UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

TESIS

"OPTIMIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN RESULTANTE PARA EL MINERAL RELACIONADO A LA EXACTITUD Y PRECISIÓN DEL INICIADOR ELECTRÓNICO CON LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS EN MINA CUAJONE"

PRESENTADO POR:

BACH. DIEGO FERNANDO FLORES FLORES

PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

OPTIMIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN RESULTANTE PARA EL MINERAL RELACIONADO A LA EXACTITUD Y PRECISIÓN DEL INICIADOR ELECTRÓNICO CON LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS EN MINA CUAJONE.

Tesis sustentada y aprobada el 22 de setiembre del 2022, estando el jurado calificador y asesor integrado por:

PRESIDENTE _____
M.Sc. Jorge Luis Tomas Florez Salas

1ER MIEMBRO _____
Dr. Christ Jesús Barriga Paria

2DO MIEMBRO _____
M.Sc. Fabrizio del Carpio Delgado

ASESOR _____
Dr. Arquímedes León Vargas Luque

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 024

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

.....

Fecha: .....

III. El Jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:
"Optimización de la fragmentación resultante para el mineral relacionado a la exactitud y precisión del iniciador electrónico con las propiedades geomecánicas en mina Cuajone"

Bachiller: Diego Fernando Flores Flores

Asesor Principal: Dr. Arquímedes León Vargas Luque

Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: Catorce (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 12:25 horas, del 22 de Septiembre del año 2022 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Mgr. Jorge Luis Tomas Florez Salas
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Dr. Christ Jesus Barriga Paria
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
Mgr. Fabrizio Del Carpio Delgado
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Bach. Diego Fernando Flores Flores
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

A mi madre y a mis tíos por su apoyo incondicional durante todo el proceso de mi formación personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Quiero brindar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas que junto a los docentes me impartieron sus experiencias y conocimientos para desarrollarme profesionalmente.

Asimismo, agradecer a la empresa Southern Peru Copper Corporation del Grupo México y en especial a los ingenieros Javier Salazar Muñoz y Dante Salazar Reyes por brindarme su apoyo para aplicar este trabajo de investigación.

También agradezco a mis compañeros de trabajo en Orica Cuajone por su apoyo durante mi desempeño profesional.

Finalmente agradezco a mi asesor por el tiempo que me brindó para realizar el presente trabajo de investigación.

RESUMEN

La presente tesis aborda la optimización de la fragmentación del mineral resultante de la voladura y su relación con la exactitud y precisión de los iniciadores electrónicos en la unidad minera Cuajone. Se estudia el problema de una inadecuada optimización de la fragmentación del mineral la cual conlleva el aumento del tiempo de minado, mayores costos en el proceso de chancado y molienda, y la reducción de la productividad. Para esto se planteó como objetivo general el determinar el efecto de la exactitud y precisión del iniciador electrónico en la optimización de la fragmentación del mineral, así también, como objetivos específicos se estableció demostrar el efecto del tiempo de retardo en la optimización de la fragmentación del mineral y hallar el efecto del uso de iniciadores electrónicos y no electrónicos en la exactitud y precisión de la voladura. En primer lugar, se seleccionó una muestra de 14 pruebas observables con iniciadores electrónicos y 14 con iniciadores no electrónicos de la malla de voladura 3745-840, se calculó el coeficiente de variación de los tiempos de retardo los cuales se registraron mediante el uso de una cámara de alta velocidad. Se encontró que los iniciadores no electrónicos presentaron un coeficiente de variación de 9.28%, un valor alto comparado con las pruebas realizadas con iniciadores electrónicos cuya dispersión fue de tan solo 1.17%. En segundo lugar, se comparó la fragmentación resultante del mineral con retardo de 10 milisegundos y 17 milisegundos, relacionado a las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, para ello se compararon 40 muestras para cada caso. Se halló que el uso de retardos de 10 ms resulta en fragmentos P80 de 6.4 pulgadas mientras que los retardos de 17 ms produjeron fragmentos P80 de 7.24 pulgadas, es decir un retardo de 10 ms produce un mayor efecto en la fragmentación, reduciendo en 11.6% el tamaño promedio de los fragmentos de mineral comparado con los retardos de 17 ms. No obstante, se encontró que un retardo menor (10 ms) tiene mayor incidencia en los taludes cercanos, mientras que los retardos de 17 ms son más seguros, pero producen fragmentos de mayor tamaño. En este sentido la aplicación de cada uno debe evaluarse teniendo en cuenta las condiciones del macizo rocoso de acuerdo a las recomendaciones detalladas en este estudio.

Palabras clave: Exactitud, precisión, fragmentación, P80, optimización, diagrama de Lagrange.

ABSTRACT

This thesis addresses the optimization of ore fragmentation as a result of blasting and its relationship with the accuracy and precision of electronic initiators in the Cuajone mine. The problem of inadequate optimization of ore fragmentation is studied, which leads to increased mining times, higher costs in the crushing and grinding process, and reduced productivity. The general objective was to determine the effect of the accuracy and precision of the electronic initiators in the optimization of the ore fragmentation and the specific objectives were to demonstrate the effect of the delay time in the optimization of the ore fragmentation and to find the effect of the use of electronic and non-electronic initiators in the accuracy and precision of the blasting. First, a sample of 14 observable tests with electronic initiators and 14 with non-electronic initiators of the 3745-840 blasting pattern were selected, the coefficient of variation of the delay times were calculated and recorded using a high-speed camera. It was found that non-electronic initiators presented a dispersion of 9.28%, a high value compared to the tests performed with electronic initiators whose dispersion was only 1.17%. In second place, the resulting ore fragmentation with 10 milliseconds and 17 milliseconds delay was compared, related to the geomechanical properties of the rock mass. 40 samples were compared for each case and it was found that the use of 10 ms delays results in P80 fragments of 6.4 in. while 17 ms delays produced P80 fragments of 7.24 in., thus, a 10 ms delay produces a greater effect on fragmentation, reducing by 11.6% the average size of the mineral fragments compared to 17 ms delays. However, it was found that a shorter delay (10 ms) has a greater impact on the near rock mass, while 17 ms delays are safer, but produce larger fragments. Therefore, the application of each one should be evaluated considering the conditions of the rock mass according to the recommendations detailed in this study.

Key words: Accuracy, precision, fragmentation, P80, optimization, Lagrange diagram.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.1 Descripción y formulación del problema 3
1.1.1 Interrogante general 5
1.1.2 Interrogantes específicas 5
1.2 Objetivos. 5
1.2.1 Objetivo general 5
1.2.2 Objetivos específicos 5
1.3 Justificación e importancia 6
1.4 Hipótesis 7
1.4.1 Hipótesis general 7
1.4.2 Hipótesis específicas 8
1.5 Variables 8
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 10
2.1 Antecedentes 10
2.1.1 Contexto internacional 10
2.1.2 Contexto nacional 11
2.1.3 Contexto local 13
2.2 Bases teóricas 13
2.2.1 Propiedades de las rocas y su incidencia en las voladuras 14
2.2.2 Caracterización geomecánica de la masa rocosa 14
2.2.3 Optimización de la fragmentación del mineral 14
2.2.4 Modelamiento de la fragmentación 15
2.2.5 Velocidad Peak de Partícula (VPP) y velocidad de la onda P 15
2.2.6 Explosivos 16
2.2.7 Velocidad de detonación 16
2.2.8 Presión de detonación 16
2.2.9 Mecánica de fragmentación 16
2.2.10 Burden 17
2.2.11 Diagrama de LaGrange 17
2.2.12 Detonación secuencial 17
2.2.13 Detonación electrónica 18
2.2.14 Exactitud y precisión 18
2.2.15 Iniciador electrónico 18
2.2.16 Acople de voladura 19
2.3 Generalidades del área de estudio 19
2.3.1 Geología regional 19
2.3.2 Geomorfología 20
2.3.3 Geología estructural 20

2.3.4 Litología 21
2.3.5 Geomecánica de la unidad minera Cuajone 26
2.4 Diseño de proyecto de voladura de la unidad minera Cuajone 32
2.4.1 Parámetros de perforación 33
2.4.2 Diseño de carga explosiva en la unidad minera Cuajone 34
2.4.3 Diseño de secuencia de voladura 35
CAPÍTULO III METODOLOGÍA 37
3.1 Tipo y nivel de investigación 37
3.2 Ámbito temporal y espacial 37
3.3 Población y muestra 37
3.4 Instrumentos 38
3.5 Procedimientos 39
3.6 Medición de la dispersión 39
3.7 Fragmentación de mineral P80 39
3.8 Medición de la fragmentación mediante el sistema Split-Online 40
3.9 Prueba Cross-Hole 42
3.10 Análisis de datos 49
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 51
4.1 Exactitud y precisión relacionadas al tipo de iniciador 51
4.1.1 Dispersión de iniciadores electrónicos e iniciadores no electrónicos 52
4.1.2 Prueba de normalidad 53
4.1.3 Comparación de muestras 55
4.1.4 Comparación de medias 56
4.1.5 Prueba F para comparar varianzas 56
4.2 Tiempo de retardo y fragmentación de mineral P80 58
4.2.1 Determinación del tiempo de retardo 58
4.2.2 Diagrama de Lagrange para obtener el tiempo de retardo óptimo para la fragmentación 58
4.2.3 Diseño de secuencias de voladura con tiempo de retardo de 10 ms .. 59
4.2.4 Resultados de la fragmentación resultante relacionado al tiempo de retardo de los iniciadores 61
4.2.5 Prueba de normalidad 64
4.2.6 Comparación de muestras 67
4.2.7 Prueba F para comparar varianzas 68
4.3 Discusión de resultados 69
CAPÍTULO V CONCLUSIONES 71
CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES 72
REFERENCIAS……...73
ANEXOS……...79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Geología regional..... 20

Figura 2 Geología estructural..... 21

Figura 3 Esquema de la geología superficial Cuajone avance 2017..... 23

Figura 4 Esquema de sección litológica modelo 2017 de mina Cuajone..... 23

Figura 5 Código de unidades litológicas de la unidad minera Cuajone..... 24

Figura 6 Plano superficial de alteraciones unidad minera Cuajone – Avance de Minado al 2017. 25

Figura 7 Sección de alteraciones de la unidad minera Cuajone..... 26

Figura 8 Distribución de las unidades geotécnicas básicas de la unidad minera Cuajone 28

Figura 9 Representación del RMR en el tajo Cuajone de acuerdo a la escala de Bieniawski 1989..... 30

Figura 10 Representación del GSI en la superficie de la mina Cuajone de acuerdo a la clasificación de Hoek. 32

Figura 11 Parámetros de perforación. 33

Figura 12 Diseño de carga explosiva en Cuajone para rocas mineralizadas IA-FIL..... 34

Figura 13 Diseño de carga explosiva en Cuajone para rocas mineralizadas IA-SIL..... 35

Figura 14 Diseño de secuencia de la unidad minera Cuajone, tiempo 10 ms..... 36

Figura 15 Características del iniciador electrónico I-KON III Extreme de Orica 38

Figura 16 Sistema Split-Online..... 40

Figura 17 Fotografía de los fragmentos tomados por las cámaras del sistema Split-Online..... 41

Figura 18 Delineación de figuras para determinar la fragmentación en el sistema Split-Online..... 41

Figura 19 Curva granulométrica determinada por el sistema Split-Online..... 42

Figura 20 Vista de perfil de los taladros de la prueba Cross-hole. 43

Figura 21 Representación y captura de la onda principal P..... 44

Figura 22 Vista de planta de la prueba de Cross-hole..... 45

Figura 23 Diagrama de geófono empotrado..... 46

Figura 24 Proceso de colocación de geófonos empotrados. 47

Figura 25 Proceso de colocación de geófonos empotrados. 47

Figura 26 Proceso de colocación de geófonos empotrados. 48

Figura 27 Instrumentos de medición de vibraciones..... 49

Figura 28 Histograma de prueba de normalidad para iniciadores no electrónicos. 54

Figura 29 Histograma de prueba de normalidad para iniciadores electrónicos. ... 55

Figura 30 Caja y bigotes para cortes descendentes presentados en iniciadores no electrónicos e iniciadores electrónicos. 55

Figura 31 Diseño de secuencia de voladura electrónica. 60

Figura 32 Obtención de los resultados de P80 con Split-Online en la unidad minera Cuajone 61

Figura 33 Histograma de prueba de normalidad de P80 para tiempo de iniciación en 10 ms. 65

Figura 34 Histograma de prueba de normalidad de P80 para tiempo de iniciación en 17 ms 66

Figura 35 Caja y bigotes para P80 para tiempo de iniciación en 10 y 17 ms 67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables. 9

Tabla 2 Tabla de unidades geotécnicas básicas 27

Tabla 3 Propiedades de la roca intacta de la unidad minera Cuajone por unidad geotécnica básica..... 29

Tabla 4 Comparación de dos muestras independientes con la prueba t-Student. . 50

Tabla 5 Comparación de dos muestras independientes con la prueba t-Student. . 50

Tabla 6 Resultados de las pruebas respecto al retardo por tipo de detonador en milisegundos. 51

Tabla 7 Resumen estadístico del tiempo de retardo en milisegundos por tipo de detonador..... 52

Tabla 8 Prueba de normalidad para detonadores no electrónicos. 53

Tabla 9 Prueba de normalidad para detonadores electrónicos 54

Tabla 10 Prueba f para comparación de varianza 57

Tabla 11 Resultados de la onda principal P. 58

Tabla 8 Cálculo del tiempo de retardo óptimo en el diagrama de Lagrange para el macizo rocoso con matriz de andesita intrusiva..... 59

Tabla 13 Fragmentación mineral pasantes al 80 % a tiempo de retardo entre taladros de 10 ms 62

Tabla 14 Fragmentación mineral pasantes al 80% a tiempo de retardo entre taladros de 17 ms 63

Tabla 15 Resumen estadístico por tipo de detonador..... 64

Tabla 16 Prueba de normalidad de P80 para tiempo de iniciación en 10 ms..... 65

Tabla 17 Prueba de normalidad de P80 para tiempo de iniciación en 17 ms..... 66

Tabla 18 Prueba f para comparación de varianza. 68

ABREVIATURAS

%: Porcentaje

γ: Peso específico.

ø: Díametro del taladro

B: Burden

BA: Andesita basáltica

BX: Brechas

$E_{(Young)}$: Módulo de Young

E: Espaciamiento

DI: Diorita

g/cc: Gramos por centímetro cúbico

GPa: Gigapascales

GSI: Índice de resistencia geológica (por sus siglas en inglés)

H: Altura de banco

IA: Andesita intrusiva

IA-SIL: Andesita intrusiva silícea

Kbar: Kilobar

kg: Kilogramos

kg/tn: Kilogramos por tonelada

KPI: Key performance indicator

L: Largo del taladro.

LP: Latita porfirítica

m: Metros

Ma: Millones de años

MEQ73: Mezcla explosiva Quantex 73

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar

m/s: Metros por segundo

ms: Milisegundo

mm: Milímetro

MPa: Megapascales

n: Porosidad

P80: Pasante al 80%

PVC: Policloruro de vinilo

RMR: Rock Mass Rating

RP: Riolita porfirítica

RQD: Rock Quality Designation

s: Segundos

S: Espaciamiento de malla

SP: Sobreperforación

UM: Unidad minera.

UCS: Resistencia a la compresión uniaxial de la roca.

UGB: Unidad Geotécnica Básica

UTM: Universal Transverse Mercator

ν: Coeficiente de Poisson

Vp: Velocidad onda P

Vs: Velocidad onda S

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada “Optimización de la fragmentación resultante para el mineral relacionado a la exactitud y precisión del iniciador electrónico con las propiedades geomecánicas en mina Cuajone”, tuvo como objetivo principal, conocer el conjunto de parámetros y consideraciones técnicas para la optimización de la fragmentación resultante por la voladura de rocas en la unidad minera Cuajone, unidad productiva de la empresa Southern Peru Copper Corporation, perteneciente al Grupo México, ubicada geográficamente en el departamento de Moquegua en la zona sur del Perú.

La unidad minera Cuajone desarrolla la explotación de mineral de cobre por el método de tajo abierto y, de acuerdo al Anuario Minero 2021 reportado por el Ministerio de Energía y Minas, procesa mensualmente un promedio de 14 millones de toneladas métricas y es considerada uno de los primeros centros productores de cobre del Perú con una ley promedio de 0.45% de cobre, asimismo el Grupo México es uno de los más grandes productores de cobre del mundo en el siglo XXI.

Las actividades de voladura para producción y control de taludes finales de la unidad minera Cuajone están diseñadas con parámetros que responden a la disposición geoestructural y geológica del macizo rocoso que posee el yacimiento (Concha, 2017, p. 17). Es así que las voladuras se realizan con un estricto control para lograr índices de fragmentación diseñados en función al P80 (Pasante 80%), con controles que evitan el deterioro del macizo rocoso contiguo a fin de asegurar la sostenibilidad y estabilidad estructural futura de las operaciones en la mina. En este sentido la unidad minera Cuajone desarrolla sus operaciones unitarias con todos los estándares de productividad y seguridad.

Las actividades mineras de este centro productivo minero están conformadas principalmente por cuatro etapas o ciclos de minado: perforación, voladura, acarreo y transporte las cuales deben desarrollarse con el máximo rendimiento, productividad y adecuados estándares de seguridad. Estas operaciones son interdependientes y en caso existiera una desviación, falla o retraso en alguna de ellas, esto se reflejaría en el conjunto del proceso de minado con consecuencias

negativas en la productividad, y por ende en el bienestar de todas las personas que dependen de estas actividades económicas.

De las cuatro operaciones mencionadas, dos son fundamentales: perforación y voladura de rocas, debido a que son las actividades iniciales que dan lugar a todo el proceso extractivo y determinan la calidad del mineral obtenido en cuanto al tamaño de los fragmentos, así como la estabilidad y seguridad de taludes. En consecuencia, estas operaciones deben llevarse a cabo con todos los adelantos tecnológicos y de la mano con una constante innovación de las técnicas utilizadas para obtener el más alto rendimiento, productividad y optimización de los costos de minado (Novoa y Salazar, 2018).

En minería una óptima fragmentación del mineral es un factor que incide directamente en los costos de las actividades de beneficio y en la estabilidad y seguridad de los taludes, que a su vez aseguran la sostenibilidad y futuras operaciones de la unidad minera. En este sentido, esta investigación proporciona información fundamental para mejorar la eficiencia y seguridad de las actividades de perforación y voladura de rocas mediante la optimización de la fragmentación. Se establecen relaciones entre el índice granulométrico y variables controlables propias de las voladuras como el tiempo de detonación. Asimismo, se abordan consideraciones importantes para el cuidado de taludes en la mina Cuajone y se describen paradigmas técnicos y referenciales que son útiles en la explotación de yacimientos cupríferos formados en marcos geodinámicos similares.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema

La fragmentación gruesa o sobredimensionada del mineral genera el incremento de los costos de minado debido a que retrasa la producción, disminuye la velocidad de carguío, aumenta los costos de mantenimiento de equipos de acarreo, incrementa el riesgo de accidentes con equipos por mala distribución de la carga y puede generar atoros en las tolvas para la descarga de trenes (Paredes, 2014, p.96). Este es un desafío que todas las empresas mineras deben enfrentar de manera constante y la unidad minera Cuajone no es la excepción. Es necesaria la búsqueda constante del aumento de la productividad, reducción de costos, y en general hallar y perfeccionar métodos y técnicas de voladura que ayuden a la continuidad financiera de las actividades mineras, especialmente en un mercado que presenta crecimiento de la demanda, aumento de la competitividad, rendimientos decrecientes y regulaciones tributarias cada vez más estrictas.

La optimización de la fragmentación como resultado de la voladura es importante, de esta depende la productividad de las operaciones unitarias necesarias para extraer el mineral, esto conlleva ineludiblemente a realizar un control estricto de sus efectos y de los costos asociados, los cuales dependen estrechamente de los ritmos de producción y de la ley de mineral objetivo (Gutierrez, 2014, p. 80). En este sentido, la mejora de las técnicas de voladura para la optimización de la fragmentación en la unidad minera Cuajone es vital en tanto representa un proceso constante que busca minimizar los costos, aumentar la productividad y asegurar la viabilidad económica de las operaciones mineras.

Consecuentemente, Cuajone de Southern Peru Copper Corporation viene ensayando y perfeccionando sus diseños de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca. En sus operaciones se desarrollan fases de minado de acuerdo a parámetros de diseño y objetivos de productividad que se materializan en la conformación de taludes y extracción de mineral mediante la voladura de rocas. La voladura simboliza una de las operaciones unitarias más importantes dentro del proceso de extracción de minerales y se encuentra profundamente ligada a la

operación de perforación. Tal como señala Choqueña (2017, p.50) el objetivo principal de la perforación y voladura es lograr un óptimo tamaño de la roca fragmentada y una adecuada conformación de pilas de mineral, al mismo tiempo deben producir un daño mínimo en las zonas contiguas conservando la estabilidad de los taludes.

La optimización de la fragmentación del mineral depende del diseño de la voladura cuyo objetivo principal es arrancar la roca para extraer el mineral que en ella se encuentra. No obstante, como todo proceso productivo, posee restricciones en tanto que esta tarea debe ser económicamente factible, ya que, si se desea fragmentar y llegar a tamaños pequeños y semejantes, tal vez la mejor manera de hacerlo sea con una infinidad de perforaciones muy cercanas unas de otras, lo cual es económicamente inviable (Gutierrez, 2014, p. 3).

Para la optimización de la fragmentación del mineral en la unidad minera Cuajone se presentan parámetros que, como variables dentro de una ecuación matemática, intervienen en el resultado final del diseño de la voladura. Los parámetros más importantes son aquellos relacionados a la transmisión de energía de acuerdo a las características particulares de la roca presente en la mina. De acuerdo al modelo de Kuz-Ram, planteado por Cunningham C. et al (1983), debemos considerar parámetros geométricos y energéticos del diseño de la voladura, el tipo de roca, sus características principales y el parámetro con más influencia: la dinámica e interacción de energía a través de la secuencia de iniciación y sistema utilizado. En efecto, uno de los parámetros más importantes que intervienen en la optimización de la fragmentación se relaciona a los retardos en el diseño de la voladura (Novoa y Salazar, 2018).

Es así que se nos presenta dos problemas específicos, el primero tiene que ver con la correlación entre el tiempo de retardo de los detonadores y la optimización de la fragmentación del mineral en la unidad minera Cuajone. El tiempo de retardo es un parámetro del diseño de la voladura, que, junto al espaciamiento, *Burden* y otros, tendrá resultados específicos de fragmentación del mineral debido a los efectos de las colisiones de ondas de acuerdo a las características geomecánicas de cada yacimiento donde se apliquen.

En segundo lugar, es necesario encontrar la relación entre la exactitud y precisión de los detonadores utilizados y la optimización de la fragmentación de la roca en la unidad minera Cuajone. El papel que cumplen los detonadores, sean electrónicos o no electrónicos, tiene gran influencia en la certidumbre de la acción de los tiempos sobre el diseño, puesto que su exactitud y precisión tendrán influencia en el tamaño promedio de la fragmentación y en la productividad general de la unidad minera Cuajone (Hinostroza, 2014).

1.1.1 Interrogante general

¿En qué medida la exactitud y precisión del iniciador electrónico relacionado con las propiedades geomecánicas optimizan la fragmentación resultante del mineral en la unidad minera Cuajone?

1.1.2 Interrogantes específicas

¿En qué medida el tiempo de retardo relacionado a las propiedades geomecánicas del macizo rocoso incide en la optimización de la fragmentación resultante del mineral en la unidad minera Cuajone?

¿Cómo el uso de detonadores electrónicos y no electrónicos afectan el porcentaje de exactitud y precisión de la voladura?

1.2 Objetivos

Para satisfacer el alcance de la presente investigación, se plantearon los siguientes objetivos.

1.2.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la exactitud y precisión del iniciador electrónico relacionado con las propiedades geomecánicas en la optimización de la fragmentación del mineral resultante en la unidad minera Cuajone.

1.2.2 Objetivos específicos

Demostrar el efecto del tiempo de retardo calculado con las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en la optimización resultante de la fragmentación para el mineral en la unidad minera Cuajone.

Hallar el efecto del uso de iniciadores electrónicos y no electrónicos en el porcentaje de exactitud y precisión de la voladura.

1.3 Justificación e importancia

La voladura de rocas con explosivos se origina en el siglo XVII, cuando se empieza a utilizar la pólvora en minería, posteriormente se descubrió un adelanto que estableció un hito histórico, la invención de la dinamita por Alfred Nobel en 1866. Esta invención dio lugar posteriormente a la creación y utilización de explosivos comerciales como el ANFO, los hidrogeles, emulsiones y otros. En la actualidad, los fabricantes de explosivos impulsan el acercamiento entre los especialistas en voladura y los investigadores técnicos en la elaboración de estos importantes insumos de la minería.

En consecuencia, el número de accesorios de voladura como los iniciadores electrónicos ha crecido considerablemente y se ha desarrollado una técnica para el procedimiento de arranque basada en principios científicos surgidos del conocimiento de los explosivos, los mecanismos de rotura de las rocas y las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos (Morillo, 2017, p. 5). En este sentido la voladura moderna responde activamente a los adelantos tecnológicos y a los retos que estos presentan puesto que es una de las operaciones más relevantes dentro del proceso extractivo de minerales, siendo su objetivo principal lograr un tamaño adecuado de roca.

La fragmentación debe cumplir los índices planificados o estimados y a la vez debe producir un mínimo de daño en su entorno, lo cual presenta el desafío de ejecutar diseños que no impacten o alteren las propiedades de las rocas a fin de asegurar la estabilidad de los taludes de la mina. Las desviaciones con respecto a estos principios producen resultados adversos que obligan a efectuar minados selectivos e incrementan los costos de operación.

Algunas de las variables del proceso de fragmentación son controlables y otras intrínsecas. La compleja relación entre estas variables hace que los resultados sean difíciles de predecir mediante algoritmos analíticos. La predicción en ingeniería se lleva a cabo mediante modelos matemáticos, interpretados a través de ecuaciones. Estos modelos pueden ser estadísticos, donde se relacionan parámetros medidos en ciertos sucesos, o teorías derivadas de conclusiones de relaciones

matemáticas que interpretan condiciones y aplicaciones físicas (Gutierrez , 2014, p. 4).

Los métodos de fragmentación o reducción de tamaños, están directamente relacionados a las acciones energéticas del explosivo, dado que la energía química del explosivo es más económica que la energía mecánica y eléctrica de los procesos de chancado y molienda. El reto primordial de las compañías mineras que enfrentan hoy en día es el cómo incrementar la rentabilidad de la empresa, optimizando de manera oportuna y eficiente cada una de las operaciones unitarias que conforman el ciclo total de minado. Es así que la fragmentación de la roca como efecto de las operaciones mineras binomiales de perforación y voladura de rocas son un proceso clave y principal dentro de esta sucesión de valores. Sin lugar a duda se puede afirmar que las operaciones binomiales de perforación y voladura determinan en gran medida la rentabilidad de la empresa minera (Carhuancho, 2011, p. 135).

Así también, el desarrollo de este estudio contó con la participación activa de un colaborador de Orica Mining Services Peru S.A., empresa que brinda servicios de iniciación electrónica en las unidades mineras de Cuajone y Toquepala propiedad de Southern Peru. Las investigaciones y fuentes bibliográficas revisadas y analizadas respaldan la utilidad y viabilidad del objetivo del estudio, por lo que se justifica la ejecución del presente trabajo de investigación titulado “Optimización de la fragmentación del mineral relacionado a la exactitud y precisión del iniciador electrónico y propiedades geomecánicas en mina Cuajone”.

1.4 Hipótesis

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, en función a las necesidades, objetivos e identificación del problema, se plantearon las siguientes hipótesis.

1.4.1 Hipótesis general

Una mayor exactitud y precisión de los iniciadores relacionado a las propiedades del macizo rocoso generará una mayor optimización de la fragmentación del mineral en las voladuras de la unidad minera Cuajone.

1.4.2 Hipótesis específicas

El tiempo de retardo de 10 ms producirá mayor optimización de la fragmentación del mineral en las voladuras de la unidad minera Cuajone en tanto un tiempo de retardo mayor, de 17 ms, producirá una menor optimización de la fragmentación del mineral.

El uso de iniciadores electrónicos produce una mayor exactitud y precisión en las voladuras de la unidad minera Cuajone en tanto el uso de iniciadores no electrónicos generarán menor exactitud y precisión en las voladuras.

1.5 Variables

Son las propiedades medidas que forman parte de las hipótesis que se pretenden describir, estas se dividen en variables dependientes e independientes que a su vez poseen definición conceptual e indicadores como la dispersión de los iniciadores no electrónicos, la dispersión de los iniciadores electrónicos, el retardo de iniciadores electrónicos y la fragmentación resultante de la voladura como se detalla en la Tabla 1; la matriz de consistencia se adjunta como Anexo 01.

Tabla 1

Operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Herramientas
Variable dependiente				
Optimización de la fragmentación resultante del mineral.	Es el proceso de obtención de fragmentos de menor tamaño como resultado de la voladura con una distribución uniforme de fragmentos pasantes al 80%.	Granulometría, mediante la medición del tamaño del tamiz que deja pasar el 80% de las partículas producto de la voladura (P80).	P80 (Pulgadas)	- Tamiz de chancadora. - Programa Split-Online.
Variables independientes				
Tiempo de retardo de los iniciadores.	El tiempo de retardo de los iniciadores es el tiempo que toma la iniciación de la voladura. Es un factor que incide en la fragmentación y la dirección de la salida del mineral en las voladuras, es calculado en función de las propiedades del macizo rocoso.	El tiempo de retardo óptimo es calculado mediante el diagrama de Lagrange mientras que el tiempo de retardo práctico será mayor que el tiempo óptimo porque busca disminuir las vibraciones a campo lejano.	Tiempo de retardo en milisegundos (ms).	Iniciador electrónico I-KON III modelo Extreme.
Exactitud y precisión de los iniciadores.	La exactitud y precisión de los iniciadores determina cuan dispersos se encuentran los tiempos de retardo con respecto a la media. El iniciador será más exacto y preciso cuanto más cercanos sean los tiempos de retardos obtenidos a la media.	Variación. La variación o coeficiente de variación es una medida estadística de dispersión. Se obtiene de dividir la desviación típica entre el valor absoluto de la media del conjunto.	Coeficiente de Variación expresado en porcentaje (%).	Programa de procesamiento estadístico.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En la elaboración del presente trabajo de investigación, se revisaron y analizaron los siguientes estudios relacionados a la fragmentación y la iniciación en la voladura de rocas.

2.1.1 Contexto internacional

Desde que Kuznetsov et al., (1973, p. 35) planteó la estimación del tamaño medio de la fragmentación, otros investigadores continuaron ampliando y mejorando la predicción de los modelos de voladura de rocas. Sin duda, el modelo más utilizado es el modelo de Kuz-Ram planteado por Cunningham (1987, p. 50) que utiliza como base el tamaño medio de los fragmentos planteado por Kuznetsov relacionado a la ecuación de Rosin (1933, p. 10) que describe la curva de distribución junto a parámetros como el Factor de Roca "A" y el índice de uniformidad "n" que califican la distribución en forma comparativa. A estos parámetros, Cunningham incorpora el índice de volabilidad de Lilly (1986, p. 21) en el factor de roca "A" mejorando el exponente de uniformidad "n".

Por su parte, Kanchibotla et al., (1999, p. 25) plantea una modificación al modelo de Kuz-Ram, en donde se estima el volumen del mineral molido en el proceso de fragmentación del macizo rocoso, en el cual queda demostrado que subestima considerablemente la distribución de la fracción fina. Se basa en el supuesto de considerar que una pila de mineral volado está compuesta por una combinación de tamaños, agrupados en dos distribuciones; una para la fracción gruesa definida por la ecuación de Rosin-Rammler y la otra para la fracción fina definida por un cilindro de roca chancada o molida alrededor del taladro.

Además, Ouchterlony et al., (2005, p. 7) plantea el modelo de distribución granulométrica denominado función "Swebrec", que es utilizado para la fragmentación en el rango de tamaños de 1 a 500 mm. La función utiliza principalmente tres parámetros: X_{max}, X_{50} y el exponente de ondulación de la curva b. Según la publicación, la nueva función mejora el modelo de Kuz-Ram en dos

componentes: una mejor función de distribución y reemplazo del parámetro “n” por uno que relaciona b a X_{max} y X_{50}.

El estudio de Agrawal y Mishra (2021, p. 485-495) más reciente, obtiene de una investigación realizada en 102 minas de carbón y superficiales, el tiempo de retardo que en relación a la secuencia de iniciación de los taladros en las voladuras y determina que este es un factor importante para optimizar el rendimiento global de la voladura. El uso de diferentes sistemas de iniciación da como resultado una diferencia significativa en los valores de VPP generados por la voladura. El error o dispersión en la programación del retardo conlleva a una superposición de taladros y por lo tanto aumenta la carga máxima por taladro.

2.1.2 Contexto nacional

Cueva y Herrera (2019, p. 102) en “Comparación de la productividad, fragmentación y costos del sistema de iniciación electrónica versus pirotécnica en voladura Minera Yanacocha S.R.L” contrastan los resultados del sistema de iniciación pirotécnica con el sistema de iniciación electrónica. Para el análisis de fragmentación, productividad y costos toman datos del tajo Tapado Oeste y del tajo Yanacocha y determinan la efectividad del sistema de voladura. Por su parte, Choqueña (2017, p. 224) también relaciona las características geomecánicas de las rocas con la doble y triple iniciación electrónica para mejorar la fragmentación de un sector del tajo de un yacimiento de pórfido cuprífero en la unidad minera Apumayu.

