aprovechando con mayor eficiencia la energía del explosivo. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis, donde refiere que existe una relación entre la alta velocidad pico partícula y reducción de explosivos y retardos adecuados los cuales optimizan la voladura. Frente a lo mencionado, Rivera et al. (2012) indica y recalca que, mediante el replanteo en la geometría del diseño, sincronización de la voladura y carga operante, el comportamiento de cada columna de taladro disparado con determinados retardos sin suma significativa, se traduce en la reducción notable de la velocidad pico partícula y daño severo al macizo rocoso. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados, confirmamos que mientras

mayor es el intervalo de cargas explosivas y que además menor la cantidad de carga explosiva, menor será la velocidad pico partícula: produciendo menor daño al macizo rocoso.

Presentación de resultados del objetivo específico 3

“Determinar mediante el análisis del modelo matemático de Holmberg-Persson la velocidad pico partícula para reducir el daño al macizo rocoso del XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420”

El estudio al calcular la VPPc, mediante el análisis del modelo matemático Holmberg – Persson, se pudo encontrar que es 41.40 mm/s. Esto quiere decir que al aplicar el principio de velocidad pico partícula para lograr una reducción del daño del macizo rocoso en la voladura, se tiene como imperiosa necesidad el hallar el límite antes de conseguir un exceso de daños a la labor, es por ello que se debe usar como estándar para la medición que ocasiona en el entorno de la labor. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis, donde refiere que existe relación entre la velocidad pico partícula y la reducción de daño al macizo rocoso. Por ende, Music (2007) en su investigación, cuyo objetivo fue la evaluación del efecto vibracional y el daño en el contorno, concluye que una indagación de una idoneidad entre impacto vibracional y la respuesta de la roca medida por los límites de la sobre excavación, requiere de calcular los niveles críticos de vibración según las propiedades de la roca de modo de controlar el impacto vibracional en la zona afectada. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados, la malla piloto tuvo una mayor velocidad de detonación, por tanto, el radio de influencia en los taladros aumenta a comparación de la estándar y se tuvo mejor aprovechamiento de la energía del explosivo sin que aumente la VPP y se genere un daño al

macizo rocoso y confirmamos que hallar la VPPc es fundamental para mantener, en base a ello, el macizo rocoso controlado.

- Se optimizó la etapa de voladura aplicando el principio de velocidad pico partícula, minimizando el daño del macizo rocoso, mejorando la producción y las etapas siguientes a esta, influyendo en la reducción también de los costos operativos de la labor.
- Se determinó el uso de menos cantidad de explosivo y un mayor número de retados para mejorar la velocidad pico partícula ejercida en la voladura y disminuir el daño al macizo rocoso.
- La relación de la velocidad pico partícula es directamente proporcional a la carga del explosivo por retardo.
- Los monitores con el equipo Minimate Pro no debe exceder en velocidad pico partícula de 41.4 mm/s para garantizar que no exista demasiado daño al macizo rocoso.

REFERENCIAS

- Balcaza, T.; Contreras, A.; Font, V. (2017, 13 de marzo). *Análisis de Libros de Texto sobre la Optimización en el Bachillerato*. SciELO, 31 (59), 1061-1081.
<https://doi.org/10.1590/1980-4415v31n59a11>.
- Bustamante, F. (2019). *Optimización del diseño de malla aplicando la teoría de daño por vibraciones y el método de Holmberg*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional Universidad Católica de Santa María. <https://core.ac.uk/reader/233005190>.
- Carrillo, W. (2003, 13 de julio). *Uso de explosivos en demoliciones para voladuras controladas*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina (13), 109-118. ISSN: 0124-8170.
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101312>.
- Chakraborty, A.K.; Jethwa, J.L. y Paithankar, A.G. (1994). Effects of joint orientation and rock mass quality on tunnel blasting. *Engineering Geology*, 37(3-4).
- Chávez, F. (2018). *Metodología de perforación y voladura controlada en la construcción del Nivel 660, para evitar la sobre excavación en la Mina Acchilla, 24 U.E.A. Julcani, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo] Repositorio Institucional Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3358>.
- Contreras, W. (2009). *Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/663>.
- De Cospedal, J. (2019). *Utilización de la medida de vibraciones en voladuras para el conocimiento de los daños al macizo de roca ornamental*. [Tesis de pregrado,

Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional Universidad Politécnica de Cartagena. <http://hdl.handle.net/10317/7809>.

Exsa S.A. (2008). Manual práctico de voladura. Lima: Cuarta edición, 358 p.

Exsa S.A. (2014, 8 de enero). *Parámetros en la voladura de rocas*. Seguridad Minera. <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/parametros-en-la-voladura-de-rocas/>.

Galán, L. (2021). *Optimización de los costos de sostenimiento empleando shotcrete vía seca en roca tipo IV a, en el XC 9209-se, del Nv. 3175 de la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. - MARSÁ - 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4780/T033_75962033_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Gómez, E. (2019) *Aplicación de Modelo Predictivo de Daño (Cross Hole) Para Determinar la Vibración Pico Partícula Máxima (Vppc) Producida por Voladura y Controlar la Estabilidad de Talud, Mina Constancia – 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Moquegua. <http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/97>.

Hinostroza, W. (2019). *Caracterización geomecánica en el análisis de estabilidad generados por la explotación subterránea Compañía Minera Aurífera Retamas S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1048>.

