

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Influencia de la implementación de detonadores electrónicos en el proceso de voladura en
la unidad minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019

Presentado por:

Manuelito Quispe Magallan

Para optar el Título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2023



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



TESIS

“INFLUENCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DETONADORES ELECTRÓNICOS
EN EL PROCESO DE VOLADURA EN LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA-
CAJAMARCA, 2019”

Presentado por **Manuelito Quispe Magallan**, para optar el título de:
INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado el 6 de diciembre del 2022, ante el jurado:

Presidente:

Ing. Edgar Crispín Huacac Farfán

Primer Miembro:

Dr. Nelson Palemón Meza Peña

Segundo Miembro:

Dr. Pablo Rubén Zuloaga Candia

Asesor:

Mtro. Ing. Darío Dante Sánchez Castillo

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por permitirme cumplir este sueño y guiarme por el camino que tanto me apasiona. Agradezco infinitamente a mi Alma Mater “Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac”, a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por todos los conocimientos, experiencias, entrega y dedicación en formar profesionales que contribuyen al desarrollo del país. A la Empresa Exsa S.A – Unidad Minera Cerro Corona – Gold Fields.



Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mi familia, a mi esposa Sharon Alexa e hija Victoria Christiane, a mis padres Diomedes, Herlinda, a mis hermanos Carlos, Herlinda, Lalo, Franklin, Darwin, a Narcisa y Bacilisa en el cielo por su tenacidad y fortaleza de mi inspiración, que con su infinito apoyo lograron guiarme con el único fin de alcanzar mis sueños en la universidad de la vida.

A mis amigos que me apoyaron en mi formación profesional, a todos los docentes, aquellos que marcaron cada etapa de mi formación profesional, gracias a todos.



“Influencia de la implementación de detonadores electrónicos en el proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019”

Línea de investigación: Minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1. Descripción del problema.....	5
1.2. Enunciado del problema.....	5
1.2.1. Problema General	5
1.2.2. Problemas Específicos.....	5
1.2.3. Justificación de la investigación.....	6
1.2.4. Ubicación.....	6
1.2.5. Contextualización	8
1.2.6. Generalidades.....	9
1.2.6.1. Explotación	9
1.2.6.2. Beneficio	10
1.2.6.3. Comercialización	11
1.2.7. Medio ambiente	12
1.2.8. Clima.....	12
1.2.9. Recursos	14
1.2.9.1. Flora	14
1.2.9.2. Fauna.....	14
1.2.9.3. Fisiografía	15
1.2.10. Reseña histórica.....	15
1.2.11. Geología	16
1.2.11.1. Geología regional.....	16
1.2.11.2. Geología local	17
1.2.11.3. Estratigrafía.....	18
1.2.11.4. Geología Estructural	19
1.2.11.5. Rocas sedimentarias	21



1.2.11.6.Rocas intrusivas	21
1.2.11.7.Tipos de Alteración.....	22
CAPÍTULO II	25
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	25
2.1. Objetivos de la investigación	25
2.1.1. Objetivo General	25
2.1.2. Objetivo específico.....	25
2.2. Hipótesis de la investigación.....	25
2.2.1. Hipótesis general	25
2.2.2. Hipótesis específicas	25
2.3. Operacionalización de variables.....	26
CAPÍTULO III	28
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	28
3.1. Antecedentes	28
3.1.1. Antecedentes a nivel internacional.....	28
3.1.2. Antecedentes a nivel nacional.....	29
3.1.3. Antecedentes a nivel regional	32
3.2. Marco teórico	33
3.2.1. Detonación.....	33
3.2.2. Detonadores no electrónicos	34
3.2.3. Detonadores Eléctricos.....	34
3.2.4. Componentes del detonador electrónico	34
3.2.5. Tipos de detonadores.....	35
3.2.6. Diferencia entre detonadores.....	36
3.2.7. Tiempos de retardo.....	36
3.2.8. Secuencia de iniciación	36
3.2.9. Secuencia de tiempos	37
3.2.10. Secuencia de iniciación de voladura	37
3.2.11. Distribución para conexión	38



3.2.12. Proceso de voladura.....	38
3.2.13. Teoría de la fragmentación.....	39
3.2.14. Granulometría P80.....	39
3.2.15. Teoría de la reflexión.....	42
3.2.16. Teoría de la expansión de los gases.....	42
3.2.17. Rotura por flexión.....	42
3.2.18. Detonación del explosivo.....	42
3.2.19. Mejora de la fragmentación.....	42
3.2.20. Vibraciones.....	43
3.2.21. Sistema de detonadores electrónicos para el control en voladuras.....	43
3.2.22. Componentes del Sistema DigiShot Plus.....	43
3.2.23. Seguridad del sistema electrónico.....	52
3.2.24. Tamaño de la voladura y límites del equipo de control.....	55
3.2.25. Voladura.....	59
3.2.26. Fragmentación de la voladura.....	59
3.2.27. Nivel de vibraciones producidas por las vibraciones.....	59
3.2.28. Condiciones para una voladura de rocas.....	59
3.3. Marco conceptual.....	60
CAPÍTULO IV.....	63
DISEÑO METODOLÓGICO.....	63
4.1. Tipo y Nivel de la investigación.....	63
4.2. Diseño de investigación.....	63
4.3. Población y muestra.....	63
4.4. Procedimiento.....	64
4.4.1. Medición de vibraciones.....	64
4.4.2. Análisis de fragmentación.....	65
4.4.3. Carguío de taladros.....	66
4.5. Técnica e instrumentos.....	68
4.5.1. Técnica.....	68



4.5.2. Instrumentos de investigación.....	68
4.6. Análisis estadístico.....	68
CAPÍTULO V.....	69
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
5.1. Análisis de los resultados.....	69
5.2. Contrastación de hipótesis.....	81
5.3. Discusión.....	82
CAPÍTULO VI.....	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
6.1. Conclusiones.....	85
6.2. Recomendaciones.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	92



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Vía de acceso a la unidad minera Cerro Corona.....	8
Tabla 2 — Temperatura, precipitación y humedad relativa de Hualgayoc.	13
Tabla 3 — Operacionalización de variables	26
Tabla 4 — Temperaturas de los detonadores.....	43
Tabla 5 — Componentes del detonador.....	44
Tabla 6 — Resistencias de los detonadores	45
Tabla 7 — El Tagger DigiShot Plus	46
Tabla 8 — Funciones del Bench Box DigiShot Plus.....	50
Tabla 9 — Funciones de la Estación Base DigiShot Plus	51
Tabla 10 — Capacidad Bench Box.....	51
Tabla 11 — SmartKeys DigiShot Plus	52
Tabla 12 — Resumen estación base	54
Tabla 13 — Flexibilidad en el diseño de la voladura	55
Tabla 14 — Fácil de aprender voladura.....	55
Tabla 15 — Límites de temperatura	58
Tabla 16 — Registro de vibraciones con detonadores no electrónicos, 2018	74
Tabla 17 — Registro de vibraciones con detonadores electrónicos, 2019	76
Tabla 18 — Distancia escalar y VPP con detonadores pirotécnicos y electrónicos.....	79
Tabla 19 — Matriz de consistencia	93

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Mapa ubicación de la mina.....	7
Figura 2 — Flora característico de cerro corona.	14
Figura 3 — Fauna representativa de la zona de estudio.	14
Figura 4 — Fisiografía del área de la Mina Gold Fields.	15
Figura 5 — Formación Chulec.	19
Figura 6 — Alteraciones-sección esquemática.....	23
Figura 7 — Sección preliminar esquemática del stock Cerro Corona.....	24
Figura 8 — Detonador electrónico Digishot plus.....	34
Figura 9 — Clases de detonadores	35
Figura 10 — Componentes externos del DigiShot Plus	44
Figura 11 — Componentes internos del detonador	45
Figura 12 — Teclado Tagger.....	48
Figura 13 — Bench Box/Estación Base DigiShot Plus Externamente.....	49
Figura 14 — Estuche de Bench Box/Estación Base DigiShot Plus Externamente	49
Figura 15 — Teclado Bench Box/Estación Base DigiShot Plus.....	50
Figura 16 — SmartKeys DigiShot Plus.....	52
Figura 17 — Los canales del sistema	56
Figura 18 — Cantidad de especiales	56
Figura 19 — Conexiones de los detonadores	57
Figura 20 — Fragmentación de voladura con detonadores no electrónicos, 2018.....	70
Figura 21 — P80 Promedio con detonadores no electrónicos, 2018.....	71
Figura 22 — Análisis de fragmentación por proyecto, noviembre 2019	72
Figura 23 — Plano de punto de monitoreo de vibraciones	73
Figura 24 — Reporte de vibraciones con detonadores no electrónicos, 2018.....	75

Figura 25 — Reporte de vibraciones con detonadores electrónicos, 2019.....	77
Figura 26 — P80 con uso de detonadores no electrónicos y detonadores electrónicos	78
Figura 27 — Análisis de vibraciones con detonadores pirotécnicos y electrónicos.....	80
Figura 28 — Tajo despejado de la Unidad Minera Cerro Corona.....	95
Figura 29 — Terreno preparado antes de la voladura	96
Figura 30 — Zona reconocida para realizar el trabajo	97
Figura 31 — Zona cargada con detonador Digishot Plus (Cerro Candela).....	98
Figura 32 — Detonador siendo etiquetado y conectado.....	99
Figura 33 — Bench station colocado en el punto de disparo de voladura	100
Figura 34 — Frente de minado siendo minado (Tajo intermedio)	101
Figura 35 — Equipos de control de vibraciones pasando pruebas y check list.....	102
Figura 36 — Control de detonadores Digishot Plus en el tapado de taladros	103
Figura 37 — Operadores verificando y etiquetando los detonadores con el Tagger.....	104
Figura 38 — Programación de los detonadores y disparo.....	105
Figura 39 — Resultados del material fragmentado con detonadores electrónicos.....	106
Figura 40 — Resultados del material fragmentado con detonadores electrónicos.....	107
Figura 41 — Diseño de carga para detonadores pirotécnicos	108
Figura 42 — Diseño de carga para detonadores electrónicos.....	109



INTRODUCCIÓN

La presente investigación titulada influencia de la implementación de detonadores electrónicos en el proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019, cuyo planteamiento del problema se centra en las vibraciones excesivas producto de las voladuras, que superan la VPP crítico establecido por las normas internacionales de vibración y la fragmentación de rocas inadecuadas generan ineficiencia en el carguío del material disparado, en consecuencia, la seguridad de los trabajadores involucrados en esta actividad e instalaciones aledañas se ven en riesgo. La presente investigación está constituida por distintos capítulos que explican el proceso de los resultados de la investigación, donde se describe a continuación:

Capítulo I: Se representa la descripción del problema, el enunciado del problema, la justificación, la ubicación y contextualización.

Capítulo II: Se describe el objetivo, hipótesis y la operacionalización de variables.

Capítulo III: Se describe los antecedentes, el marco teórico y el marco conceptual.

Capítulo IV: Se describe el tipo y nivel de la investigación, la población y muestra, la técnica e instrumento y el análisis estadístico.

Capítulo V: Se describe los análisis de resultados y la contrastación de hipótesis.

Capítulo VI: Se describe las conclusiones y recomendaciones.