Romero (2016, p. 142), determina que la voladura electrónica incrementa la fragmentación y la seguridad en el tajo Toromocho de Minera Chinalco Perú S.A., dando como resultado una mejora de la fragmentación con un aumento de 5.4% de pasantes al 80%(P80) en el lado oeste del tajo y un aumento de la productividad de 2.1% de la pala. De igual forma, Mendoza (2018, p. 98) en su trabajo de investigación en la Compañía Minera Atacocha sobre sistemas electrónicos en voladura, concluye que la facilidad de salida de la voladura mejora la fragmentación y disminuye las vibraciones por voladuras.

Portada y Aimituma (2018, p. 41) en “Aplicación de iniciadores electrónicos Digishot Plus para optimizar la fragmentación de rocas en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay” concluyen en su trabajo de investigación que los iniciadores electrónicos aportan mayor eficiencia en la operación, seguridad y precisión de la iniciación en las voladuras. A su vez, Quispe (2018, p. 75) determina en su investigación que los iniciadores electrónicos producen un mejor resultado en la fragmentación de las voladuras de rocas especialmente en la parte más gruesa de la curva granulométrica dando lugar a un P80 de 9.5 pulgadas mientras que la voladura pirotécnica muestra un P80 de 10.7 pulgadas, concluyendo que la fragmentación mejoró en un 11.6% con el uso de los iniciadores electrónicos.

Hualla (2016, p. 121) en “Implementación y aplicación del sistema de iniciación electrónico para la optimización de voladura a tajo abierto caso Antamina” establece que la utilización de los iniciadores electrónicos en minería y su precisión en las voladuras optimizan los procesos mineros a comparación de los sistemas convencionales. Estos proporcionan resultados exactos para satisfacer las necesidades operacionales, lo cual concuerda con los hallazgos de Huerta (2019, p. 121) acerca de la iniciación electrónica en su estudio “Análisis comparativo de la eficiencia de la triple iniciación electrónica en voladura versus la iniciación electrónica simple y doble en la explotación de un yacimiento cuprífero a cielo abierto”. Este concluye que con el uso de la iniciación electrónica se comprobó la eficiencia de la voladura en modelos predictivos de voladura en medida del P80 y el porcentaje de finos.

En el estudio de Peña (2019, p. 80) titulado “Reducir el porcentaje de dilución mediante el reemplazo de iniciadores pirotécnicos por iniciadores electrónicos, en la fase 5 del tajo Isabelita - El toro” encuentra que el uso de la iniciación electrónica obtiene un ahorro en voladura de 0.013 USD/TON equivalente a un 12% con respecto a la iniciación pirotécnica en la zona de estudio que se reflejan en un flujo neto de 2 000 000 USD al año. La metodología y acompañamiento de esta investigación comienza con la predicción de la fragmentación usando el modelo matemático Kuz-Ram y sugiere nuevos parámetros de perforación y voladura más viables para la compañía. Se realizó un análisis de los resultados de fragmentación a través de un computador consistente

en procesar fotos tomadas en la postvoladura y compararlas con la fragmentación predicha (Huanca, 2018, p. 22). El objetivo del nuevo enfoque predictivo de la fragmentación (X50), se avala en que una buena fragmentación para el proceso de molienda minimiza los tiempos y maximiza la productividad (Linares, 2018, p. 2).

2.1.3 Contexto local

Zenteno (2018, p. 80) en su trabajo de investigación titulado "Cambio de detonador electrónico para la disminución de cortes en la línea descendente en taladros de gran diámetro en explotación minera de cobre a cielo abierto", encuentra que las especificaciones técnicas de los iniciadores electrónicos influyen en la precisión de sus tiempos y disminuyen la dispersión. Encuentra que su gran versatilidad permite aprovechar al máximo las secuencias de voladura y permiten obtener mejores resultados en el control de los riesgos asociados a los trabajos propios del área de voladura. Por su parte, Hinostroza (2014, p. 80) sobre la iniciación electrónica concluye que utilizando el diseño de carga de doble iniciación electrónica en los proyectos disparados en la unidad minera Toquepala se logró optimizar la fragmentación de la roca en la fase mineral y con ello lograr la eficiencia de las demás operaciones unitarias.

Mamani (2019, p. 140) estudia la optimización de la fragmentación con la aplicación de iniciadores electrónicos en la mina Toquepala y realizó estudios de mejora para la fragmentación del macizo rocoso, que dependen de las operaciones básicas como perforación y voladura. Se utilizaron iniciadores electrónicos que resultaron ventajosos a la hora de diseñar los tiempos de salida e iniciación en relación directa con las características del macizo rocoso.

2.2 Bases teóricas

Ya habiendo planteado el problema de estudio, las interrogantes, los objetivos de la investigación y su justificación se procede a sustentar teóricamente el estudio (Hernández, 2014, p. 369).

2.2.1 Propiedades de las rocas y su incidencia en las voladuras

Las rocas que integran los macizos rocosos tienen ciertas características físicas determinadas por sus génesis y de los procesos geológicos. El grupo de estos fenómenos canaliza a un determinado ambiente, a una litología peculiar con las heterogeneidades conformadas por agregados minerales policristalinos y a las discontinuidades de la matriz rocosa, poros y fisuras. La estructura geológica contiene un estado tensional característico, con un gran número de discontinuidades estructurales, planos de estratificación, fracturas diaclasas, juntas y otros (Lopez, 1997, p. 334).

2.2.2 Caracterización geomecánica de la masa rocosa

Para conocer las características del macizo rocoso, existe una variedad de clasificaciones geomecánicas, como: Protodyakonov, Bieniawski, Laubscher y Taylor, Barton, Romaña, y otros, que nos ayudan a determinar la calidad del macizo rocoso con el objetivo de clasificarlo en dominios estructurales. Cada dominio estructural posee características como litología y espaciado de juntas y sus límites pueden coincidir con rasgos geológicos, tales como fallas o diques. Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros, definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso determina el índice de calidad RMR, mediante una metodología desarrollada en 1973 que varía entre 0 y 100% se estima la calidad del macizo rocoso (Paredes, 2014, p. 76).

2.2.3 Optimización de la fragmentación del mineral

En primer lugar, en el ámbito de la minería, la fragmentación es el proceso por el cual un macizo rocoso es divido en rocas o fragmentos de menor tamaño gracias al efecto de los explosivos. La fragmentación cumple un factor trascendente en la cadena industrial de la extracción del mineral puesto que es una variable que se utiliza para optimizar las operaciones carguío, acarreo y de beneficio incluyendo la molienda y chancado (Mamani, 2019, p. 24). En este sentido entendemos a la fragmentación como la fragmentación del mineral producto de la voladura.

En segundo lugar, tenemos la optimización de la fragmentación. Debido a que la fragmentación es un proceso que depende de la voladura y posee parámetros

o variables que intervienen en esta, es optimizable a través de la manipulación de los parámetros de los diseños de la voladura. La manipulación de los parámetros de voladura puede producir resultados no deseados como daño en los taludes, fragmentos gruesos, proyección de rocas (fly rock), distribución no uniforme de la granulometría, fragmentos con tamaños por encima de los mínimos requeridos por el proceso de beneficio y resultados deseados como la seguridad de los taludes cercanos sin proyección de rocas (Gutierrez, 2014, p. 64) y, principalmente, la obtención de fragmentos pasantes al 80% (P80) de menor tamaño. Al proceso de obtención de estos resultados deseados se le considera optimizar la fragmentación. En este sentido, entendemos a la optimización de la fragmentación como la obtención de fragmentos de menor tamaño con una distribución uniforme de pasantes al 80% mediante el proceso de voladura.

2.2.4 Modelamiento de la fragmentación

Para hablar de resultados y cumplimiento de objetivos, en ingeniería se recurre a las técnicas de medición. Para medir los resultados de fragmentación en el macizo rocoso se utilizó el modelo de Kuz Ram planteado por Cunningham (1983, p. 15), que utiliza como base el tamaño medio de los fragmentos planteado por Kuznetsov (1973, p. 45), relacionado a la ecuación de Rosin-Rammler (1933) que describe la curva de distribución. En conjunto con los parámetros como el Factor de Roca “A” y el índice de uniformidad “N”, el modelo permite estimar la distribución en forma comparativa. En estos últimos parámetros Cunningham incorpora el índice de volabilidad (Lilly, 1986) en el factor de roca “A”, mejorando el exponente de uniformidad “n”.

2.2.5 Velocidad Peak de Partícula (VPP) y velocidad de la onda P

La Velocidad Peak de Partícula (VPP) se refiere a la velocidad de movimiento de partículas individuales dentro de la masa rocosa como una vibración u onda de choque que se propaga por la roca. Estas partículas se pueden mover solo en cantidades pequeñas en tres dimensiones, de manera que se puede medir el VPP en tres direcciones ortogonales. La velocidad de la onda P (Vp), es una unidad de medida de la velocidad de propagación de la roca, es independiente de la fuente de

vibración y depende de la roca y de las propiedades estructurales del medio. PPV y Vp, se relacionan en un medio elástico homogéneo (McKenzie, 1998, p. 30).

2.2.6 Explosivos

El objetivo esencial de la utilización de un explosivo es el arranque de rocas y consiste en disponer de una energía concentrada químicamente, situada en el lugar apropiado y en cantidad suficiente, de forma tal que, liberada de un modo controlado en tiempo y espacio, pueda lograr la fragmentación del mineral (Lopez, 1997, p. 420).

2.2.7 Velocidad de detonación

Es la velocidad a la cual la reacción se mueve a lo largo de la columna de explosivo y tiene un rango que va de 1.524 a 7.620 m/s en los productos explosivos comerciales. La velocidad de detonación tiene consideración importante para aplicaciones fuera del barreno, tales como el plasteo o la demolición de elementos estructurales. La velocidad de detonación tiene importancia menos significativa si el explosivo se usa dentro de un taladro (Konya, 1990, p. 80).

2.2.8 Presión de detonación

Es la presión que ocurre dentro de la zona primaria de reacción que está limitada en un lado por el frente de choque y en el otro lado por el plano de Chapman Jouguet (C-J). Detrás del plano C-J, están los productos de la reacción, y algunos productos todavía sufren reacción, que ejercen una presión menor, conocida como la presión de explosión, o presión peak de hoyo. La presión de la detonación es usualmente una cantidad calculada basada en la densidad de explosivo (McKenzie, 1998, p. 19).

2.2.9 Mecánica de fragmentación

La detonación es la propagación de una reacción química que se conduce a través del explosivo a una velocidad superior a la del sonido en dicho explosivo, transformando a este en nuevas especies químicas. La característica básica de estas reacciones es que es iniciada y soportada por una onda de choque supersónica. En los explosivos de alta velocidad, la presión de las primeras moléculas gasificadas

es tan grande que no ceden su calor por conductividad a la zona inalterada de la carga, sino que lo transmiten por choque, deformándola y produciendo calentamiento y explosión adiabática con generación de nuevos gases. El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva y denominado "onda de choque", la que se desplaza entre velocidades entre 1500 a 1700 m/s según la composición del explosivo y sus condiciones de iniciación (Lopez, 1997, p. 119).

2.2.10 Burden

El *burden* de un taladro se refiere a la dimensión lineal entre el taladro y la cara libre y se mide perpendicular a la dirección de la línea de taladros que constituyen una fila. El término *burden* generalmente se refiere al *burden* perforado, lo que significa que la dimensión lineal se realiza a la cara libre existente del banco. Por su parte, *burden* efectivo se refiere a la dimensión lineal entre el taladro y la posición de la cara libre más cercana al tiempo de la detonación del taladro y toma en consideración la dirección de la iniciación. Para una malla equilátera de taladros, el *burden* es igual a 0.87 veces el espaciamiento (McKenzie, 1998, p. 21).

2.2.11 Diagrama de LaGrange

Es una representación gráfica de las velocidades de las ondas: Onda-P, Onda-S y Velocidad de la formación de grietas. Esta representación se hace sobre un plano cartesiano en donde en el eje de las abscisas se ubica la distancia expresada en metros, y en el eje de las ordenadas está el tiempo expresado en milisegundos. El diagrama de LaGrange es una herramienta que sirve para determinar el tiempo de retardo que debe existir entre detonaciones contiguas para obtener el máximo provecho de la energía del explosivo aplicado al macizo rocoso con el fin de obtener una excelente fragmentación; esto supone que podemos definir cualquier tiempo de retardo que se requiere como resultado de la aplicación del diagrama (Rossmanith, 2002, p. 23).

2.2.12 Detonación secuencial

Las voladuras de gran tonelaje deben dispararse con secuencias de iniciación en línea, pues de esta manera se asegura que:

- La dirección principal del movimiento de la roca es normal a la cara libre.
- El movimiento hacia adelante no disminuye debido a la colisión entre los fragmentos de roca proyectados.
- Mantener la energía del explosivo al máximo (Lopez, 1997, p. 263).

2.2.13 Detonación electrónica

La detonación electrónica reúne las ventajas de los iniciadores electrónicos y los iniciadores no electrónicos. Esto hace posible la verificación eléctrica de la línea con un sistema de conexiones eléctricas mejorado y, por otro lado, la señal codificada hace imposible que sean disparados accidentalmente (Bernaola, 2013, p. 119).

2.2.14 Exactitud y precisión

La exactitud y precisión según la norma ISO 5275-2:2019 describe la cercanía de una medición al verdadero valor, en ese sentido, un iniciador será más exacto y preciso cuanta más cercanía tenga una agrupación de retardos obtenidos de las voladuras en campo con la media resultante, de acuerdo a cada tipo, configuración del iniciador y sus especificaciones técnicas o de fabricación. Es así que, para el presente estudio el retardo de las voladuras es medida en milisegundos (ms) y la exactitud y precisión de los iniciadores será el porcentaje obtenido mediante el coeficiente de variación de un grupo retardos obtenidos.

2.2.15 Iniciador electrónico

Es un sistema de iniciación para voladuras y se diferencia fundamentalmente con el iniciador electrónico y no electrónico en que la pasta pirotécnica que determina el retardo ha sido reemplazada por un circuito electrónico en el cual un microchip se encarga de hacer la descarga a un condensador en el instante deseado.

2.2.16 Acople de voladura

Es la interacción de la detonación programado por los tiempos de salida que ocurren en una ventana de tiempo de la voladura y puede ser medido en milisegundos.

2.3 Generalidades del área de estudio

Para el presente trabajo de investigación se tomó en cuenta los datos geológicos de la unidad minera Cuajone.

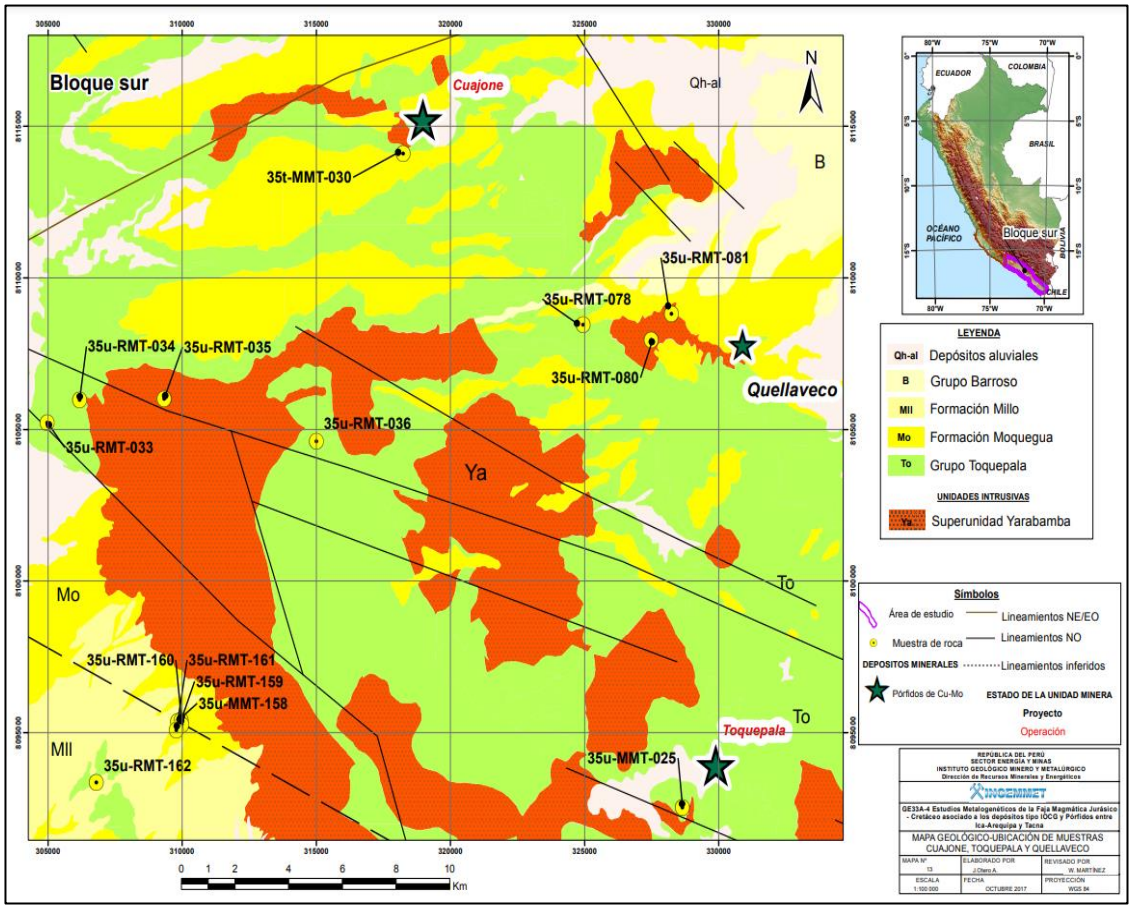
2.3.1 Geología regional

En el área de estudio el afloramiento de las rocas a nivel regional son: En el periodo Jurásico, rocas volcánicas en la formación Chocolate que afloran cerca al puerto de Ilo en la cadena costanera, en el Cretáceo superior – Paleoceno, grupo Toquepala que aflora parcialmente en la unidad minera Cuajone y mayormente se extiende en el flanco andino; del Cretáceo Superior al Eoceno-Paleoceno, rocas intrusivas del batolito de la costa, en el segmento Toquepala que afloran en el flanco andino de la mina y la formación Moquegua entre la cadena de la costa y llanura costanera, en el Oligoceno superior al Mioceno inferior. En la Figura 1 se detalla gráficamente la distribución geológica por grupo y época de la geología regional de la unidad minera Cuajone,

La secuencia regional vulcano-sedimentarias más antígua son de los volcánicos del Grupo Toquepala (Cretácea Sup – Terciario inferior), constituidos por aglomerados y piroclastos marrón rojizo, violáceo a gris verdoso, cuyas composiciones varían desde andesíticas, dacitas, traquitas y riolitas, con intercalaciones locales de sedimentos clásticos y conglomerados con más de 3,000 m de espesor las cuales afloran a lo largo del Flanco Andino. Este grupo está comprendido por diversas formaciones tales como: Quellaveco, Paralaque, Inogoya y Toquepala.

Figura 1

Geología regional.



Nota. Tomado de Ingemmet (2017).

2.3.2 Geomorfología

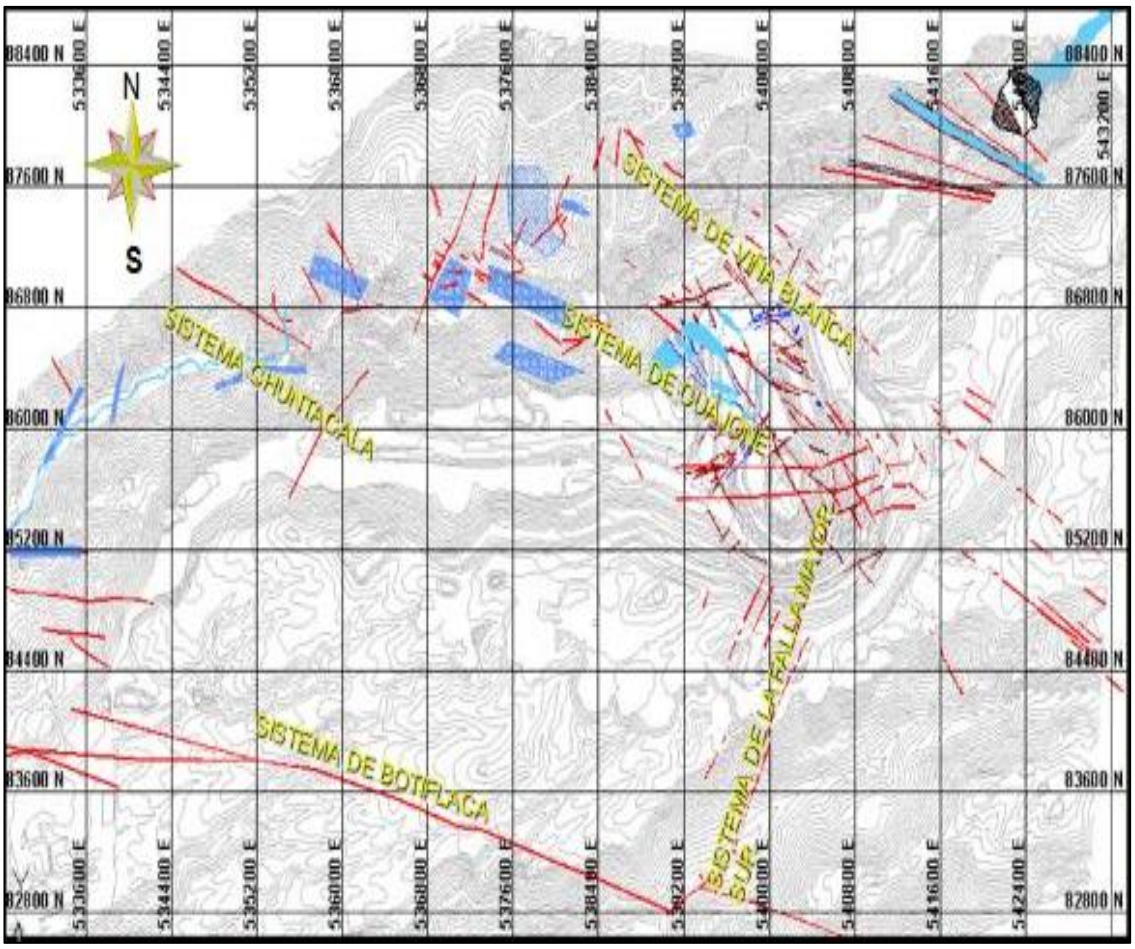
El área de estudio se encuentra en el cuadrángulo de Moquegua en el cual se diferencian tres unidades geomorfológicas denominadas: Llanura costanera, flanco andino y cadenas de conos volcánicos (Bellido, 1979, p. 13).

2.3.3 Geología estructural

La geología estructural de mina Cuajone está estrictamente dominada por cinco sistemas de fallas, sistema Chuntacala, Botiflaca, Cuajone, Viña Blanca, Falla mayor sur, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Geología estructural.



Nota. Tomado del informe interno "Estimación de Recursos Cuajone" de Concha (2017).

Regionalmente, la tendencia estructural en el sur del Perú es predominantemente de orientación noroeste-sureste tal y como se puede apreciar en la fosa oceánica del Pacífico, el batolito de la costa, planicie de la costa, el flanco occidental de los Andes y las grandes fallas regionales como es el caso de Incapuquio, Micalaco, Viña Blanca y Botiflaca.

2.3.4 Litología

La litología que predomina en la mina Cuajone está mayormente conformada por rocas volcánicas que se han ido depositando a través del tiempo desde el final del Cretáceo hasta la actualidad. De acuerdo a Concha (2017), en el área no se tienen afloramientos de rocas de mayor antigüedad y en total se tienen

46 tipos de roca, divididos en rocas preminerales, rocas intrusivas, rocas postminerales y cobertura.

Rocas preminerales

Vienen a constituir rocas pertenecientes al grupo Toquepala, cuyos miembros inferiores volcánicos son las rocas más antiguas de la mina, entre los 80 y 60 Ma. (Cretáceo superior – Terciario inferior). La correlación entre estos flujos volcánicos se compone de andesita basáltica (BA) y la riolita porfirítica (RP), con otros miembros del grupo encontrados en Quellaveco y Toquepala, ha sido hecha por Plazoles (1980).

Rocas intrusivas

Conocidas también como rocas minerales, constituidas principalmente por diorita (DI) que atraviesa a la andesita basáltica y toda la secuencia de rocas del Grupo Toquepala y tiene una coloración gris a gris oscura. Así también se encuentra la latita porfirítica (LP) que conforma el principal cuerpo intrusivo de Cuajone. En menor medida hay presencia de brechas (BX) y diques.

Rocas postminerales

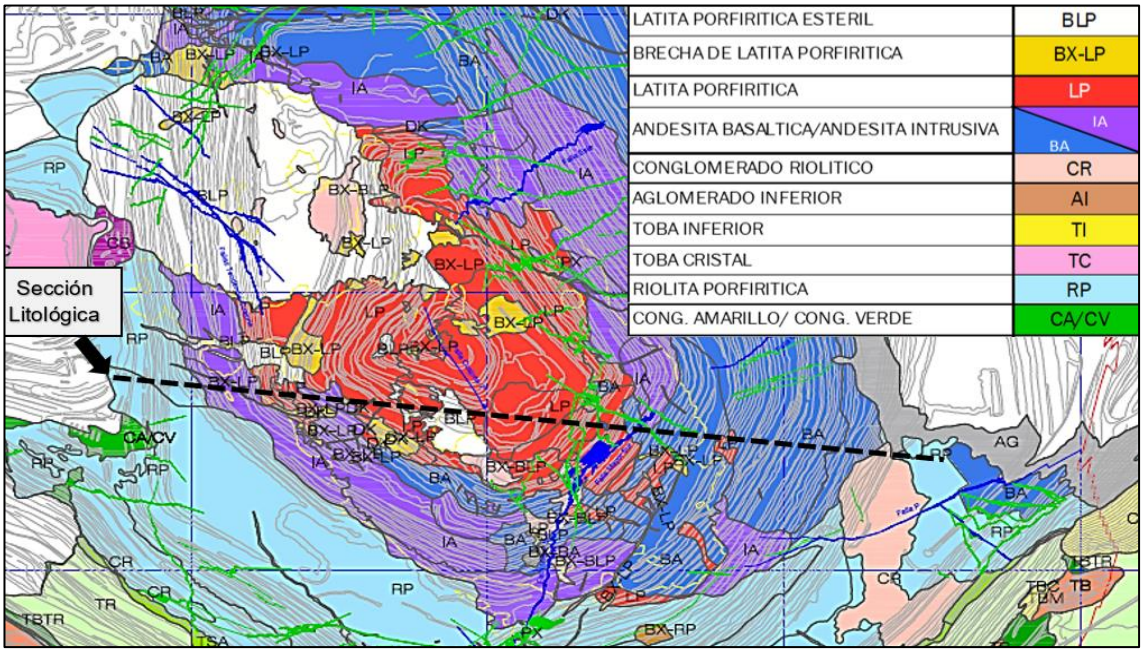
Aflora principalmente en la ladera sureste de la quebrada Chuntacala y en la ladera norte del río Torata. Esta sección está constituida por una secuencia de conglomerados, tobas, vitrófiros, traquitas y aglomerados (Manrique y Plazoles, 1975). Se le ha asignado una edad entre los 23 y 17 Ma (Mioceno-Plioceno). Presenta potencias de hasta 230 m. en los alrededores de la mina, sobreyace discordantemente a las rocas del Grupo Toquepala e Intrusivos.

Cobertura

Principalmente está conformado por depósitos cuaternarios en los lechos de los ríos, quebradas y laderas de cerros que constan de material aluvial y coluvial de variada composición y tamaño. Se incluyen en este rubro los botaderos y *stocks* de mineral y desmonte de acuerdo a la Figura 3 y Figura 4.

Figura 3

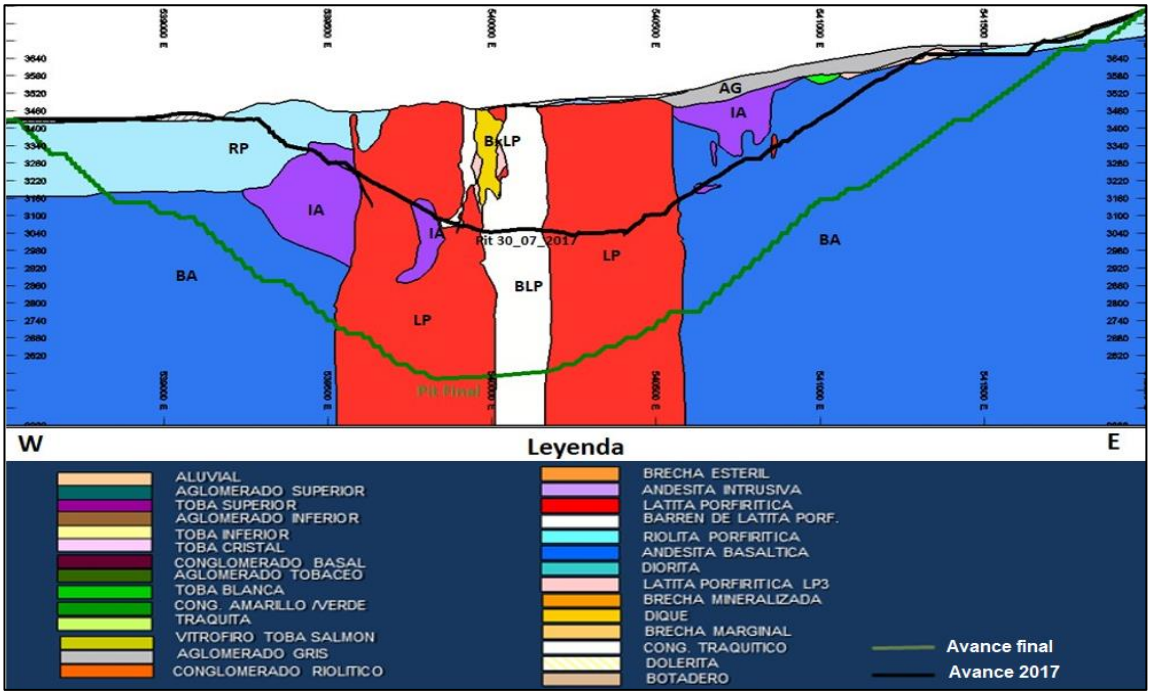
Esquema de la geología superficial Cuajone avance 2017



Nota. Tomado de "Estimación de recursos - Mina Cuajone" de Concha (2017). Se agregó línea de sección y leyenda. El esquema de sección se presenta en la Figura 4 y los códigos de unidades litológicas son detallados en la Figura 5.

Figura 4

Esquema de sección litológica modelo 2017 de mina Cuajone.



Nota. Tomado de "Estimación de recursos - Mina Cuajone" de Concha (2017). La línea negra representa el avance al 2017 mientras que la línea verde representa el avance final proyectado.

En la unidad minera Cuajone se tienen unidades litológicas ligadas al periodo de premineralización, intrusión, postmineralización y a su vez están clasificadas por tipo de roca, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Código de unidades litológicas de la unidad minera Cuajone.

PERIODO		TIPO DE ROCA	SIMBOLO
COBERTURA		BOTADERO	BOTd
		STOCK MRAL	STOKm
		ALUVIAL	AL
		COLUVIAL	CO
		TALUS	MR
POST - MINERAL	CHUNTACALA	AGLOMERADO GRIS	AG
		CONG. AMARILLO/ CONG. VERDE	CA/CV
		CONGLOMERADO TRAQUITICO	CTR
		PORFIDO ANDESITICO	PA
		AGLOMERADO SUPERIOR	AS
		TOBA SUPERIOR	TS
		AGLOMERADO INFERIOR	AI
		TOBA INFERIOR	TI
		TOBA CRISTAL	TC
		VITROFIRO TOBA CRISTAL	VTTC
		AGLOMERADO BLANCO	AB
		CONGLOMERADO BASAL	CB
	HUAYLILLAS	TOBA RETRABAJADA	TRE
		AGLOMERADO TRAQUITICO	AGTR
		AGLOMERADO TOBACEO	AT
		TOBA BLANCA	TB
		TOBA MICACEA	TBM
		TOBA CAFÉ	TBC
		TOBA TRAQUITICA	TBTR
		TRAQUITA	TR
		VITROFIRO TRAQUITICO	VTTR
		TOBA SALMON	TSA
		CONGLOMERADO DOLERÍTICO	CD
		CONGLOMERADO RIOLITICO	CR
INTRUSIVAS		PEBBLE BRECHA	PX
		BRECHA DE ANDESITA INTRUSIVA	BX-IA
		BRECHA DE ANDESITA BASALTICA	BX-BA
		BRECHA DE RIOLITA PORFIRITICA	BX-RP
		LATITA PORFIRITICA LP3	LP3
		DIQUE DE ANDESITA	DK-A
		DIQUE DE LATITA PORFIRITICA	DK
		BRECHA DE BLP	BX-BLP
		LATITA PORFIRITICA ESTERIL	BLP
		BRECHA DE LATITA PORFIRITICA	BX-LP
		LATITA PORFIRITICA	LP
		BRECHA TURMALINA	BXT
		DIORITA	DI
PRE-MINERAL		RIOLITA TOQUEPALA	RT
		DOLERITA	DO
		RIOLITA PORFIRITICA	RP
		ANDESITA BASALTICA/ANDESITA INTRUSIVA	IA / BA

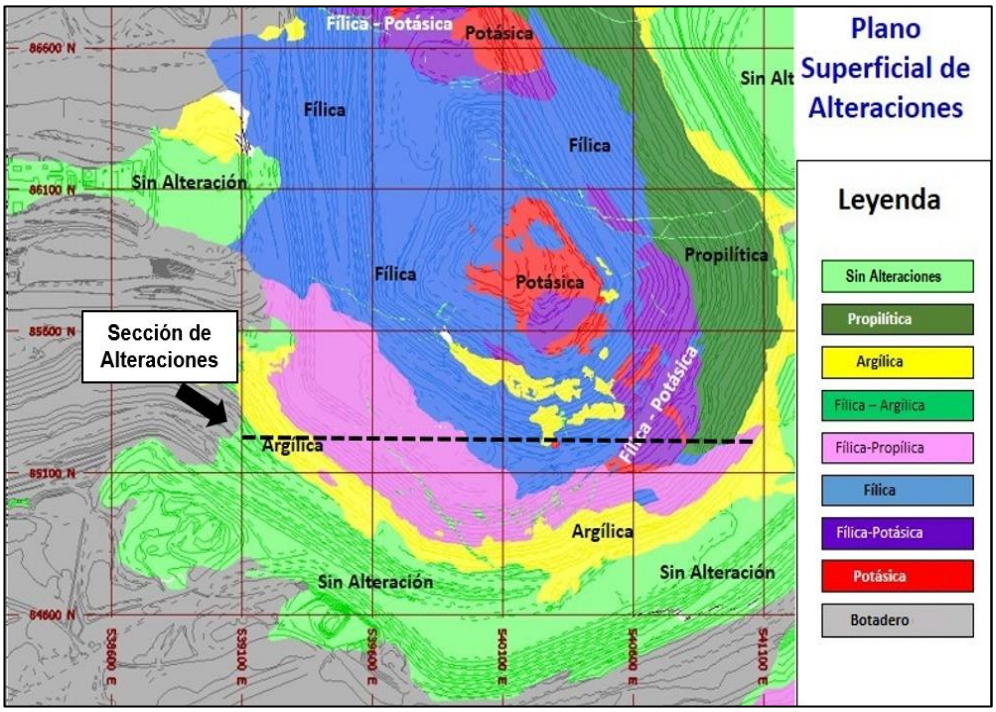
Nota. Tomado de "Estimación de recursos - Mina Cuajone" - Litología con código de colores de Concha (2017).