Huaranga, B. (2020). *Evaluación económica de la recuperación de pilares de mineral en la explotación de la veta Cabana – nivel 3125 de Minera Aurífera Retamas S.A.*

- [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8733>.
- López, E. (1988). Manual de perforación y voladura de roca. Madrid: Instituto Geominero de España, 32 p.
- Maxam (2018, 2 de junio). *Fragmentación de roca*. Fundación Maxam. <https://www.maxam.net/media/Default%20Files/BLASTINGSOLUTIONS/SolucionesVoladura-FragmentacionRoca.pdf>.
- Music, A (2007). *Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal, Mina El Teniente*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104674>.
- Persson, P.; Holmberg, R.; Lee, Jaimin. (1994). *Ingeniería de explosivos y voladura de rocas* (1ª ed.). Boca Ratón. CRC Press.
- Piñas, E (2007). *Aplicación del principio de la velocidad pico de partícula (PPV) para minimizar el daño al macizo rocoso, utilizando tecnología electrónica* (Minera Aurífera Retamas S.A.- Yacimiento El Gigante – La Libertad [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/685>.
- Quiroz, C. (2014). *Monitoreo de vibraciones causadas por voladuras en taludes*. Universidad Privada del Norte, 2(2): 53-61. <https://docplayer.es/28500385-Monitoreo-de-vibraciones-causadas-por-voladuras-en-taludes-monitoring-of-vibrations-caused-by-blasting-in-slopes.html>.
- Quispe, W (2019). *Determinación de esfuerzos principales mediante proyecciones estereográficas, nivel 2670 Minera Aurífera Retamas – MARSÁ, La Libertad*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2871/TESIS%20PROFESIONAL%20WEQB%20diedrosv5.docx?sequence=1&isAllowed=y>.

Raina, A.K.; Ramulu, M.; Choudhury, P.B. et al. (2008). Application of digital image analysis technique for assessment of blast fragmentation and explosives energy utilisation in large opencast coal mine. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 56(7-8).

Sharma, P.D. (2010). Factors in designing of blasts, flyrock, industrial explosives used and safe operation of bulk explosives in opencast mines. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 58(9).

Shrimali, R.; Mandal, D. y Shekhawat, L.S. (2014). Blast design vis-à-vis selection of explosives characteristics at Rampura-Agucha mines (HZL). *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 62(5-6),

Rincón Flórez, J. F.; Fonseca Becerra, J. E. & Carvajal Medina, R. J. (2015, julio-diciembre). Cálculo de parámetros termodinámicos para explosivos militares. Aplicación de fundamentos termodinámicos y propiedades de los explosivos militares. *Rev. Cient. Gen. José María Córdova* 13(16), 221-239.

Ramírez, P y Alejano, L (2004). *Mecánica de Rocas: fundamentos e ingeniería de taludes* (1ª edición digital). Universidad Politécnica de Madrid. http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf.

Rivera, de la Vega, Jiménez (2012). Diseño de malla basado en la respuesta sísmica de la roca y reducción del daño al macizo rocoso "Unidad Económica Uchucchacua". Compañía de Minas Buenaventura S.A. <https://afly.co/yhd5>.

Rodríguez, L. (2009). *Sistema de medición de velocidad y tiempo de detonación para explosivos usando el método de fibras ópticas* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional de la Pontificia

Universidad Católica del Perú.

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/294>.

Tovar, F (2015). *Aplicación del principio de la velocidad pico partícula (VPP), para minimizar el daño al macizo rocoso-utilizando retardos- veta Lourdes Consorcio Minero Horizonte – La Libertad* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1351/Tesis-Final-acabado.pdf?sequence=1&is>.

Valencia, M.; Santisteban, A. & Lozada, V. (2018). Prospección geológica-minera regional en la región La Libertad. INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 55, 168p., 20 mapas.

Villanes, C. (2006). Yacimiento aurífero Poderosa, distrito de Pataz, Cordillera Oriental del Perú: contexto geológico, marco estructural, alteraciones hidrotermales, mineralogía y estilos de mineralización, informe inédito. Lima: Compañía Minera Poderosa.

Wang, Y. et al. (2018). Blast induced crack propagation and damage accumulation in rock mass containing initial damage. *Shock and Vibration* (enero-junio 2018). <https://doi.org/10.1155/2018/3848620>

ANEXOS

ANEXO N.º 01. Matriz de Consistencia

Tabla 16

Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
Optimización de la voladura controlada aplicando el principio de Velocidad pico partícula para disminuir el daño al macizo rocoso en el XC 9179 SE- Veta Cachaco 2T1 - NV 2420.					30 / 12 / 2022
Autor: Muñoz Barrueto, Felix Alberto					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Tipo de investigación	de su
¿De qué manera la voladura controlada al aplicar el principio de velocidad pico partícula disminuye el daño al macizo rocoso del XE 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420?	<p>Disminuir el daño al macizo rocoso aplicando el principio de velocidad pico partícula optimizando la voladura controlada en el XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420.</p> <hr/> <p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar un nuevo diseño de malla de perforación para reducir el daño al macizo rocoso.</p> <p>Determinar la cantidad de explosivos y retardos adecuados para reducir el daño al macizo rocoso.</p> <p>Determinar mediante el análisis del modelo matemático de holmberg-persson la velocidad pico partícula para reducir el daño al macizo rocoso.</p>	Al aplicar el principio de la velocidad pico partícula en una voladura controlada optimizada disminuirá el daño al macizo rocoso en el XC 9179 SE – Veta Cachaco 2T-1 – Nivel 2420	<p>Optimización de la voladura controlada</p> <hr/> <p>Variable dependiente</p> <hr/> <p>Disminuir el daño al macizo rocoso</p>	<p>Según propósito: Aplicada</p> <p>Enfoque: Cuantitativa</p> <p>Tipo de estudio: Mixto</p> <p>Planificación en la medición: Actual</p> <p>Número de mediciones en el tiempo: Transversal</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Población: Labores de avance en la Veta Cachaco 2T-1 Nv. 2420 de Minera Tauro S.A.C.</p> <p>Muestra: XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 del Nv. 2420 de Minera Tauro S.A.C.</p>	

Se describe el problema, los objetivos, hipótesis, variables y metodologías usadas para la realización de la presente investigación (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 02. Matriz de Operacionalización de variables

Tabla 17

Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	Escala de medición
Variable independiente: Optimización de la voladura controlada	Uso de métodos para reducir el exceso de rompimiento del macizo rocoso. (Carrillo, 2003).	Control de la reducción y distribución mejor de las cargas explosivas para reducir al mínimo los esfuerzos y fractura de roca.	Cantidad de explosivos y retardos.	<ul style="list-style-type: none"> • Malla de perforación • Carguío y secuencia de iniciación de taladros • Cantidad de explosivos por taladro 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalo • Razón
Variable dependiente: Disminuir daño al macizo rocoso	Reducción de rotura en el conjunto de bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades. (Tovar, 2015).	Reducción del daño ocasionado a la estabilidad (caja techo, piso y hastiales) de la labor mediante la voladura controlada.	Reducción de velocidad pico partícula.	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de VPPc • Esfuerzo inducido a la roca • Velocidad sónica del macizo rocoso 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalo • Ordinal