De tal manera, se cumple con el objetivo de la investigación de determinar la influencia de la implementación de detonadores electrónicos en la mejora del proceso de voladura en la Unidad Cerro Corona-Cajamarca, 2019, cuyo objetivo específico es mejorar la fragmentación de la roca con el uso de detonadores electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019; mejorar el nivel de vibraciones con el uso de detonadores electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019; y comparar los resultados de fragmentación y vibraciones al usar detonadores electrónicos y no electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019. Asimismo, la hipótesis es la implementación de los detonadores electrónicos influye positivamente en la mejora del proceso de la voladura de rocas, en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019. La presente investigación es de tipo aplicada, de nivel descriptivo y de diseño no experimental.

Por otro lado para los recursos de información, las bibliotecas virtuales más consultadas son las Concytec, Scielo, Renati y Google académico. Para este sistema de revisión, se procede a la selección de fuentes primarias bajo criterios como año de publicación, relevancia de la información que responda a la pregunta de investigación y que contenga las variables planteadas. Llegando a la conclusión que la implementación de los detonadores eléctricos



influye positivamente en la mejora del proceso de voladura de rocas en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

Por último, el aporte de esta tesis es de gran importancia ya que, al implementar los detonadores electrónicos en las voladuras, mejorará el grado de porcentaje de fragmentación obtenido y asimismo se minimizan significativamente el nivel de vibración en el proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.



RESUMEN

El planteamiento del problema se centra en las vibraciones excesivas producto de las voladuras, que superan la VPP crítico establecido por la NIV (Norma internacional de vibraciones) y la fragmentación de rocas inadecuadas generan ineficiencia en el carguío del material, que, en consecuencia, la seguridad de los trabajadores involucrados a esta actividad e instalaciones aledañas se ven en riesgo. De tal manera, se cumplió con el objetivo de la investigación de determinar la influencia de la implementación de detonadores electrónicos en la mejora del proceso de voladura en la Unidad Cerro Corona-Cajamarca, 2019, asimismo, la hipótesis es la implementación de los detonadores electrónicos influye positivamente en la mejora del proceso de la voladura de rocas, en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019. Para el marco teórico se han establecido las tres variables: la primera detonadores electrónicos que es un accesorio de arenado consta de un metal dúplex y una tapa de metal en un extremo; la segunda variable fragmentación de la voladura, para la fragmentación de rocas requiere el uso de energía derivada de una reacción química resultante de la detonación de cargas explosivas incrustadas en una masa rocosa; la última variable es el nivel de vibraciones, los registros de vibración se obtuvieron mediante equipos de instrumentación como el sismógrafo y geófonos. La presente investigación es de tipo aplicada, de nivel descriptivo y de diseño no experimental. Se ha podido ejecutar pruebas de voladuras las cuales dieron resultados favorables, como consecuencia del buen funcionamiento de los detonadores electrónicos, refiriéndose a no generar tiros cortados y tiros quedados (TQs), en cuanto a la fragmentación y al nivel de vibraciones los resultados obtenidos fueron satisfactorios; puesto que la implementación de detonadores electrónicos DigiShot Plus en los frentes de minado mejoró el grado de porcentaje de fragmentación, disminuyendo el P80 de 8,74” a 2,96”, por otro lado, los detonadores electrónicos DigiShot Plus minimizaron significativamente el nivel de vibración en el proceso de voladura de 20,15 mm/s y 12,83 Hz a 9,64 mm/s y 10,56 Hz para los niveles promedio de VPP y frecuencia respectivamente en la Unidad Minera Cerro Corona – Cajamarca, 2019. Se concluye que ahora con la implementación de los detonadores electrónicos hay una buena fragmentación de rocas, los niveles de vibración están por debajo según NIV, la seguridad del personal involucrado al proceso de voladura e instalaciones aledañas esta salvaguardada gracias a los beneficios que ofrece el sistema de detonadores electrónicos y hace posible el mejoramiento de los procesos de voladuras optimas en la unidad minera cerro corona.

Palabras clave: *Detonadores electrónicos, fragmentación de roca, nivel de vibraciones.*



ABSTRACT

The problem statement focuses on the excess vibrations resulting from the blasting, which exceed the critical VPP established by the NIV (International Vibration Standard) and the fragmentation of inadequate rocks generates inefficiency in the loading of the material, which, consequently, the safety of workers involved in this activity and surrounding facilities are at risk. In such a way, the research objective of determining the influence of the implementation of electronic detonators in the improvement of the blasting process in the Cerro Corona-Cajamarca Unit, 2019 was fulfilled, likewise, the hypothesis is the implementation of electronic detonators positively influences in the improvement of the rock blasting process, in the Cerro Corona-Cajamarca Mining Unit, 2019. For the theoretical framework the three variables have been established: the first electronic detonators which is a sandblasting accessory consists of a duplex metal and a metal cap at one end; the second variable blasting fragmentation, for rock fragmentation requires the use of energy derived from a chemical reaction resulting from the detonation of explosive charges embedded in a rock mass; the last variable is the vibration level, the vibration records were obtained by means of instrumentation equipment such as seismograph and geophones, which indicate a typical vibration level for reference situations, for routine connection trajectories. The present investigation is of an applied type, of a descriptive level and of a non-experimental design. It has been possible to carry out blasting tests which gave favorable results, as a consequence of the good functioning of the electronic detonators, referring to not generating cut shots and hit shots (TQs), as for fragmentation and vibration level, the results obtained were satisfactory; since the implementation of DigiShot Plus electronic detonators in the mining faces improved the degree of fragmentation percentage, decreasing the P80 from 8,74" to 2,96", on the other hand, the DigiShot Plus electronic detonators significantly minimized the vibration level in the blasting process from 20,15 mm/s and 12,83 Hz to 9,64 mm/s and 10,56 Hz for average VPP and frequency levels respectively at Cerro Corona Mining Unit - Cajamarca, 2019. It is concluded that now with the implementation of electronic detonators there is a good fragmentation of rocks, vibration levels are below NIV, the safety of personnel involved in the blasting process and surrounding facilities is safeguarded thanks to the benefits offered by the electronic detonator system and makes possible the improvement of blasting processes in Unit Cerro Corona Mining.

Keywords: *Electronic detonators, blasting fragmentation, vibration level.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la Unidad Minera Cerro Corona localizada en la Región de Cajamarca, se desarrolla el diseño de voladura a tajo abierto en mallas de 4,8 m. x 5,5 m., aplicando accesorios y explosivos que ocasionan vibraciones excesivas producto de las voladuras, en consecuencia la seguridad de los trabajadores e instalaciones se ven en riesgo, del mismo modo la fragmentación de rocas es inadecuada donde se ejecutan voladuras de control, así como voladuras secundarias y crean ineficiencia en el carguío del material disparado.

Hoy en día las empresas mineras y sus procesos de voladura y perforación buscan implementar explosivos que permitan reducir los riesgos personales, en equipos e instalaciones. En esta razón involucran a los detonadores electrónicos, por su mayor precisión y eficiencia. Los detonadores electrónicos optimizan la fragmentación del macizo rocoso, para lo cual brinda un grado de seguridad, por lo que permite tener control de mando, ruido y vibraciones.

Es por ello se realiza la evaluación del proceso de voladura con la implementación de los detonadores electrónicos en la Unidad Minera Cerro Corona que se ubica en la región de Cajamarca, de tal manera mejore el proceso de voladura y la vez reduzca los riesgos a los que están expuestos el personal involucrado a esta actividad, los equipos e instalaciones con la capacidad de control y monitoreo sobre las operaciones.

1.2. Enunciado del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo la implementación de detonadores electrónicos influye el rendimiento de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿En qué medida el uso de los detonadores electrónicos mejora la fragmentación de la roca en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019?
- ¿En qué medida el uso de detonadores electrónicos minimiza el nivel de vibraciones en las actividades de producción en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019?

- ¿Cuáles son las diferencias en cuanto a fragmentación y vibraciones al usar detonadores electrónicos y detonadores pirotécnicos en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019?

1.2.3. Justificación de la investigación

El presente estudio buscó mejorar el proceso de voladura por medio de la implementación de detonadores electrónicos en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca 2019, a causa de que se han observado problemas relacionados al proceso de voladura, en donde al usar detonadores del tipo no eléctrico, la fragmentación no se da de igual manera ya que el P80 es mayor al estándar en la Unidad Minera, haciendo que la productividad disminuya significativamente en los procesos de carguío, acarreo y chancado.

Por otro lado, un tema importante es la seguridad de los trabajadores ya que con los detonadores no electrónicos es complicado evitar los tiros quedados ya que no brindan los controles suficientes; a esto se le suman las vibraciones excesivas que se han detectado en la Unidad Minera en donde no solo están en peligro los trabajadores, sino también los equipos e instalaciones.

De esta manera, es importante la implementación de los detonadores electrónicos, con los cuales la Unidad Minera Cerro Corona se verá beneficiada, así como las personas, equipos y los procesos ya que, al mejorar la fragmentación de las rocas, se optimizará el proceso de voladura además de los procesos posteriores a este; del mismo modo, se ven beneficiados por temas relacionados a su seguridad al disminuir la posibilidad de tiros quedados y de las vibraciones que se han identificado.

1.2.4. Ubicación

Las actividades se realizaron en la Unidad Minera Cerro Corona localizado en la región de Cajamarca, provincia y distrito de Hualgayoc, en la comunidad El Tingo, adjunto a La Jalca, y Coimolache y Pilancones en las siguientes coordenadas UTM del eje central de cerro corona N 9251657, E 761393.