Alteraciones En la unidad minera Cuajone se ha reconocido una zona de alteración hidrotermal de 3 a 4 km, siendo más intenso mientras más cerca al cuerpo mineralizado nos encontremos. Están conformadas por variaciones internas mayormente supeditadas al fracturamiento y permeabilidad de la roca como:

- Alteración potásica, con presencia en la sección noroeste y fondo del yacimiento.
- Alteración propilítica, se encuentra mayormente en los márgenes del yacimiento.
- Alteración fílica, abarca la mayor parte de la superficie excavada del tajo.
- Alteración argílica, se presenta en las cercanías de la superficie y también se encuentra bordeando el yacimiento en la zona intermedia baja del yacimiento.
- Alteración fílica argílica y fílica potásica, se encuentran en la zona intermedia baja del yacimiento, de acuerdo a la Figura 6 y Figura 7.

Figura 6

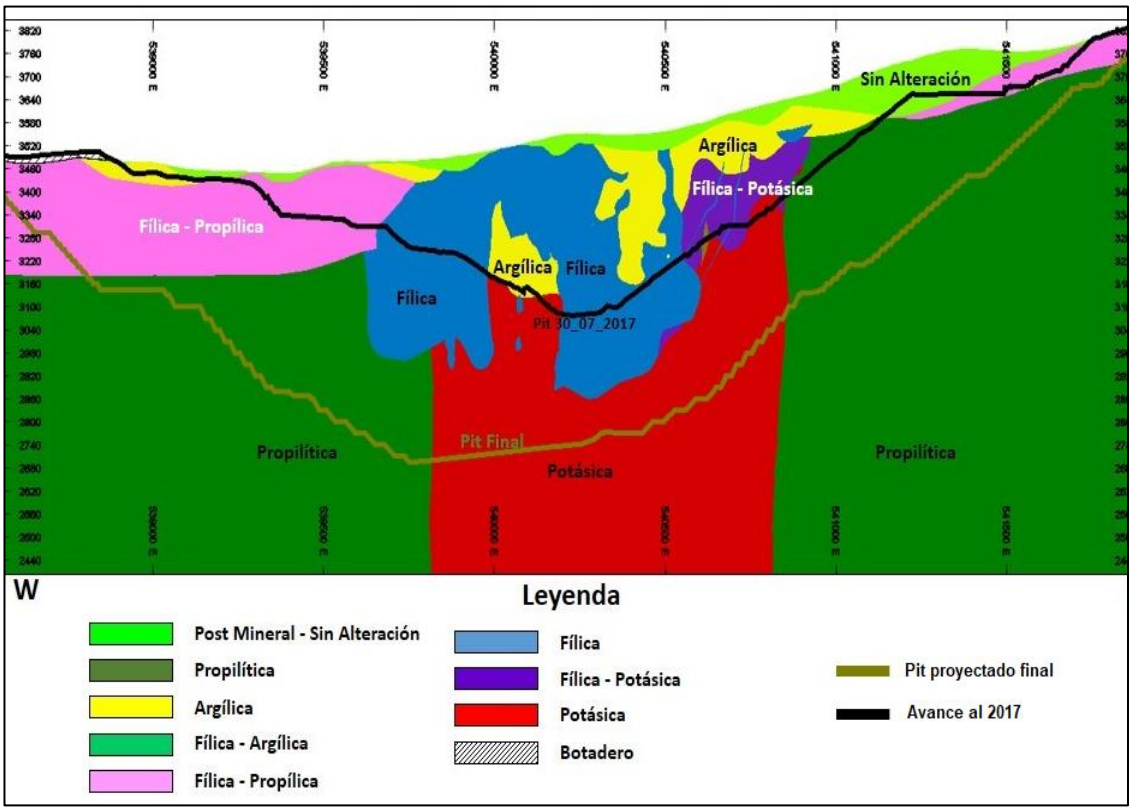
Plano superficial de alteraciones unidad minera Cuajone – Avance de Minado al 2017.



Nota: Tomado de "Estimación de recursos - Mina Cuajone" – Plano Superficial de Alteraciones de Concha (2017). La línea punteada fue agregada y corresponde a la sección de alteraciones la cual se detalla en la Figura 7.

Figura 7

Sección de alteraciones de la unidad minera Cuajone.



Nota. Tomado de "Estimación de recursos - Mina Cuajone" – Plano Superficial de Alteraciones de Concha (2017, p. 40). La presente sección corresponde al Plano Superficial de Alteraciones presentado en la Figura 6. La línea negra representa el avance de minado al 2017, mientras que la línea verde representa el minado proyectado final.

2.3.5 Geomecánica de la unidad minera Cuajone

Para el presente estudio se consideraron las propiedades geomecánicas tanto del macizo rocoso como de la roca intacta.

Unidades geotécnicas básicas de la unidad minera Cuajone

De esta manera el macizo rocoso es representado por unidades geotécnicas básicas (UGB) como una unidad de Litología-Alteración-Zona mineral con características texturales y comportamientos geomecánicos propios de cada una de ellas, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Tabla de Unidades Geotécnicas Básicas

CÓDIGOS	LITOLOGÍA		ALTERACIÓN	MINERALIZACIÓN	UNIDADES GEOTÉCNICAS BÁSICAS			UG
					LITO	ALTERACIÓN	MINERALIZACIÓN	
LP	LATITA PORFIRITICA	LATITA	POTÁSICA (Biotita, magnetita, Silice, Ortosa, Anhidrita)	LIXIVIADO (LEACHED CAPPING)	LATITA	FRESCA-FILICA	PRIMARIO-WASTE	UGB 1
BLP	LATITA PORFIRITICA ESTERIL		PROPILITICA (Clorítica, Calcita, Epidota, Pirita)	OXIDOS				
DK	DIQUE DE LATITA PORFIRITICA		FILICA (Silice, Sericita, Pirita)	ENRIQUECIDO		POTASICA	PRIMARIO	UGB 2
LP3	LATITA PORFIRITICA LP3		ARGILICO SUPÉRGENO Arcillas (Caolinita, Montmorillonita, Illita)	TRANSICIONAL	RIOLITA PORFIRITICA	FILICA-ARGILICA	PRIMARIO-WASTE	UGB 3
RP	RIOLITA PORFIRITICA	RP	FILICO POTÁSICO (Biotita, magnetica, Silice, Sericita)	PRIMARIO		ARGILICA	OX-LIX-ENR-TRANS	UGB 4
BA	ANDESITA BASALTICA	BA	FILICO PROPILITICO (Clorita, Sericita, Silice, Epidota, Pirita)			PROPILITICA-PRO.FILICA	WASTE	UGB 5
IA	ANDESITA INTRUSIVA	IA	POTÁSICA		ANDESITA BASÁLTICA	PROPILITICA-FILICA_POTASICA	PRIMARIO-WASTE	UGB 6
DI	DIORITA		FILICO ARGÍLICO (Silice, Sericita, Caolinita, Illita)			POTASICA	PRIMARIO	UGB 7
DO	DOLERITA					PROPILITICA	WASTE	UGB 8
BX-IA	BRECHA DE ANDESITA INTRUSIVA	BRECHA			ANDESITA INTRUSIVA	FILICA	PRIMARIO-WASTE	UGB 9
BX-BLP	BRECHA DE BLP					PROPILITICA	WASTE	UGB 10
BX-RP	BRECHA DE RIOLITA PORFIRITICA				BRECHA DE ANDESITA	FILICA	WASTE	UGB 11
BX-BA	BRECHA DE ANDESITA BASALTICA						PRIMARIO	UGB 12
PX	PEBBLE BRECHA				TOBA INFERIOR	-		UGB 13
BX-LP	BRECHA DE LATITA PORFIRITICA				TOBA CRISTAL	-		UGB 14
BXT	BRECHA TURMALINA				CONGLOMERADO	-		UGB 15
PA	ANDESITA PORFIRITICA	TI			TRAQUITA	-		UGB 16
AS	AGLOMERADO SUPERIOR				TOBA BLANCA	-		UGB 17
AI	AGLOMERADO INFERIOR				TOBA SALMÓN	-		UGB 18
TS	TOBA SUPERIOR				VITROFIRO	-		UGB 19
TI	TOBA INFERIOR				OTROS		OX-LIX-ENR-TRANS	UGB 20
TC	TOBA CRISTAL	TC			COBERTURA	-	COVER + BOTADERO	UGB 21
TBM	TOBA MICÁCEA	CONGLOMERADO						
CB	CONGLOMERADO BASAL							
TBC	TOBA CAFÉ							
CR	CONGLOMERADO RIOLITICO							
TR	TRAQUITA	TR						
TBTR	TOBA TRAQUITICA	TBTR						
AT	AGLOMERADO TOBÁCEO	TB						
AG	AGLOMERADO GRIS							
TB	TOBA BLANCA							
CA/CV	CONG. AMARILLO/CONG. VERDE							
AGTR	AGLOMERADO TRAQUITICO							
CTR	CONCLOMERADO TRAQUÍTICO							
TRE	TOBA RETRABAJADA							
AB	AGLOMERADO BLANCO							
TSA	TOBA SALMÓN	TSA						
VT	VITROFIRO	VT						
AL	ALUVIAL	COB						
STOKm	STOCK MRAL							
BOTd	BOT. DESMONTE							

Nota. Tomado de "Estimación de recursos - Mina Cuajone" de Concha (2017). Se clasificaron los diferentes tipos de macizo rocoso presentes en la unidad minera Cuajone en 21 UGB (Unidades Geotécnicas Básicas) de acuerdo a su litología, alteración y mineralización. Más adelante, en la Figura 8, se muestra una representación gráfica de la distribución de las UGB.

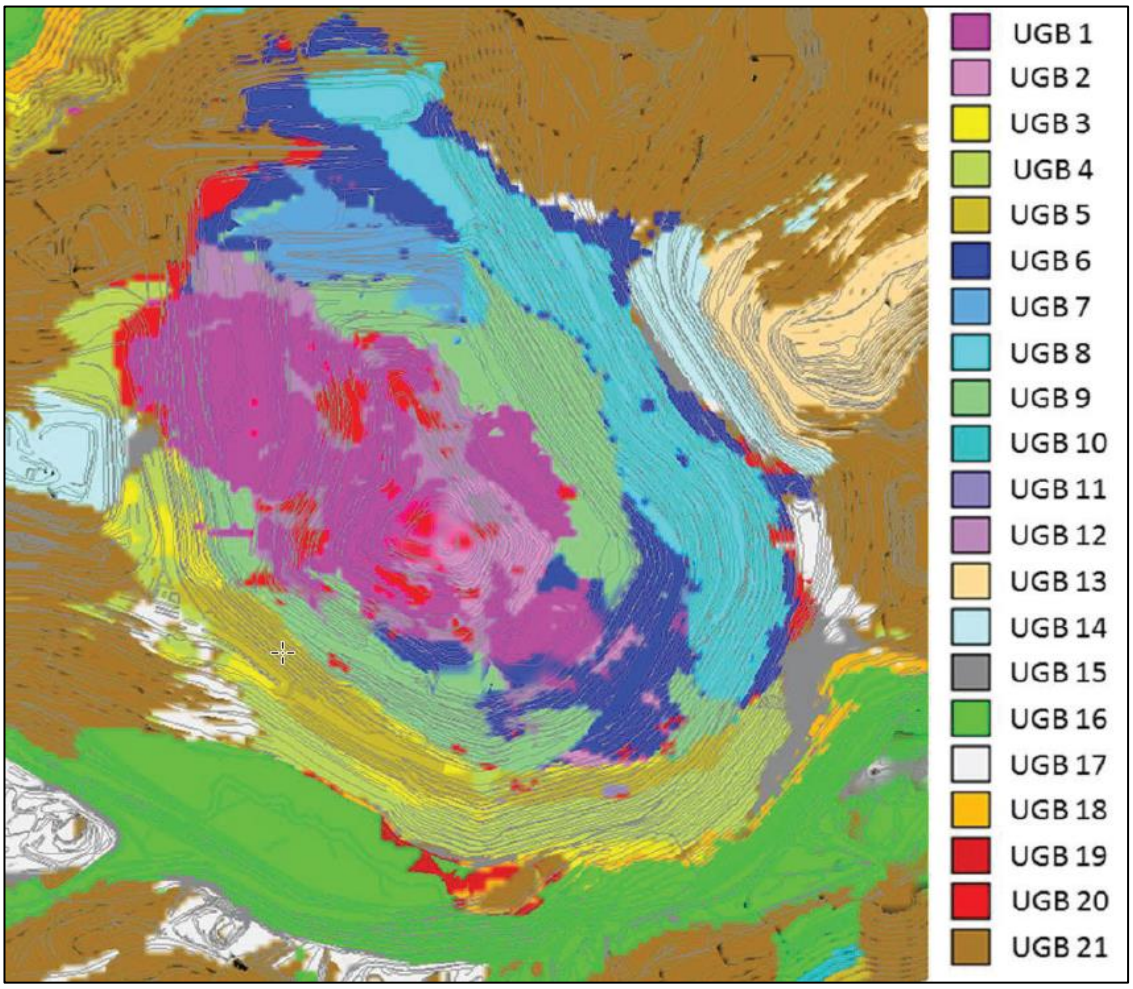
Propiedades de roca intacta

Las propiedades de roca intacta fueron obtenidas mediante ensayos de laboratorio realizados a muestras de rocas recolectadas en las diferentes campañas de perforación diamantina realizadas en la mina. Los ensayos realizados fueron triaxiales, compresión simple, compresión uniaxial y corte directo.

En la Figura 8 se muestra una representación por colores de las 21 Unidades Geotécnicas Básicas (UGB) las cuales fueron determinadas de acuerdo a la litología, alteración y mineralización, en la Tabla 3 se detallan las propiedades de roca intacta de acuerdo a las UGB.

Figura 8

Distribución de las Unidades Geotécnicas Básicas de la unidad minera Cuajone



Nota. Figura tomada del Departamento de Geotecnia S.P.C.C. de la unidad minera Cuajone. Las Unidades Geotécnicas Básicas corresponden a la Tabla 2 que clasifica el macizo rocoso.

Tabla 3

Propiedades de la roca intacta de la unidad minera Cuajone por Unidad Geotécnica Básica

UGB	UCS (Mpa)	ɤ (ton/m^3)	n (%)	$E_{(Young)}$ (Gpa)	ν	Vp (m/s)	Vs (m/s)
UGB-01	79.6	2.65	2.4	32.2	0.23	5684	3473
UGB-02	103.6	2.61	2.4	45.7	0.18	5228	3190
UGB-03	72.9	2.58	3.6	26.7	0.14	4384	2521
UGB-04	28.8	2.54	3.2	45.8	0.23	5178	3029
UGB-05	122.5	2.62	2.0	55	0.19	5353	3194
UGB-06	78.5	2.74	2.3	25.4	0.23	5363	3216
UGB-07	86.3	2.74	3.0	32.1	0.19	5704	3496
UGB-08	133.9	2.78	1.3	56.4	0.23	5943	3495
UGB-09	69.7	2.73	3.0	28	0.23	5239	3067
UGB-10	175	2.69	2.2	57.7	0.25	5253	3020
UGB-11	204.8	2.77	1.8	54.6	0.26	5725	3375
UGB-12	121.1	2.67	2.6	51.7	0.25	5320	3250
UGB-13	17.5	1.93	26.9	5.1	0.26	2792	1615
UGB-14	83.7	2.29	7.7	26.2	0.16	2904	1527
UGB-15	-	1.68	9.9	-	-	1423	2289
UGB-16	123	2.29	6.4	39.6	39.6	4308	2549
UGB-17	15.3	1.76	25.3	4.1	4.1	2224	1214
UGB-18	21.9	1.74	20.7	8.5	8.5	2679	1596
UGB-19	83.1	2.36	1.9	39.9	39.9	4912	2910
UGB-20	-	2.54		45.8	45.8	-	-
UGB-21	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Elaboración propia, con información del departamento de Geotecnia S.P.C.C. Cuajone. Las Unidades Geotécnicas Básicas (UGB) corresponden a la clasificación del macizo rocoso de la unidad minera Cuajone que se detalla en la Tabla 2.

Donde:

UCS : Resistencia a la compresión.

ɤ : Peso específico.

n : Porosidad.

$E_{(Young)}$: Módulo de Young.

ν : Coeficiente de Poisson.

Vp : Velocidad de onda P.

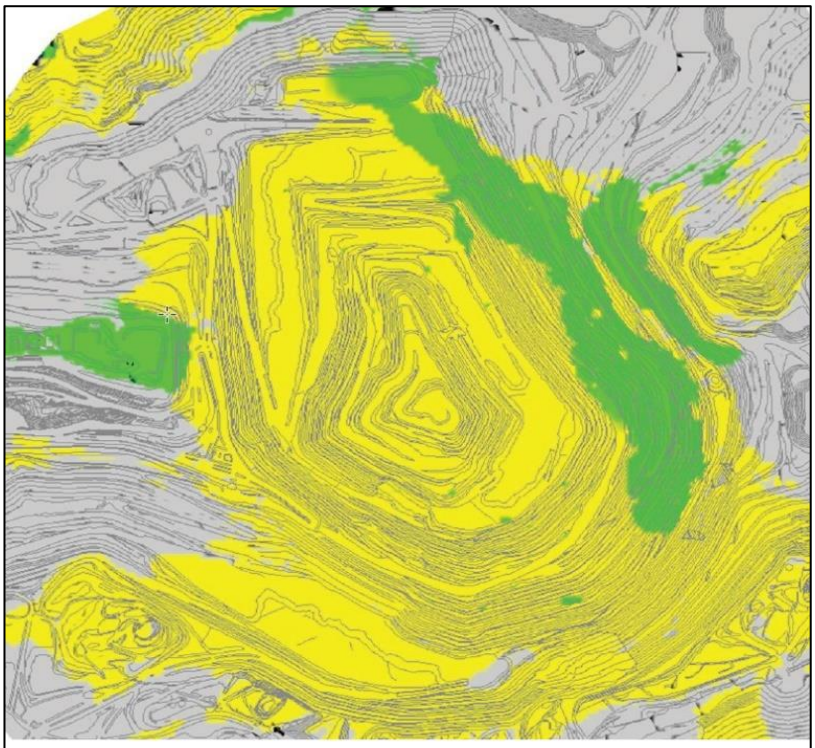
Vs : Velocidad de onda S.

Caracterización del macizo rocoso

En la mina, el macizo rocoso se clasifica según el RMR_{89} (Rock-Mass-Rating) de Bieniawski (1989), esta caracterización se realiza tanto de los mapeos de superficie como de los sondajes geotécnicos. Esta clasificación del macizo rocoso relaciona índices de calidad con parámetros geotécnicos intrínsecos y su representación en el tajo Cuajone se detalla en la Figura 9.

Figura 9

Representación del RMR en el tajo Cuajone de acuerdo a la escala de Bieniawski 1989



CLASE	RMR	COLOR	DESCRIPCIÓN
I	81 - 100		Macizo de Muy Buena Calidad
II	61 - 80		Macizo de Buena Calidad
III	41 - 60		Macizo de Regular Calidad
IV	21 - 40		Macizo de Mala Calidad
V	0 - 20		Macizo de Muy Mala Calidad

Nota. Elaboración propia con información del departamento de Geotecnia de la unidad minera Cuajone.

Su valoración considera los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturamiento en términos de RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La estimación de GSI (Índice de Resistencia Geológica) de un macizo corresponde a su evaluación mediante características estructurales y las condiciones de las discontinuidades. El GSI fue propuesto por Hoek (1995) debido a la falta de aplicación del RMR en el criterio de resistencia Hoek-Brown para macizos altamente fracturados y por sus continuos cambios desde su propuesta original. La estimación del GSI es a través de una simple tabla de doble entrada evaluando los factores que influyen en la resistencia del macizo rocoso como estructura y condición de superficie como se representa en la Figura 10.

El GSI fue relacionado con el sistema RMR de acuerdo a la siguiente fórmula:

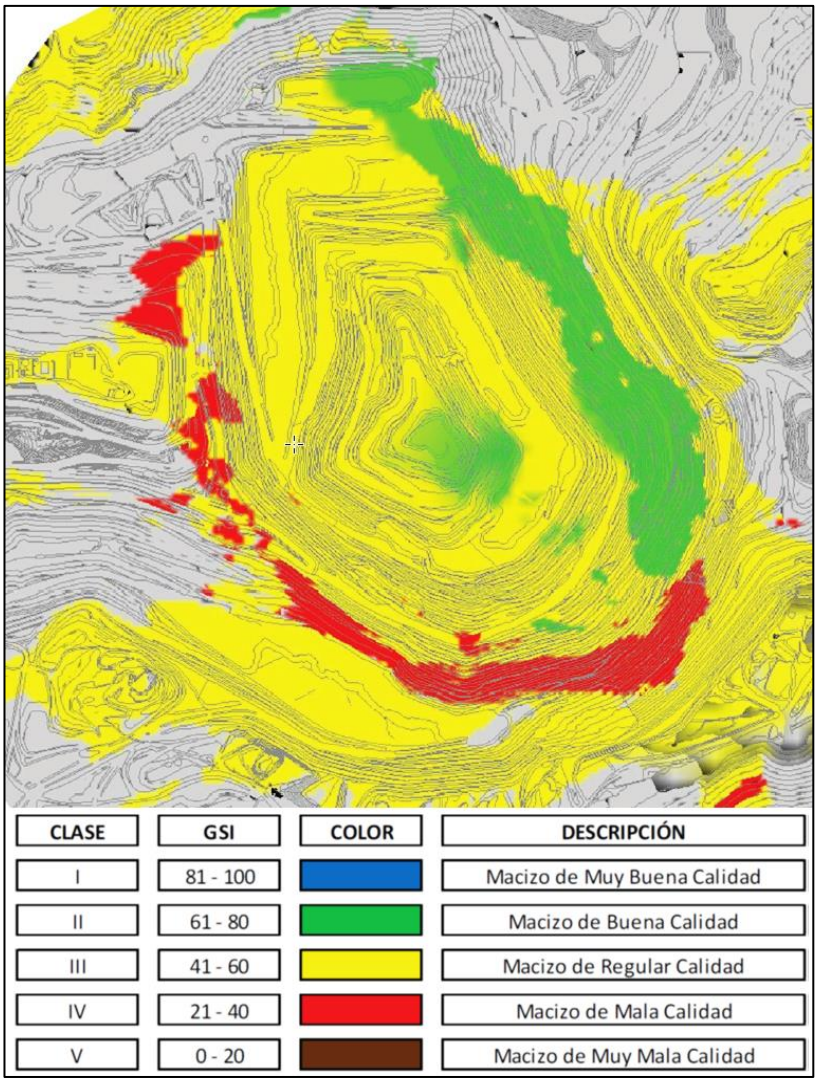
$$GSI = RMR - 5 \tag{1}$$

El GSI también puede ser obtenido de los sondajes diamantinos a partir de la ecuación empírica de Hoek (2013):

$$GSI_{2013} = 1.5 * Jc_{89} + \frac{RQD}{2} \tag{2}$$

Figura 10

Representación del GSI en la superficie de la mina Cuajone de acuerdo a la clasificación de Hoek.



Nota. Elaboración propia con información del departamento de Geotecnia de la unidad minera Cuajone.

2.4 Diseño de proyecto de voladura de la unidad minera Cuajone

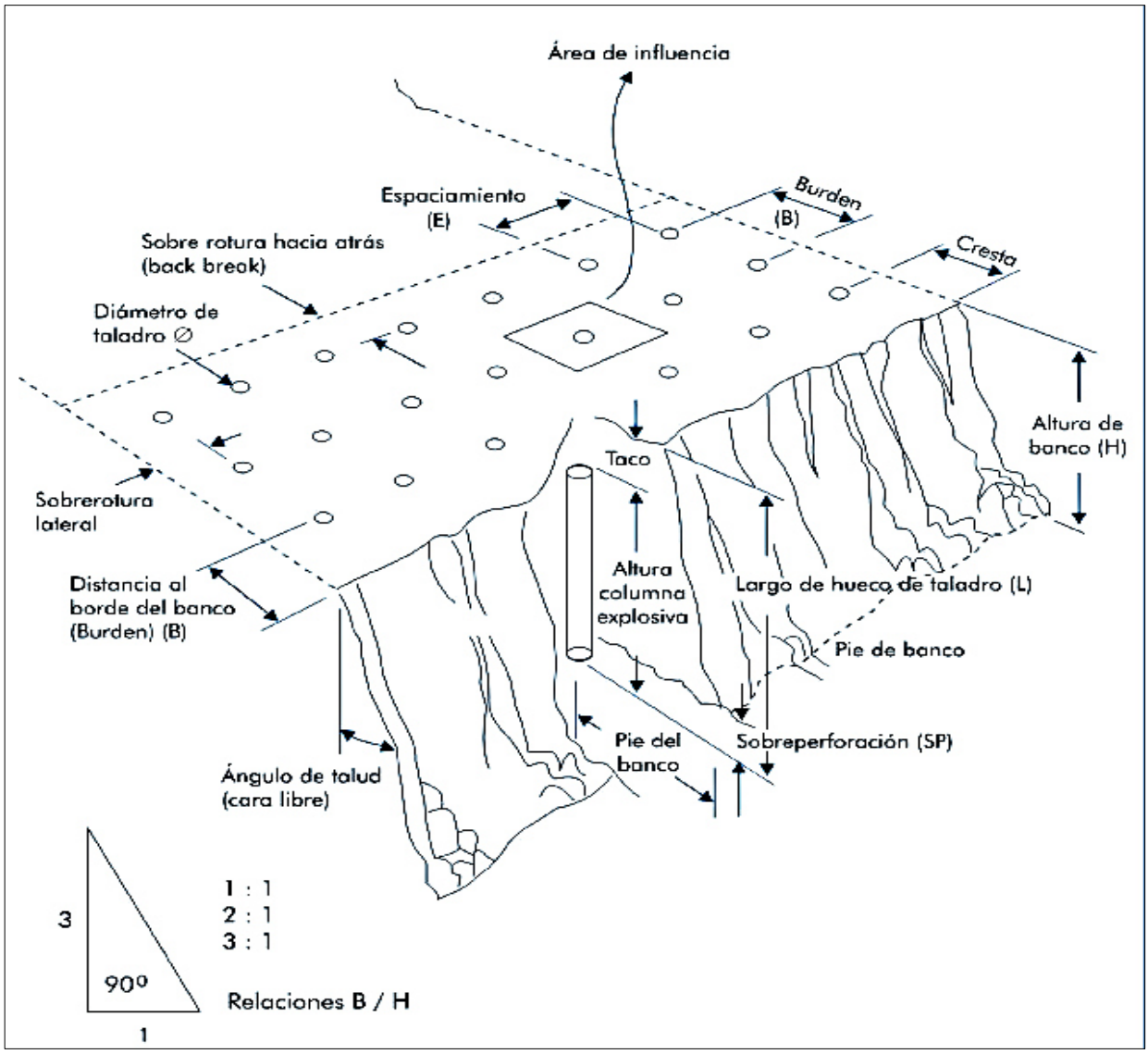
Para los diseños de proyectos de voladura se toman en consideración parámetros y características de los diseños de carga explosiva, perforación y los diseños de secuencia de salida de los taladros, estos parámetros y características han sido evaluados e identificados en el transcurso de la explotación de la mina, a continuación, se detallan.

2.4.1 Parámetros de perforación

Los parámetros que se usaron en la presente investigación se basan estrictamente en la zona de mineral con rocas principales como la andesita intrusiva (IA), los parámetros son: *burden* (B), taco o *steeming*, sobreperforación, y otros, como se visualiza en la Figura 11.

Figura 11

Parámetros de perforación.



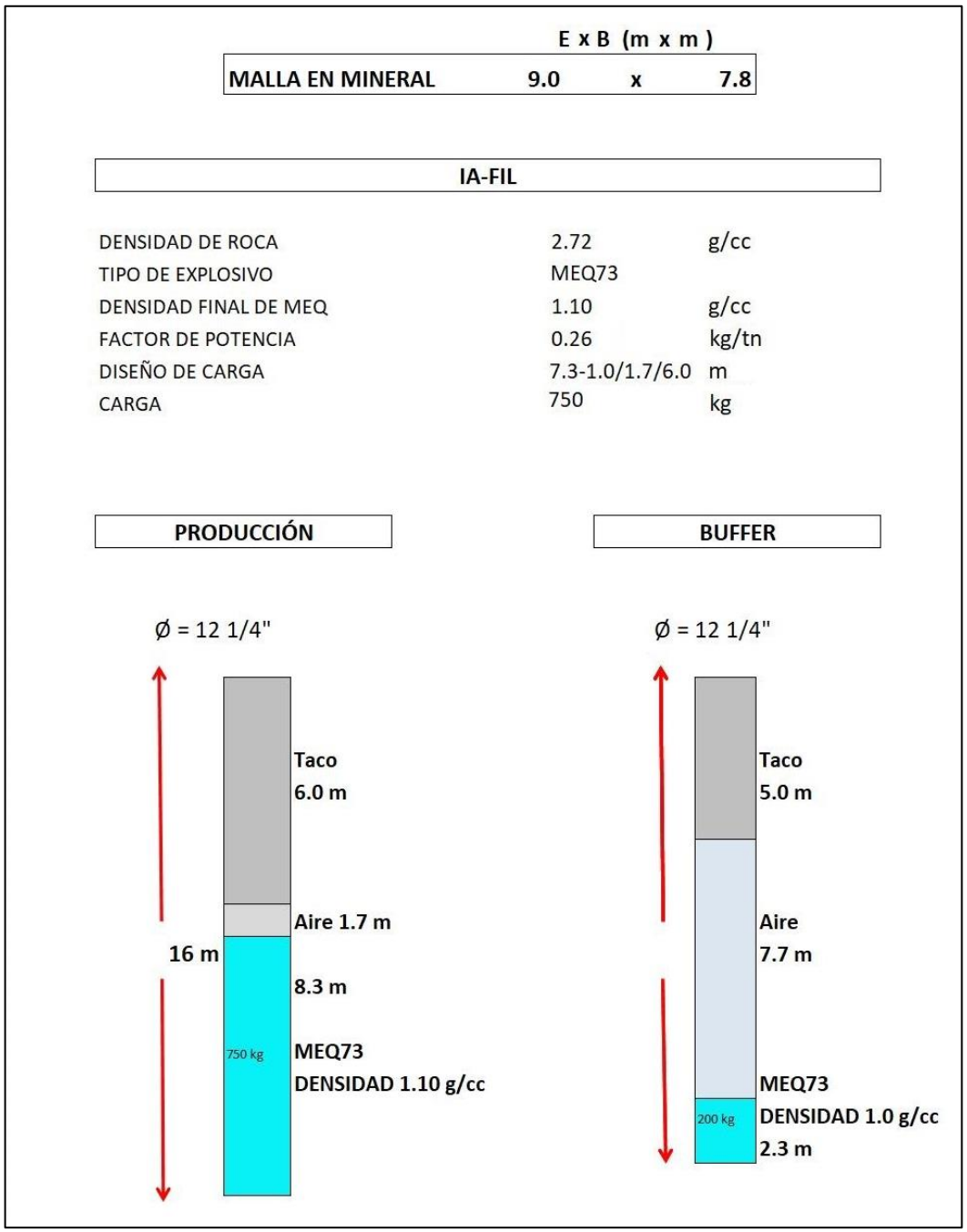
Nota. Tomado del Manual de Voladura EXSA (2009, p. 176)

2.4.2 Diseño de carga explosiva en la unidad minera Cuajone

La Figura 12 y Figura 13 detallan los parámetros del diseño de la carga explosiva: tipo de explosivo, densidad final de la mezcla explosiva, factor de potencia, cantidad de carga y otros.