Se presenta las definiciones conceptuales y operacionales, logrando determinar las dimensiones, indicadores y su escala de medición (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 03. Parámetros geomecánicos

Tabla 18

Parámetros geomecánicos de la roca intacta

Parámetros	Valores
Peso específico de la roca	2.7 g/cm ³
Resistencia compresión simple	7,977 lb/pulg ² = 55 MPa
Resistencia a la tracción	2,465.64 lb/pulg ² = 17.88 MPa
Módulo de elasticidad	3.7 x 10 ⁶ lb/pulg ² = 25.5 GPa
Coefficiente de Poisson	0.20

Fuente: Departamento de Geomecánica – Valeria IV - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (2022).

Tabla 19

Parámetros geomecánicos de las discontinuidades

Parámetros	Valor
Nº de Familias	3
Espaciamiento promedio	0.15 m
Persistencia de discontinuidad	1 a 3 m
Abertura de la discontinuidad	1 a 5 mm
Rugosidad	Planar Lisa
Tipo de relleno	Sin relleno
Alteración	Ligeramente
Agua subterránea	Seco
Relleno	Ninguno
Alteración	Sana
R. Q. D	55%

Fuente: Departamento de Geomecánica – Valeria IV - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (2022).

ANEXO N.º 04. RMR de la roca

Tabla 20
RMR de la roca

RMR	Valorización	
Resistencia de la roca intacta	7	
R.Q.D.	8	
Espaciamiento	8	
Condiciones de las fracturas	Persistencia discontinuidades	4
	Apertura	1
	Rugosidad	3
	Relleno	1
	Alteración	3
Condiciones de agua	10	
Subtotal R.M.R.	45	
Corrección por orientación de las discontinuidades: Para túneles o rampas subterráneas (desfavorables)	-5	
RMR	40	

Fuente: Departamento de Geomecánica – Valeria IV - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (2022).

ANEXO N.º 05. Cartilla Geomecánica – Labores de explotación y avances

SOSTENIMIENTO SEGUN GSI (MODIFICADO) - VERSION 08 Registro: E-MIN 33				TABLA 2			
LABORES PERMANENTES							
LONG. DE PERNOS HEL.POR SECCION							
LABOR	ANCHO	ALTO	LONG. PERNO				
- CRUCERO	2.1 m.	2.4 m.	5 PIES				
- CRUCERO	2.4 m.	2.4 m.	5 PIES				
- CRUCERO	2.4 m.	2.7 m.	5 PIES				
- BYPASS	2.1 m.	2.4 m.	5 PIES				
- BYPASS	2.4 m.	2.4 m.	5 PIES				
- BYPASS	2.4 m.	2.7 m.	5 PIES				
- BYPASS	3.0 m.	3.0 m.	6 PIES				
- RAMPA	3.0 m.	3.0 m.	6 PIES				
- RAMPA	4.0 m.	4.0 m.	8 y 10 PIES				
CONDICION ESTRUCTURAL				CONDICION SUPERFICIAL			
	LEVEMENTE FRACTURADA (LF) (1 - 5 FRACTURAS POR METRO) TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADOS ENTRE SI. (RQD 75 - 100%)			(A) LF/B	(A) LF/R	(B) LF/P	
	FRACTURADA (F) (6 - 10 FRACTURAS POR METRO) TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MODERADAMENTE ESPACIADOS ENTRE SI. (RQD 50 - 75%)			(A) F/B (B)	(B) F/R (C)	(C) F/P (D)	
	MUY FRACTURADA (MF) (11 - 20 FRACTURAS POR METRO) CUATRO A MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50%)			(B) MF/B (C)	(C) MF/R (D)	(D) MF/P (E)	(E) MF/MP (E)
	INTENSAMENTE FRACTURADA (IF) (MAS DE 20 FRACTURAS /METRO) PLEG. Y FALLAMIENTO CON DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS, FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS E IRREGULARES. (RQD 0 - 25%)			(C) IF/B (D)	(D) IF/R (E)	(E) IF/P (F)	(F) IF/MP (G)
	TRITURADA Y BRECHADA (T) MASA ROCOSA EXT. ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES ANGULOSOS Y EN MATRIZ DE ARCILLA. (Sin RQD)				(E) T/R (F)	(F) T/P (G)	(G) T/MP (G)

Figura 21. Cartilla geomecánica de las labores de explotación y avances usada en el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, Minera Tauro S.A.C. (Departamento de Geomecánica – Valeria IV - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A., 2022).

ANEXO N.º 06. Factores influyentes en el XC 9179-SE - NV 2420



Figura 22. Factores influyentes del frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, Minera Tauro S.A.C. (Departamento de Geomecánica – Valeria IV - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A., 2022).

ANEXO N.º 07. Correlación entre RMR – Q – GSI

Tabla 21

Correlación entre RMR – Q – GSI

	RMR	Q	GSI
Valoración	40	0.64	35
Calidad	Media	Media	Regular

Fuente: Elaboración propia (2022).

ANEXO N.º 08. Resistencia a la Compresión Uniaxial

Tabla 22

Resistencia a la Compresión Uniaxial

Tipo de Roca	Resistencia (MPa)	Detalle
I Muy Dura	>250	No se tiene en U.E.A. Retamas
II Dura	100 - 250	Granito, Granodiorita, Diorita (Masivo)
III Media Dura	50 - 100	Granito, Granodiorita, Microdiorita (Fracturas dispersas)
IV Suave	25 - 50	Granodiorita, Microdiorita (Fracturas apretadas y alteradas).
V Muy Suave	05 - 25	Granodiorita y Microdiorita (fracturas apretadas muy alteradas)

Fuente: Departamento de Geomecánica – Valeria III - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (2022).