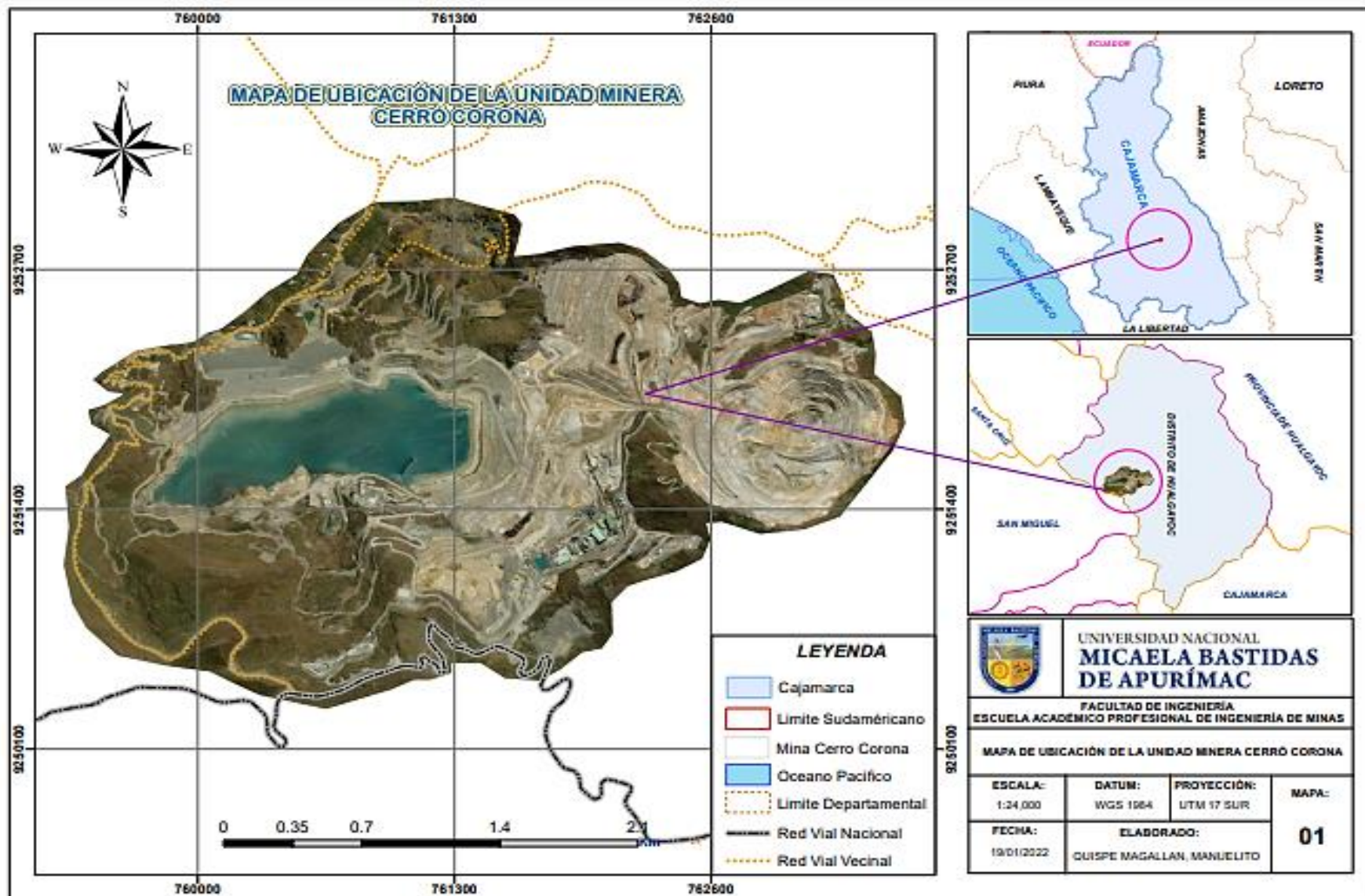


Figura 1 — Mapa ubicación de la mina

- **Accesibilidad**

Es accesible a la unidad minera Cerro Corona por la panamericana norte mediante una carretera asfaltada de 861 km desde de Lima hasta Cajamarca, pasando por la carretera Cajamarca – Yanacocha y luego la carretera Yanacocha a Hualgayoc a 90 km. con dirección al paraje El Tingo. Alrededor de 10 km al noroeste de Hualgayoc, a 30 km al suroeste de la ciudad de Bambamarca, capital de Hualgayoc y 90 km al noroeste de Cajamarca.

Tabla 1 — Vía de acceso a la unidad minera Cerro Corona

Ruta	Distancia (Km)	Tiempo (Hr)	Vía de acceso	Tipo de acceso
Abancay - Lima	920	17	Terrestre	Asfaltado
Lima – Cajamarca	861	15	Terrestre	Asfaltado
Lima – Cajamarca	-	1	Aéreo	-
Cajamarca- Hualgayoc	90	4	Terrestre	Asfaltado
Hualgayoc-Unidad Minera	4	0,2	Terrestre	Trocha
TOTAL	1875	36,2	-	-

Extraído de GOLD FIELDS (2017, párr. 4)

1.2.5. Contextualización

- **Área de Influencia Directa**

Se encuentra comprendido en “El Tingo”, “Pilancones y Coimolache”, y el centro poblado del “Hualgayoc”.

Es una zona que se encuentra en pobreza extrema dedicada principalmente a la ganadería y agricultura GOLD FIELDS (2017, párr. 4).

- **Área de Influencia Indirecta**

Se encuentra constituido por el distrito de “Bambamarca” y las comunidades ubicadas en las cuencas de los “ríos Tingo / Maygasbamba” y “Hualgayoc / Arascorgue”, incluyendo a las personas que involucra el plan de agua potable



“Manuel Vásquez Díaz que han sido consideradas para el monitoreo de vibraciones” GOLD FIELDS (2017, párr. 4).

1.2.6. Generalidades

1.2.6.1. Explotación

Según GOLD FIELDS (2018, p. 31):

- **Minado:** El proceso de minado comienza con la perforación, voladura, carga y traslado del material y finaliza con él o manejo del material para abastecer a la planta de procesamiento mediante agitación o una mezcla de tratamiento adecuada. La mayoría de las operaciones mineras son realizadas por una compañía minera con especialista en suministro bajo la dirección y control de Gold Fields en Perú.
- **Perforación:** Primera fase del minado, que radica en perforar las áreas de minado avanzado que se encuentran a lo largo del borde del tajo; hay una carga explosiva en él. La perforación posee parámetros que depende del tipo de material (mineral o desecho) y dureza.
- **Voladura:** Proceso por el cual la intención es romper la roca en fragmentos adecuados usando explosivos. El uso del tipo de explosivo se determinará por el material, la presencia de agua y la dureza de la roca. Se utilizó ANFO pesado, MEQ 73 y el precorte se utilizó una emulsión encapsulada. Carga: después de la explosión, el material se carga en excavadoras con un volumen de 4,6 m³.
- **Acarreo:** El mineral se extrajo con camiones volquete de 32 toneladas. El material se diferencia según su naturaleza; el mineral de sulfuro se reserva para el proceso de molienda y almacenamiento de piso y desechos. Si son aptos para la construcción, se usan para procesos de eliminación de residuos o para el mantenimiento de carreteras. A pequeña escala, se planea continuar recolectando óxido de mineral en el yacimiento de mineral (reservorio).
- **Remanejo en rom pad:** La carga desde el stock de mineral (dedos de la plataforma rom) se realiza en cargadores con una capacidad de 4,5 m³ balde de trituradora de mandíbula móvil y / o trituradora de rodillos molino.

1.2.6.2. Beneficio

- La planta concentradora de la Unidad Minera Cerro Corona tiene una capacidad instalada de sulfuros de cobre auríferos, con un aforo de procesamiento de 775 toneladas de mineral por hora, a través del chancado o chancado, flotación, molienda, concentración y filtración y almacenar temporal el concentrado. El área de la planta “Plant Site” es cerca de 45000 m², donde se construyen todas las instalaciones concentradoras.
- Chancado del mineral: Los distintos tipos de minerales derivados durante el proceso de extracción se recolectan en un suministro de minerales y luego ingresan a una trituradora, cuyo objetivo es disminuir el tamaño del mineral y garantizar que se alimenta para triturar y producir un producto más pequeño (hasta 6 pulgadas). El material resultante es transportado por correas hasta la zona de molienda.
- Molienda: El producto molido se alimenta a un circuito de molienda de 2 fases para triturarlo aún más y alcanzar un tamaño adecuado para enviar la pulpa al proceso de flotación. El producto ingresa al molino SAG para reducir su tamaño de 4 a 0,1 pulgadas. Luego, los desechos del molino se bombean a una técnica de tamaño de hidrociclón, donde el mineral de menos de 150 micrones se envía a la flotación, por medio que el mineral más grande se envía a un molino. El propósito de esta fase es conseguir una explotación y categorización óptima del mineral con propiedades que respondan un proceso de flotación eficiente.
- Flotación y reactivos, gravimetría y remolienda: Las fases, los materiales valiosos (oro y cobre) se separan de los preciosos (hierro, arcilla, relaves) a través de la adición de reactivos que permiten la formación de elementos valiosos (cobre y oro). sulfuro adherido a él. La gravimetría recibió un regalo de oro gratis; el material que no flota se considera relave. El propósito de la fase es obtener el máximo contenido de metal y así responder una calidad apreciable del producto.
- Espesamiento y relaves: De la flotación se consiguen 2 productos: concentrado de mineral y relaves. El relave se envía a un defensor,

donde se retiran los sólidos de los líquidos y se extrae el agua. El concentrado final se condensa y pasa a través de una etapa de filtración antes de la deposición a medida que los relaves se envían a la presa de relaves. Este proceso es indispensable maximizar la utilización del agua a través de la eficacia del espesamiento para maximizar la retención de la concentración y menguar la contaminación.

- Filtrado: el concentrado se filtra para obtener la máxima cantidad de agua presente en él. El control de humedad evita la pérdida de producto por fuga o evaporación durante el transporte del material al puerto de Salaverry. El porcentaje de humedad es casi del 8%.
- Almacenamiento y despacho de concentrado: Esta es la última etapa del proceso de producción. El concentrado se acumula para su próxima expedición al puerto de Salaverry, que transporta el concentrado con contenedores cerrados de fibra de vidrio. Cada operación de transporte suele estar formada por un convoy de siete camiones, acompañados de un camión que conduce la caravana y se encarga de avisarles si hay algún problema en el camino.

1.2.6.3. Comercialización

- La expedición es la fase final del proceso, donde se acumula el concentrado para su posterior transporte en camiones de 30 toneladas hasta el puerto de Salaverry. El control que realiza es de humedad y calidad. Gold Fields La Cima S.A. en el 2008 en agosto se inició sus almacenes en la comunidad de Salaverry, ubicado a 3 kilómetros del puerto, para el almacenamiento de concentrados de cobre que proviene de la concentradora en Cerro Corona de Hualgayoc -Cajamarca. Después de la etapa de extracción y almacenamiento, el concentrado de cobre se exporta a varios puertos de embarque a sus clientes. En Gold Fields La Cima S.A. Tiene un diseño de descarga directa desde camiones, lo que imposibilita la recolección de minerales en el tablero de babor. Además, la hermeticidad que producen los dos aspiradores asegura un funcionamiento que no contamina el medio ambiente.

1.2.7. Medio ambiente

- Se han implementado una serie de presentaciones para mitigar, controlar y prevenir los impactos del medio que puedan formar las actividades empresariales de la unidad minera Cerro Corona. Estas presentaciones o capacitaciones nos proporcionan cumplimiento de la norma ambiental aplicable, las obligaciones exigidas por el EIA y los lineamientos de la matriz.
- En 2006, Gold Fields, como titular nuevo de los derechos mineros trasladados a Sociedad Minera Corona S.A., acordó rectificar siete deudas ambientales en Cerro Corona. La empresa incluyó el cierre de estos pasivos con un plan de cierre de mina idóneo por el Ministerio de Energía y Minas.

Los pasivos remediados y asumidos han sido:

- Planta concentradora Bella Unión.
- Relavera La Jalca.
- Relaveras 1 y 2.
- Campamento Bella Unión.
- Oficinas y almacenes.
- Tanques de combustible y sus instalaciones.
- La casa de fuerza.

1.2.8. Clima

GOLD FIELDS (2018). La Compañía Cerro Corona (se localiza 3600 y 4050 m.s.n.m) la temperatura media es de 6,1 °C y 7,1 °C, y la precipitación es de 1283,4 milímetros anuales.

- Se caracteriza por un clima súper húmedo sin exceso de agua, frío templado y bajas concentraciones estivales según la clasificación climática de Thornthwaite.
- La temporada de lluvias suele caer de octubre a abril y el verano de junio a septiembre, considerándose mayo un período de transición (p. 44).
- En cuanto a las precipitaciones, la temporada de lluvias en Cerro Corona se agrupa entre octubre y abril; asimismo de mayo a septiembre.

Tabla 2 — Temperatura, precipitación y humedad relativa de Hualgayoc.

Mes/Cond.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media (°C)	12,1	11,8	12,3	11,9	12,2	12,6	12,7	712,9	12,1	12,6	12,6	12,4
Temperatura min. (°C)	4,1	3,6	4,1	3,9	3,2	2,5	1,7	2,2	2,1	3,6	2,9	3,3
Temperatura máx. (°C)	17,5	18,5	19,0	21,0	18,5	21,0	21,0	21,3	19,0	19,0	18,5	18,5
Precipitación (mm)	98,0	108,4	131,7	107,6	52,2	14,6	13,8	30,1	46,1	103,3	89,4	104,2
Humedad Rel. (%)	72	72	71	72	71	68	65	66	68	71	68	70

Extraído de Registro Medio ambiente GOLD FIELDS (2018)

1.2.9. Recursos

1.2.9.1. Flora

Las principales formaciones vegetales presentes en cerro corona son: Vegetación de roquedal, matorral bajo, pajonal de puna, tabacal, zonas húmedas o vegetación ribereña y rodal de puya fastuosa.