Figura 12

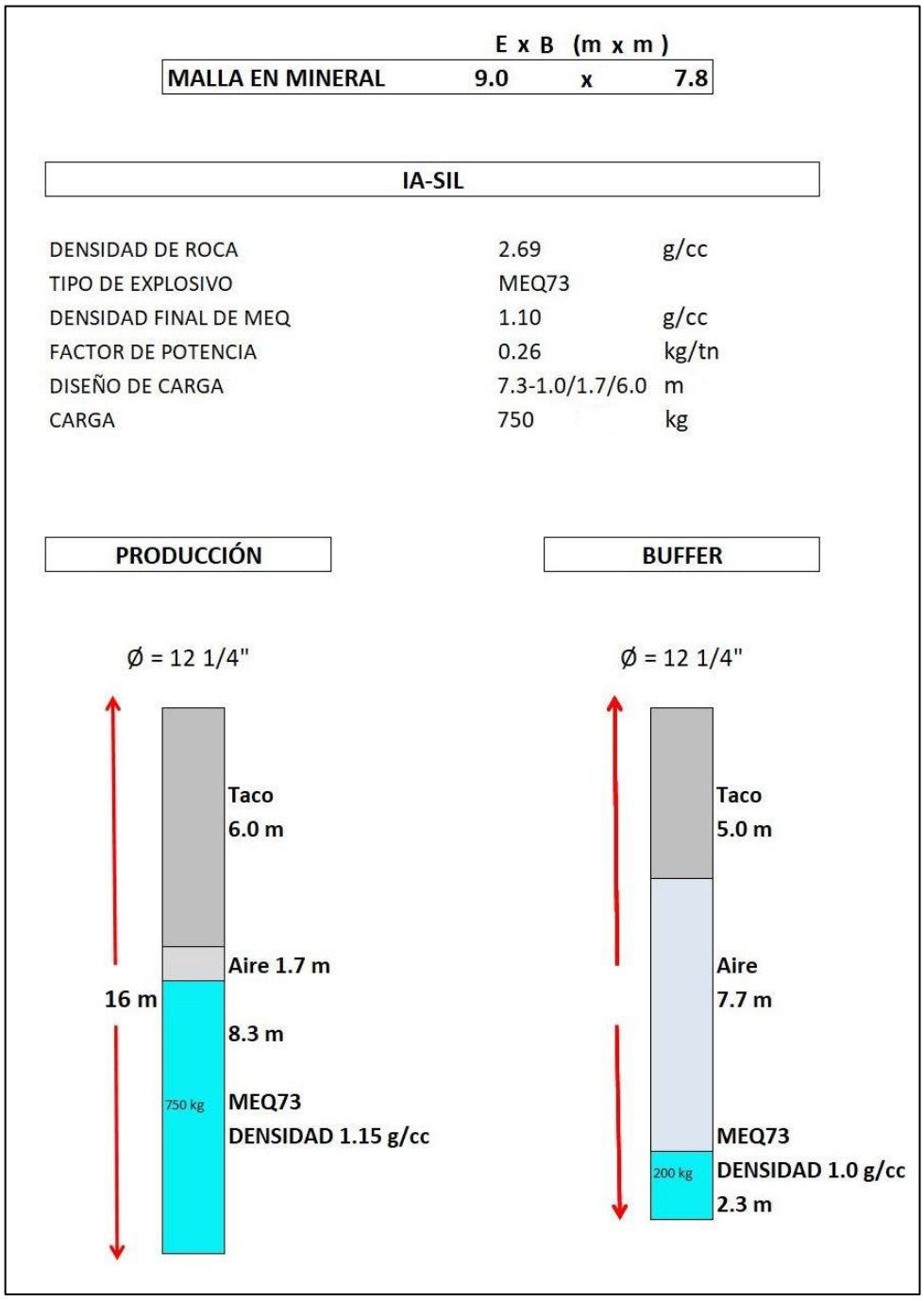
Diseño de carga explosiva en Cuajone para rocas mineralizadas IA-FIL.



Nota. Tomado de Asistencia Técnica EXSA Cuajone.

Figura 13

Diseño de carga explosiva en Cuajone para rocas mineralizadas IA-SIL



Nota. Tomado de Asistencia técnica EXSA Cuajone.

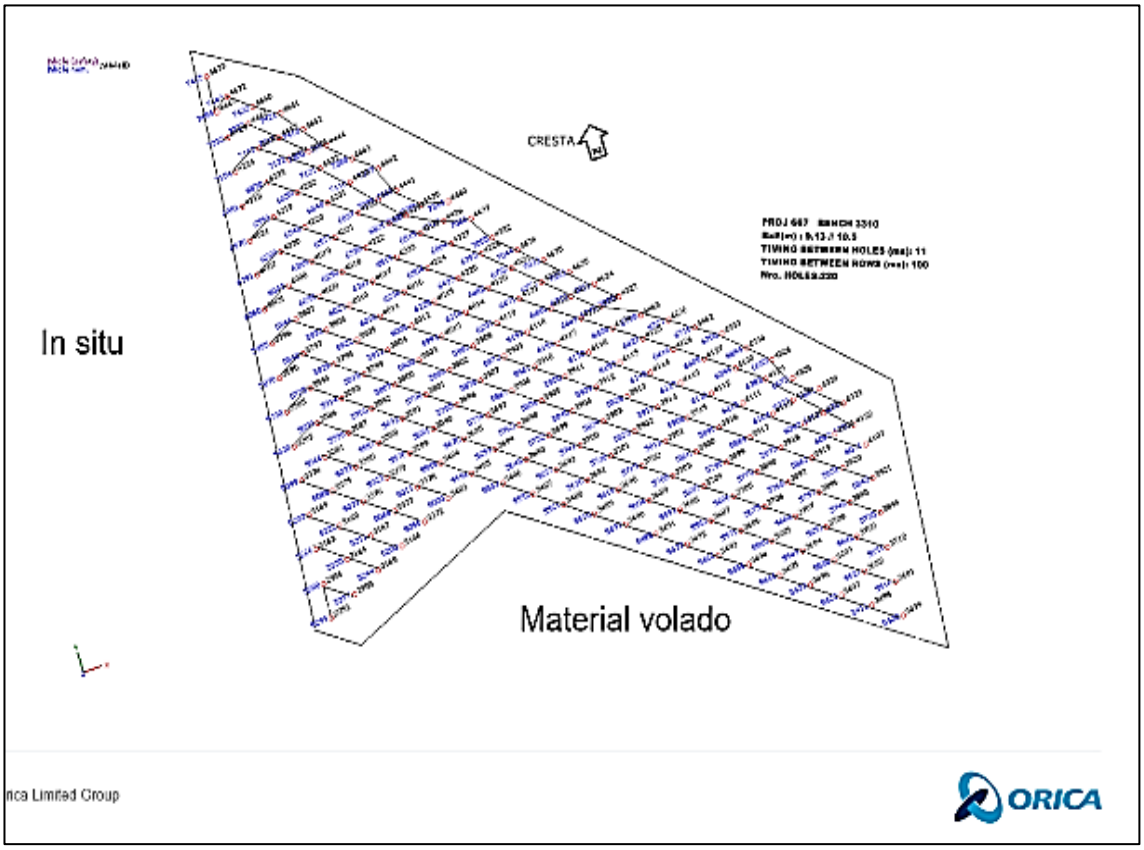
2.4.3 Diseño de secuencia de voladura

Los diseños de secuencia de voladura utilizados en la unidad minera de Cuajone los cuales son determinados en consenso entre el área de geotecnia y el

área de perforación y disparo. Se utilizaron diseños de secuencia clásicos como echelon, diseño en V y se utiliza en *burden* de diseño, los retardos utilizados son 10 ms, 17 ms y otros. Los diseños de secuencia se realizan a través del software de diseño de Orica denominado ShotPlus como se visualiza en la Figura 14.

Figura 14

Diseño de secuencia de la unidad minera Cuajone, tiempo 10 ms



Nota. Tomado de Orica Ebs Cuajone (2021), diseñado con el programa Shotplus.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

Los principales métodos que se utilizaron en la presente investigación fueron: Análisis, síntesis, relacional y estadístico. Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicativa, en razón que se buscó conocer la optimización de la fragmentación obtenida en relación a la exactitud y precisión de los tiempos de la iniciación electrónica y las propiedades geomecánicas del macizo rocoso.

El tipo de investigación es aplicativa tecnológica porque parte de una premisa donde se derivan objetivos e interrogantes de investigación, se verifican conceptos y se establece una posición aplicativa. De las interrogantes se formulan hipótesis y se precisan variables, se planea un proyecto para corroborarlas (diseño), se evalúan las variables en un determinado ambiente y se obtienen una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis.

El diseño de investigación es no experimental y de tipo relacional transversal porque las mediciones de resultados se dieron en un solo tiempo, estos diseños describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. A veces, únicamente en términos relacionales, otras en función de la relación causa-efecto (causales). (Hernández S, 2014, p. 265). Considerando que se comparó los resultados de la fragmentación y los tiempos de iniciación la presente investigación es de nivel relacional.

3.2 Ámbito temporal y espacial

La investigación realizada “Optimización de la Fragmentación del Mineral Relacionado a la Exactitud y Precisión del Iniciador Electrónico y Propiedades Geomecánicas en Mina Cuajone”, se desarrolló en la unidad minera Cuajone, propiedad de Southern Peru, en el año 2022.

3.3 Población y muestra

La población de la investigación está conformada por las voladuras que se realizan en el proceso de fragmentar roca utilizando explosivos.

La muestra de la población comprende, 40 voladuras diferenciados por el tiempo de retardo entre taladros 10 ms y 17 ms realizados en la unidad minera Cuajone.

3.4 Instrumentos

Para obtener logros satisfactorios en la investigación, se empleó los siguientes elementos e instrumentos de medición debidamente calibrados y certificados.

- Iniciadores electrónicos I-KON III Extreme de la marca Orica con 0.005 % de dispersión.
- Sistemas de iniciación electrónica Blaster y Logger IKON III.
- Programa Split-Online, para análisis de fragmentación en línea.
- Cámara de alta velocidad para capturar el tiempo de retardo para comparar iniciadores electrónicos con no electrónicos.

Figura 15

Características del iniciador electrónico I-KON III Extreme de Orica



Extreme

PRODUCTO	Resistencia a la tracción (N)	Resistencia al impacto (cm)	Resistencia al corte (cm)	Resistencia a la abrasión (cycles)
IKON III Extreme	562	93	38	396

Nota. Tomado de Orica Mining Services (2021). El iniciador I-KON III Extreme es el iniciador de Orica con mayores valores a la resistencia al corte, tracción, impacto y abrasión.

3.5 Procedimientos

En el desarrollo de la investigación se siguió un conjunto de pasos secuenciales y ordenados para finalmente arribar a las conclusiones y recomendaciones. Los procesos o pasos para seguir en la presente investigación cuantitativa fueron:

- Seleccionar el programa estadístico para el análisis de datos.
- Ejecutar el programa.
- Explorar los datos, analizarlos y visualizarlos por variable de estudio.
- Se evalúa la confiabilidad y validez de los instrumentos escogidos.
- Se lleva a cabo análisis estadístico descriptivo para cada variable de estudio.
- Se realizan análisis estadísticos inferenciales respecto a las variables y a las hipótesis planteadas.
- Se realizan análisis adicionales.
- Se preparan los resultados para presentarlos (Hernández S, 2014, p. 231).

3.6 Medición de la dispersión

Para la medición de las dispersiones de los iniciadores no electrónicos y electrónicos de retardo de 10 ms y 17 ms; se realizó la filmación de la malla de voladura 3745-840. Se utilizó la cámara de alta velocidad marca MREL de alta confiabilidad con la que se realizó una grabación representativa a mil cuadros por segundo (1000 FPS), por efectos del polvo de voladura se pudo tomar 14 pruebas observables.

3.7 Fragmentación de mineral P80

Para obtener los resultados del objetivo de optimizar la fragmentación del mineral relacionado con las propiedades del macizo rocoso, se realizó la prueba de *Cross-Hole* para obtener la velocidad de onda P del macizo rocoso de la zona de mineral en la roca andesita intrusiva, la velocidad de onda P obtenida es utilizada en el diagrama de Lagrange para obtener el tiempo de retardo óptimo para fragmentar la roca, después de aplicar el tiempo de retardo óptimo en las secuencias

de voladura se realizó la evaluación post voladura. Se utilizó el sistema Split-Online que determina la fragmentación en medida del P80.

3.8 Medición de la fragmentación mediante el sistema Split-Online

La Figura 16 describe el funcionamiento del sistema Split-Online. Este está conformado principalmente por una cámara que se ubica en la pala y realiza el análisis granulométrico mediante el procesamiento digital de imágenes.

Figura 16

Sistema Split-Online



Nota. Tomado de Machaca (2015), el sistema utiliza una red de cámaras que procesan las imágenes de la roca fragmentada postvoladura y da como resultado los datos granulométricos.

Una vez que las imágenes han sido adquiridas y escaladas dentro del programa Split-Online, el siguiente paso es el de delinear los fragmentos individuales de roca en cada una de las imágenes como se muestra en la Figura 17 y 18, el programa Split-Online automáticamente delinea los fragmentos utilizando algoritmos basados en los siguientes 4 pasos: filtro gradiente, análisis de convexidad de umbrales y de sombras, algoritmo Split, y algoritmo Watershed, el

resultado de la delineación automática es una imagen binaria que contiene partículas blancas y un fondo negro.

Figura 17

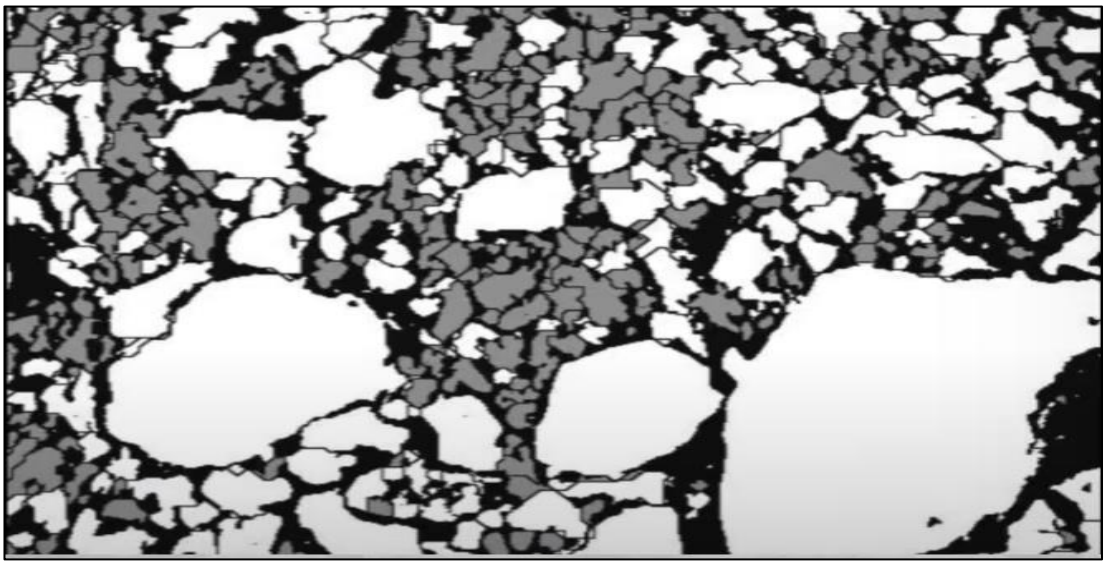
Fotografía de los fragmentos tomados por las cámaras del sistema Split-Online.



Nota. Imagen tomada de la presentación del sistema de análisis de fragmentación de roca Split Online de la compañía Split Engineering (2021).

Figura 18

Delineación de figuras para determinar la fragmentación en el sistema Split-Online.



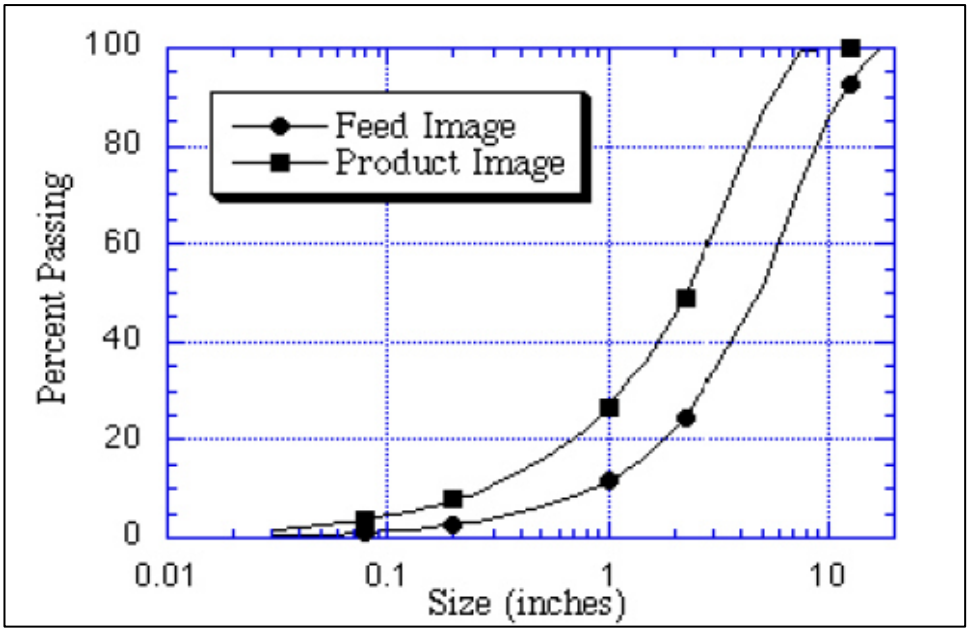
Nota. Imagen tomada de la presentación del sistema de análisis de fragmentación de roca Split Online de la compañía Split Engineering (2021)

Para realizar la medición granulométrica, los fragmentos de las rocas tienen que ser delineados como muestra la Figura 18, los algoritmos realizan la interpretación de las imágenes delineadas, para un mejor ajuste es recomendable que el sistema de cámaras capture la mayor cantidad de fotografías posibles, para aumentar la precisión en los resultados.

Una vez que los fragmentos individuales en las imágenes han sido delineados, el siguiente paso es el de utilizar las características de dichos fragmentos para calcular la curva de tamaños, la Figura 19 detalla el gráfico de la curva granulométrica de los fragmentos medidos en porcentaje de pasantes y pulgadas.

Figura 19

Curva granulométrica determinada por el sistema Split-Online.



Nota. Tomado de Machaca (2015). El programa Split-Online procesa las imágenes digitalmente y es capaz de brindar un gráfico de la curva granulométrica.

3.9 Prueba Cross-Hole

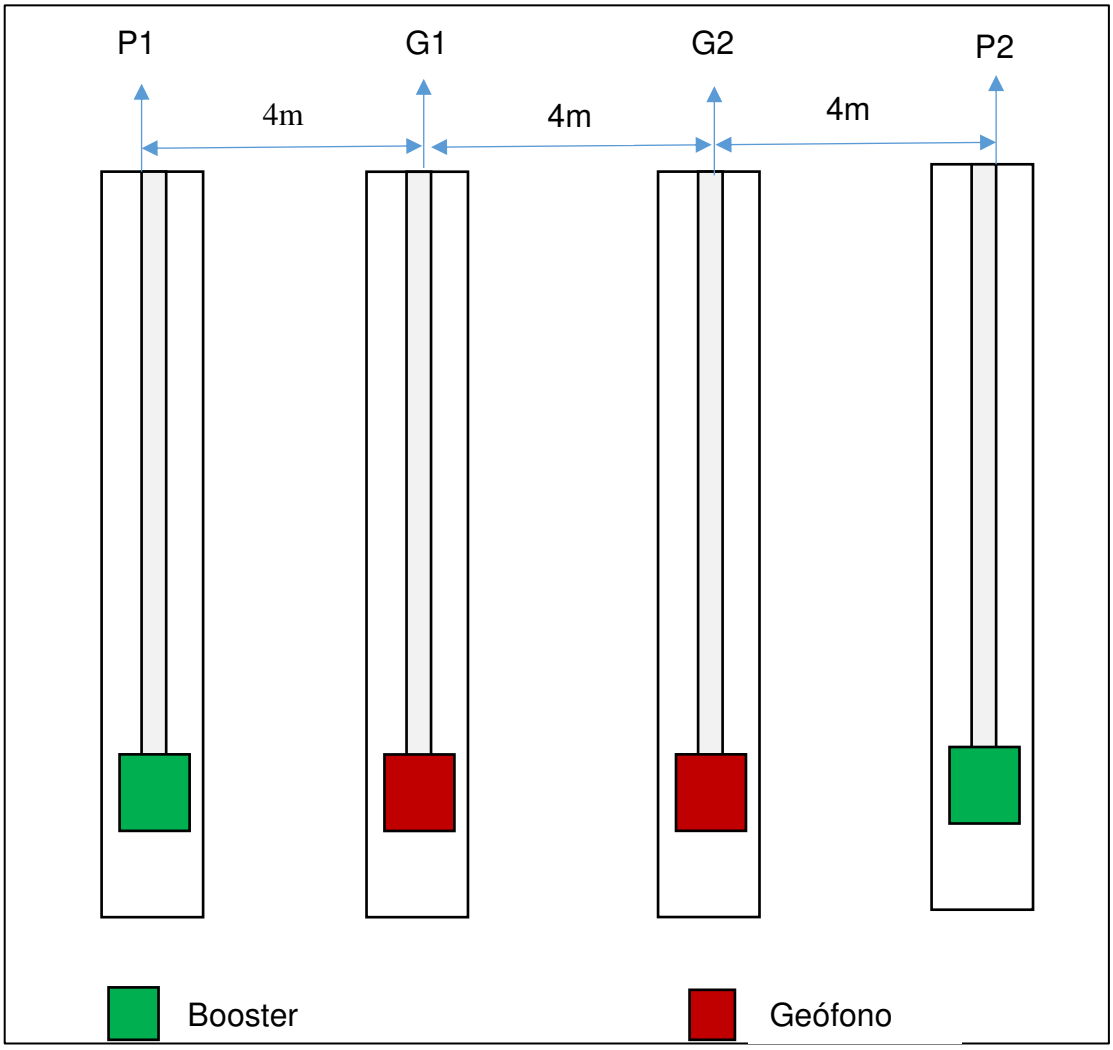
El ensayo de *Cross-Hole* es una técnica ampliamente utilizada en exploración geofísica que permite obtener información del subsuelo controlando los tiempos de llegada de ondas elásticas (pulsos), generadas artificialmente mediante explosiones, impactos mecánicos o vibraciones. El retorno de estas ondas elásticas después de reflejarse en las distintas interfaces se registra en los

transductores instalados estratégicamente mediante configuraciones en el terreno conectados mediante equipos especiales para su almacenamiento y posterior análisis de los registros obtenidos, esta técnica nos permite determinar un valor puntual de la velocidad de compresión (Vp).

Por lo tanto, el objetivo básico de la sísmica de reflexión es obtener información sobre la arquitectura interna del subsuelo, deducir información (propiedades mecánicas acerca del macizo rocoso) en profundidad, especialmente de las distintas capas que lo constituyen, a partir de los tiempos de llegada de las ondas y extraer una imagen que lo represente.

Figura 20

Vista de perfil de los taladros de la prueba Cross-hole.

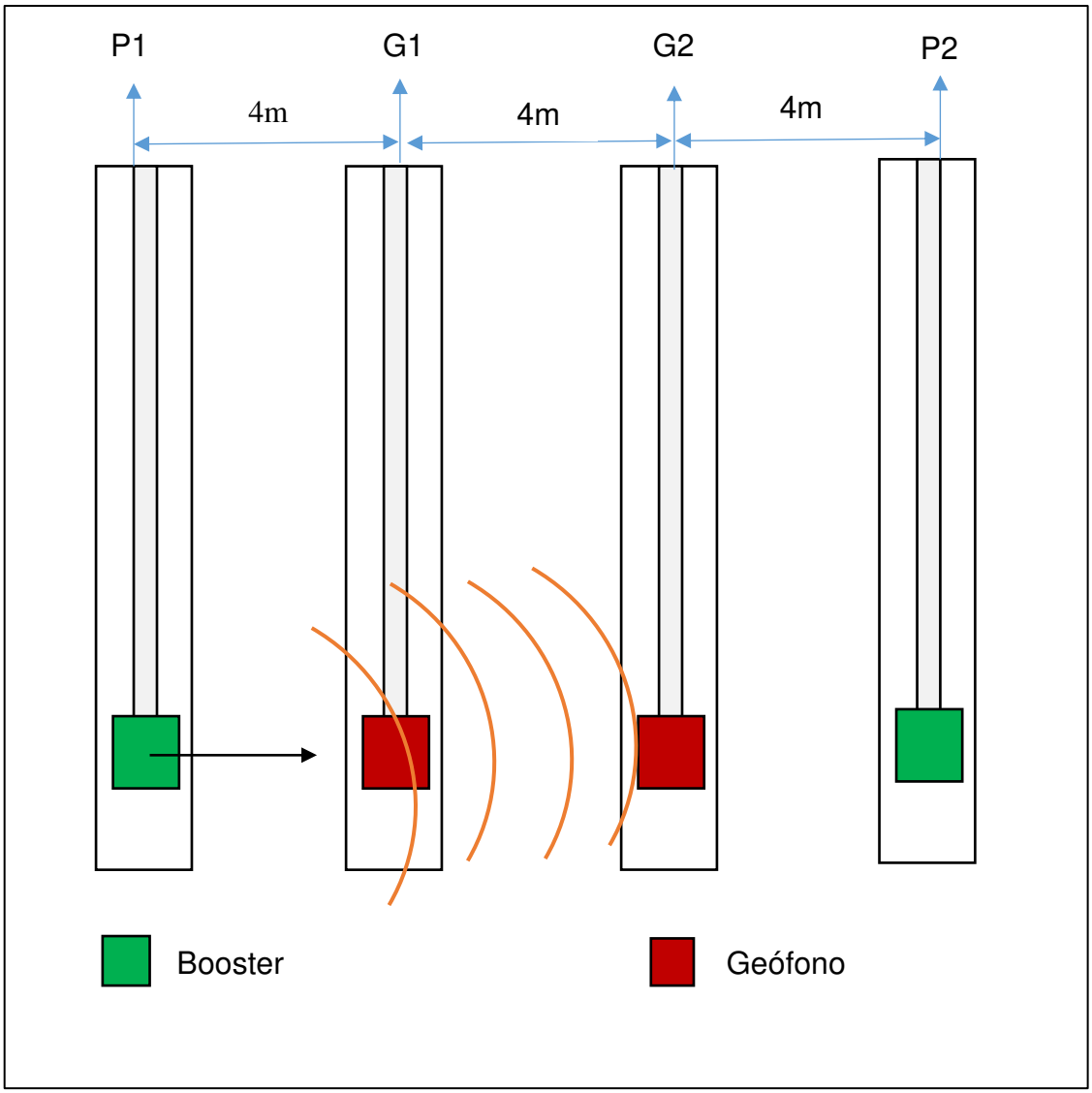


Nota. Tomado de Asistencia Técnica Cuajone

La Figura 20 muestra la distribución de los geófonos, el booster, el espaciamiento y la altura de estos, es fundamental que los taladros se distribuyan en orden, la programación de los retardos tiene que ser precisa para obtener el valor de la onda P, el booster es utilizado como explosivo que provocara las ondas que viajaran a través del macizo rocoso y los geófonos capturan la onda que será registrada con sismógrafos.

Figura 21

Representación y captura de la onda principal P.



Nota. Tomado de Asistencia Técnica Cuajone.

La Figura 21 representa el viaje de las ondas sísmicas y cómo los geófonos capturan la velocidad de onda P. La onda sísmica P viaja a través del macizo rocoso

la cual es detectada por los dos geófonos para registrar los tiempos y calcular la velocidad.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en este proyecto, se definió la realización de una prueba con arreglos de geófonos triaxiales para campo cercano de 2000 mm/s, para el monitoreo de voladuras en la unidad minera Cuajone, fase 6B-2 en litología andesita intrusiva, según se muestra en la Figura 22 los taladros de prueba Cross-Hole están ubicados en la zona de contacto con el proyecto adyacente para inducir un escenario de macizo rocoso confinado e intacto, así como también los arreglos de diseño de salida de los taladros buscaron que salgan sin cara libre para que las ondas sísmicas no sean filtradas y puedan ser captadas en condiciones intactas, posterior a la detonación de los taladros de prueba, se inició la detonación del proyecto primario o de producción.

Figura 22

Vista de planta de la prueba de Cross-hole.



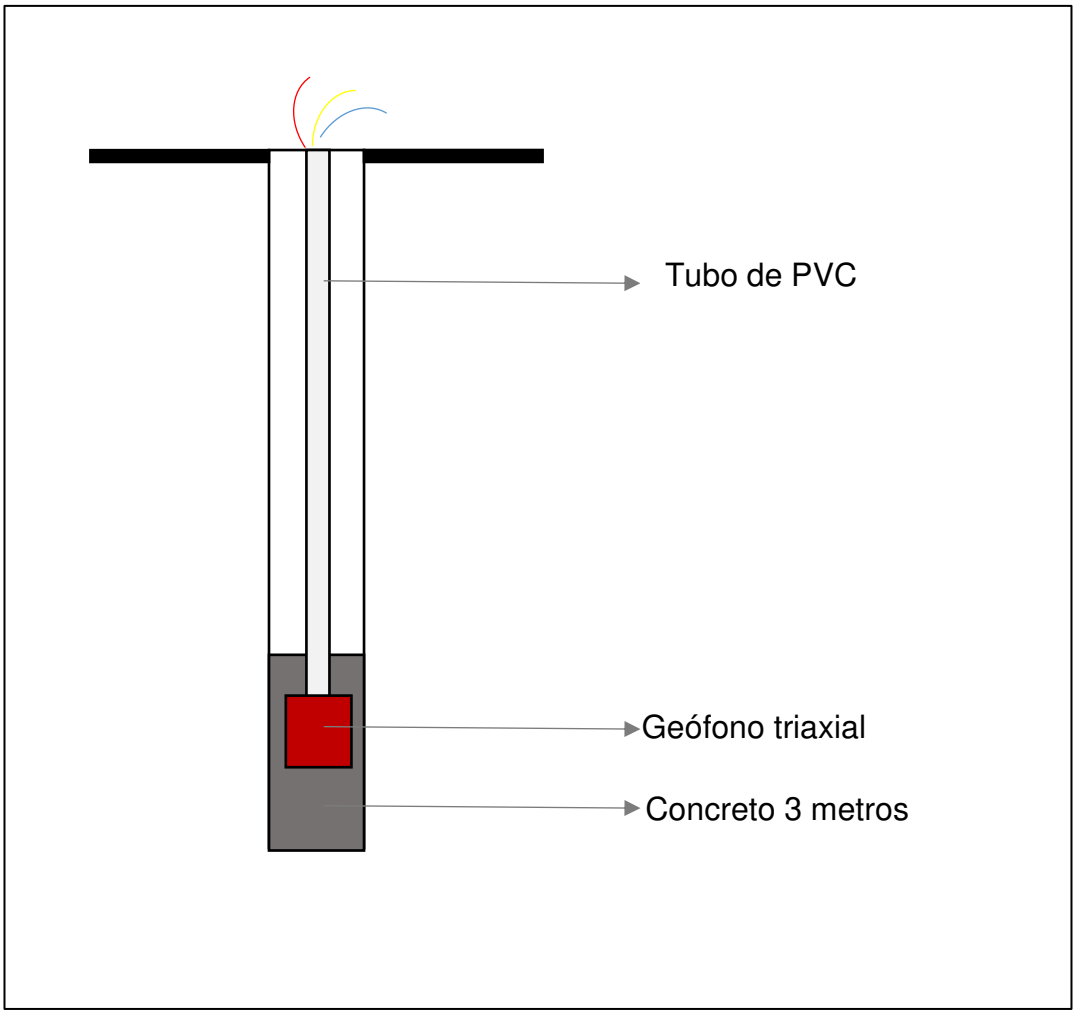
Nota. Imagen tomada de Asistencia Técnica Cuajone.

La Figura 23 detalla la instrumentación que consiste en la instalación de dos geófonos empotrados en cemento, triaxial de 28 Hz. dispuestos linealmente para el primer tendido de taladros de 5 pulgadas, espaciados 4 metros entre sí. La profundidad de los taladros es de 9.5 m donde se genera la fuente explosiva con el

objeto de generar las perturbaciones u ondas que son capturadas posteriormente por los sensores que componen el tendido.

La carga explosiva corresponde a un *booster* de una libra, la cual permitirá captar los pulsos sísmicos para el análisis respectivo.

Figura 23
Diagrama de geófono empotrado.



Nota. Elaboración propia. Representación de la distribución del geófono en los taladros de prueba *Cross-Hole.*

Después de determinar la ubicación de los taladros de prueba en el proyecto de voladura, la preparación de los instrumentos de medición se realizó en campo como se muestra en la Figura 24. Los geófonos se acoplaron a tubos de PVC para proteger los cables de conexión que van conectados a los sismógrafos los cuales interpretan y registran las ondas sísmicas de las detonaciones en la prueba.

Figura 24

Proceso de colocación de geófonos empotrados.



Nota. Imagen tomada de Asistencia técnica Cuajone.

Figura 25

Proceso de colocación de geófonos empotrados.



Nota. Imagen de Asistencia técnica de la unidad minera Cuajone.