ANEXO N.º 9. Resistencia a la Tracción Dinámica de la Roca

Tabla 23

Resistencia a la Tracción Dinámica de la Roca

Tipo de Roca	Clasificación del Macizo Rcoso		
	Sc (MPa)	St (MPa)	Sd (MPa)
I Muy Dura	>250	>35	>125
II Dura	100 - 250	20 - 35	50 - 125
III Media Dura	50 - 100	5 - 20	25 - 50
IV Suave	25 - 50	2.5 - 5	12.50 - 25
V Muy Suave	05 - 25	0.5 - 2.5	05 - 12.5

Fuente: Departamento de Geomecánica – Valeria III - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (2022).

ANEXO N.º 10. Recomendación Geomecánica XC 9179-SE

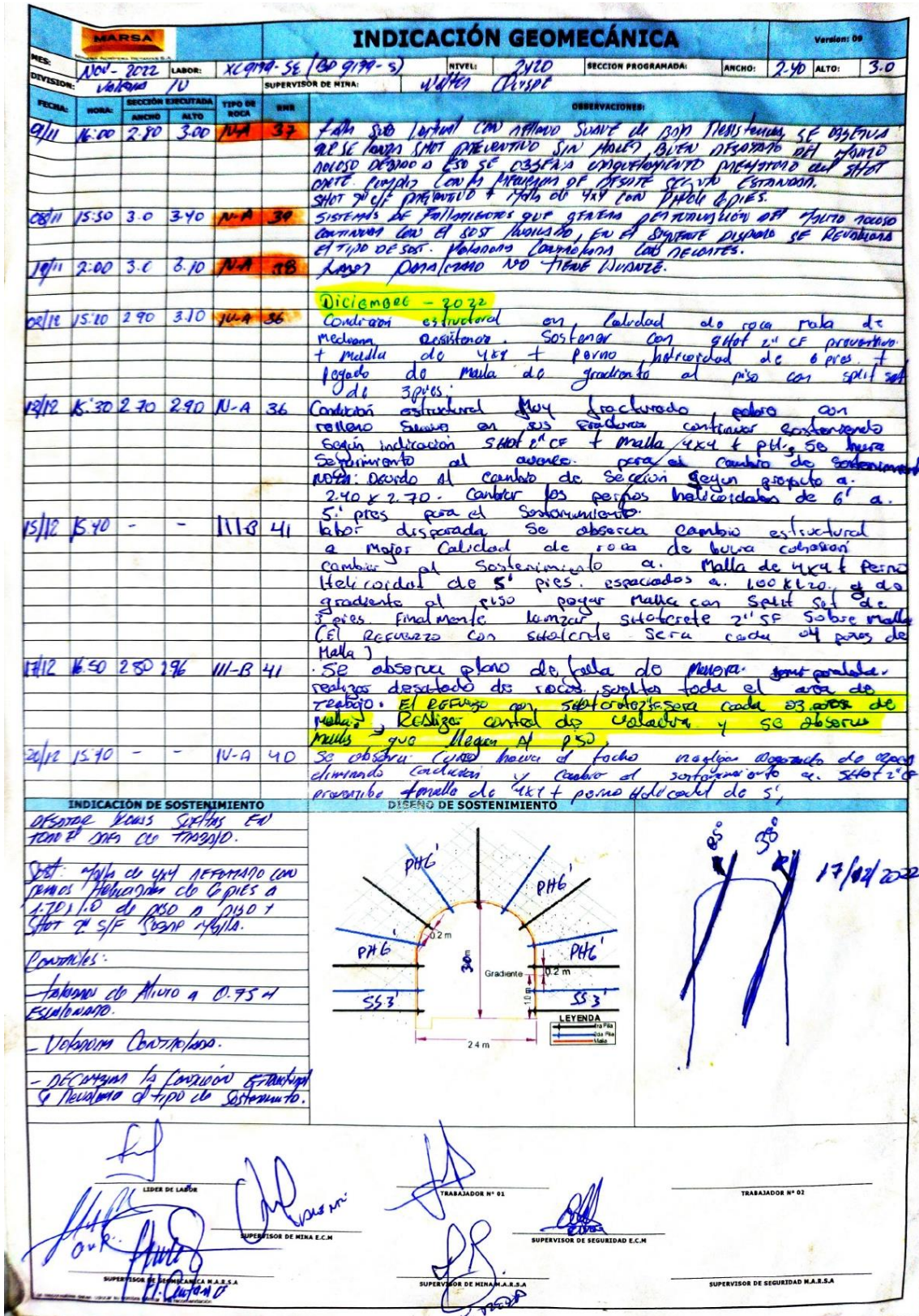


Figura 23. Recomendación geomecánica para el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, es de perno helicoidal con malla electrosoldada y refuerzo con shotcrete sobre malla (Departamento de Geomecánica – Valeria IV - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A., 2022).

ANEXO N.º 11. Sostenimiento XC 9179-SE



Figura 24. El sostenimiento recomendado para el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, es de perno helicoidal con malla electrosoldada y refuerzo con shotcrete sobre malla (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 13. Monitoreo de VOD



Figura 26. Equipo Minimate Pro para monitoreo de VOD (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 14. Sismograma emitido por el software