Figura 2 — Flora característico de cerro corona.

1.2.9.2. Fauna

En el área total que involucra a toda la Unidad Minera Cerro Corona, inscrito un total de 16 especies de mamíferos, repartidos en 9 familias y 5 órdenes. El más característico fue el orden Rodentia (roedores), registrados con 9 especies, repartidas en 3 familias.



Figura 3 — Fauna representativa de la zona de estudio.

1.2.9.3. Fisiografía

La zona de la mina muestra una topografía irregular propios de cerro corona, representada por cumbres, llanuras, laderas de relieve suave y quebradas casi profundas.



Figura 4 — Fisiografía del área de la Mina Gold Fields.

1.2.10. Reseña histórica

Según GOLD FIELDS (2018, p. 12). La unidad minera Cerro Corona se localiza en un área marcada por la historia de la minería. Desde finales del siglo XVIII, cuando se descubrió el cerro Hualgayoc en la época colonial, la minería ha mostrado el crecimiento de las actividades en la región.

Historialmente, la zona ha sido minada en escala pequeña por ello el área tiene socavones y pequeñas pilas de desmonte.

- Durante el año 2017 se ha logrado diseñar una estrategia que alargara la vida útil de la mina hasta pasado el año 2030. Asimismo, entre varios otros proyectos ejecutados por la mesa de diálogo, se ha empezado con el proyecto de agua del dique de cuadratura que dotará de agua a más de 4000 hualgayoquinos.
- Durante el año 2018 cumplimos 10 años de operación. Logramos certificarnos bajo la norma ISO 50001, mostrando ser una operación eficiente con la energía. Revalidamos la certificación ISO 14001 versión 2015, mostrando ser una operación con altos estándares ambientales.

Fuimos reconocidos por el ISEM como la operación a tajo abierto más segura del Perú.

1.2.11. Geología

Según SOCIEDAD MINERA LA CIMA SA (2005, p. 10). El depósito Cerro Corona es pórfido de oro-cobre, roca caliza-alcalina, diorita de cuarzo en el medio del margen continental. El robo porfídico evidencia una cantidad cuya característica es de magnetita hidrotermal.

Existen tres zonas mineralizadas diferentes, identificadas como la zona del anillo, norte y sur. Cada zona se procesa por separado con fines de modelado de recursos y geológicos.

También de las zonas mineralizadas, se caracteriza el yacimiento por diferentes dominios según el grado de oxidación y calentamiento. El proceso de oxidación supergénica conduciendo a la formación de una capa de formación de cobre de débil a media, lo que hace que el depósito se divida de arriba a abajo en varias zonas: la zona de óxido, una mezcla de sulfuros y óxidos, una de sulfuros secundarios enriquecidos (supergen) y una de sulfuros primarios (hipógeno).

1.2.11.1. Geología regional

Según YUPA (2018, p. 39). En Perú la geología regional está sometida por los Andes, que se extiende de noroeste a sureste a lo largo del país. Estas montañas son la consecuencia de la subducción de la Placa de Nazca y de la colisión, que se encuentra debajo del continente sudamericano y constituye de 5 áreas fisiográficas, que son:

- Llanuras costeras
- Cordillera occidental
- Valles interandinos
- Llanuras amazónicas y Cordillera oriental.

El área de la configuración estructural se ve a menudo fallas de rumba y pliegues, cuyos ejes apuntan hacia el noroeste. En la región, la unidad minera está ubicada en el recodo de Cajamarca, produce megasintonías en dirección este-oeste, corta la configuración noroeste dominante de



las estructuras andinas y representa la mineralización local a escala regional.

Con base en la geología y el tipo de mineralización, se identificaron dos subáreas mineras en el área de Hualgayoc: la subárea de Hualgayoc y la subárea de Tantahuatay.

En el distrito de Hualgayoc se encuentran rocas del Cretácico (hasta pórfido albanés), equivalentes a areniscas, calizas, cuarcita y calizas limonitas del grupo Goyllarisquizga, formaciones Inca, Chulec, Yumagual y Pariatambo. Los cuerpos perturbadores incluyen el domo de Cerro Jesús, el Cerro Hualgayoc, el cerro San José y el stock de Cerro Corona. Las erupciones dioríticas Cerro Jesús y Cerro José datan de hace 10,5-14,3 millones de años, por medio que la roca intrusiva de riódazita Cerro Hualgayoc es más joven, 7,9 millones de años. Cerro Corona es probablemente contemporáneo, Cerro Jesús y Cerro San José son inquietantes, aunque su composición es cuarzo-diorita.

El cuerpo perturbador centralizado parece estar varios kilómetros al oeste-noroeste de Cerro Corona y se desarrolla a ambos lados del río Tingo, relacionado con las manifestaciones de Cerro Jesús y Cerro San José. Este cuerpo está conectado a varios arroyos pequeños de riolita en la parte sur de Cerro Las Gordas y Cerro Las Águilas y dos áreas de almacenamiento a cada lado del Río Tinge.

1.2.11.2. Geología local

Según YUPA (2018, p. 41). El yacimiento de oro y cobre de Cerro Corona está instalado en un “stock” porfirítico de diorita-cuarzo subvertical de forma cilíndrica de 600-700 metros de diámetro, buzamientos SO, calizas de rumbo noroeste, mármoles de la formación Yumagual del cretáceo medio y en estratificación mediana. En la superficie se evidencia de moderada a fuerte argilizado, con presencia de exóticos que manchan parcialmente el yacimiento y óxidos de fierro indígenas. El intrusivo está cortado por un stock de cuarzo multifásico en vetas de milímetros a centímetros de ancho, especialmente en el medio de la superficie intrusiva fuertemente cuarzosa, y forma una longitud topográfica duradera. La mayoría de las madrigueras se



introducen en una fase, con la posibilidad de que una o dos fases pequeñas intermedias o posteriores representen zonas infértiles.

1.2.11.3. Estratigrafía

Según SALAZAR (2011, p. 31). Las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas afloran en el distrito minero de Cerro Corona. Entre el cretáceo y el cuaternario actual en términos de edad.

Al comparar la zona con otros lugares estudiados y comprobar que sus características geológicas y geográficas son muy similares, se ha establecido una secuencia estratégica para la región.

a) Formación Chulec

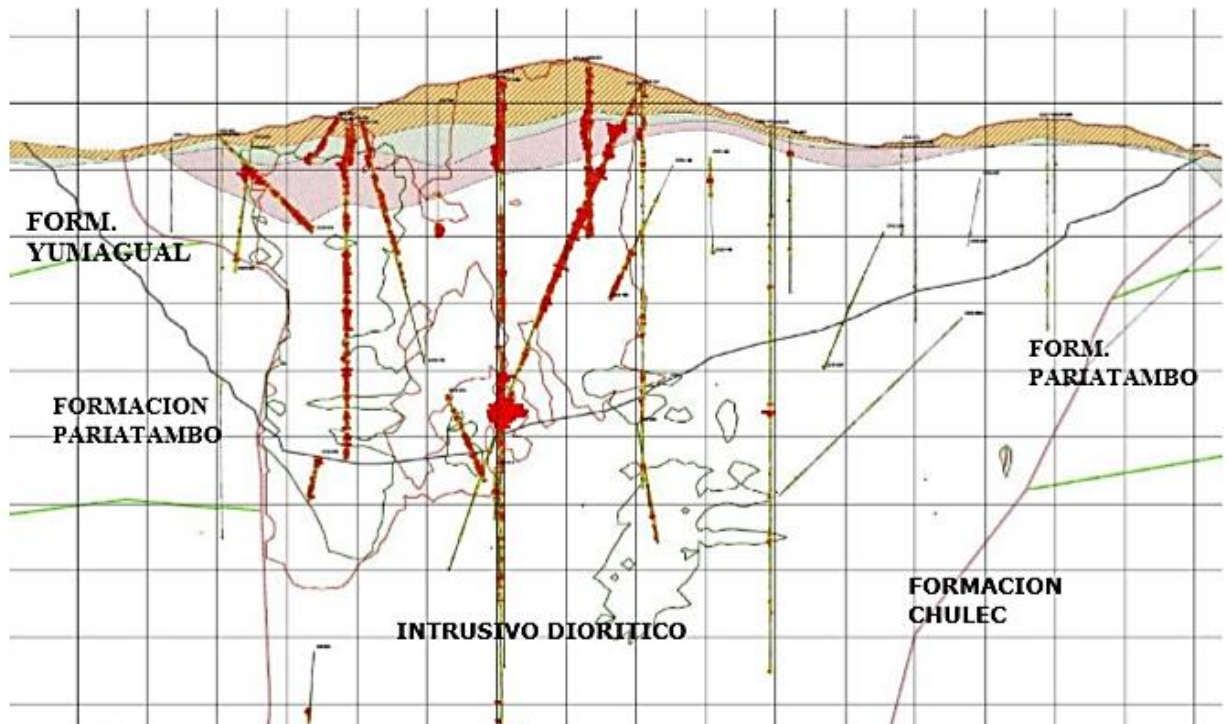
- Gris claros a amarillentas calizas nodulares y Margas
- Bastante fauna, restos de Exogiras y bivalvos
- Suaves topográficamente
- Formación Pariatambo concordante.

b) Formación Pariatambo

- Calizas con intercalaciones de lutitas negras
- Olor fétido y delgada estratificación.
- Escasos amonites en fauna
- Grupo Puillucana con Contacto concordante.

c) Grupo Puillucana

- Calizas claras, lutitas y margas de color marrón
- Estratificación en bancos poderosos
- Fauna gasterópodos y bivalvos.
- Presenta escarpas poco pronunciadas a ondulatorias.



Extraído de SALAZAR (2011, p. 31).

1.2.11.4. Geología Estructural

Estructuras

Según YUPA (2018, p. 50). La estructura dominante es el anticlinal (estructura doméstica), cuyo eje tiene una dirección general entre este y oeste inflexionada hacia el noreste y mayormente buzante hacia el este, con buzamiento lateral de 20° - 40° hacia el norte y el sur.

- **Plegamiento**

La zona se define por la presencia de pliegues largos y oscuros, agrupados y sometidos a inundaciones masivas. Destacan dos sobrecrecimientos: uno en una región orientada al N30E con un viento zumbante del noroeste, y otro en el centro sur de la zona.

- **Fallamiento**

Según YUPA (2018, p. 52). El yacimiento de la Unidad Minera Cerro Corona ha sido afectado por dos sistemas esenciales de fallamiento.

Sistema de Fallas NE – SO

- **Falla Olga**

La falla se presenta por cortar el Cerro Corona de NO a SW con una orientación de 66/80° SE, se muestra principalmente en la parte alta de Cerro Corona con una fuerza de 0,40 m. - 1,5m. Se considera un material tectónico fino moderadamente calentado con apariencia de óxidos de hierro y arcillas.

- **Falla Mariela**

La falla asimismo se ubica con dirección Noreste – SO paralelo a la falla Olga con orientación 55/ 80° NO aproximadamente, el cerro queda expuesto en la cima y tiene un espesor de 0,2 m. a 2,0 m. hacia el NE hacia el mismo desaparece y se convierte en un pequeño boquete y se tapa con material de relleno en el camino SW, la deuda reduce su salida a 0,2 m.