Posterior al armado de los geófonos, estos deben instalarse dentro de los taladros de prueba, como se muestra en la Figura 25, los geófonos tienen que encontrarse en condiciones similares al macizo rocoso intacto es por eso que se empotran al taladro con concreto, así se simularon las condiciones de macizo intacto evitando que las ondas se filtren y puedan ser captadas.

Una vez colocados los geófonos estos quedan distribuidos de la siguiente manera, como se observa en la Figura 26, los cables de conexión al geófono triaxial quedan expuestos para empalmar al sismógrafo y poder registrar las ondas sísmicas, después de terminar el empotrado, se tiene que señalizar la zona con cinta, conos y balizas por seguridad.

Figura 26

Proceso de colocación de geófonos empotrados.



Nota. Imagen tomada de Asistencia técnica de la unidad minera Cuajone.

Los equipos que registran las ondas sísmicas son los sismógrafos de marca INSTANTEL, estos equipos han sido calibrados y certificados para poder ser operados por el proveedor, los cables terminales de los geófonos fueron empalmados a los sismógrafos como se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Instrumentos de medición de vibraciones.



Nota. Imagen tomada de Asistencia Técnica Cuajone.

La aplicación de la metodología para determinar la velocidad de onda compresional en la unidad minera Cuajone se desarrolla mediante el ensayo de Cross-Hole en la Fase 6B-2 en litología andesita intrusiva. Esta consistió en el monitoreo de las vibraciones generadas por una voladura en su configuración estándar, los geófonos triaxiales Sensor G1 y Sensor G2, encargados de registrar las vibraciones de los taladros de la prueba de *Cross-Hole*.

3.10 Análisis de datos

Para el contraste de la hipótesis, se realizó la prueba estadística de comparación de muestras independientes, prueba “t” de Student (t-Student) para la comparación de dos muestras independientes. Para realizar esta prueba primero se verificó que las muestras provengan de una distribución normal, para lo cual se utilizó el estadístico W de Shapiro-Wilk con 95% de confianza. Se considera que los datos proceden de una distribución normal, y que el diseño es completamente aleatorio. Para la primera hipótesis específica se utilizó el diseño de acuerdo a la

Tabla 4 y 5.

Tabla 4

Comparación de dos muestras independientes con la prueba t-Student.

Iniciadores no electrónicos	Iniciadores electrónicos
$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$
S_1^2	S_2^2
n_1	n_2

Nota. Donde, $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$= Media, S_1^2, S_2^2= Varianza y n_1, n_2 = Muestra

Para la segunda hipótesis específica se utilizó el diseño de la Tabla 5.

Tabla 5

Comparación de dos muestras independientes con la prueba t-Student.

P80 con retardo de 10 ms	P80 con retardo de 17 ms
$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$
S_1^2	S_2^2
n_1	n_2

Nota. Donde, $\bar{x}_{1,2}$= Media, $S_{1,2}^2$= Varianza y $n_{1,2}$= Muestra.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Exactitud y precisión relacionadas al tipo de iniciador

En los resultados se consideró la información obtenida de las voladuras en la zona de mineral en la unidad minera Cuajone. Se realizó el registro de los datos obtenidos en la filmación de la malla de voladura 3745-840 mediante cámara de alta velocidad marca MREL, el registro de las pruebas se muestra en el Anexo 2. De las grabaciones realizadas se obtuvieron los datos de 14 pruebas observables tanto para iniciadores no electrónicos como para iniciadores electrónicos como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Resultados de las pruebas respecto al retardo por tipo de iniciador en milisegundos.

Prueba	Retardo con iniciadores no electrónicos (ms)	Retardo con iniciadores electrónicos (ms)
1	18.0	17.3
2	14.0	16.7
3	14.0	17.0
4	16.0	17.0
5	18.0	17.3
6	18.0	17.3
7	17.0	17.0
8	16.0	17.0
9	16.0	17.0
10	18.0	16.7
11	15.0	17.0
12	15.0	17.3
13	15.0	17.0
14	15.0	17.0

Nota. Elaborado con los datos de las muestras registradas por la cámara MREL de alta velocidad. Se muestran los datos de 14 pruebas para muestras por cada tipo de iniciador.

El registro de los retardos con cámara de alta velocidad se aplicó a las 14 pruebas en los taladros de producción de la malla 3475-840. El polvo de la voladura

impidió tomar muestras a más taladros, no obstante, se registraron resultados suficientes para iniciadores no electrónicos y para iniciadores electrónicos.

4.1.1 Dispersión de iniciadores electrónicos e iniciadores no electrónicos

La exactitud y precisión de los iniciadores es el valor porcentual entre la diferencia del valor medio y el valor nominal que es el tiempo de retardo de 17 ms para iniciadores no electrónicos y 10 ms para iniciadores electrónicos.

De acuerdo con Zenteno (2018, p. 80) los iniciadores electrónicos aportan mayor precisión de sus tiempos y disminuyen la dispersión, en la presente investigación se obtuvo una dispersión de 1.17% de los iniciadores electrónicos comparado con los 9.28% de los iniciadores no electrónicos.

Tabla 7

Resumen estadístico del tiempo de retardo en milisegundos por tipo de iniciador

	Iniciadores no electrónicos	**Iniciadores electrónicos**
Promedio	16.07	17.04
Varianza	2.23	0.04
Desviación estándar	1.49	0.19
Coeficiente de variación	9.28%	1.17%
Mínimo	14.00	16.70
Máximo	18.00	17.30
Rango	4.00	0.60

Nota. Elaboración propia. Se utilizaron los datos estadísticos de la Tabla 10. El coeficiente de variación para iniciadores no electrónicos es de 9.28% y 1.17% para iniciadores electrónicos.

De acuerdo a la Tabla 7 se puede observar que el promedio de retardo en milisegundos de iniciadores electrónicos tiene menos dispersión (1.17%) comparados con los iniciadores no electrónicos (9.28%). Asimismo, la varianza es superior en los iniciadores no electrónicos con un valor de 2.23 y para iniciadores electrónicos es de 0.04 respectivamente, por lo que es necesario realizar prueba de hipótesis para la muestra y la varianza.

4.1.2 Prueba de normalidad

Para iniciadores no electrónicos. En la Tabla 8 se muestran los resultados de la prueba realizada para determinar si los iniciadores no electrónicos pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Tabla 8
Prueba de normalidad para iniciadores no electrónicos.

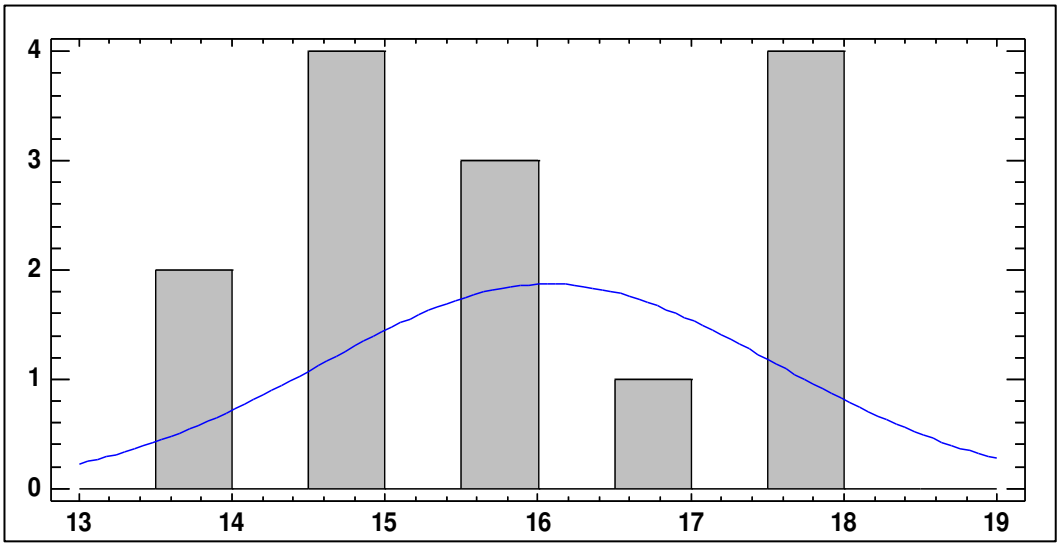
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.877201	0.0527671

Debido a que el valor-P más pequeño de la prueba realizada es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que los valores correspondientes a iniciadores no electrónicos provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Para representar la distribución normal de los iniciadores no electrónicos se realizó el histograma presentado en la Figura 28.

Figura 28

Histograma de prueba de normalidad para iniciadores no electrónicos.



Nota. Elaboración propia. Se utilizaron los datos de la Tabla 6.

Para iniciadores electrónicos. En la Tabla 9 se muestran los resultados de la prueba realizada para determinar si los iniciadores electrónicos pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Tabla 9

Prueba de normalidad para iniciadores electrónicos

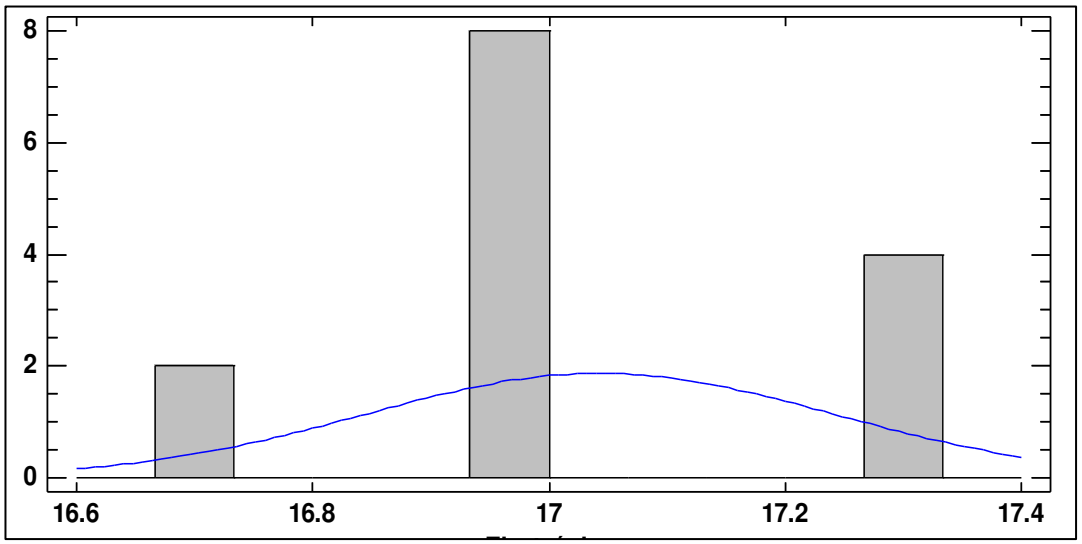
Prueba	**Estadístico**	**Valor-P**
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.801933	0.0527671

Nota. Elaboración propia. Se utilizaron los datos estadísticos de la Tabla 6.

Debido a que el valor-P más pequeño de la prueba realizada es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que los valores de los iniciadores no electrónicos provienen de una distribución normal con 95% de confianza graficado en la Figura 29.

Figura 29

Histograma de prueba de normalidad para iniciadores electrónicos.



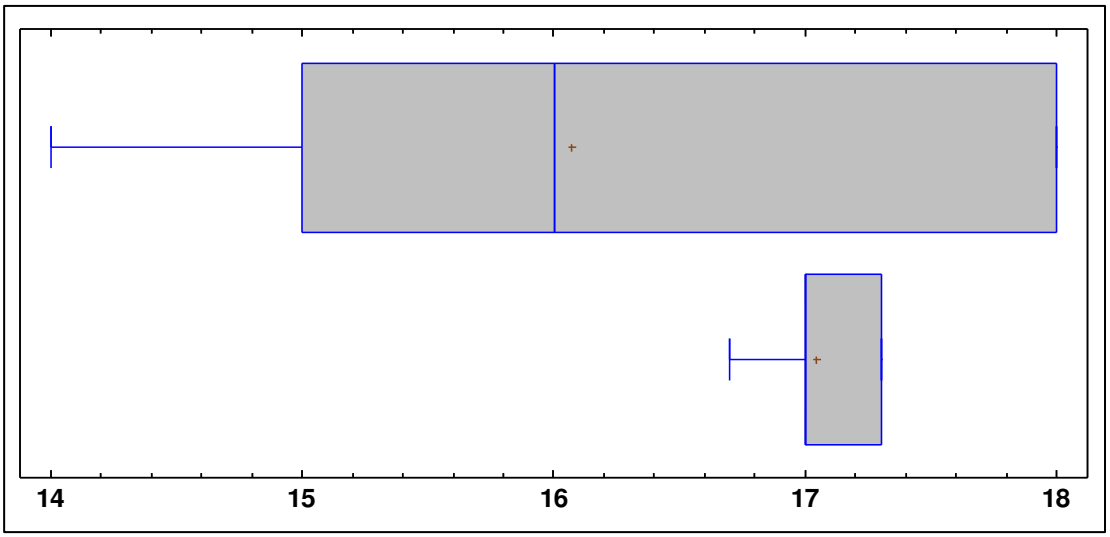
Nota. Elaboración propia. Se utilizaron los datos estadísticos de la Tabla 6.

4.1.3 Comparación de muestras

En este procedimiento se comparan dos muestras independientes calculando las estadísticas para cada muestra, y se ejecutan varias pruebas para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre cada una.

Figura 30

Caja y bigotes presentados en iniciadores no electrónicos e iniciadores electrónicos.



Nota*. Elaboración propia. Se utilizaron los datos estadísticos de la Tabla 6.*

4.1.4 Comparación de medias

A un nivel de confianza del 95.0% para la media de iniciadores no electrónicos es de 16.0714 +/- 0.861304 e iniciadores electrónicos es de 17.0429 +/- 0.114841. A un nivel de confianza del 95.0% el intervalo de confianza para la diferencia de medias es de -0.971429 +/- 0.826759.

Prueba t para comparar medias

H_0: $u_1 = u_2$; H_1: $u_1 \neq u_2$

El valor t es igual a -2.41522 y el valor-P es igual a 0.0230557. La diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -1.79819 hasta -0.14467, y en dicho intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de ambas muestras, con un nivel de confianza del 95.0%. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se rechaza la H_0.

4.1.5 Prueba F para comparar varianzas

H_0: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

H_1: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

La Tabla 10 muestra el análisis estadístico para la prueba F para iniciadores electrónicos y no electrónicos.

Tabla 10

Prueba f para comparación de varianza

	Iniciadores no electrónicos	**Iniciadores electrónicos**
Media	16.0714286	17.0428571
Varianza	2.22527473	0.03956044
Observaciones	14	14
Grados de libertad	13	13
F	56.25	
P(F<=f) una cola	3.0692E-09	
Valor crítico para F (una cola)	2.57692708	

Nota. Elaboración propia. Se utilizaron los datos estadísticos de la Tabla 6.

Este procedimiento compara dos varianzas independientes calculando las estadísticas para cada muestra, con un nivel de confianza del 95.0%. Puesto que F es mayor que el valor crítico para F se rechaza la H_0.

Se concluye la validez de la primera hipótesis específica porque se demuestra que los iniciadores electrónicos son más exactos y precisos que los iniciadores no electrónicos con una varianza de 2.23 y 0.04 respectivamente.

También se comprueba el coeficiente de variación 9.28% frente a 1.17% eso quiere decir que por retardo de 100 ms el iniciador no electrónico tiene una variación de ± 9.28 milisegundos, sin embargo, en el caso de los iniciadores electrónicos por cada 100 milisegundos existe una variación de ± 1.17 ms.

4.2 Tiempo de retardo y fragmentación de mineral P80

4.2.1 Determinación del tiempo de retardo

Para el cálculo del tiempo de retardo en la prueba se utilizó la técnica del cable cortado a fin de generar el gatilleo respectivo para la iniciación de las mediciones por parte de los sismógrafos en el tiempo cero, de esta manera se pudo obtener valores de velocidad de onda P en cada detonación de los taladros de prueba de acuerdo a la Tabla 11.

Tabla 11
Resultados de la onda principal P.

Geófonos	Distancia (m)	Longitud de pozo (m)	Tiempo de variación (s)	Velocidad de onda P m/s	Promedio
Geófono 1	3.92	9.5	0.00150	2613.33	2459.61
Geófono 2	3.92	9.5	0.00170	2305.88	

Nota. Elaboración propia. Los resultados fueron interpretados por Asistencia Técnica Cuajone.

4.2.2 Diagrama de Lagrange para obtener el tiempo de retardo óptimo para la fragmentación

Se analizó la velocidad de propagación de onda P en la zona de monitoreo de acuerdo con la información proveniente de los geófonos, obtenida con el método de *Cross-Hole* bajo la configuración del tendido indicado anteriormente, con el objetivo de conseguir la medición de Ondas Compresionales o Vp de la zona de caracterización.

Una vez obtenida la velocidad de onda P se procede a calcular el tiempo de retardo para optimizar la fragmentación, se utiliza la metodología de LaGrange

porque es el que tiene mejor sustento técnico, en base a estudios de interacción de ondas, mientras que la metodología de Frank Chiappeta es empírica.

$$\text{Tiempo de retardo en ms} = \left(\frac{S}{V_p}\right) * 2500 \tag{3}$$

Donde:

S: Espaciamiento de malla en metros

V_p: Velocidad de onda principal en metros/segundos

El retardo óptimo calculado fue de 9.15 ms, los retardos de los iniciadores electrónicos IKON-III tienen la capacidad de ser programados desde 1 ms hasta los 30000 ms, el retardo óptimo elegido es de 10 ms como se muestra en la Tabla 8, con el cual se procedió a diseñar las secuencias de las voladuras en la zona de mineral.

Tabla 12

Cálculo del tiempo de retardo óptimo en el diagrama de Lagrange para el macizo rocoso con matriz de andesita intrusiva.

Tipo de roca	Velocidad de onda P -macizo rocoso (m/s)	Espaciamiento (m)	Tiempo de retardo calculado (ms)	Tiempo de retardo elegido (ms)
Andesita intrusiva	2459.61	9.00	9.15	10

Nota. Elaboración propia mediante la metodología de Lagrange.

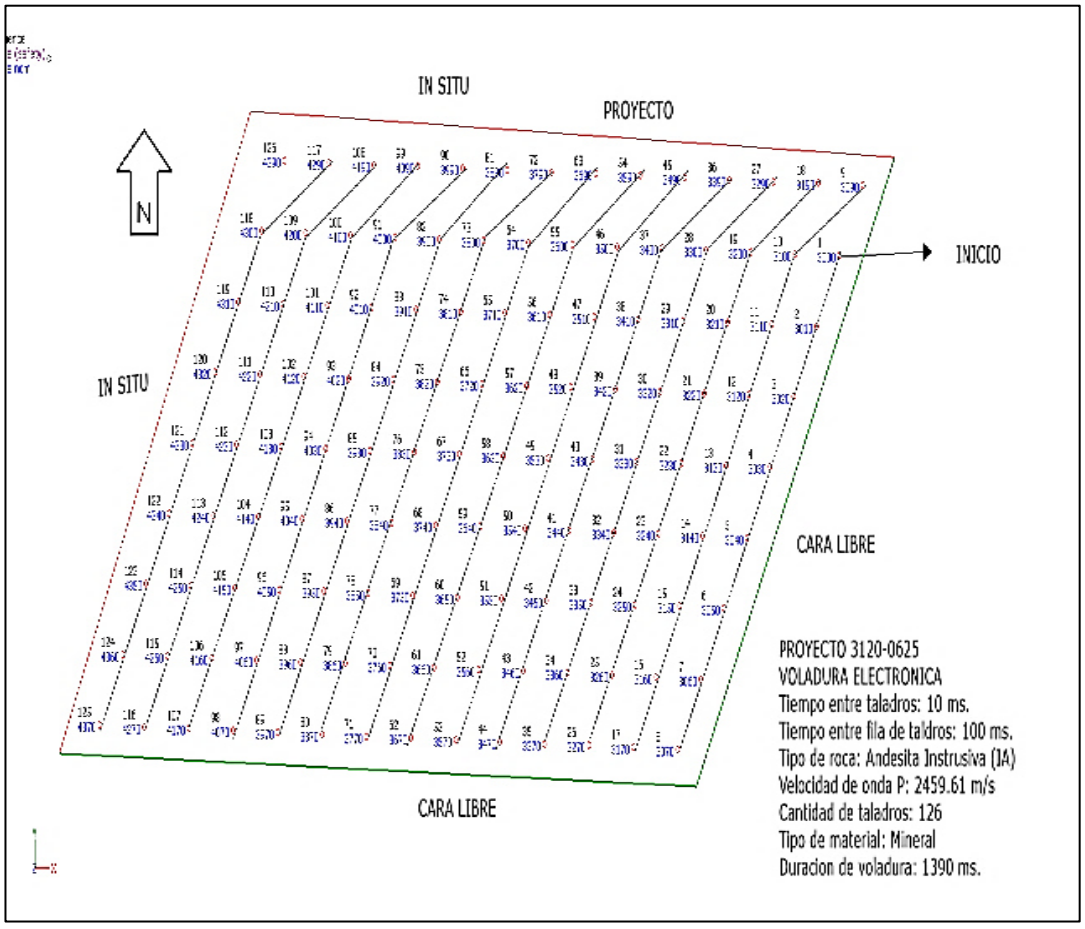
4.2.3 Diseño de secuencias de voladura con tiempo de retardo de 10 ms

Para realizar los diseños de secuencia se utilizó el programa SHOTPlus de Orica, los diseños se modelaron para los proyectos de fase mineral utilizando el tiempo de retardo de 10 ms de acuerdo a la Figura 31, los diseños de secuencia de

voladura son evaluados con el departamento de Geotecnia, tratando de minimizar el daño de los taludes y optimizar la fragmentación en la zona de mineral.

Figura 31

Diseño de secuencia de voladura electrónica.



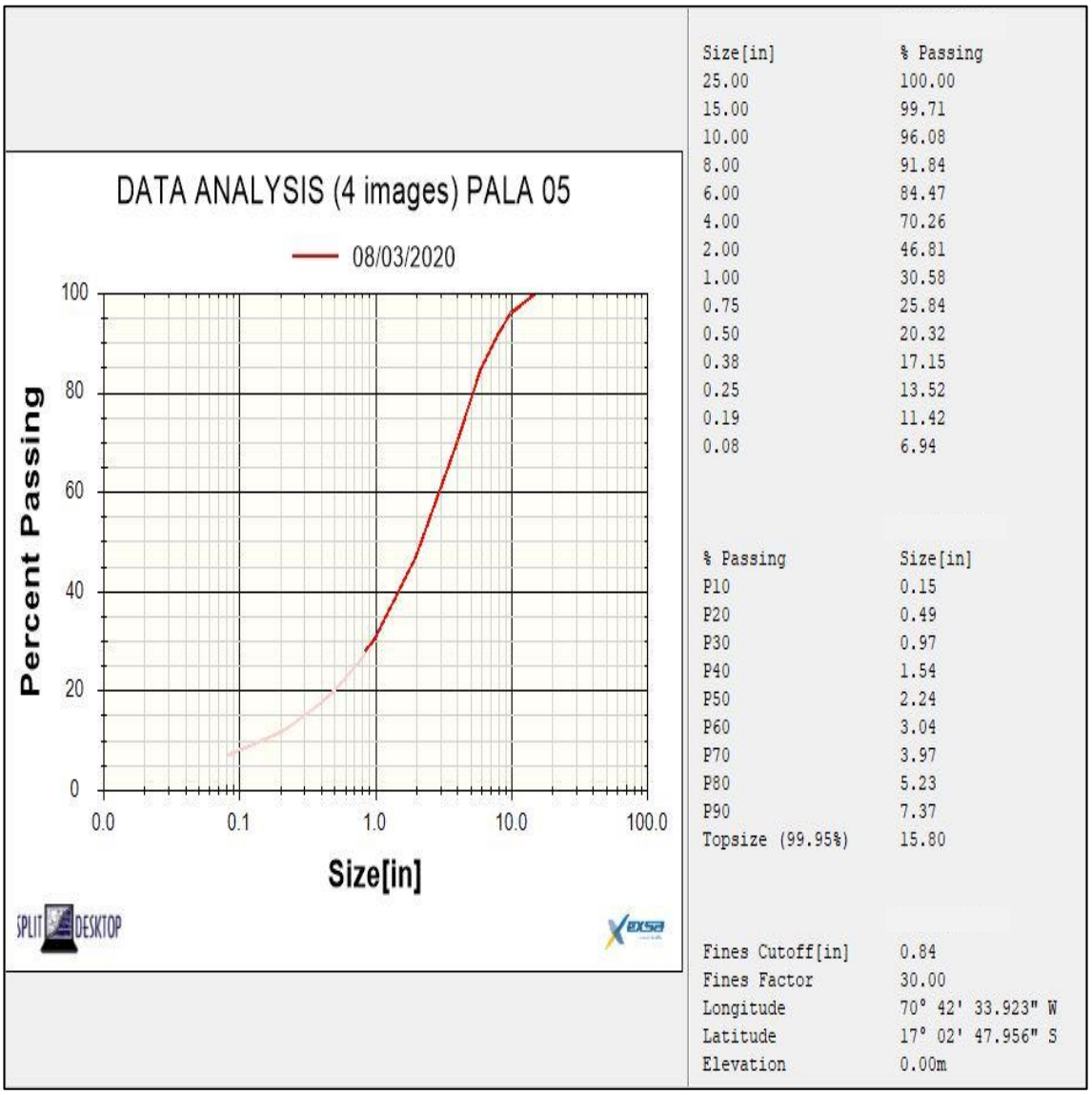
Nota. Diseño de secuencia de voladura electrónica elaborado con el programa de Orica SHOTPlus.

Posteriormente a las voladuras se hizo un análisis de fragmentación mediante el sistema Split-Online que calculó los valores de P80 en tiempo real, se tomaron los datos de 40 voladuras utilizando el tiempo de retardo de 10 ms y 40 voladuras utilizando el tiempo de retardo de 17 ms.

En la Figura 32 se detalla el análisis de datos en la curva granulométrica de la Pala 05 con un P80 de 5.23 pulgadas.

Figura 32

Obtención de los resultados de P80 con Split-Online en la unidad minera Cuajone



Size[in]	% Passing
25.00	100.00
15.00	99.71
10.00	96.08
8.00	91.84
6.00	84.47
4.00	70.26
2.00	46.81
1.00	30.58
0.75	25.84
0.50	20.32
0.38	17.15
0.25	13.52
0.19	11.42
0.08	6.94

% Passing	Size[in]
P10	0.15
P20	0.49
P30	0.97
P40	1.54
P50	2.24
P60	3.04
P70	3.97
P80	5.23
P90	7.37
Topsize (99.95%)	15.80

Fines Cutoff[in]	0.84
Fines Factor	30.00
Longitude	70° 42' 33.923" W
Latitude	17° 02' 47.956" S
Elevation	0.00m

Nota. Curva granulométrica obtenida del sistema Split-Online, esta curva determina que el P80 es de 5.23 pulgadas.

4.2.4 Resultados de la fragmentación resultante relacionado al tiempo de retardo de los iniciadores

Para realizar el proyecto de investigación y obtener los resultados planteados en los objetivos se realizó el análisis de 40 muestras obtenidas aleatoriamente de la Pala 05, la cual estuvo minando mineral y así se obtuvieron los siguientes resultados, de acuerdo a la Tabla 13 donde se muestra los resultados de la fragmentación utilizando el tiempo de retardo de 10 ms.

Tabla 13

Fragmentación mineral pasantes al 80 % a tiempo de retardo entre taladros de 10 ms

Pasantes al 80% (P80)							
Repetición N°	Tamaño (Pulgadas)	Repetición N°	Tamaño (Pulgadas)	Repetición N°	Tamaño (Pulgadas)	Repetición N°	Tamaño (Pulgadas)
1	7	11	6.8	21	6.9	31	5.4
2	6.52	12	8	22	5.6	32	6.4
3	7.1	13	6.4	23	6.5	33	5.7
4	7.1	14	6.2	24	6.8	34	5.1
5	6.4	15	6	25	6	35	6.8
6	7.1	16	7.1	26	5.3	36	5.1
7	5.8	17	7.1	27	6.2	37	5.7
8	6.5	18	7.2	28	6.5	38	6.4
9	6.5	19	6.7	29	5.8	39	6.3
10	6.6	20	6.6	30	5.8	40	7

Nota. Elaboración propia. se muestran los datos tomados de la fragmentación de mineral pasante al 80 % utilizando el tiempo de retardo entre taladros de 10 ms y las 40 repeticiones.

Para realizar la comparación de los resultados de la fragmentación utilizando los retardos de 17 ms y 10 ms, se realizó el análisis de 40 muestras obtenidas aleatoriamente de la Pala 05, la cual estuvo minando mineral, así se obtuvieron los siguientes resultados.

Después de realizar las 40 repeticiones se tomó la decisión de cambiar el tiempo de retardo debido a que el análisis geotécnico para el retardo de 10 ms demostró que causó daño en los taludes a campo lejano, por lo cual se realizó las pruebas de ondas elementales las cuales calculan retardos que por el contrario de optimizar la fragmentación, optimizan el pico de vibración generado por la voladura que causan inestabilidad de taludes, por lo cual se obtuvo un tiempo de retardo de 23 ms, el cual no es óptimo para obtener la fragmentación necesaria.

En la Tabla 14, se muestran los resultados de fragmentación utilizando el tiempo de retardo de 17 ms.

Tabla 14

Fragmentación mineral pasantes al 80% a Tiempo de retardo entre taladros de 17 ms

Pasantes al 80% (P80)							
Repetición N°	Tamaño (Pulgadas)	Repetición N°	Tamaño (Pulgadas)	Repetición N°	Tamaño (Pulgadas)	Repetición N°	Tamaño (Pulgadas)
1	7.6	11	7.5	21	7	31	7.3
2	7.6	12	7.22	22	7	32	7.16
3	7.2	13	7.15	23	6.9	33	7.6
4	6.5	14	7.09	24	6.9	34	7.6
5	7.8	15	8.02	25	7	35	7.42
6	6.6	16	7.4	26	7.48	36	7.3
7	6.4	17	7.1	27	7.34	37	7.08
8	7	18	7.5	28	7.56	38	7
9	7.3	19	7.1	29	7.39	39	7.2
10	7.4	20	7	30	7.47	40	7.4

Nota. Elaboración propia, se muestran los datos tomados de la fragmentación de mineral pasante al 80 % utilizando el tiempo de retardo entre taladros de 17 ms y las 40 repeticiones.

Finalmente se decidió utilizar un tiempo de retardo intermedio de 17 ms los cuales se analizan y comparan con los resultados de los tiempos de retardo de 10 ms en la Tabla 15.

Tabla 15

Resumen estadístico por tipo de iniciador

	Pasantes al 80% (P80)	
	A 10 ms	**A 17 ms**
Promedio	6.40	7.24
Varianza	0.41	0.11
Desviación estándar	0.64	0.33
Coeficiente de variación	10.01%	4.58%
Mínimo	5.10	6.40
Máximo	8.00	8.02
Rango	2.90	1.62

Nota. Elaborado con los datos estadísticos de la Tabla 13 y la Tabla 14.

En la Tabla 15 se puede observar que el promedio de P80 a tiempo de iniciación en 10 ms es inferior a tiempo de iniciación en 17 ms, y la varianza es superior a tiempo de iniciación en 10 ms con un valor de 0.41 y para tiempo de iniciación en 17 ms es de 0.11 respectivamente, por lo que es necesario realizar prueba de hipótesis para la muestra y su varianza.

4.2.5 Prueba de normalidad

P80 para retardos de iniciación en 10 milisegundos (ms). En la Tabla 16 se muestran los resultados de la prueba realizada para determinar si los valores P80 para tiempo de iniciación en 10 ms pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Tabla 16

Prueba de Normalidad de P80 para tiempo de iniciación en 10 ms

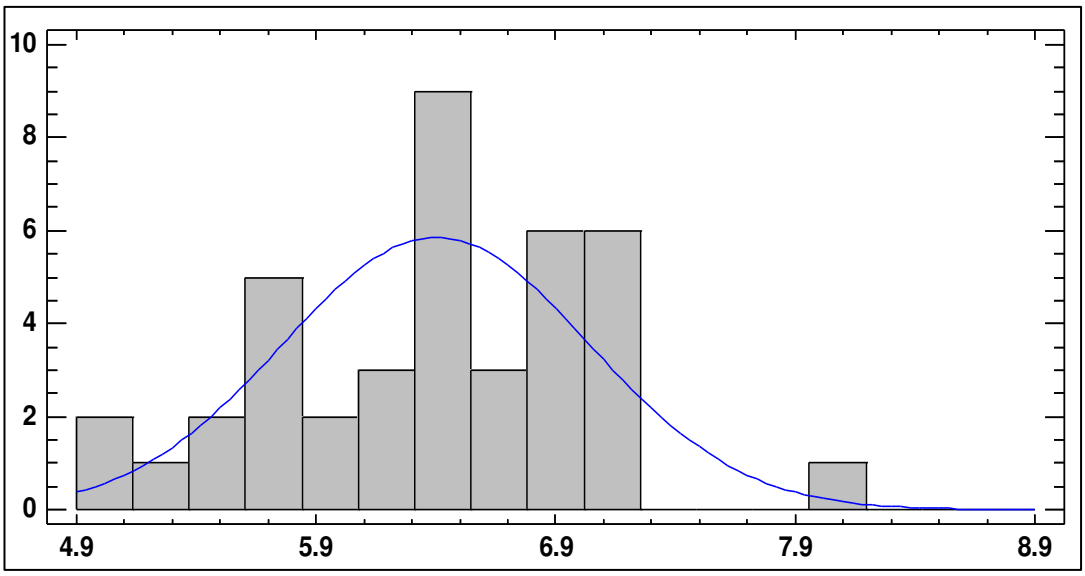
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.965996	0.361766

Nota. Elaborado con los datos estadísticos de la Tabla 13.