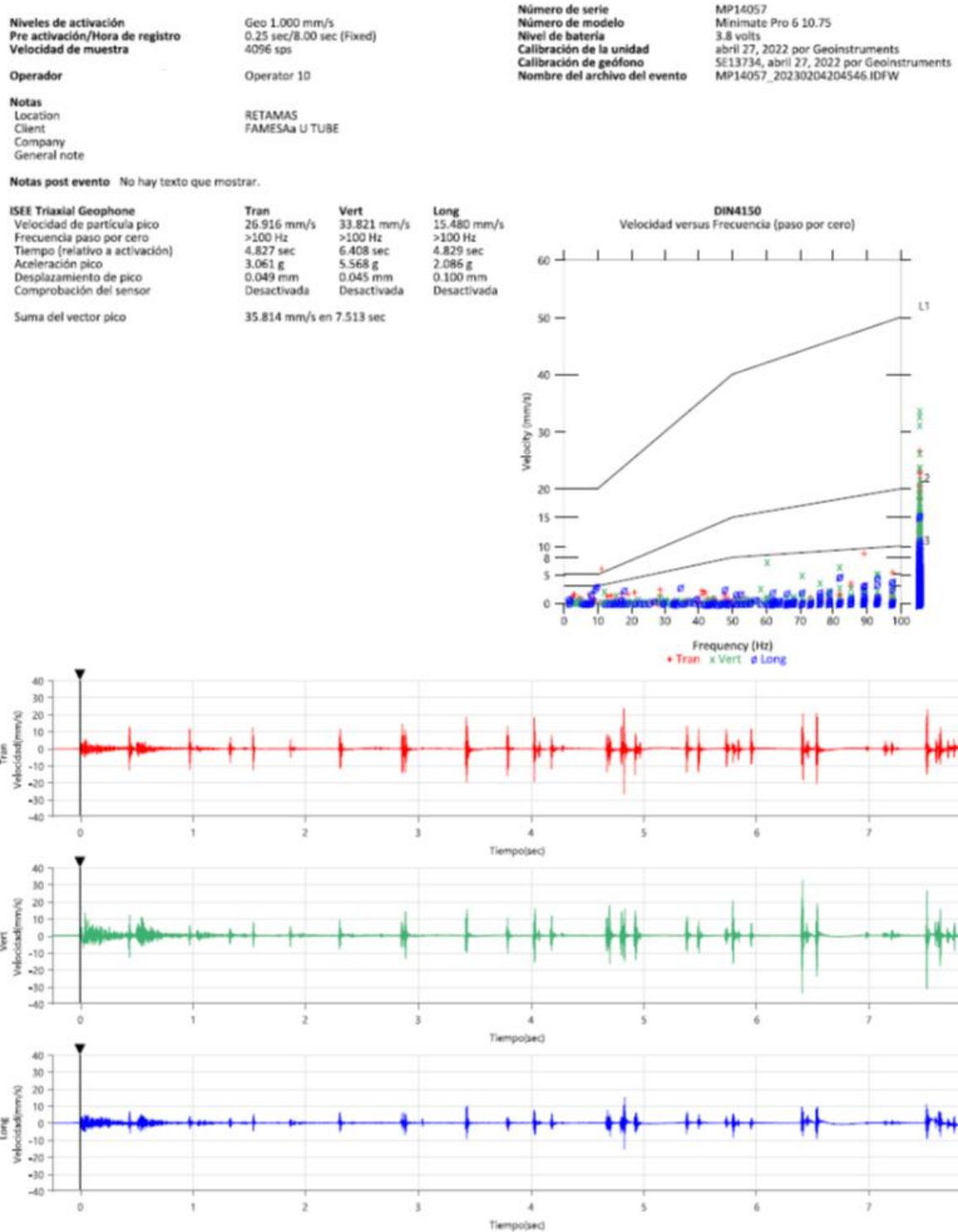


Figura 27. Sismograma de la voladura con malla estándar realizada en el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, con la secuencia estándar (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 15. Sismograma emitido por el software

Niveles de activación	Geo 1.000 mm/s	Número de serie	MP14057
Pre activación/Hora de registro	0.21 sec/8.00 sec (Fixed)	Número de modelo	Minimate Pro 6 10.75
Velocidad de muestra	4096 sps	Nivel de batería	4.1 volts
Operador	Operator 10	Calibración de la unidad	abril 27, 2022 por Geoinstruments
Notas		Calibración de geófono	SE13734, abril 27, 2022 por Geoinstruments
Location	RETAMAS	Nombre del archivo del evento	MP14057_20230109195757.IDFW
Client	MARSA		
Company			
General note			

Notas post evento No hay texto que mostrar.

ISEE Triaxial Geophone	Tran	Vert	Long
Velocidad de partícula pico	0.820 mm/s	1.773 mm/s	0.938 mm/s
Frecuencia paso por cero	>100 Hz	>100 Hz	>100 Hz
Tiempo (relativo a activación)	1.788 sec	1.775 sec	5.143 sec
Aceleración pico	0.125 g	0.355 g	0.138 g
Desplazamiento de pico	0.050 mm	0.143 mm	0.071 mm
Comprobación del sensor	Desactivada	Desactivada	Desactivada
Suma del vector pico	1.809 mm/s en 1.775 sec		