- **Falla Carmen**

La falla se halla en dirección NE – SO con orientación por medio de 245/ 75° NO con potencia cerca de 0,10 m. a 2,0 m. y con relleno de material tectónico fino vigorosamente alterado, apariencia de gauge y sulfuros, hacia el Sur Oeste su potencia reduce a 0,10 m. de espesor hacia la parte central de su trayecto su potencia es de un rango de 2,0 m. y al hacia el Noreste reduce a 0,50 m. de potencia. La falla se presenta en la parte Sur Este del cerro, aquí se evidencia una acumulación de agua alineados en 3 puntos de su trayecto.

Sistema de Fallas NO – SE

- **Falla Diana**

Esta falla se encuentra expuesta en el sureste del cerro y tiene una dirección promedio de 140/85° SW con un espesor que va cerca de 0,20 m. a 1,0 m., está llena de material rocoso fino, poco calor, presencia de minerales, óxidos. y arcilla. En el camino de falla hacia el sureste, falta una pequeña depresión o pila y está cubierta con material de relleno. b) Falla Pamela Esta falla es menor que las otras

con una dirección promedio de 330 / 75° NE con sulfuros, rellenos de arcillas y panizo la potencia de esta falla es de 0,10 m. Concurren otras fallas semejantes de menor capacidad las cuales no se han examinado debido a que se localizan cubiertas por material cuaternario.

1.2.11.5.Rocas sedimentarias

Según YUPA (2018, p. 51). Estas rocas pueden encontrarse como un metamorfismo de contacto en la zona de Los Mantos; se formaron cuando las rocas intrusivas granodioríticas del grupo volcánico Hualgayoc reaccionaron con las cavernas sedimentarias subyacentes, dejando hematita y magnetita.

1.2.11.6.Rocas intrusivas

Según YUPA (2018, p. 51). Cerro Corona está rodeado de montañas de composición variada, incluyendo las rocas riódacíticas y granodioríticas de Cerro Las Gordas y Hualgayoc, y las rocas andesíticas de Cerro Coimolache. Hay cuatro zonas distintas de mineralización en el subsuelo.

- Zona de oxidación: Se caracteriza por óxidos de hierro de varias pirotitas, goethita y hematina con presencia de oro libre.
- Zona mixta de óxidos y sulfuros: Se caracteriza por óxidos de fierro, sulfatos y sulfuros.
- Zona de enriquecimiento supérgeno: Se caracteriza por el reemplazo parcial o completo de calcopirita, borita y pirita local por digenita (determinada al microscopio) y covelina.
- Zona Hipógena: Se encuentran grandes especies de azufre, como calcopirita, pirotita, pirita, marcasita y bornita, junto con trazas de molibdenita, galena y esfalerita. La mineralización primaria del pórfido de Cu-Au se presenta en vetas alargadas y paralelas, con un conjunto de otros minerales, como calcopirita, marcasita, pirita, calcita, hematita, bornita y magnetita.



1.2.11.7. Tipos de Alteración

SALAZAR (2011, p. 45). Indica lo siguiente:

a) Alteración Propilítica

- Se caracteriza por el aumento epidota y de clorita de los ferromagnesianos y la mejora de calcita de los feldespatos.
- Cpy en orden de Tz a 1% y Py pálida diseminada.
- A lo largo de fracturas, acontecen Py-cpy-hm, pero en mínimo grado.
- Menos mineralización en comparación con otras variaciones.

b) Alteración Potásica

- Se caracteriza por presentar biotita > ortosa, de color claro marrón, pequeña y escamosa en matriz de grano fino y situada en el centro de la cepa o en los laterales.
- Venilleos de qz y mag. (stockwork).
- La cpy ocurre en 1% en ambas rocas alteradas mostrando presentar cobre en el magma.

c) Alteración Fílica

- Se caracteriza por qz-ser-py sobre impresa a anteriores.
- La textura tiene una alteración muy destructiva.
- Específica a fallamiento fracturamiento.
- El Py puede llegar a 6%, pero cpy muy baja donde Py es de grano fino y gris oscura en venillas y diseminaciones.

d) Alteración Argílica

- Comúnmente en las alteraciones sobre impresa a la potásica y propilítica
- Argilización selectiva de los feldespatos (montmorillonita).
- Fuerte variación puede destruir los componentes minerales de la roca, dejando una matriz preservada.
- Biotita primaria sufre una débil destrucción en los bordes.

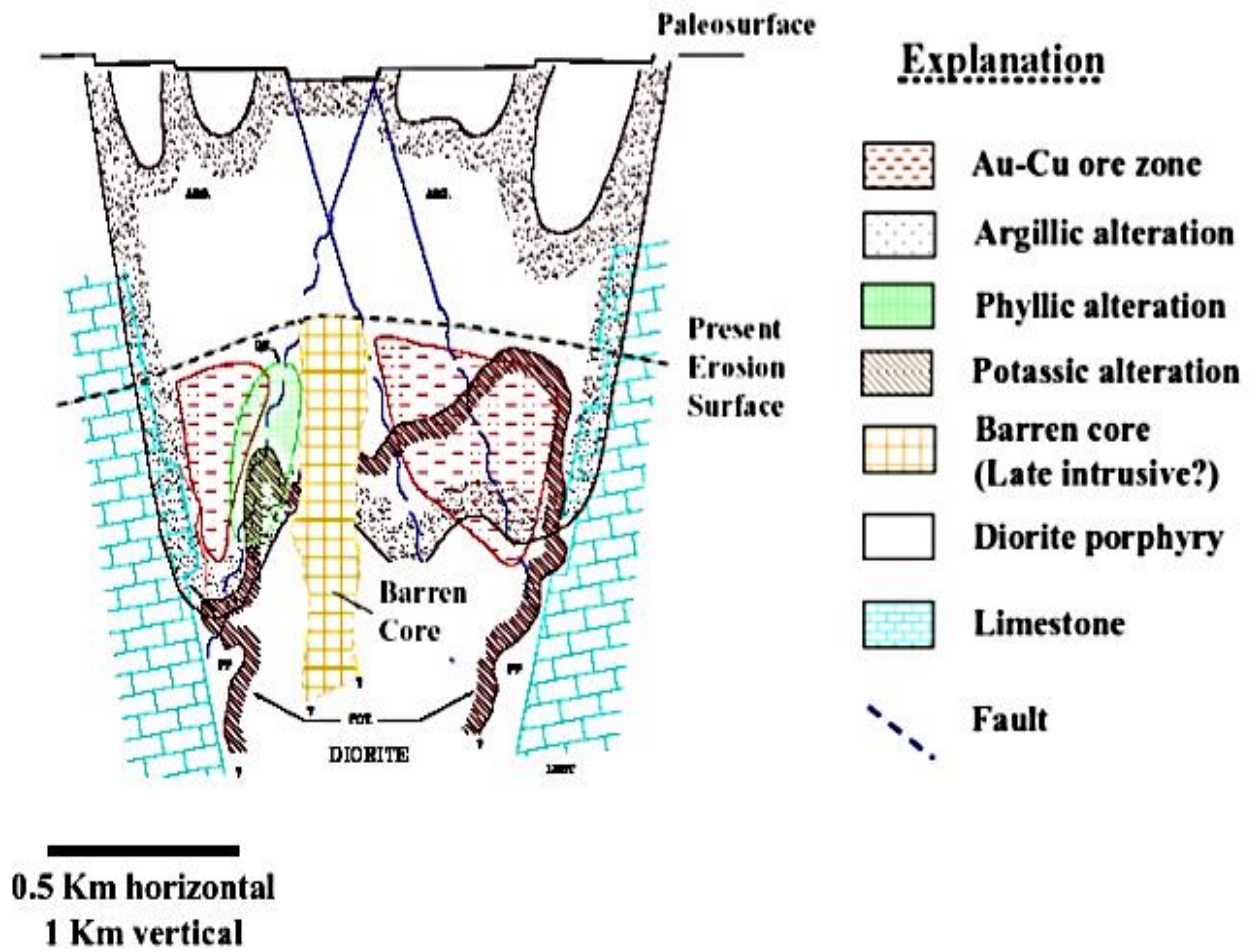


Figura 6 — Alteraciones-sección esquemática

Extraído de SALAZAR (2011, p. 31)

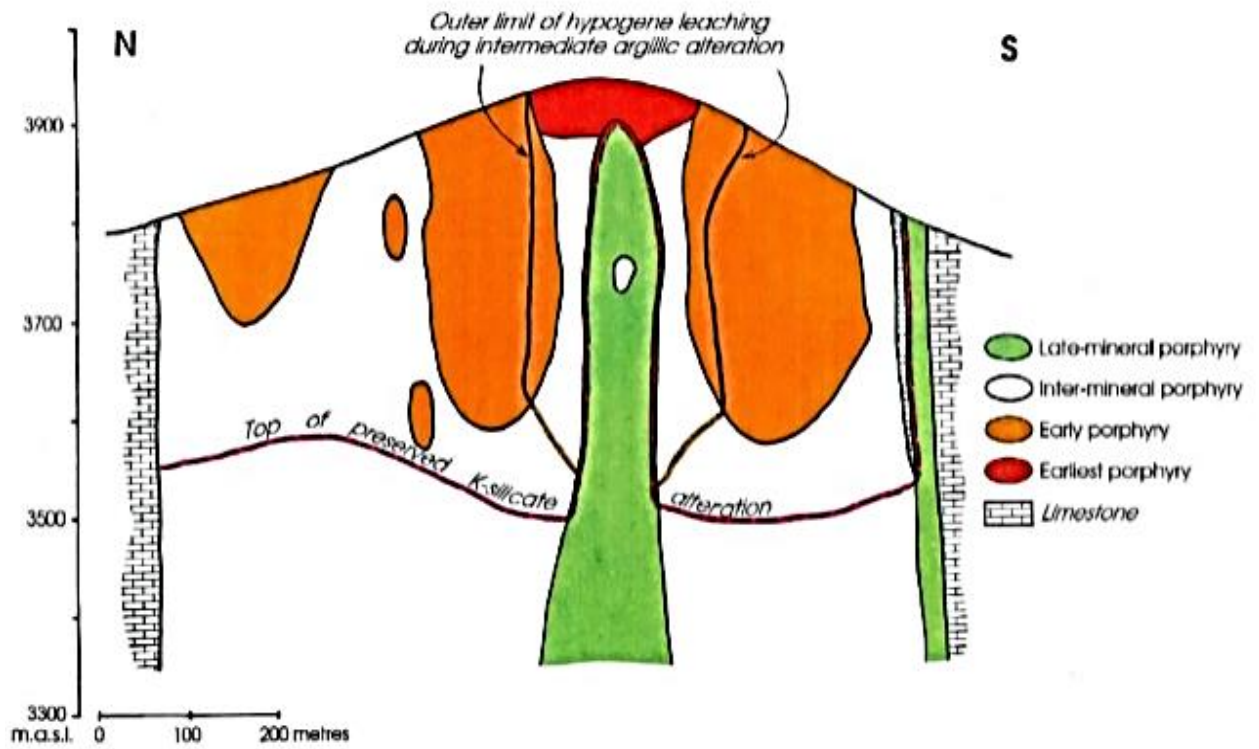


Figure 2. Preliminary schematic section of the Cerro Corona Stock

Figura 7 — Sección preliminar esquemática del stock Cerro Corona.