Debido a que el valor-P más pequeño de la prueba realizada es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que el P80 para tiempo de iniciación en 10 ms proviene de una distribución normal con 95% de confianza, la Figura 33 muestra el gráfico de la distribución.

Figura 33

Histograma de prueba de normalidad de P80 para tiempo de iniciación en 10 ms.



Nota. Elaborado con los datos estadísticos de la Tabla 13.

P80 para retardos de iniciación en 17 ms. En la Tabla 17 se muestran los resultados de la prueba realizada para determinar si P80 para tiempo de iniciación en 17 ms puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba

de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Tabla 17

Prueba de Normalidad de P80 para tiempo de iniciación en 17 ms

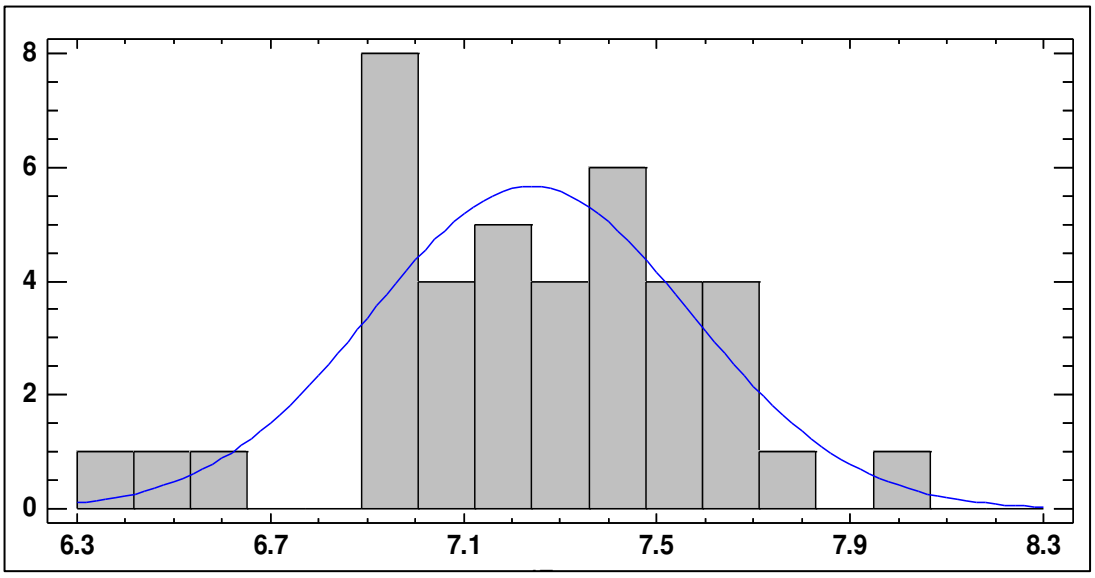
Prueba	**Estadístico**	**Valor-P**
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.971199	0.505252

Nota. Elaborado con los datos estadísticos de la Tabla 14.

Debido a que el valor-P más pequeño de la prueba realizada es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que el P80 para tiempo de iniciación en 17 ms proviene de una distribución normal con 95% de confianza, la Figura 34 detalla el gráfico de la distribución.

Figura 34

Histograma de prueba de normalidad de P80 para tiempo de iniciación en 17 ms



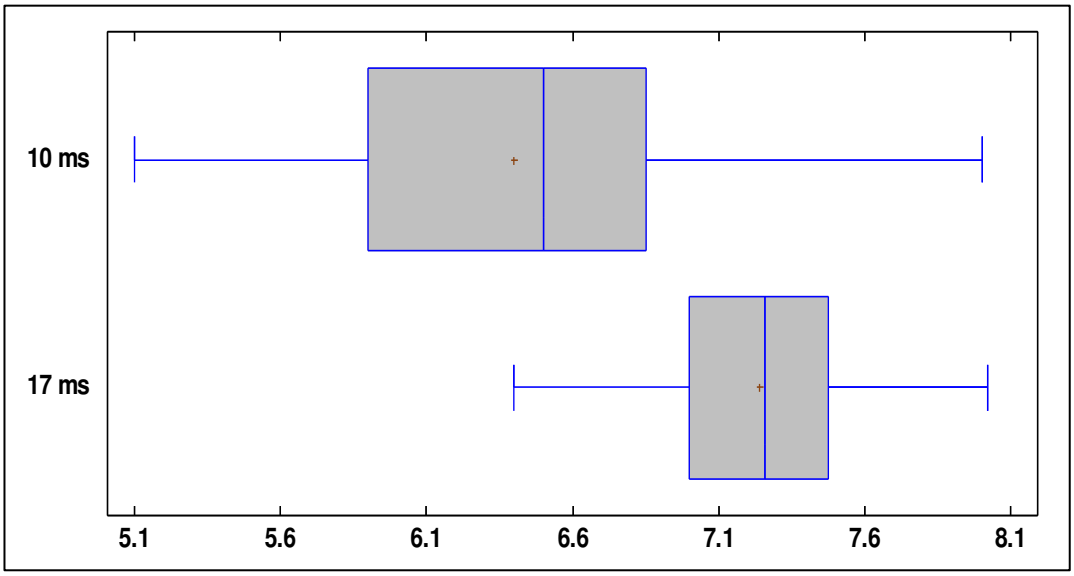
Nota. Elaboración propia. Se utilizaron los datos estadísticos de la Tabla 14.

4.2.6 Comparación de muestras

Este procedimiento compara dos muestras independientes calculando las estadísticas para cada muestra, y ejecuta varias pruebas para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras que son expuestas en la Figura 35.

Figura 35

Caja y bigotes para P80 para tiempo de iniciación en 10 y 17 ms



Nota. Elaboración propia con los datos estadísticos de la Tabla 13 y Tabla 14.

A un nivel de confianza del 95.0% para la media de P80 para tiempo de iniciación en 10 es de 6.4005 +/- 0.205002 y P80 para tiempo de iniciación en 17 es de 7.2395 +/- 0.106021. A un nivel de confianza del 95.0% el intervalo de confianza para la diferencia de medias es de -0.839 +/- 0.227162.

Prueba t para comparar medias

H_0: $u_1 = u_2$

H_1: $u_1 \neq u_2$

El valor t es igual a -7.35301 y el valor-P es igual a $1.66585E^{-10}$. La diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -1.06616 hasta -0.611838. Y en dicho intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente

significativa entre las medias de ambas muestras, con un nivel de confianza del 95.0%. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se rechaza la H_0.

4.2.7 Prueba F para comparar varianzas

H_0: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

H_1: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

La Tabla 18 muestra el análisis estadístico para la prueba F para tiempos de retardos de 17 ms y 10 ms.

Tabla 18

Prueba f para comparación de varianza.

	Pasantes al 80% (P80)	
	A 10 ms	**A 17 ms**
Media	6.4005	7.2395
Varianza	0.41088179	0.109897179
Observaciones	40	40
Grados de libertad	39	39
F	3.7387838	
P(F<=f) una cola	3.7932E-05	
Valor crítico para F (una cola)	1.70446507	

Nota. Elaboración propia con los datos estadísticos de la Tabla 13 y Tabla 14.

Este procedimiento compara dos varianzas independientes calculando las estadísticas para cada muestra, con un nivel de confianza del 95.0%. Puesto que el F es mayor que el valor crítico para F se rechaza la H_0.

Concluyendo se acepta la segunda hipótesis específica ya que con el retardo de 10 ms se obtiene un promedio de 6.4 pulgadas de fragmentos pasantes al 80% (P80) mientras que se obtiene fragmentos pasantes al 80% (P80) de 7.24 pulgadas con retardo de 17 ms. Comparando medias se observa una reducción de 11.6 % de tamaños de fragmentos con respecto al valor obtenido al utilizar el retardo de 17 ms de 7.24 pulgadas.

4.3 Discusión de resultados

Mamani (2019, p.106) investiga la relación entre los iniciadores electrónicos, no electrónicos y la optimización de la fragmentación en la unidad minera Toquepala. Halló que la fragmentación mejoró de 38.15 a 33.09 cm, es decir en 13.6% con el uso de los iniciadores electrónicos. Cabe mencionar que en su metodología el análisis de la optimización de la fragmentación del mineral obtenido se realizó en base al D90, o pasantes al 90%, no obstante, podemos afirmar que los resultados son compatibles con los hallados en la presente investigación.

Romero (2016, p. 142) determinó que la voladura electrónica mejora la fragmentación y la seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A., observa que la optimización de la fragmentación aumentó un 5.4% de pasantes al 80%(P80) en el lado oeste del tajo y la pala mejoró su productividad en 2.1%, de igual forma en el lado este el P80 mejoró 16.7% y la productividad de la pala se incrementó en 7%. Por su parte Mendoza (2018, p. 98) en su investigación en la Compañía Minera Atacocha sobre sistemas electrónicos en voladura concluye que la facilidad de salida de la voladura mejora la fragmentación y disminuye las vibraciones por voladuras, lo cual concuerda con lo hallado en la unidad minera Cuajone en donde la fragmentación mejoró un 11.6%.

Paredes (2014, p. 188) encuentra que la fragmentación D90 resultante del uso de iniciadores electrónicos mejoró en 13%, de 38.36 a 33.24 cm. Es importante señalar que el autor concluye que los iniciadores electrónicos, al ser más precisos, permiten diseñar voladuras con periodos más cortos, es decir emplear la colisión de ondas y la energía resultante de la voladura de manera más eficiente. Estos hallazgos concuerdan con las diferencias de los resultados de la malla de perforación y voladura con retardos de 10 ms y 17 ms que se estudió en la presente tesis.

Gutierrez (2014, p.141) concluye que los iniciadores electrónicos son altamente exactos y precisos, cualidad que se manifiesta en la mínima dispersión de los tiempos de detonación que estos presentaron en las mallas de perforación estudiadas en su investigación. Encontró que la exactitud y precisión permiten reducir significativamente la incertidumbre de la acción de los tiempos en el diseño

de la voladura, no obstante, señala que es importante encontrar el diseño óptimo que optimice la fragmentación y conserve las propiedades del macizo rocoso por efecto de las vibraciones. Sus resultados concuerdan con los hallazgos de la presente investigación ya que se encontró que las voladuras con 10 ms de retardo tenían un mejor efecto en la fragmentación, pero tenían incidencia en la estabilidad de taludes adyacentes por lo que se optimizó el diseño de voladura con un retardo de 17 ms más seguro. Asimismo, el autor resalta que los iniciadores electrónicos permiten hacer uso de la energía de la voladura de manera más eficiente en tanto los tiempos cortos de retardo incrementan el efecto de las colisiones de ondas y por tanto la fragmentación, tal como se demostró en este estudio.

Cueva y Herrera (2018) comparan la fragmentación, productividad y los costos de los sistemas de iniciación electrónicos frente a los no electrónicos en los tajos Tapado Oeste y Yanacocha en la unidad minera Yanacocha. Encuentran que las voladuras con iniciadores electrónicos produjeron P80 de 3.34 pulgadas mientras que los iniciadores no electrónicos produjeron 3.9 pulgadas, lo cual significó una mejora de 14.6% de la fragmentación, resultado similar a los encontrados aquí. A su vez los autores resaltan que, si bien el precio de los iniciadores electrónicos es mayor, estos costos se ven compensados con los menores costos de los procesos posteriores de chancado y molienda.

Portada y Aimituma (2018, p. 39) determinan que los iniciadores electrónicos aportan mayor eficiencia en los aspectos operacionales, seguridad y precisión de la iniciación en las voladuras. En este caso estudiado se observó que la cantidad de fragmentos con tamaños menores a una pulgada se incrementó en 31.89% con la implementación de iniciadores electrónicos, consecuentemente se mejoró la productividad y se redujeron los costos del proceso de chancado. Por su parte Quispe (2018, p. 75) concluye que el uso de los iniciadores electrónicos otorga una mejor fragmentación resultando un P80 de 9.5 pulgadas mientras que la voladura pirotécnica (iniciadores no electrónicos) muestra un P80 de 10.7 pulgadas, de acuerdo a estos resultados la mejora de la fragmentación fue de 11.6%, de acuerdo a los anteriores investigadores en este trabajo se coincide con los resultados, obteniendo más del 11% de mejora de fragmentación utilizando los iniciadores electrónicos.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES

Se demostró que la exactitud y precisión del iniciador electrónico relacionado con las propiedades geomecánicas del macizo rocoso incide en la optimización de la fragmentación resultante de mineral de manera positiva, se halló que una mayor exactitud y precisión redujo la fragmentación promedio de la roca producto de la voladura electrónica de 7.24 a 6.4 pulgadas, es decir una mejora del 11.6%.

Los iniciadores electrónicos tienen mayor precisión y exactitud, con menor dispersión o coeficiente de variación respecto a los iniciadores no electrónicos, se encontró que los iniciadores no electrónicos son menos precisos al tener una variación de 9.28% en los tiempos de retardo comparado con la dispersión de 1.17% del iniciador electrónico. En este sentido los iniciadores electrónicos son bastante más exactos y precisos, lo cual incide directamente en una mejor fragmentación de la roca.

Respecto a la optimización de la fragmentación comparando las voladuras con dos diferentes retardos de 10 ms y 17 ms, se obtuvo que con un valor de retardo de 10 ms el promedio de fragmentación fue de 6.4 pulgadas de la malla pasante al 80% (P80) y un valor de 17 ms tuvo como resultado un promedio de 7.24 pulgadas de la malla pasante al 80% (P80). Es decir, un retardo de 10 ms produce una mejora del 11.6% de la fragmentación respecto a un retardo de 17 ms, debido a que el tamaño de la malla pasante es menor. Al realizar una prueba estadística descriptiva se procedió a efectuar la prueba de normalidad al 95% de confianza, confirmando de que se trata de una muestra con distribución normal.

CAPÍTULO VI
RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar los retardos de 10 ms solo en zonas de mineral que estén alejadas del talud y que el tren de ondas no impacte con una zona de cuidado como deslizamientos, es necesario realizar otra prueba de campo lejano para optimizar los tiempos de retardo. Aunque el uso de retardos de 17 ms produce una fragmentación de mayor tamaño, tiene menor incidencia en los taludes cercanos, razón por la cual se estandarizó para todos los proyectos de voladura en zona mineral.

Se sugiere realizar voladuras controladas o de contorno a los taludes con retardos más largos o lentos para mitigar el daño en taludes y se debe plantear utilizar diseños de secuencia interpolando los retardos para obtener un alivio ordenado en toda la malla de voladura.

Es recomendable que las mallas de voladura sean regulares para que las líneas de isotiempos, movimiento del mineral y *burden* de alivio sean ordenadas y simétricas para que la voladura obtenga mejores resultados. A su vez, en proyectos de voladura de mineral es recomendable que se aplique la doble iniciación ya que reduce la vibración y aumenta la fragmentación.

Se recomienda hacer la prueba con otro diseño de secuencia de salida, la forma tradicional de utilizar el *burden* de diseño por otro diseño que utiliza el *burden* efectivo ya que reduce en un 40% la medida de la cara libre.

Es altamente recomendable utilizar los iniciadores electrónicos porque solucionan los problemas de la alta dispersión que presentan los iniciadores no electrónicos, a su vez se puede utilizar retardos menores a 17 ms porque es el retardo mínimo con el que se operan los iniciadores no electrónicos, permitiendo realizar diseños de voladura que se ajusten a la optimización de fragmentación con retardos menores a 17 ms.

REFERENCIAS

Agrawal, H. y Mishra, A.K. (2021). *An Analytical Approach to Measure the Probable Overlapping of Holes Due to Scattering in Initiation System and Its Effect on Blast-Induced Ground Vibration in Surface Mines*. (Volumen 38, pp. 485–495). https://doi.org/10.1007/s42461-020-00350-2

Barrios, J. (2011). *Reporte geotec R011-2011, condición actual zona inestable D-45. Flanco Oeste (informe interno)*. Unidad minera Cuajone.

Bellido, B. E. (1979). *Geología del cuadrángulo de Moquegua*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.

Bernaola, J., Castilla, J. y Herrera, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería.* Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. http://oa.upm.es/21848/

Cáceres, J., Katsabanis, P., Pelley, C., y Kelebek, S. (2006). *Maximizando el NPV de voladura*. 8º simposio internacional sobre fragmentación de rocas por voladura, Santiago de Chile.

Camac, A. (2014). *Voladura de rocas.* Universidad Nacional del Altiplano. [Archivo PDF]. https://es.scribd.com/document/359845768/Voladura-de-rocas-2014-Parte-I-pdf

Carhuancho, L. E. (2011). *Optimización de la fragmentación aplicando valores de energía en voladura al tajo vidal, Nivel 4190 Cantera de Caliza Cerro Palo Cemento Andino S. A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional.

Choqueña, C. J. (2017). *Optimización de la fragmentación de la roca mediante las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos-U.M. Apumayo SAC.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional.

Concha, S. O. (2017). *Estimación de recursos Cuajone*. Southern Peru Copper Corporation.

Cueva, C. B. y Herrera, S. I. (2019). *Comparación de la productividad, fragmentación y costos del sistema de iniciación electrónica versus pirotécnica en voladura-Minera Yanacocha SRL.* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional.

Cunningham, C. B. (1987). *Fragmentation estimations and the KUZ-RAM model - four years on*. 2° simposio de fragmentación por voladura. Keystone, Colorado

Cunningham, C. (1983). *The KUZ-RAM model for prediction of fragmentation from blasting*. 1er simposio internacional de fragmentación por voladura. Lulea, Suecia.

EXSA S.A. (2019). *Manual práctico de voladura.* (5a ed.). EXSA SA. https://www.mineriadelibrosycursos.com/2019/10/manual-practico-de-voladura-5ta-edicion.html

Gutierrez, C. E. (2014). *Diseño de voladura y predicción de la fragmentación en zonas de mineral para optimizar las operaciones unitarias*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional.

Hinostroza, S. J. (2014). *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional.

Hualla, H. F. (2016). *Implementación y aplicación del sistema de iniciación electrónico para la optimización de voladura a tajo abierto caso Antamina-Ancash*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional.

Huanca, P. J. (2018). *Predicción de la fragmentación en la voladura de bancos de producción de la UM Tacaza*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional.

Huerta, V. G. (2019). *Análisis comparativo de la eficiencia de la triple iniciación electrónica en voladura versus la iniciación electrónica simple y doble en la explotación de un yacimiento cuprífero a cielo abierto*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional.

Kanchibotla, S., Valery, S. y Morell, S. (1999). *Modeling fines in blast fragmentation and its impact on crushing and grinding*. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre. Universidad de Queensland. Brisbane, Australia.

Konya, C. J. y Edward, J.W. (1990). *Surface blast design*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

Kuznetsov, V. (1973). *The mean diameter of the fragments formed by blasting rock*. Soviet Mining Science 1973;9(2):144e8.

Lilly, P. (1986). *An empirical method of assessing rock mass blastability.* Large Open Pit Mining Conference. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Newman, Australia.

Lopez, J. C. (1997). *Manual de Perforación y voladura de rocas*. Instituto geológico minero de España.

Lownds, C. (1996). *Prediction of Fragmentation Based on Energy Distribution of Explosives*. Proceedings of the twenty-first conference of Explosives and Blasting Technique, Nashville, Tennessee, February 5-9, 1995. International Society of Explosives Engineers, pp 286-297.

Machaca, J. (2015). *Determinación de la fragmentación utilizando el sistema split online utilizado en los frentes de minado de las palas en la unidad minera Cuajone de la empresa Southern Perú, Moquegua 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio Institucional.

Mamani, Y. D. (2019). *Optimización de la fragmentación en el uso de detonadores electrónicos en la mina Toquepala*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional.

McKenzie, K. C. (1998). *Tecnología de voladura de rocas*. Publicaciones Universidad Nacional de Ingeniería.

Mendoza, H. A. (2018). *Implementación del Sistema Electrónico -DIGISHOT para la Reducción de Vibraciones en Voladura – Compañía Minera Atacocha*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional.

Morillo M, H. M. (2017). *Recomendaciones para aplicar una normativa de manejo de explosivos con fines mineros en la República Dominicana*. [Tesis de postgrado, Universidad Politécnica de Madrid]. http://oa.upm.es/46952/

Novoa K. Y. y Salazar D.A. (2018) *Influencia de la sobreperforación en taladros de producción para la reducción de costos operativos del proyecto Quecher Main, Yanacocha Cajamarca, 2017.* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Nore] Repositorio Institucional.

Ouchterlony, F. (2005). *The Swebrec function: linking fragmentation by blasting and crushing*. Mining Technology. (Volumen 114, pp. 29-44. https://doi.org/10.1179/037178405X44539.

Organización Internacional de Normalización (2019). *Exactitud (veracidad y precisión) de los métodos y resultados de medición - Parte 2: Método básico para la determinación de la repetibilidad y reproducibilidad de un método de medición estándar.* ISO 5725-2:2019.

Paredes, P. R. (2014). *Empleo de detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación en sector yeso Anhidrita en Mina Modelo a Tajo Abierto-Toquepala.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional.

Peña, P. J. (2019). *Reducir el porcentaje de dilución mediante el reemplazo de detonadores pirotécnicos por detonadores electrónicos, en la fase 5 del tajo Isabelita-El toro*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional.

Portada, I. M. y Aimituma, L. J. (2018). *Aplicación de iniciadores electrónicos Digishot Plus para optimizar la fragmentación de rocas en el tajo norte de la Unidad Minera Antapaccay.* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional.

Quispe, A. C. (2018). *Análisis de la fragmentación resultante de voladura para la evaluación de la expansión de las mallas de perforación aplicando sistema de iniciación electrónico en Minera Coimolache - 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnes de Mayolo]. Repositorio Institucional.

Reátegui, O. F. (2017). *Diseño de parámetros de voladura aplicando el modelo de Kuz-Ram y la teoría de daño por vibraciones en roca, Inti Raymi - Bolivia*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional.

Rojas, L. E. (2018). *Un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la Voladura de Rocas*. Industrial Data, 21(1), 17–26. https://doi.org/10.15381/idata.v21i1.14907

Rosin, P. y Rammler, E. (1933). *The Laws Governing the Fineness of Powdered Coal*. Journal of the Institute of Fuel (Volumen 7, pp. 29–36.)

Rossmanith, H. (2002). *El uso del diagrama de Lagrange en la iniciación precisa de voladura parte 1: interacción de dos taladros de voladura*. Simposio internacional de fragmentación de rocas por voladura FRAGBLAST. Pekín, China.

Romero P, R. (2016). *Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho–Minera Chinalco Perú SA*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional.

Wilson, J. (1962). *Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca*. Instituto geológico, minero y metalúrgico del Perú.

Zenteno, J. (2018). *Cambio de detonador electrónico para la disminución de cortes en la línea descendente en taladros de gran diámetro en explotación minera de cobre a cielo abierto*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio Institucional.

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de Consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Método
General ¿En qué medida la exactitud y precisión del iniciador electrónico relacionado con las propiedades geomecánicas optimizan la fragmentación resultante del mineral en la unidad minera Cuajone? **Específicos** (1) ¿En qué medida el tiempo de retardo relacionado a las propiedades geomecánicas del macizo rocoso incide en la optimización de la fragmentación resultante del mineral en la unidad minera Cuajone? (2) ¿Cómo el uso de iniciadores electrónicos y no electrónicos afecta la exactitud y precisión de la voladura?	**General** Determinar la incidencia de la exactitud y precisión del iniciador electrónico relacionado con las propiedades geomecánicas en la fragmentación resultante del mineral en la unidad minera Cuajone. **Específicos** (1) Encontrar el efecto del tiempo de retardo calculado con las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en la optimización de la fragmentación resultante del mineral en la unidad minera Cuajone. (2) Hallar el efecto del uso de iniciadores electrónicos y no electrónicos en la exactitud y precisión de la voladura.	**Principal** Una mayor exactitud y precisión de los iniciadores relacionado a las propiedades del macizo rocoso generará una fragmentación promedio menor de la roca en las voladuras de la unidad minera Cuajone. **Específicas** (1) El tiempo de retardo de 10 ms producirá una fragmentación promedio menor de la roca en las voladuras de la unidad minera Cuajone en tanto un tiempo de retardo mayor de 17ms producirá una fragmentación promedio mayor. (2) El uso de iniciadores electrónicos produce una mayor exactitud y precisión en las voladuras de la unidad minera Cuajone en tanto el uso de iniciadores no electrónicos generarán menor exactitud y precisión en las voladuras.	**Variable dependiente:** Fragmentación resultante del mineral. **Indicadores:** - P80 (Pulgadas) **Variables independientes:** (1) Tiempo de retardo **Indicadores:** - Tiempo (ms) (2) Exactitud y precisión de los iniciadores **Indicadores:** - Coeficiente de Variación.	**A. Tipo de investigación** Aplicada. **B. Diseño de la investigación** No experimental, de tipo relacional transversal. **C. Ámbito de estudio** Unidad minera Cuajone. **D. Población** Voladuras realizadas en la fase de mineral de la unidad minera Cuajone. **E. Muestra** 40 voladuras con retardo de 10 y 17 ms. **F. Técnicas de recolección de datos** Registros de recolección de datos. **G. Instrumentos** - Iniciadores electrónicos I-KON III de Orica. - Programa Split Online. - Cámara de alta velocidad. - Sistema de iniciación electrónica Blaster y Logger I-KON II.

Anexo 02. Registro de pruebas con cámara de alta velocidad

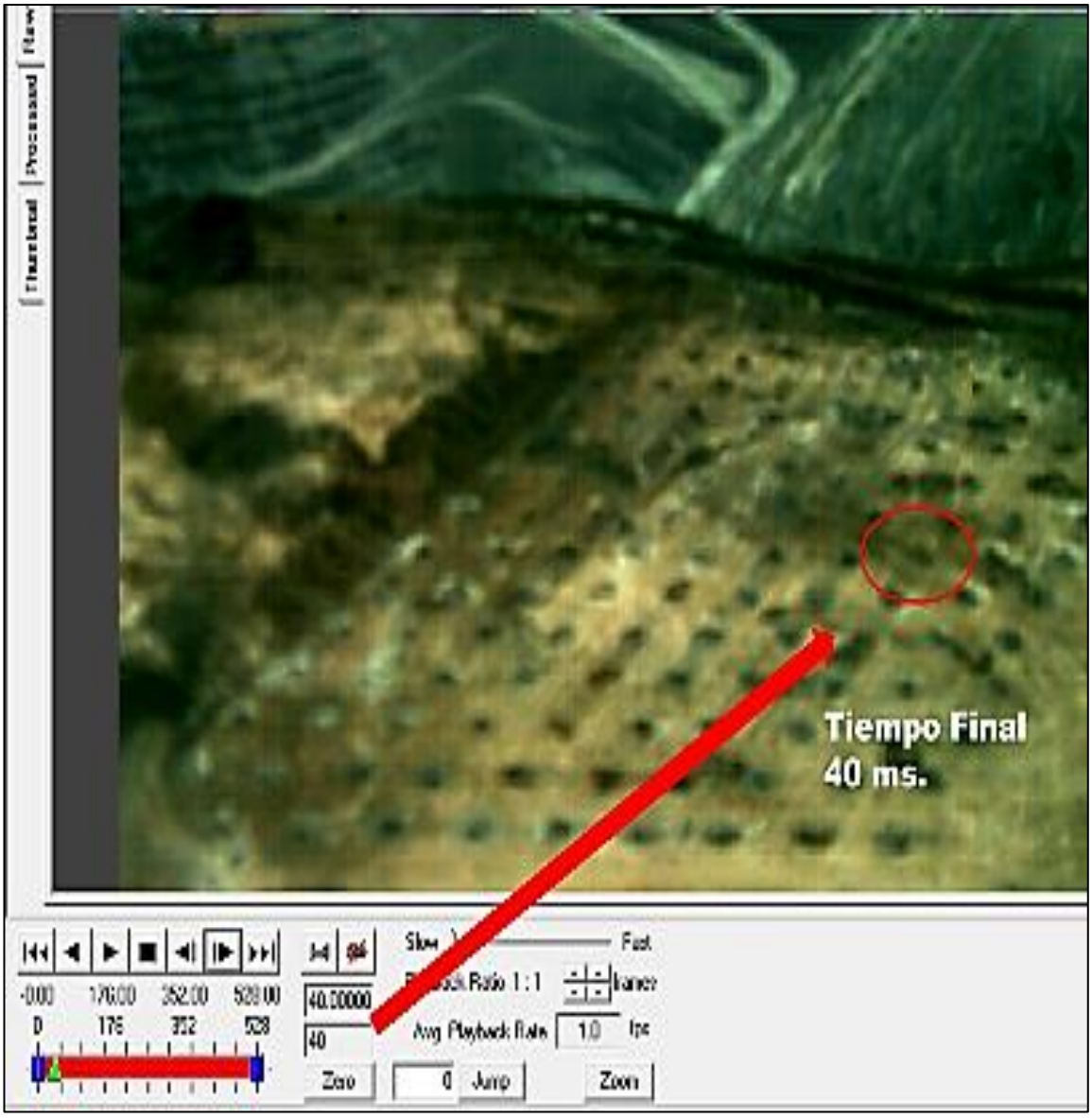
1. ***Prueba N° 1. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.***



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 40 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 18 ms, lo cual es mayor al retardo nominal de 17 ms.

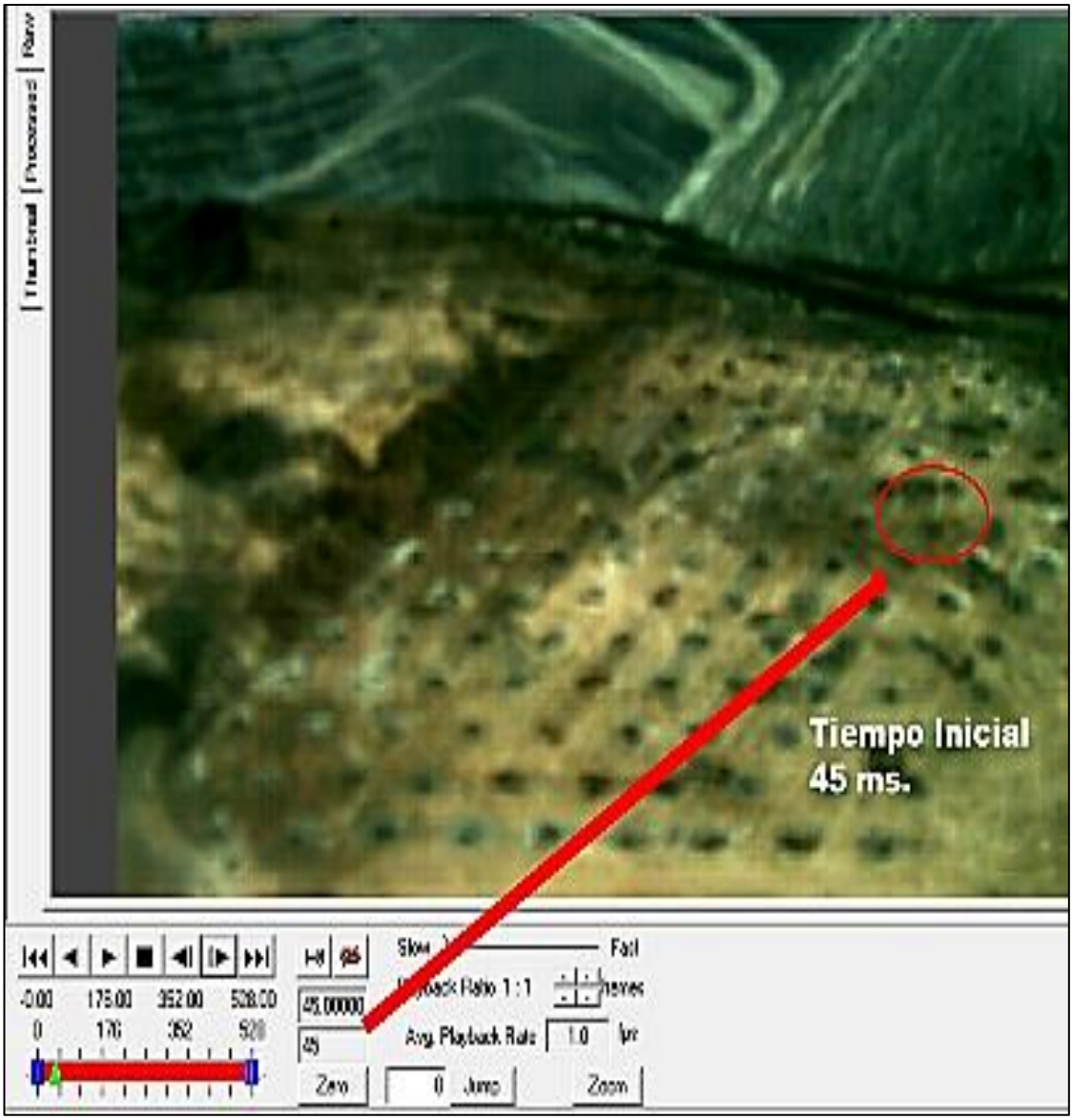
2. ***Prueba N° 1. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.***



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 45 ms.