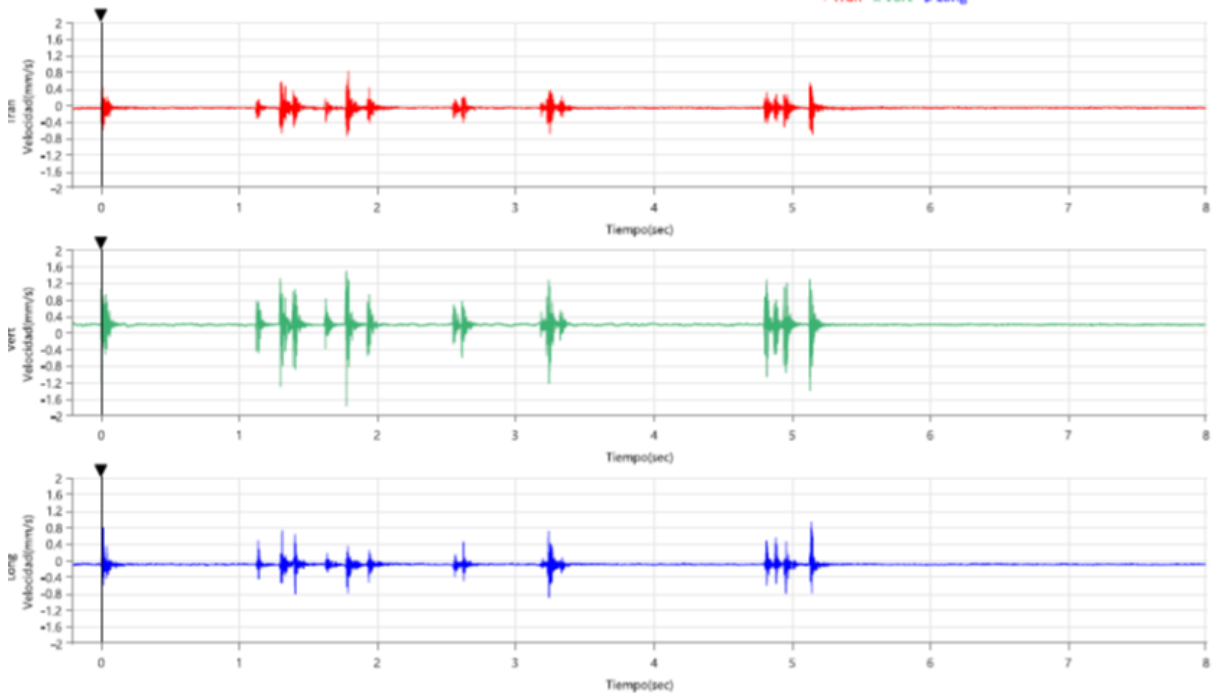
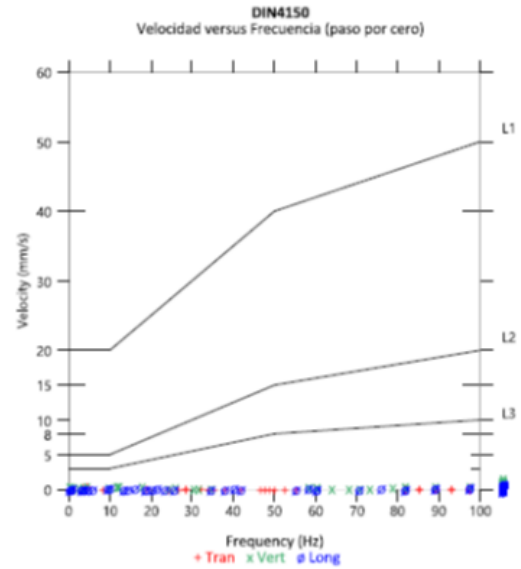


Figura 28. Sismograma de la voladura con malla estándar realizada en el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, con la secuencia estándar (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 16. Sismograma emitido por el software

Niveles de activación	Geo 1.000 mm/s	Número de serie	MP14057
Pre activación/Hora de registro	0.21 sec/8.00 sec (Fixed)	Número de modelo	Minimate Pro 6 10.75
Velocidad de muestra	4096 sps	Nivel de batería	4.1 volts
Operador	Operator 10	Calibración de la unidad	abril 27, 2022 por Geoinstruments
Notas		Calibración de geófono	SE13734, abril 27, 2022 por Geoinstruments
Location	RETAMAS	Nombre del archivo del evento	MP14057_20230109195757.IDFW
Client	MARSA		
Company			
General note			

Notas post evento No hay texto que mostrar.

ISEE Triaxial Geophone	Tran	Vert	Long
Velocidad de partícula pico	0.820 mm/s	1.773 mm/s	0.938 mm/s
Frecuencia paso por cero	>100 Hz	>100 Hz	>100 Hz
Tiempo (relativo a activación)	1.788 sec	1.775 sec	5.143 sec
Aceleración pico	0.125 g	0.355 g	0.138 g
Desplazamiento de pico	0.050 mm	0.143 mm	0.071 mm
Comprobación del sensor	Desactivada	Desactivada	Desactivada
Suma del vector pico	1.809 mm/s en 1.775 sec		

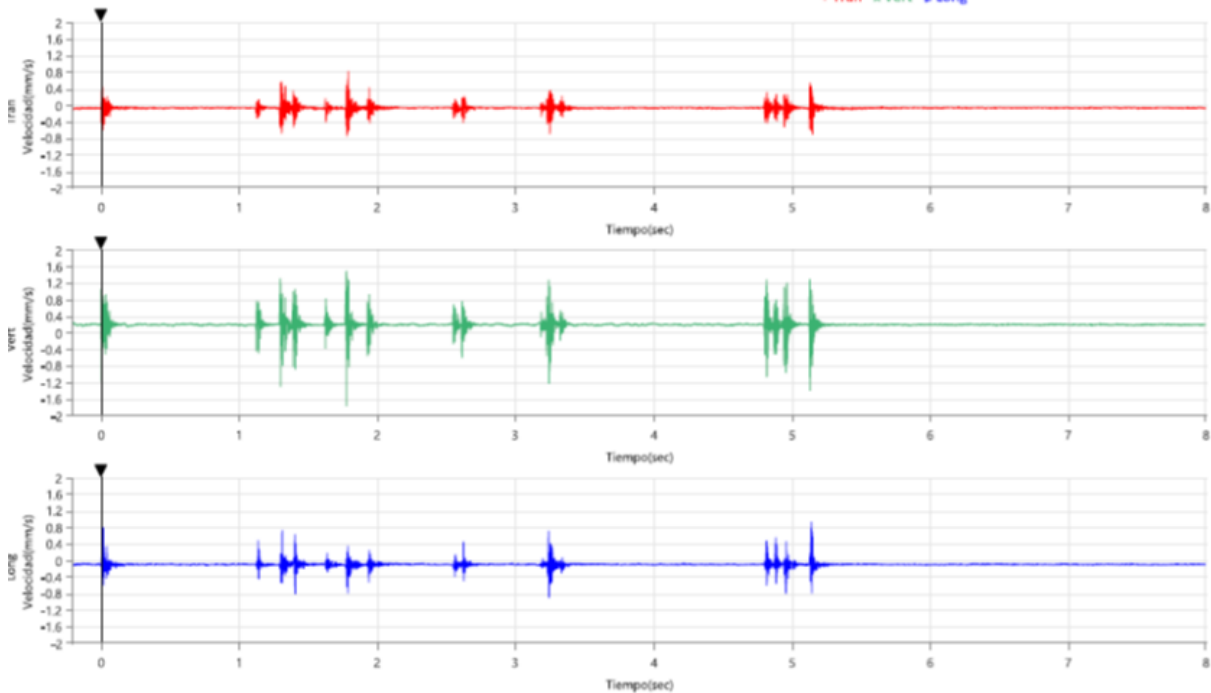
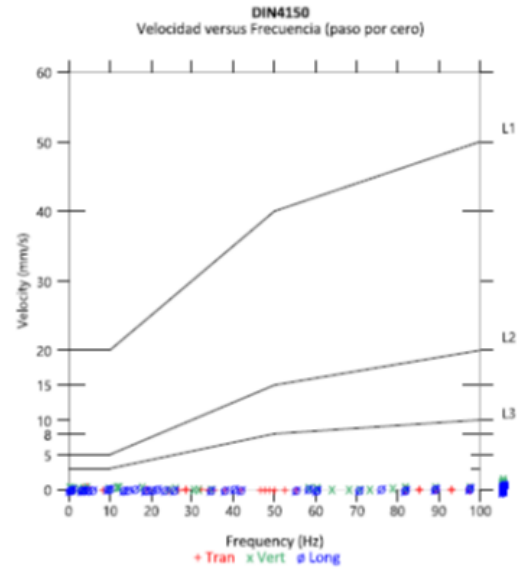