Extraído de SALAZAR (2011, p. 31)

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos de la investigación

2.1.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la implementación de detonadores electrónicos en la mejora del proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

2.1.2. Objetivo específico

- Mejorar la fragmentación de la roca con el uso de detonadores electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.
- Reducir el nivel de vibración con el uso de detonadores electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.
- Comparar los resultados de fragmentación y vibraciones con detonadores electrónicos y no electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

2.2. Hipótesis de la investigación

2.2.1. Hipótesis general

La implementación de los detonadores electrónicos influye positivamente en la mejora del proceso de voladura de rocas, en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

2.2.2. Hipótesis específicas

- La implementación de los detonadores electrónicos en los frentes de minado mejorará el grado de porcentaje de fragmentación obtenido en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.
- Los detonadores electrónicos minimizan significativamente el nivel de vibración en las actividades de producción en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.
- El uso de detonadores electrónicos muestra mejores resultados en cuanto a fragmentación y vibraciones a comparación de los detonadores pirotécnicos, en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

2.3. Operacionalización de variables

Tabla 3 — Operacionalización de variables

NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN COCEPTUAL DE VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES
X: Variable independiente	Sistema de detonadores electrónicos para el control en voladuras. el diseño del sistema DigiShot Plus es para uso en operaciones de detonación de superficie. MENDOZA (2018).	Diseño de voladura	Secuenciamiento de voladura	- Burden de diseño (m) - Burden efectivo (m)
			Tipo de salida de voladura	- Salida en echelon - Salida en V - Salida en diamante
Detonadores electrónicos	El detonador DigiShot Plus. Los detonadores originan la columna de explosivos de un tiro. Sólo los controles DigiShot Plus se pueden usar para sellar (asignar localización), testear y originar el detonador. MENDOZA (2018).	Precisión del detonador	Tiempos de control	(ms)
		Exactitud del detonador	Tiempos de control	(ms)
	Fragmentación de la voladura. Requiere del uso de energía que se deriva de una reacción química que resulta de la detonación de cargas explosivas que se inyectan en la masa rocosa. El material descargado debe una disposición espacial y efectuar con una	Análisis de fragmentación	Granulometría	(Pulg.)

<p>Y: Variable dependiente</p>	<p>granulometría adecuada para los procesos posteriores. Según DELGADO (2021).</p>			
<p>Proceso de voladura</p>	<p>Vibraciones. Son aquellos movimientos cíclicos que ocurren dentro de un medio, que se produce mediante las fases alternativas de tensión y compresión. CANO (2019).</p>		<p>P80</p>	<p>(Pulg.)</p>
			<p>Esponjamiento de material</p>	<p>(m)</p>
		<p>Análisis de vibraciones</p>	<p>Velocidad pico partícula VPP</p>	<p>(mm/s)</p>
	<p>Voladura. La voladura es un proceso tridimensional en el que la presión generada por los explosivos atrapados en agujeros perforados en una roca proviene de una zona con una alta concentración de energía, lo que crea dinámicas, fragmentación y desplazamiento. CHIPANA (2015).</p>	<p>Carguío de taladros</p>	<p>Cantidad de taladros</p>	<p>Unidades</p>
		<p>Conexión superficial de detonadores</p>	<p>Cantidad de detonadores</p>	<p>Unidades</p>
		<p>Revisión post voladura</p>	<p>Desplazamiento de material</p>	<p>(m)</p>

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes a nivel internacional

LIN y otros (2022). En su estudio “Reduction of blasting induced ground vibrations using high-precision digital electronic detonators” cuyo objetivo fue controlar de manera efectiva los efectos de las vibraciones de las voladuras y mejorar el factor de seguridad para el personal e instalaciones en la ingeniería de voladuras (p.1). El método del estudio es aplicado asimismo la muestra estuvo conformada por la voladura. Los resultados indican que la ley de variación de la onda de vibración de voladura predicha es consistente con la de la onda de vibración de voladura medida, y la tasa de error es inferior al 16%. Con base en el método de predicción de superposición propuesto, se estudia la ley de variación del pico de velocidad de vibración de partículas con microdiferencia. Concluyendo que, con base en el método de predicción de superposición propuesto, se estudia la ley de variación del pico de velocidad de vibración de partículas con microdiferen. En consecuencia, se obtiene un intervalo de tiempo diferencial óptimo (tiempo de retardo) con respecto a la reducción de vibraciones de voladura (p.8).

SKLODOWSKA y otros (2022). En su estudio titulado “The influence of electronic detonators on the quality of the tunnel excavation” cuyo objetivo fue evaluar la influencia de los detonadores electrónicos, que hoy en día son poco convencionales en la ingeniería de túneles, en la calidad del contorno del túnel excavado (p.333). La metodología empleada es aplicada asimismo la muestra que utilizaron 103 escaneos de perfil para el análisis: 68 de detonadores no eléctricos y 35 de rondas de detonadores electrónicos (p.344). Los resultados analizados en términos de calidad de contorno mostraron que, la distancia promedio de los orificios perforados fuera de la longitud del contorno fueron de 15,8 cm para no electrónicos y de 17,4 cm para detonadores electrónicos (p.343). Concluyendo que, en comparación con los resultados de rondas voladas con detonadores no eléctricos, no hubo una mejora significativa de la calidad de contorno en rondas con detonadores electrónicos (p.345).

GREENE (2019). En su informe llamado “An investigation into the combined use of electronic detonators and air-decks to reduce fines and oversize in quarry



blasts” cuyo objetivo fue analizar el efecto de los detonadores electrónicos en las prácticas de voladura. La metodología es aplicada y experimental asimismo la muestra estuvo constituida por la mina de caliza cuyos instrumentos fueron un análisis documental y de observación (p.24). Los resultados indican que la disminución del tamaño de la roca se logra mediante el uso de detonadores electrónicos la cual se redujo un 4% más en comparación con el material de control, al lograr la reducción se disminuye significativamente los costos en el proceso de voladura y la venta del material aumentaría (p.66). Concluyendo que el empleo de los detonadores electrónicos es de gran ventaja, aunque esto dependerá del tipo de roca o aspectos geológicos del yacimiento (p.67).

GADIKOR (2018). En su tesis “Optimization of drilling and blasting practices at a western us open pit copper mine” cuyo objetivo determinar modelos de fragmentación para predecir la distribución de la fragmentación usando el parámetro de perforación y voladura diseñados en la mina (p.2). El método empleado es aplicado asimismo la muestra estuvo conformada por la voladura. Los resultados indican que la cantidad promedio de la fragmentación producidos de las ocho voladuras fue de 27,62% con una cantidad insignificativa de material sobredimensionado inferior al 5% (p.50). Concluyendo que la tendencia de subestimación en la predicción de la fragmentación medio tamaños para al menos cinco de las ocho voladuras consideradas (p.60).

AGUIRRE (2016). En su estudio titulado “Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta engería en sociedad contractual minera el Abra” quien optimizó la operación por medio de la disminución granulometría y costo con el fin de normalizar la voladura en un sector particular de la mina (p. 21). Los resultados indican que el "Demoblast" P80 es 100% beneficioso en cuanto a la fragmentación lo que respalda la investigación sobre los beneficios del uso de este poder explosivo (p.158). Concluye que el explosivo es económicamente rentable asimismo es la más factible para su aplicación ya que conlleva un excelente desempeño en cuanto a la fragmentación (p. 162).

3.1.2. Antecedentes a nivel nacional

GONZALES (2020). En su estudio titulado: “Innovación de voladura en minería subterránea con el uso de detonadores duales en la compañía “Minera Santa Luisa – Mina Huanzalá”, la razón de este estudio es mejorar el proceso productivo de



voladura con un cambio de enfoque que la mina adoptara (p.16). Para este estudio metodológicamente es una investigación tipo descriptivo (p.77), ya que se registraron el nivel de vibración, a través de los instrumentos como sismógrafos y geófonos, también en el cálculo de la fragmentación en la roca se empleó cámaras digitales de última generación y por otra parte el grado de fragmentación por medio imágenes sistema informático. Se concluyó que la fragmentación de roca mejoró de gran proporción con 10,34 a 7,3 pulgadas aproximadamente, en las prácticas diarias en labores y también mantuvieron un macizo rocoso estable con los niveles de vibración con un valor de 17,01mm/s, cuyo valor está en el rango aceptable (p.93).

GOMEZ (2019). En su investigación titulado “Aplicación de modelo predictivo de daño (cross hole) para determinar la vibración pico partícula máxima (VPPc) producida por voladura y controlar la estabilidad de talud, mina Constancia-2019” quién empleó el modelo predictivo de daño para la estimación de las vibraciones de velocidad (p.19). El tipo de metodología es descriptiva, analítica de diseño experimental (p.51). La muestra estuvo constituida por los lugares de criticidad en la etapa de voladura. Se concluyó que, los efectos inducidos por vibraciones son posibles reducir la reproducción de un filtro Pre-Cut efectivo, asimismo, el efecto de un excelente filtro disminuye con hasta un 40% de vibración cuando se usa adecuadamente, con un valor de 1820 m/s aproximadamente con un 93% de confianza (p.89).

DÁVILA (2019). El autor en su estudio titulado “Evaluación de vibraciones en voladura con plasma para reducir la proyección de rocas (Fly Rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A” quién realizó una perforación y voladura disminuyendo el nivel de vibraciones y fly rock (p.14). El tipo de metodología es aplicada explicativa y descriptiva de diseño no experimental con un método hipotético deductivo (p.162). La muestra está constituida por los frentes donde se ejecuta la voladura con plasma en el tajo (p.163). Se concluye que el análisis de dispersión mostrado propone que hay margen para optimizar el desempeño de las regulaciones de campo (QA/QC), en cuanto a los niveles de vibración oscilan entre 3,40 a 4,30 mm/s y la disminución del tamaño de la fragmentación varía entre un 24% y 25% aproximadamente (p.213).

QUISPE (2018). El autor en su investigación titulada “Análisis de la fragmentación resultante de voladura para la evaluación de la expansión de las



mallas de perforación aplicando sistema de iniciación electrónico en minería Coimolache-2016” para analizar la fragmentación consecuencia de disparos para evaluar la expansión de las redes de perforación empleando sistema de iniciación electrónico (p.90). Para este estudio metodológico es una investigación de tipo aplicada, de nivel descriptiva, diseño no experimental y transversal (p.90). La muestra está constituida por la malla de perforación y voladura (p.90). Se concluyó que el análisis del resultado de fragmentación para los disparos de prueba muestra que el uso del sistema de iniciativa electrónica proporciona mejores resultados de manera consistente, la cual muestra un P80 de 9,5 pulgadas y disminuye un 11,6%, fundamentalmente en la parte más gruesa de la gran curva de distribución (p.75).

MENDOZA (2018). El autor en su estudio titulado: “Implementación del Sistema Electrónico - DIGISHOT para la Reducción de Vibraciones en Voladura – “Compañía Minera Atacocha S.A”. la razón del estudio es emplear el “DigiShot Plus” para optimizar recursos y seguridad en el proceso de voladuras en la “Minera Atacocha S.A” (p.19). Para lo cual emplea una metodología de tipo aplicada no experimental, de nivel descriptivo (p.129). La población estará fijada por todo el personal que trabajan en el área de explotación (p.130). La muestra estará fijada por los tajos (p.131). Según el estudio se puede concluir que, al producirse una óptima fragmentación de rocas, se obtiene que los procesos productivos y se reducen los costos en las operaciones. “DIGISHOT” ayuda a reducir las vibraciones que se producen en la voladura “Compañía Minera Atacocha S.A” cuyo valor están por debajo de 5,25 mm/s y con 7-14 Hz de frecuencia de resonancia (p.170).