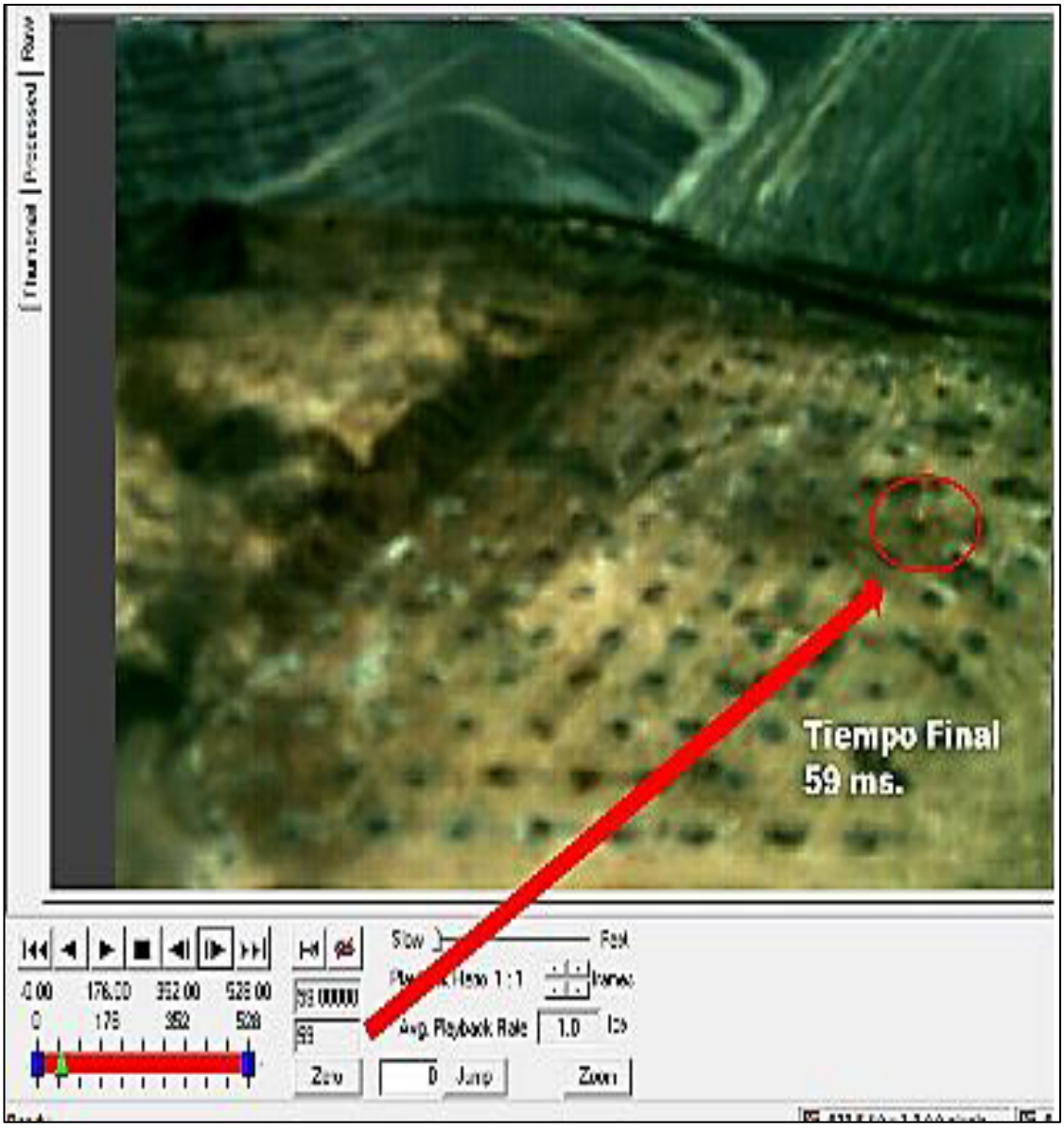
3. *Prueba N° 2 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.*



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónicos y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 59 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 14 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

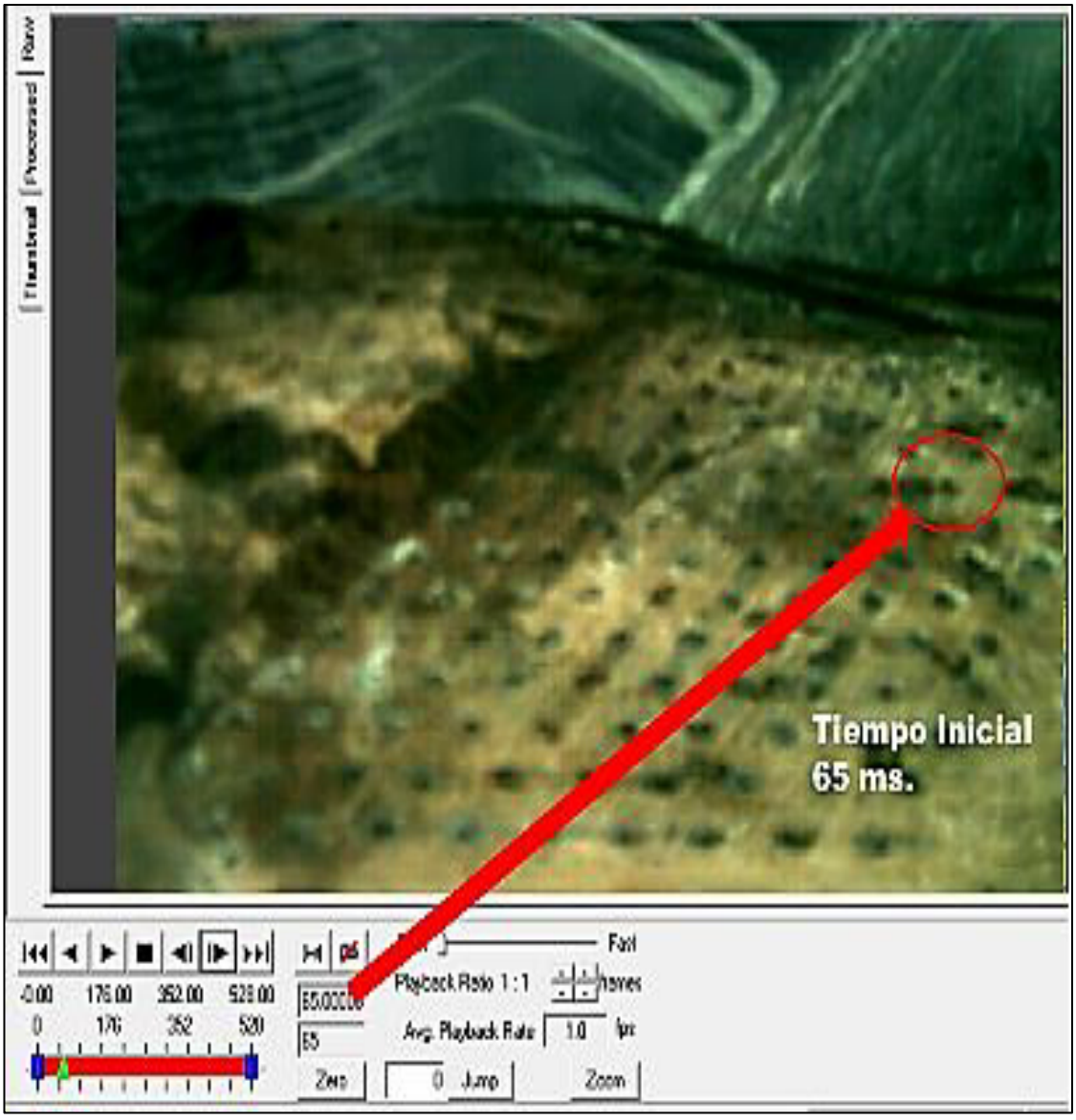
4. ***Prueba N° 2 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.***



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciadores no electrónicos y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 65 ms.

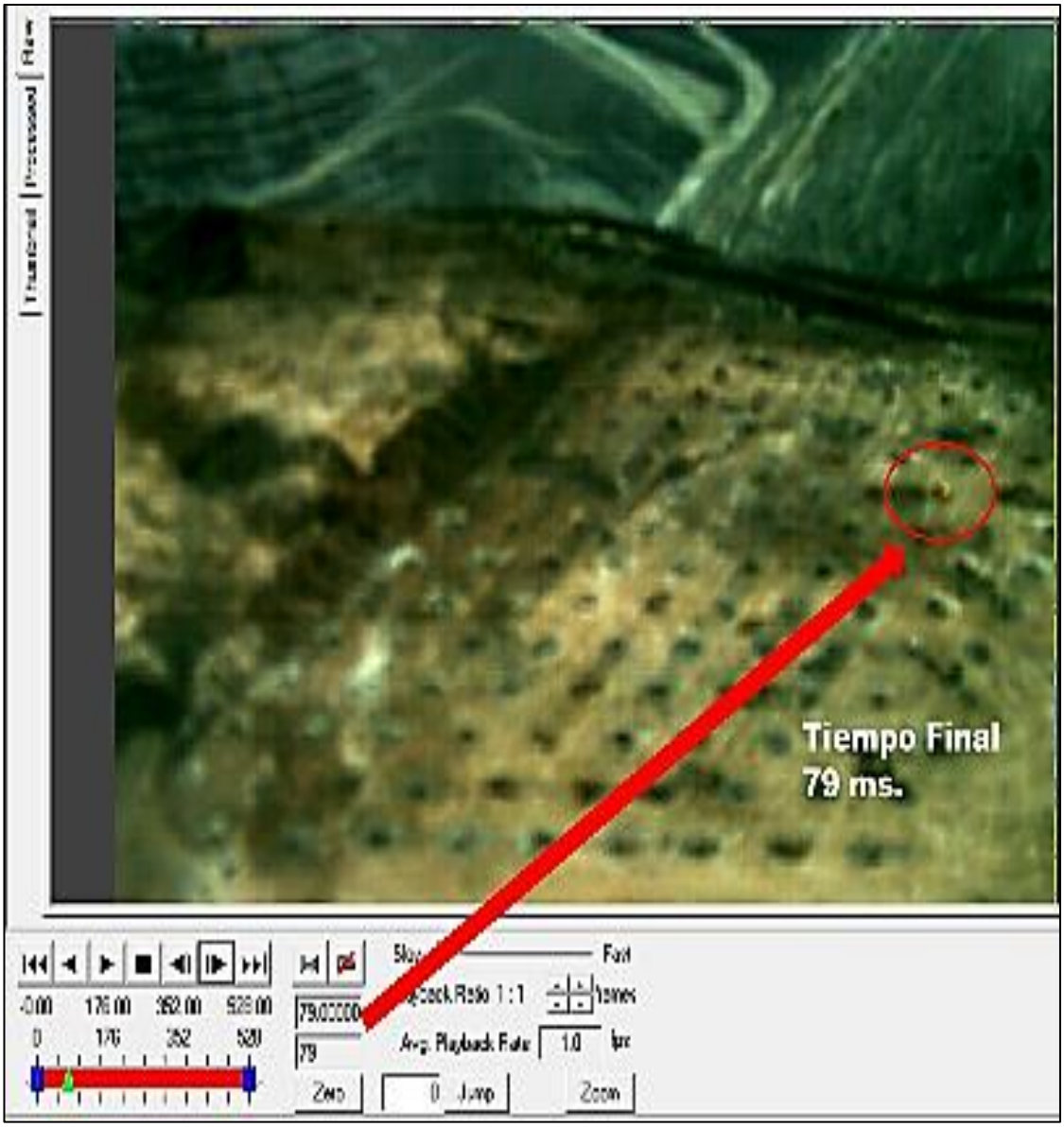
5. *Prueba N° 3 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.*



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 79 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 14 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

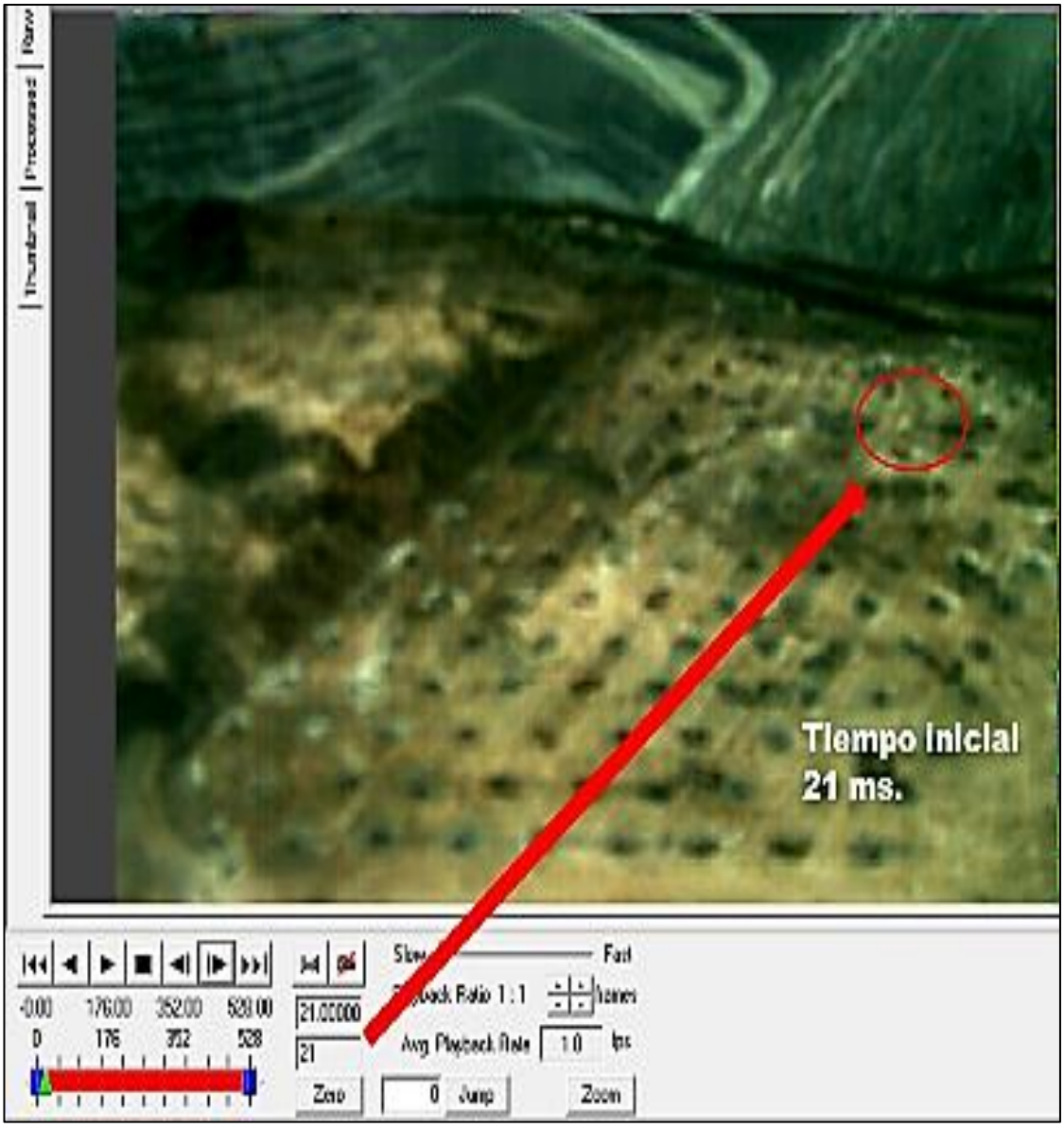
6. *Prueba N° 3 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.*



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 21 ms.

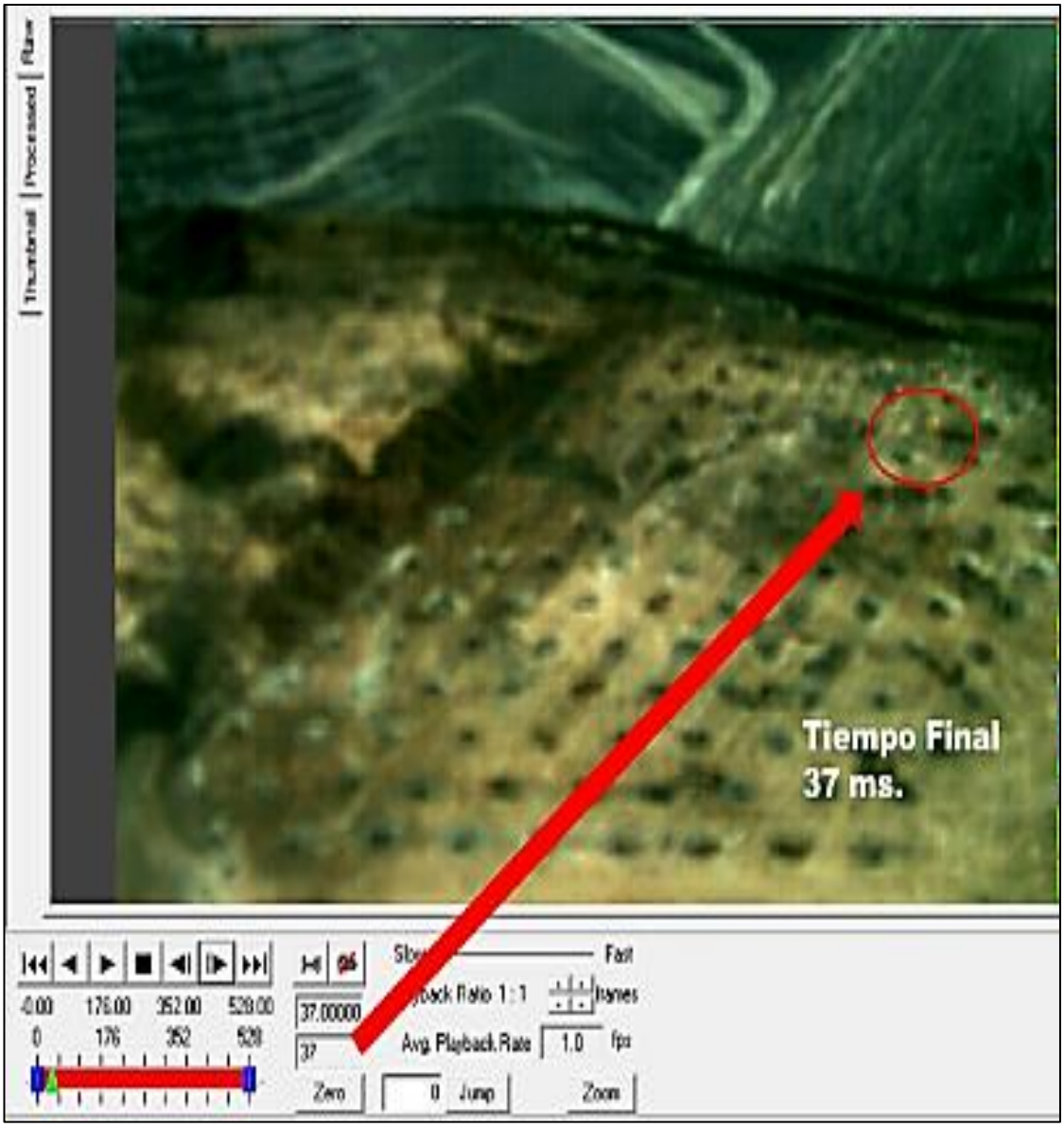
7. *Prueba N° 4 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.*



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 37 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 16 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

8. *Prueba N° 4. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.*



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 57 ms.

9. *Prueba N° 5 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.*



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 75 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 18 ms, lo cual es mayor al retardo nominal de 17 ms.

10. Prueba N° 5. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 80 ms.

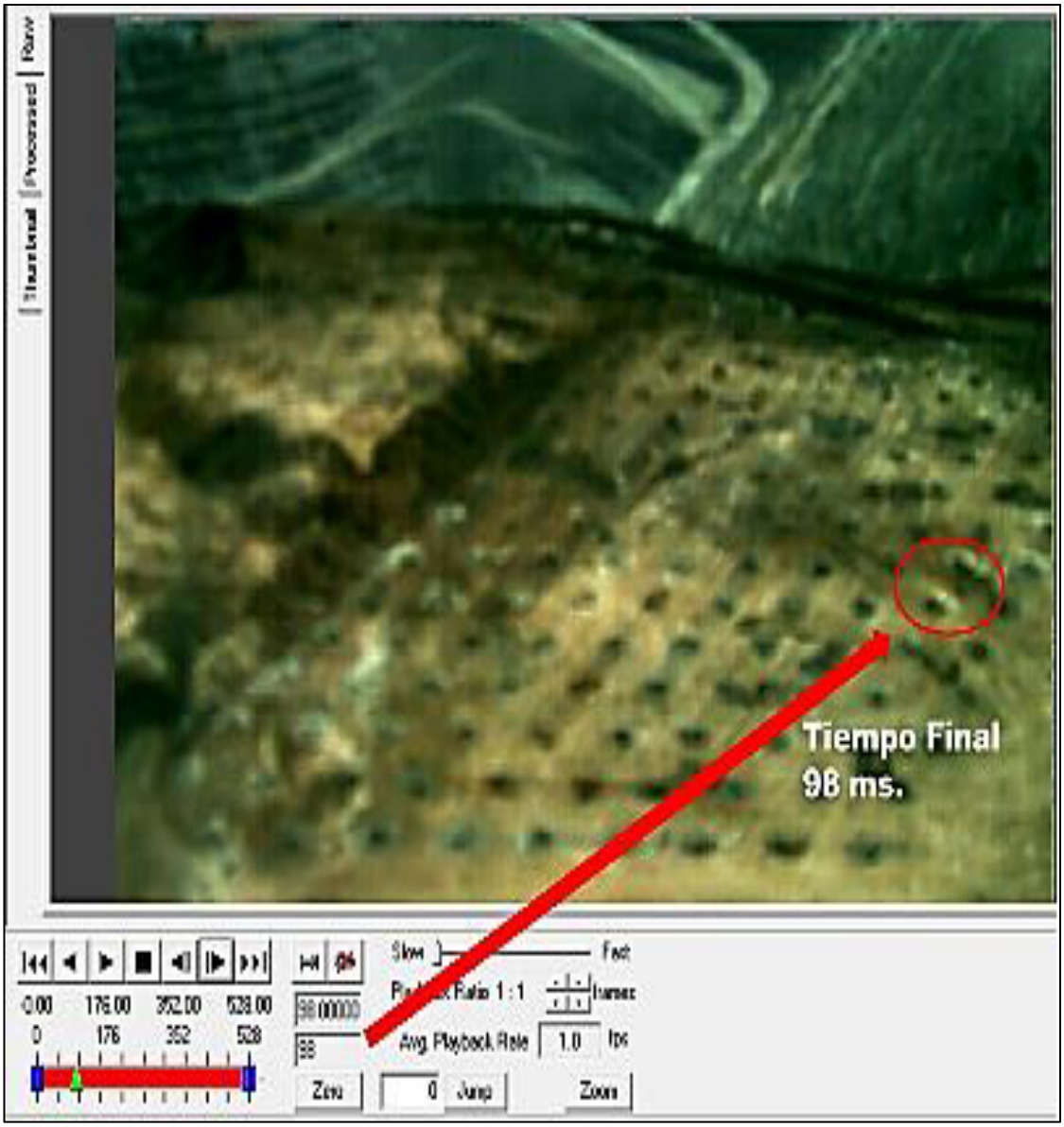
11. Prueba N° 6. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 98 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 18 ms, lo cual es mayor al retardo nominal de 17 ms.

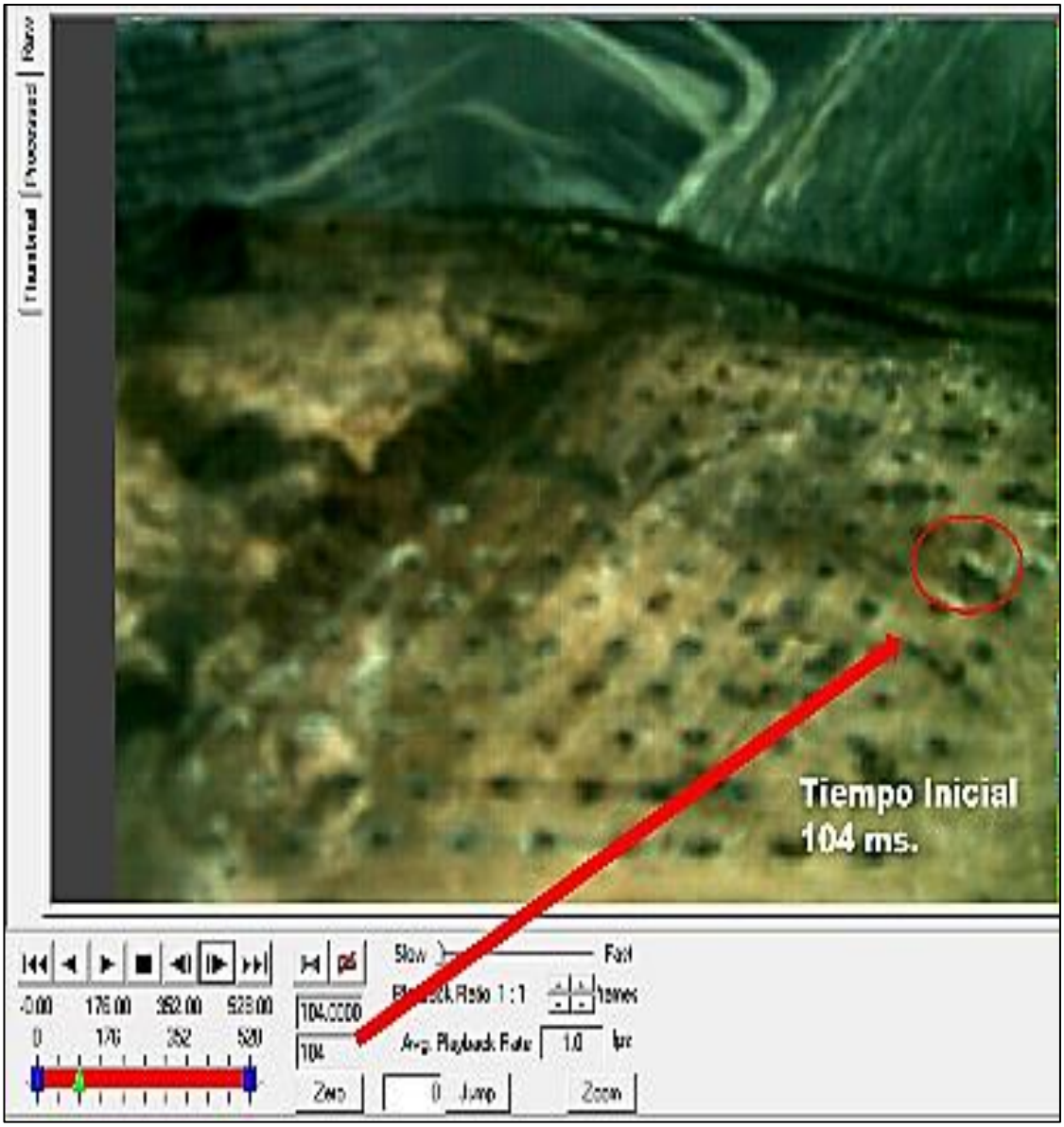
12. Prueba N° 6. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 104 ms.

13. Prueba N° 7. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 121 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 17 ms.

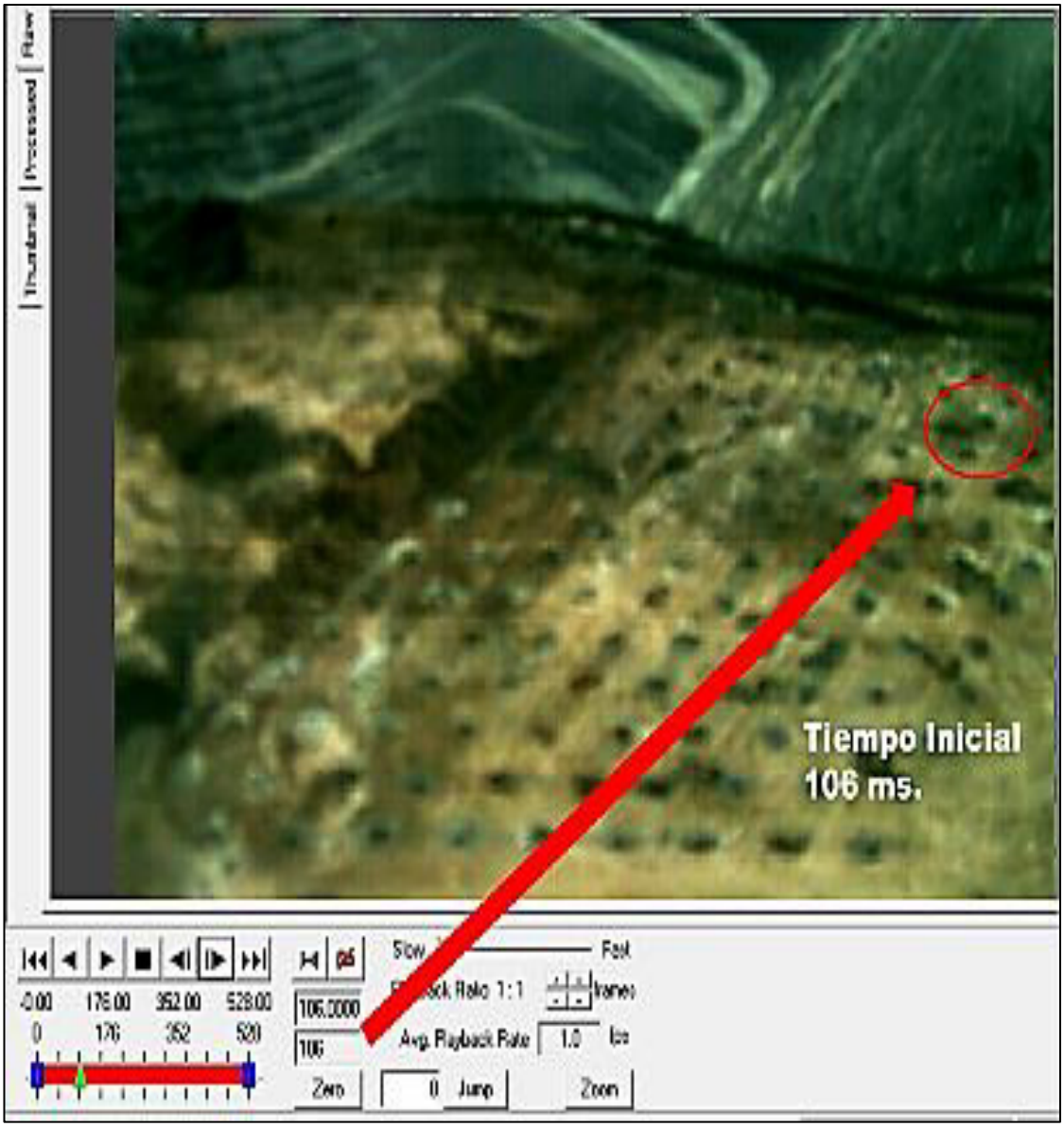
14. Prueba N° 7. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 106 ms.