Figura 29. Sismograma de la voladura con malla piloto realizada en el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, con la secuencia estándar (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 17. Sismograma emitido por el software

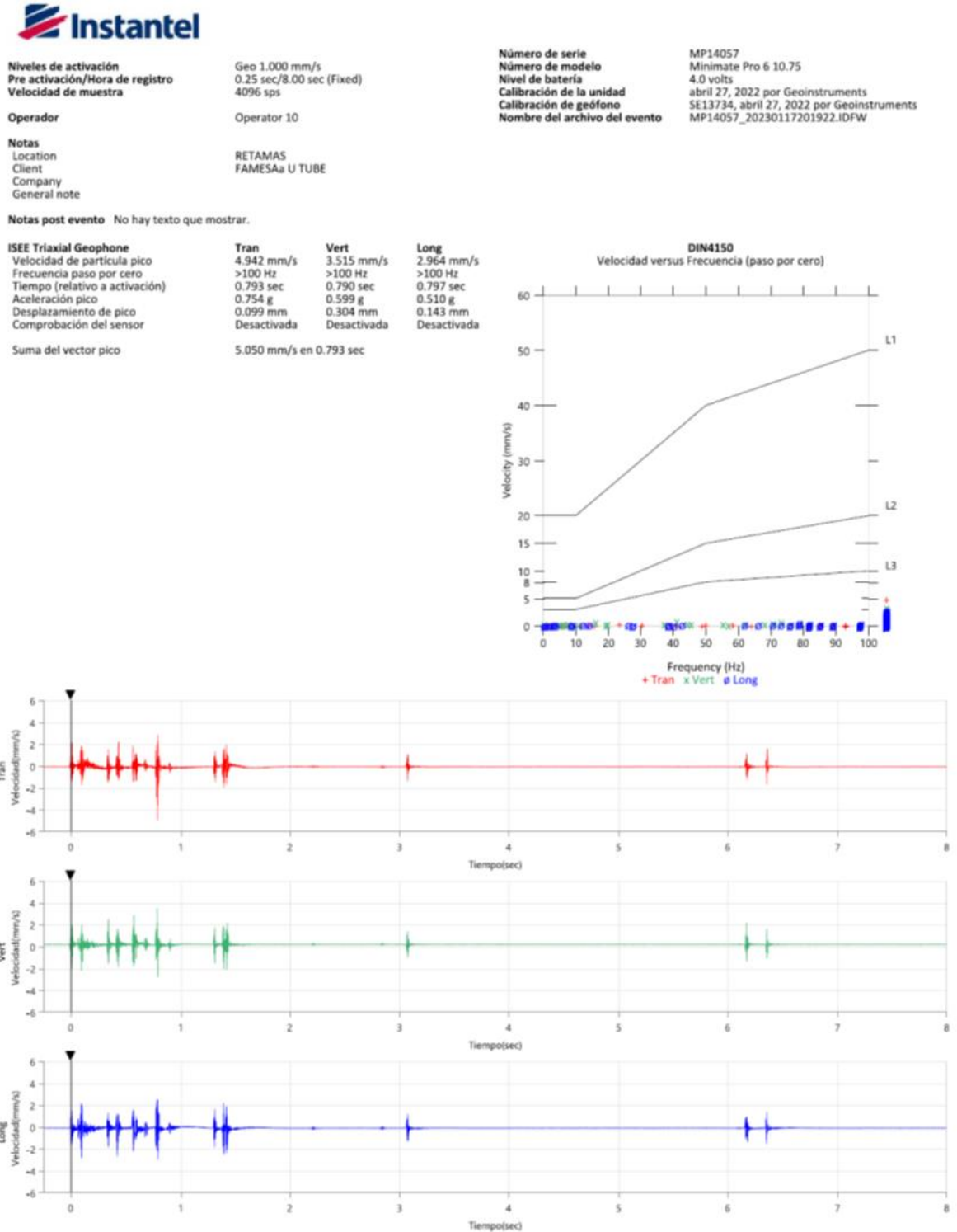


Figura 30. Sismograma de la voladura con malla piloto realizada en el frente XC 9179-SE Veta Cachaco 2T-1 Nivel 2420, con la secuencia estándar (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 18. Pentacord



Figura 31. Pentacord (Famesa, 2022).

Tabla 24

Especificaciones técnicas Pentacord - FAMESA

		5P
Peso de carga	(g/m)	5
	(granos/pie)	24
Resistencia a la tracción	(kg)	60
	(kb)	132
Velocidad de detonación	(m/s)	7000
	(pie/s)	22965

(Famesa, 2022)

ANEXO N.º 19. Carmex



Figura 32. Carmex (Famesa, 2022).

Tabla 25

Especificaciones técnicas Carmex

Especificaciones técnicas	
Núcleo de pólvora (g/m)	6
Tiempo de combustión (s/m)	150 a 165
Longitud de la chispa (mm)	50
Diámetro externo (mm)	5.2
Resistencia a la tensión durante 3 minutos (kg)	30

(Famesa, 2022)

ANEXO N.º 20. Fanel



Figura 33. Fanel (Famesa, 2022).