ROMERO (2016). El autor en su estudio titulado: “Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el “tajo Toromocho” – “Minera Chinalco Perú S.A”, quién determinó la voladura con detonadores electrónicos va mejorar la fragmentación y la seguridad en la mina (p.20), para lo que se emplea una metodología de tipo aplicada, de nivel descriptivo y de método científico (p.111), la población y la muestra está fijado por secciones 4710, 4695 ,4680 y 4665 en el “tajo Toromocho” (p.111). Podemos llegar a concluir que la voladura con detonadores electrónicos logro optimizar el P80 en 5,4% en el oeste y en el lado este con un valor de 16,7% asimismo va a mejorar forma significativa la fragmentación y la seguridad en la mina (p.142).

3.1.3. Antecedentes a nivel regional

MONTALVAN (2022). Donde elaboró un estudio “Análisis de onda elemental para el control de vibraciones y selección de retardos en Cerro Candela de Mina Gold Fields” quien analizó el modelo de onda elemental para la intervención de la vibración y selección de retardo (p.12). La metodología es básica, de enfoque mixto, de diseño experimental y de nivel explicativa asimismo la muestra estuvo conformada con la Mina Gold Fields (p.55). Los resultados indican que el análisis de la vibración del proyecto P 228 voladura entre filas 150 ms y entre taladros 3 ms, presenta una Frecuencia dominante de 14,0 Hz; y un Peak de vibración PPV de 190,4 mm/s (p.55). De acuerdo con los resultados obtenidos, en el momento en que se produce una menor amplificación de vibraciones, se obtiene un menor acoplamiento cruzado de semillas (tiempo entre semillas y entre hileras) y una mayor frecuencia de control de daños en campos lejanos (p.90).

PÉREZ (2021). Ejecutó una investigación “Optimización de la fragmentación mediante el uso de doble iniciación electrónica en roca Toba Cristal de la fase 8 en la Unidad Minera Cuajone – 2019” quien optimizó la fragmentación por medio del empleo de doble iniciación electrónica (p.6). El método es de tipo no experimental – descriptivo (p.80) asimismo la muestra estuvo formada por los disparos en la roca de la fase 08 (p.81). Los resultados indican que el empleo y distribución de explosivos QUANTEX 80/20 en el pozo de perforación, se utilizaron la misma red y el mayor factor de potencia en los diseños de carga útil. La capacidad utilizada es de 0,50 kg/t (974 kg) en el Diseño 01 y el factor de capacidad actualmente en uso es de 0,44 kg/t (850 kg con piso) (p.131). Concluyendo que se ha demostrado que el uso de actuadores electrónicos duales mejora los resultados operativos y económicos durante la detonación de fragmentación de campo (p.133).

FIGUEROA (2018). Quién elaboró una tesis “Optimización de los parámetros de perforación y voladura para las operaciones unitarias en la explotación minera de la concesión de la empresa PHuyu Yuraq II E.I.R.L Distrito de Magdalena – Cajamarca, 2017” quien optimizó el parámetro de perforación y voladura (p.5). La metodología fue cuantitativa y de nivel descriptivo asimismo la muestra estuvo conformada por el banco de perforación y voladura de la cantera (p.8). Los resultados indican que, con los nuevos estándares de perforación y voladura, es



posible detonar toda la playa de una sola vez, arrojando 67,39 toneladas; la piedra caliza se fragmenta, proporcionando así explosivos y dinamita, pero al mismo tiempo se requerirá una mayor cantidad de ANFO (p.63). Concluyendo que se propusieron nuevos estándares de perforación y voladura, en teoría, se mejoraron las operaciones de la unidad minera Italo y, en consecuencia, se redujo el consumo de explosivos y accesorios de voladura (p.68).

CRUZADO y otros (2017). Los autores en su investigación titulada “Análisis de la máxima carga operante en las vibraciones a campo lejano generados por voladura, en minería Cerro Negro S.A., Cajamarca-2017”, quienes encontraron la mayor carga operante para conseguir un nivel de vibraciones creada por voladura (p.15). El tipo de metodología es experimental (p.66). La muestra está constituida por las voladuras de producción en minería Cerro Negro (p.66). Se concluye que Es posible determinar la carga máxima de operación para 864 kg de explosivos, mientras que el nivel de VPP corresponde a 2,99 mm/s a una distancia de 780 m (p.85).

AGUILAR y otros (2017). Los autores elaboraron un estudio titulado “Estimación de presiones dinámicas inducidas por voladura para definir distancias críticas para detonadores electrónicos daveytronic en tajo La Quinua Yanacocha” quien definió las distancias críticas para los detonadores (p.16). La metodología empleada es experimental asimismo la muestra estuvo formada por la zona Tapado Oeste nivel 3228 (p.54). Los resultados de las pruebas realizadas en el pozo La Quinua grado 3228, para brocas de rendimiento de 10 5/8 pulgadas utilizadas en este pozo, se encontró que el espaciamiento de las brocas del diseño de la parrilla debe estar de acuerdo con longitudes de 1,6 a 4 metros dependiendo sobre la altura de la carga, que representa la distancia Crítica para una operación segura para no afectar el detonador bajo presión dinámica (p. 70). Concluyendo que la información sobre las vibraciones recogidas durante las dos pruebas permite ajustarlas mediante el modelo de amplitud de onda sísmica utilizando la fórmula de Holmberg & Persson, la cual es capaz de averiguar las características internas de la roca (p. 79).

3.2. Marco teórico

3.2.1. Detonación

Liberación de gas más explosiva, la velocidad a la que realmente produce presión y calor en todas direcciones, y en proporción al grado de confinamiento que

produce, induce objetos como ondas de aire, calor, ruido, partículas en el medio ambiente y sismicidad. Según REPUBLICA DE COLOMBIA (2019, p. 7).

3.2.2. Detonadores no electrónicos

El elemento de voladura presenta un tubo de choque y un cierre de cápsula de aluminio en un extremo, en su interior, está formado por un tren de retardo, una primera carga (Azida de Plomo) y una segunda carga de Pentrita. Estos detonadores parten de detonadores ordinarios, detonadores, cordones detonantes u otros detonadores no eléctricos REPUBLICA DE COLOMBIA (2019, p.8).

3.2.3. Detonadores Eléctricos

El accesorio de arenado consta de un metal dúplex y una tapa de metal en un extremo. En el interior hay una gota pirotécnica insensible (ojiva de fuselaje) que activa el detonador. Este detonador se activa mediante un detonador, que suministra impulsos eléctricos al cable REPUBLICA DE COLOMBIA (2019, p.8).

Además, ESCOLAR (2019). Menciona que son sistemas de iniciación electrónica de diferentes tipos modelos y usos, que pueden ser con o sin retardo. El rápido desarrollo tecnológico hizo que se gane una elevada precisión en los detonadores electrónicos, ahora estos poseen un circuito integrado en un chip con una gran precisión (p. 181).

3.2.4. Componentes del detonador electrónico

El detonador electrónico está conformado generalmente es un único dispositivo además del detonador eléctrico instantáneo.



Figura 8 — Detonador electrónico Digishot plus

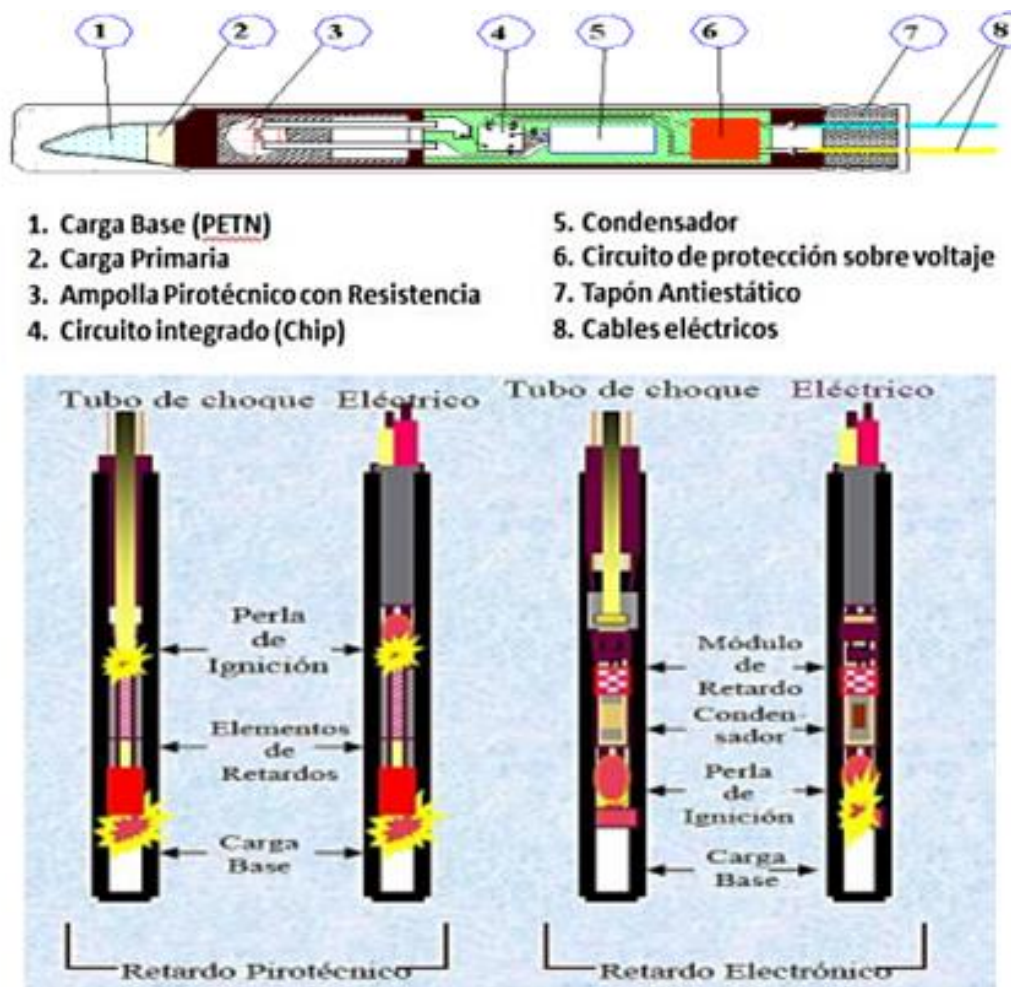


Figura 9 — Clases de detonadores

Extraído de MUÑOZ (2019)

3.2.5. Tipos de detonadores

Asimismo, MUÑOZ (2017). Indica que se pueden usar muchos tipos de arrancadores llamados detonadores para voladura en exterior e interior, con el propósito de arrancar un cartucho de cebador o multiplicador que cause la detonación en el interior del barreno. La elección de un tipo de detonador u otro dependerá, entre otras cosas, de las necesidades de conexión, las condiciones ambientales, la dificultad de conexión y el funcionamiento del disyuntor (p.9).

- Los detonadores eléctricos tienen un campo eléctrico que se calienta por el efecto Joule hasta que la resistencia enciende la llama, eso es lo que hace el resto de la reacción. Este desafío plantea entonces problemas de extensión según la longitud y la composición, proporcionando en tiempo nominal especial. Si el detonador no tiene retardo, el detonador instantáneo "0" MUÑOZ (2017, p. 9).

- Los detonadores no eléctricos Para resolver el problema crítico del detonador eléctrico, se desarrolla el sistema no eléctrico NONEL en 1976. Como no hay electricidad en el sistema, es completamente inerte a todos los fenómenos electromagnéticos. Los sistemas no eléctricos, como los detonadores, incluyen un elemento de retardo, la carga inicial y las cargas bases MUÑOZ (2017, p. 11).