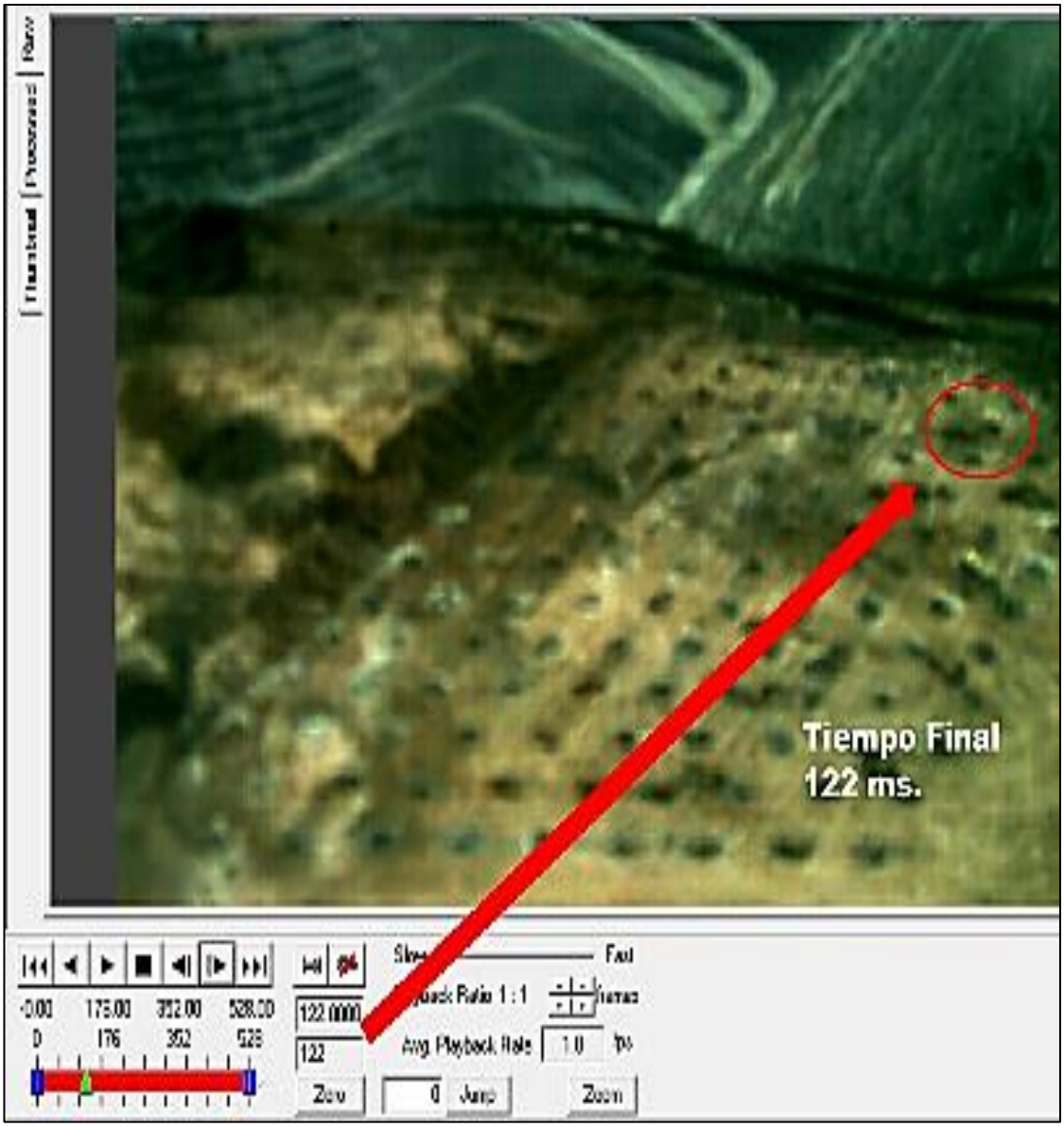
15. Prueba N° 8 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 122 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 16 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

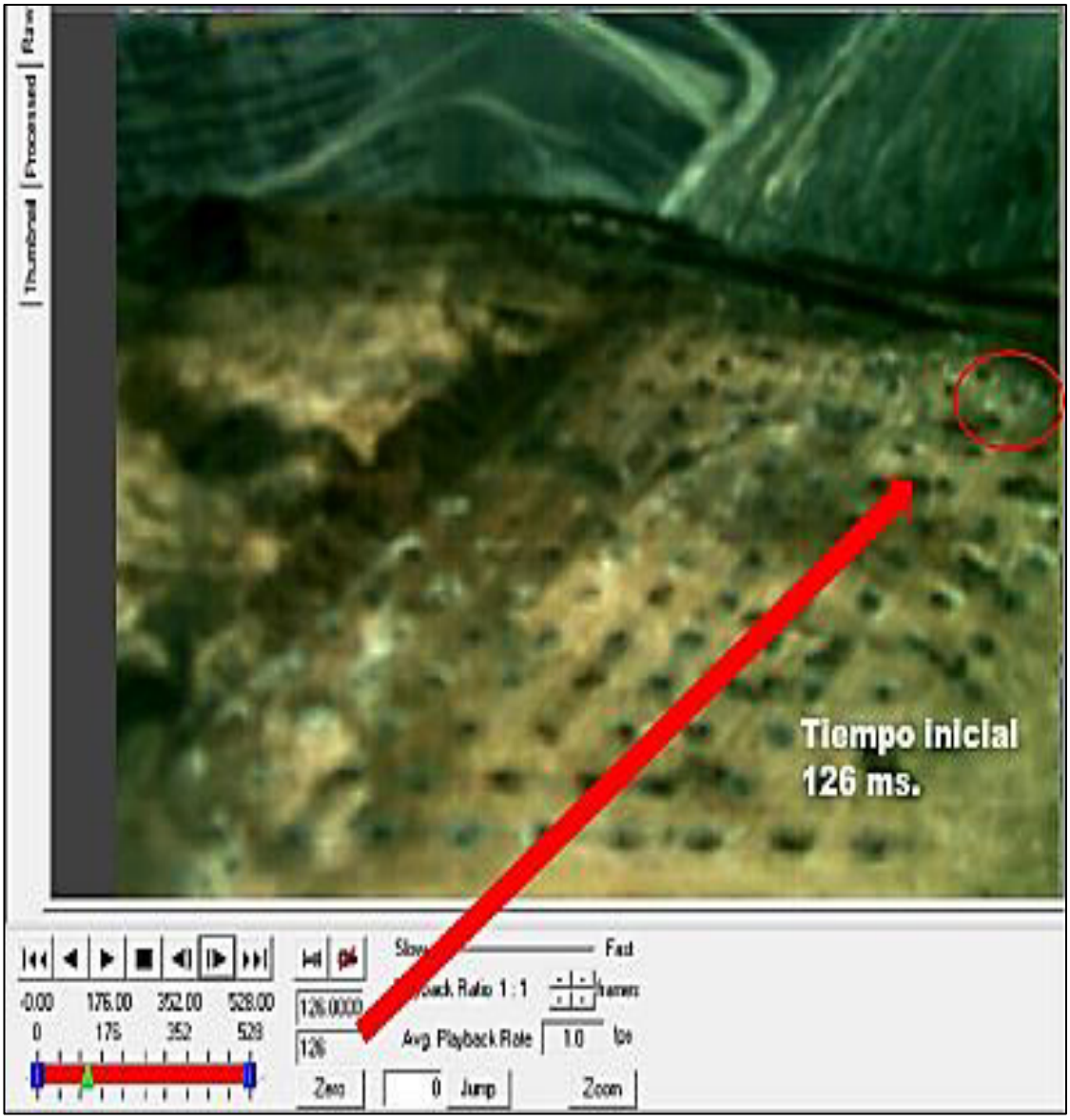
16. Prueba N° 8 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 126 ms.

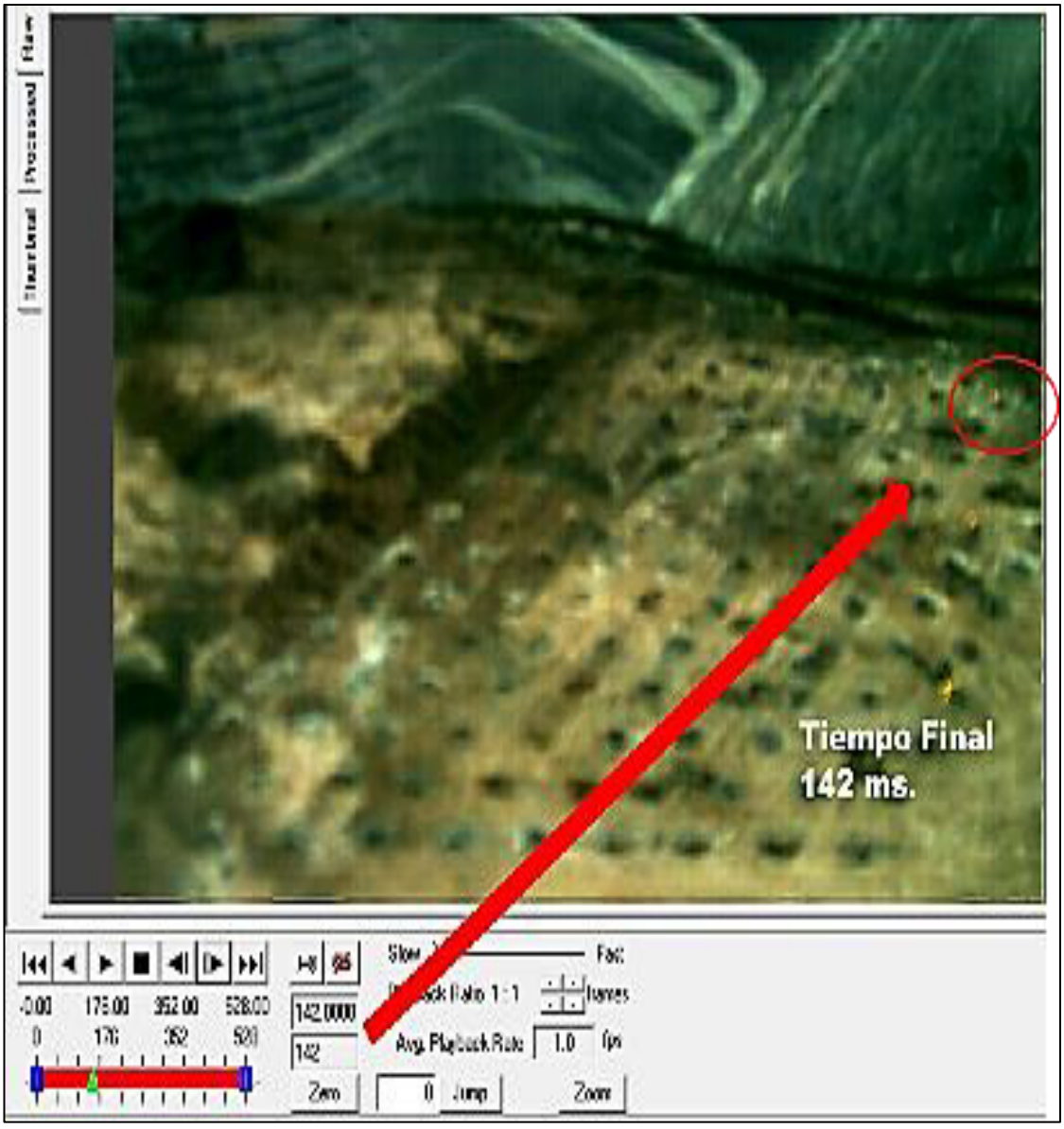
17. Prueba N° 9 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 142 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 16 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

18. Prueba N° 9 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 147 ms.

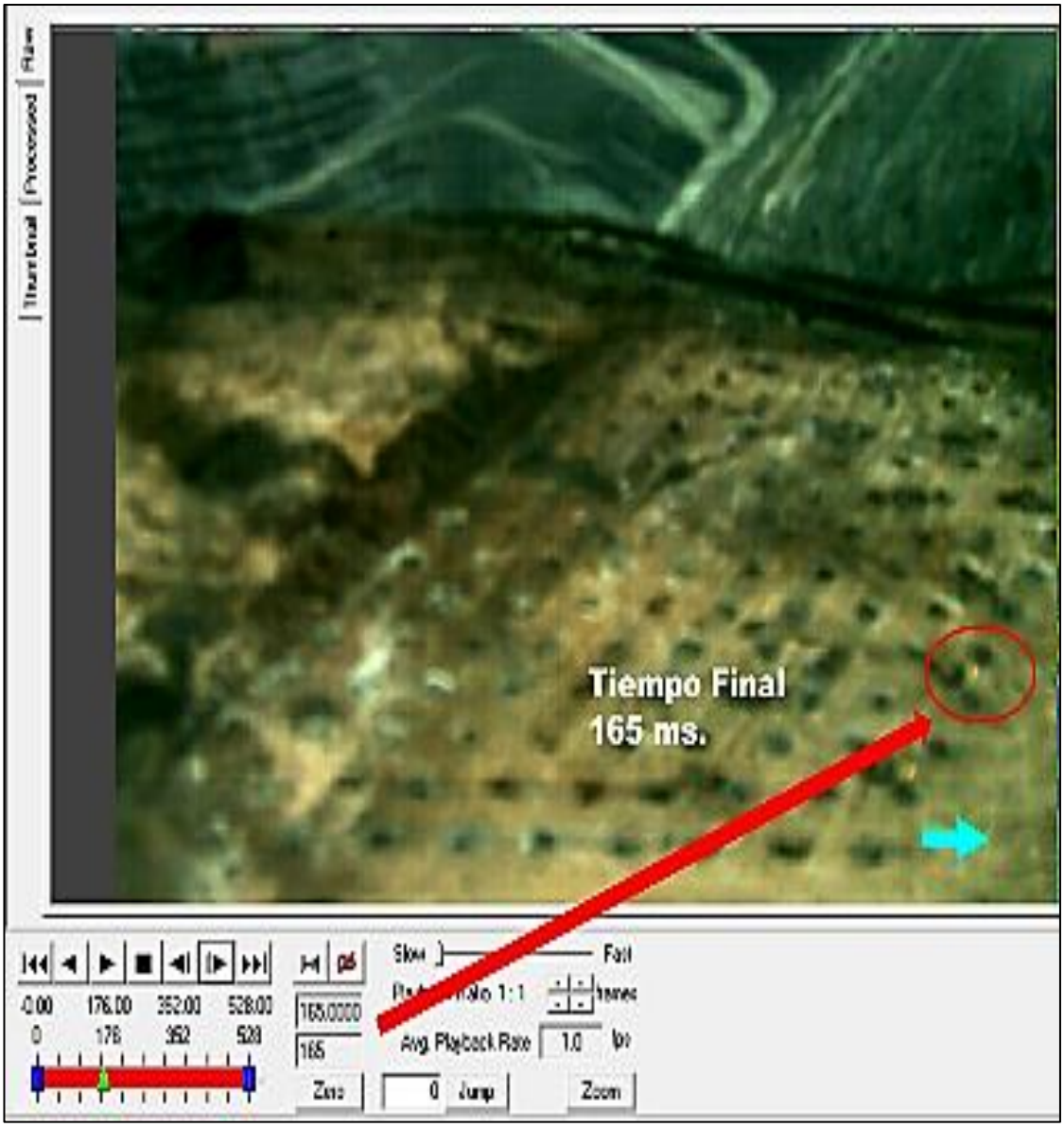
19. Prueba N° 10. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



20. Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 165 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 18 ms, lo cual es mayor al retardo nominal de 17 ms.

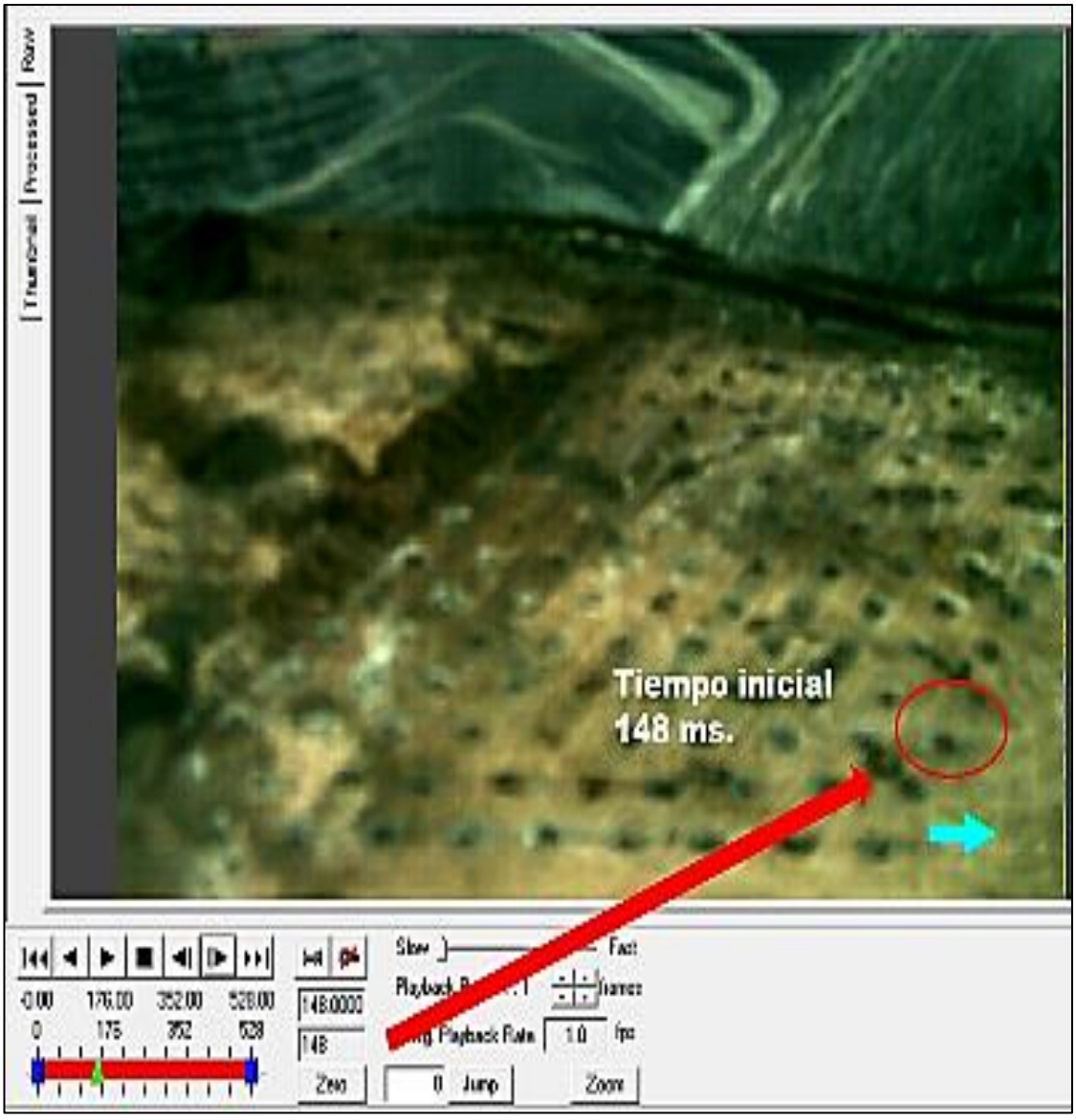
21. Prueba N° 10. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 148 ms.

22. Prueba N° 11 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 163 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 15 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

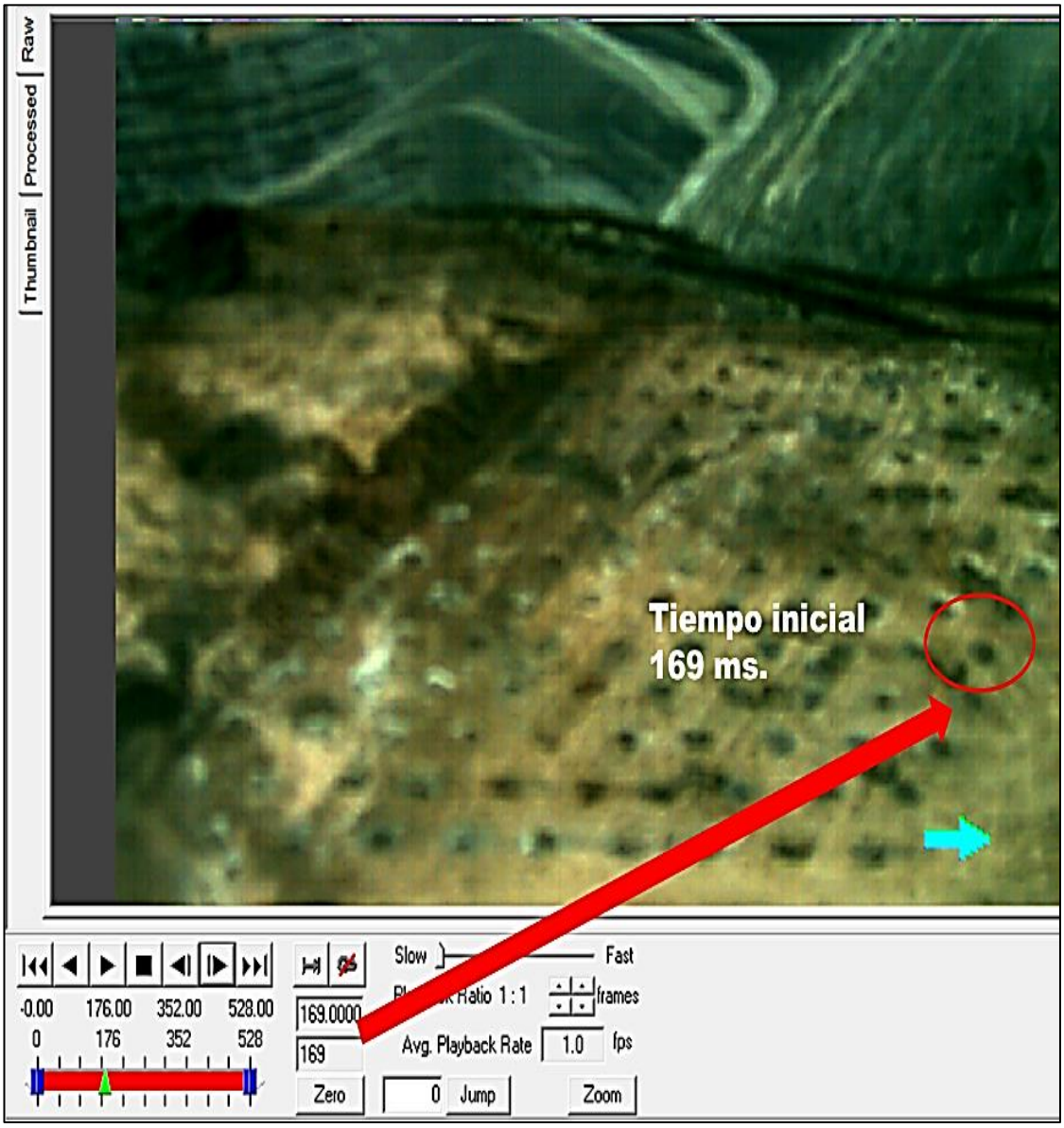
23. Prueba N° 11. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 169 ms

24. Prueba N° 12. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.

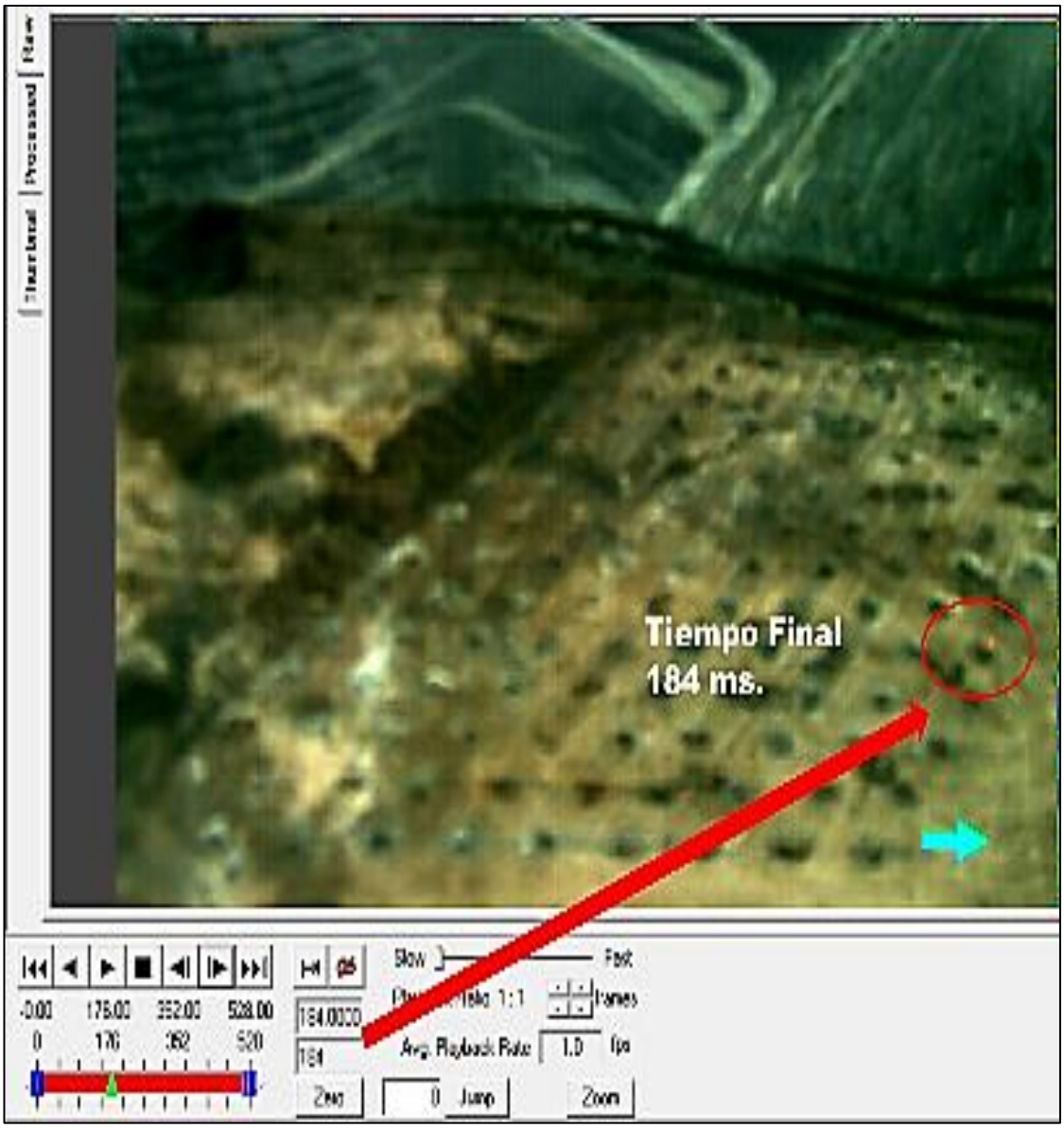


Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 184 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 15 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

25. Prueba N° 12. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.

.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 190 ms.

26. Prueba N° 13. Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 205 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 15 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

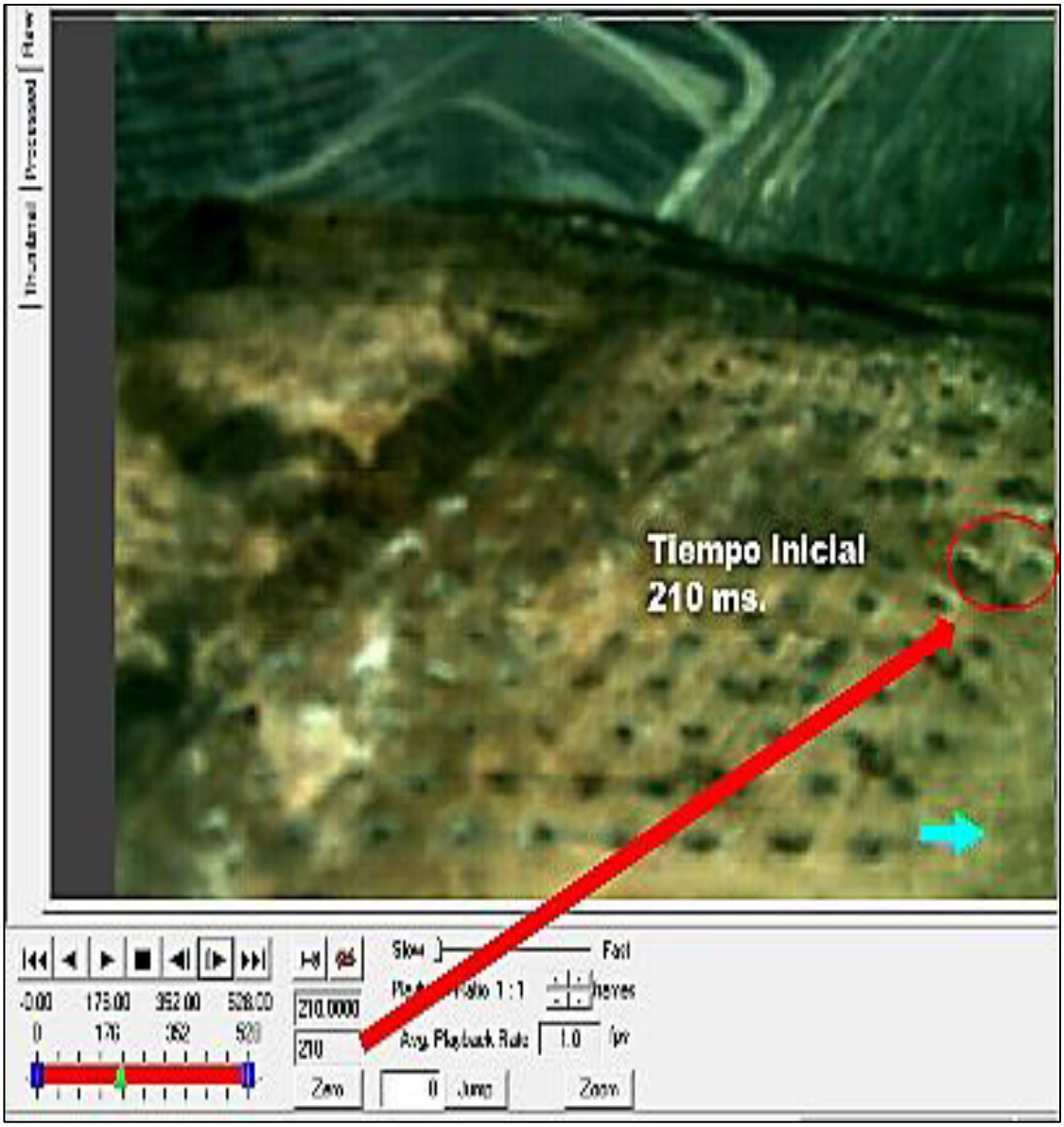
27. Prueba N° 13 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 210 ms.

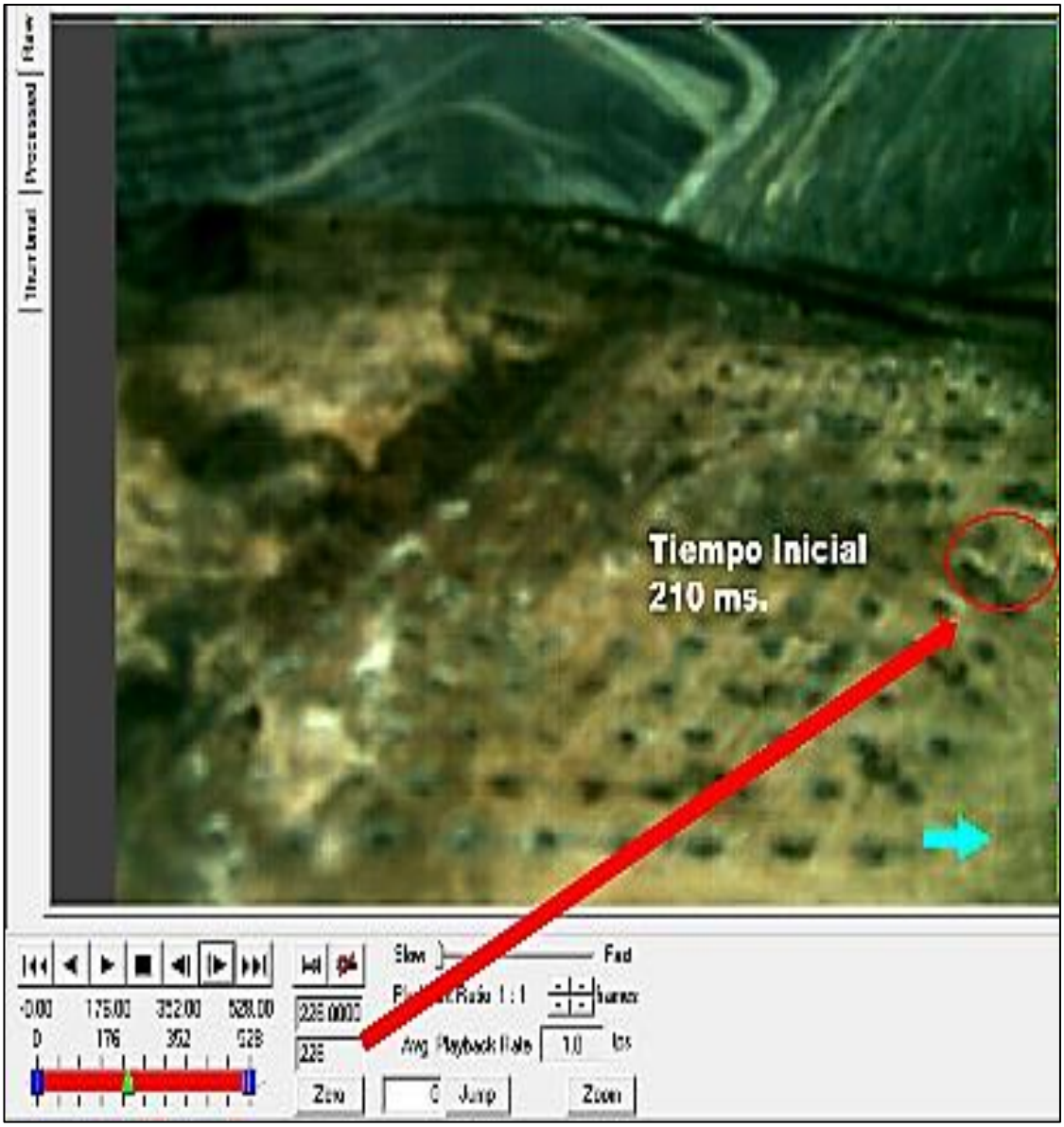
28. Prueba N° 14 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación concluyó con un tiempo final de 225 ms, haciendo la resta respectiva se obtuvo el retardo en 15 ms, lo cual es menor al retardo nominal de 17 ms.

29. Prueba N° 14 Determinación del tiempo de retardo para iniciadores no electrónicos.



Nota. Imagen tomada de filmación de alta velocidad, asistencia técnica Cuajone.

Se observa la voladura con iniciador no electrónico y el consecuente desplazamiento del mineral. Se utilizó cámara de alta velocidad de la marca MREL, el video fue procesado por el reproductor de imágenes del equipo, obteniendo imágenes en 1000 fps o lo que es igual a un cuadro por milisegundo, por lo cual se determinó que la detonación se llevó a cabo en el tiempo inicial de 22 ms.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Diego Fernando Flores Flores
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 48425213
Correo electrónico	: diegofflores10@gmail.com
Teléfono/Celular	: 964577634

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

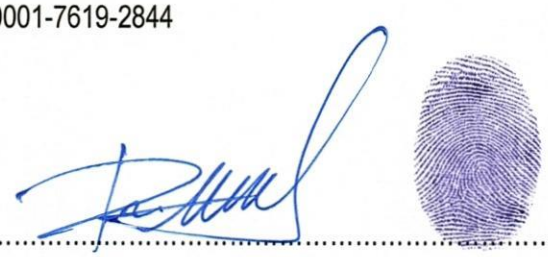
a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título: "OPTIMIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN RESULTANTE PARA EL MINERAL RELACIONADO A LA EXACTITUD Y PRECISIÓN DEL INICIADOR ELECTRÓNICO CON LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS EN MINA CUAJONE"
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra: https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.05
c) Fecha de publicación : 12/10/2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Arquímedes León Vargas Luque
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01309736
c) ORCID : https://orcid.org/0000-0001-7619-2844



FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 48425213
NOMBRES Y APELLIDOS : Diego Fernando Flores Flores

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(__X__) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA .....



DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 48425213
NOMBRES Y APELLIDOS : Diego Fernando Flores Flores
FECHA : **12/10/2022**