Tabla 26

Especificaciones técnicas Fanel

Fanel LP	
Diámetro (mm)	7.3
Longitud (mm)	60/68/88/92
Prueba de Esopo. Diámetro de perforación (mm)	11
Volumen Trauzl (cm ³)	34
Resistencia al Impacto 2kg/1m	No detona

(Famesa, 2022)

ANEXO N.º 21. Mecha rápida



Figura 34. Mecha rápida (Famesa, 2022).

Tabla 27

Especificaciones técnicas Mecha rápida

Mecha rápida Z-18	
Color de la mecha rápida	Rojo
Material de la cobertura exterior	Plástico
Peso del material pirotécnico (g/m)	3.4
Tiempo de combustión (s/m)	35
Diámetro externo	1.8
Peso total	6.5

(Famesa, 2022)

ANEXO N.º 22. Carguío de taladros.

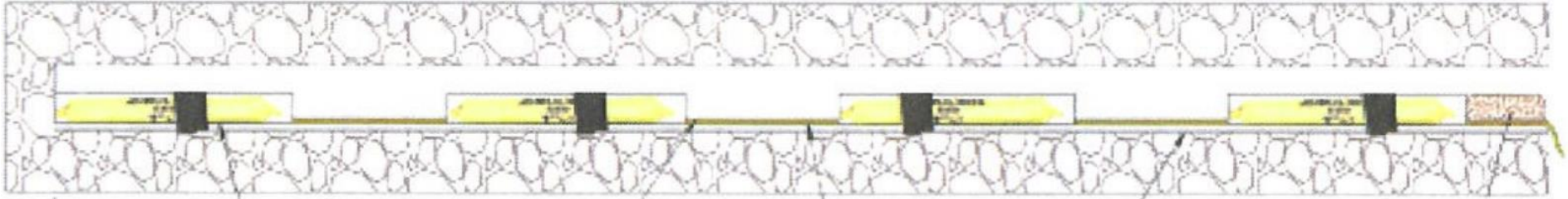


Figura 35. Esquema de carguío en taladros de corona para perforaciones de 8ft. (Fuente; Elaboración Propia).

ANEXO N.º 24. Vista satelital de bocamina Rp Patrick

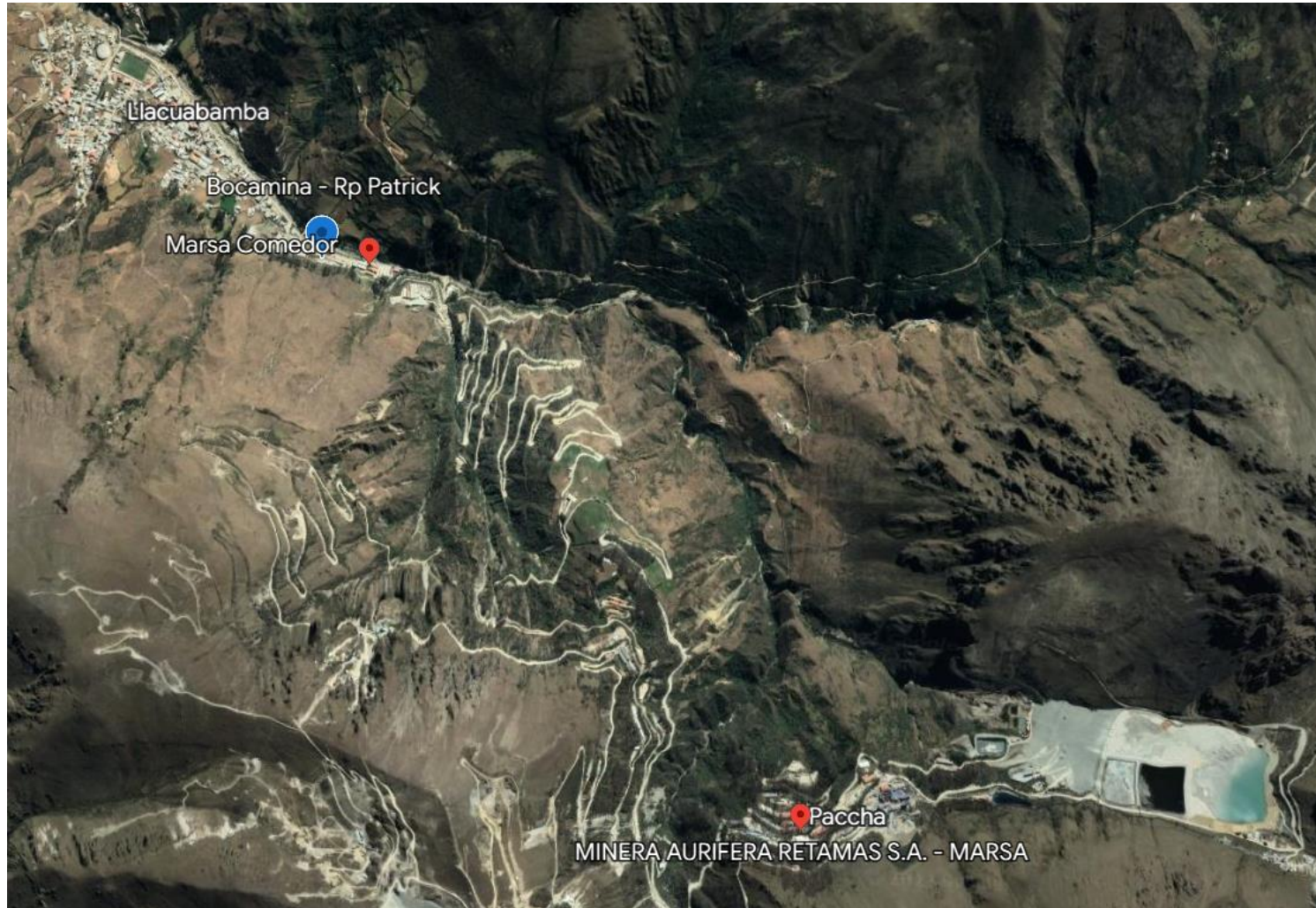


Figura 37. Vista satelital bocamina RP Patrick y alrededores (Google Earth, 2023)