3.2.6. Diferencia entre detonadores

QUELCCA (2020). Expresa que una de las diferencias entre detonador electrónico, detonador eléctrico y detonador con tubo de choque, es la posición del iniciador, ya que en el detonador electrónico se encuentra bajo el módulo de retraso, mientras que el detonador eléctrico y con tubo de choque se ubica antes del elemento de retardo. Por otro lado, otra diferencia son los costos de cada detonador (p. 10).

3.2.7. Tiempos de retardo

GONZÁLES (2016). Indica que los detonadores electrónicos son más versátiles que las válvulas tradicionales, el intervalo de tiempo se programa y almacena unos minutos antes de la explosión en RAM o EPROM. si el explosor (la tarjeta Hardware) permite una reprogramación, la posibilidad es muy amplia, por lo que algunos fabricantes ofrecen valores de tiempo de 1ms a 15s (p. 29).

GONZÁLES (2016). Indica que los microchips proporcionan cronometraje con una precisión de hasta el 0,1% del intervalo programado. El sistema de amarre utilizando en el sistema electrónico es similar al utilizado con una barrera eléctrica (p. 29).

3.2.8. Secuencia de iniciación

Según QUELCCA (2020). Los principales factores que afectan el inicio del detonador son los mismos que determinan el tiempo de retardo del detonador, entre ellos: (p. 29).

- Ubicación y cantidad de caras libres.
- Diaclasas principales y orientación de fallas.
- Dirección de desplazamiento de material a fragmentar.
- Cuidado de las paredes cercanas a la voladura

Según GONZALES (2020), otra característica del detonador electrónico se menciona a continuación: (p. 29).

- Para explotar se debe tener si o si un código de activación.
- Recibe energía de iniciación y el código de activación del equipo de programación y control.
- Está equipado con protección contra sobretensiones, y las pequeñas sobrecargas son disipadas internamente por un circuito de seguridad, mientras que las altas tensiones ($>1000v$) están limitadas por fallas en el suministro electrónico.
- Es insensible al efecto de tormenta, energía estática y radio frecuencia.
- Tensión de operación pequeña ($<50 v.$), lo cual es una ventaja considerando el riesgo de corrientes vagabundas.

3.2.9. Secuencia de tiempos

Diseño

ZENTENO (2018). Dependiendo de las necesidades y características del macizo rocoso de voladura, la estructura de carga consta de diferentes partes del material. Sus componentes son señales; cámaras de aire; zona de esponjamiento y mezcla explosiva (p.39).

Tiempos de control

PAREDES (2014). Expresa que la voladura de rocas ofrece diversas variables de desarrollo, como la precisión del tiempo, formulada en la interacción entre la velocidad de onda del macizo rocoso y la velocidad de grieta, esta vez se encontró que la interacción es de 2 a 6 milisegundos, lo que es imposible de lograr a tiempo para use detonadores pirotécnicos debido a que el porcentaje de dispersión en el retraso es mucho mayor a 20ms. En este caso, no es posible especificar la secuencia de detonación con el concepto de interacción de ondas, por lo que existen limitaciones en el diseño de detonación utilizando detonadores pirotécnicos (p. 113).

3.2.10. Secuencia de iniciación de voladura

Evaluación

MAMANI (2018). Infiere que esta técnica de evaluación de la fragmentación se basa en que el rendimiento por unidad de carga es función inversa del tamaño de

partícula del material y función directa de su expansión. La presencia de rebordes en la chimenea, holgura y reducción de la base se reflejará inmediatamente en la producción. Si la técnica se utiliza correctamente, se puede apreciar muy preciso, hay que tener los tiempos muertos no imputables a condiciones de carga tales como apagado del equipo por falta de volquete, falla mecánica, sustitución y limpieza de tajo (p.70).

3.2.11. Distribución para conexión

Conexión superficial

ROMERO (2016). Menciona que, en voladura convencional, el sistema estará compuesto por un conector del que saldrá un tubo con 1 o 2 detonadores insertados en el hueco, y un tubo con 1 o 2 conectores. Los pozos de los vecinos están ordenados. Este protocolo se repetirá tantas veces como sea necesario para completar la explosión (p.68).

Tiempo de carguío

La primera columna enumera el número de pozos para cada secuencia de salida. La segunda columna muestra el tiempo de salida programado inicial en milisegundos. En la tercera fila tenemos el tiempo real de programación (en milisegundos) de cada ejercicio. En este caso, comienza a los 3000 ms, y hay una razón importante para esta decisión. Por supuesto, si hay un repuesto, el detonador electrónico está conectado al tubo de choque del detonador.

Según ROMERO (2016). El detonador electrónico está programado para un tiempo de 0 ms (cero milisegundos) para que salte el taladro. La cuarta fila es el intervalo de tiempo predeterminado. Según el catálogo, la precisión es del 0,003%. La distribución de tiempo promedio para el número total de disparos es de 0,24 milisegundos (p.133).

3.2.12. Proceso de voladura

Según PERALTA (2019). La voladura es el segundo y uno de los procesos más importantes en el ciclo minero porque el proceso es sensible y de alto riesgo debido a que no se tienen en cuenta todos los controles de ingeniería y seguridad apropiados al leer la broca y disparar el tiro. puede haber consecuencias menores, como la caída de material sobre los rieles, etc.

3.2.13. Teoría de la fragmentación

AGUILAR y otros (2017). Exponen diversas teorías para poder verificar el resultado de la fragmentación después de la explosión. Se tiene 2 formas energía en el ciclo y son la energía de choque y la velocidad de onda compresional. Es la rotura de la roca en el área de la línea de menor resistencia (burden) como consecuencia de la acción ejercida por los explosivos (p. 51).

3.2.14. Granulometría P80

CARI y otros (2014). El P80 es el tamaño en pulgadas bajo el cual se encuentra el 80% del producto obtenido luego de haberlo sometido a mecanismos de fragmentación (p.22).

- **Fórmula de Larsson.**

Para AGUIRRE (2016). La ecuación ha sido propuesta por Larsson en el año 1973 para determinar el K50, o abertura de malla cuadrada, que pasa el 50% del material volado es (p. 82):

$$K50 = S \times e^{(0,58 \times \ln B - 0,145 \times \ln(\frac{S}{B}) - 1,18 \times \ln(\frac{CE}{C}) - 0,82)}$$

Donde.

B = Burden [m].

S/B = Relación espaciamento-burden.

CE = Consumo específico de explosivo [kg/m³].

C = Constante de roca. Equivalente al consumo específico de explosivo gelatinoso indispensable para fragmentar la roca, mayormente varía entre 0,3 y 0,5 [kg/m³].

S = Constante de Volatilidad.

Roca muy fisurada y diaclasas muy próximas; $s = 0,60$

Roca diaclasada; $s = 0,55$

Roca normal con algunas grietas; $s = 0,50$

Roca relativamente homogénea; $s = 0,45$

Roca homogénea; $s = 0,40$.

- **Formula de SVEDEFO (Swedish Detonic Research Foundation).**

Según AGUIRRE (2016). La fórmula inicial de Larsson no tuvo en cuenta el efecto de la longitud del retacado y la longitud del banco, pero SVEDEFO agregó el término a la ecuación definitiva es la siguiente (p. 85):



$$K50 = S \times \left[1 + 4,67 \times \frac{T^{2,5}}{L} \right] \times e^{0,29 \times \ln B^2 \times \sqrt{\frac{S}{1,25}} - 1,18 \times \ln \left[\frac{CE}{C} \right]^{-0,82}}$$

Las variables nuevas son:

T = Longitud de retacado [m].

L = Profundidad del pozo [m].

- **Modelo de KUZ – RAM.**

Para AGUIRRE (2016). Este modelo lo desarrollo Claude Cunningham (1983), de AECI en Sudáfrica, basado en la curva de colocación de tamaño de partícula de Rosin-Rammler y la fórmula empírica para el tamaño medio de partícula de la explosión dada por V. M. Kuznetsov (p. 85).

a) Fórmula de Kuznetsov.

$$T_b = Fr * \left(\frac{VR_0}{Q} \right)^{0,8} * Q^{\frac{1}{6}}$$

Donde:

T_b = Tamaño medio de los fragmentos de voladura [cm.].

Fr = Factor de roca.

Rocas muy blandas; $Fr = 3$ ($f = 3$ a 5)

Rocas blandas; $Fr = 5$ ($f = 5$ a 8)

Rocas medias; $Fr = 7$ ($f = 8$ a 10)

Rocas duras, fisuradas; $Fr = 10$ ($f = 10$ a 14)

Rocas duras, homogéneas; $Fr = 13$ ($f = 12$ a 16)

(f = Factor de Protodyakonov).

VR_0 = Volumen de roca fragmentada por pozo [m³].

Q = Cantidad de TNT equivalente a la carga de explosivo por pozo [kg].

Q_b = Carga de explosivo dentro del pozo [kg].

PRP = Potencia Relativa en Peso de este explosivo. (ANFO = 100, TNT = 115)

$$Q_b * PRP = Q * 115$$

$$Q = \frac{Q_b * PRP}{115}$$

La fórmula de Kuznetsov se convierte en:

$$T_b = Fr * \left[\frac{VR_0}{Q_b} \right]^{0,8} * Q_b^{\frac{1}{6}} * \left[\frac{PRP}{115} \right]^{\frac{-19}{30}}$$



O bien,

$$T_b = F_r * [CE]^{-0,8} * Q_b^{\frac{1}{6}} * \left[\frac{115}{PRP} \right]^{\frac{19}{30}}$$

Siendo:

CE = Consumo específico de explosivo [kg/m3].

b) Ecuación de Rosin – Rammler.

$$PC = e^{-\left(\frac{T_b}{T_{bc}}\right)^u}$$

Donde:

PC = Proporción de material retenido para una abertura de malla «Tb».

Tb = Abertura de malla.

Tbc = Tamaño característico.

u = Índice de uniformidad.

Como la fórmula de Kuznetsov da el valor medio de «Tb» entonces PC = 0,5, por lo que:

$$0,5 = e^{-\left(\frac{T_b}{T_{bc}}\right)^u}$$

Donde: $T_{bc} = \frac{T_b}{(0,693)^{1/u}}$

La ecuación final del modelo KUZ-RAM es una expresión para el índice de uniformidad:

$$n = \left(2,2 - 0,014 * \frac{B}{\Phi_h} \right) * \sqrt{1 - \frac{SD}{B} * \left[0,5 * \left(1 + \frac{S}{B} \right) \right] * \left[\frac{|L_b - L_c|}{L_{tot}} + 0,1 \right]^{0,1}} * \left(\frac{L_{tot}}{H} \right)$$

Donde:

B = Burden [m].

S = Espaciamiento [m].

Φh = Diámetro del pozo perforado [m].

Lb = Largo de la carga de fondo [m].

Lc = Largo de la columna cargada [m].

Ltot = Largo de carga total [m].

H = Altura de banco o profundidad del pozo [m].

SD = Desviación estándar de la precisión de perforación [m].



Modelo de Swebrec.

Según AGUIRRE (2016). La función Swebrec predice una buena distribución de la fragmentación y hace un muy buen trabajo de encajar los datos de la fragmentación tamizados (p. 85). La transformación:

$$P = 1 / \left\{ 1 + \left[\text{Ln} \left(\frac{X_{max}}{x} \right) / \text{Ln} \left(\frac{X_{max}}{X_{50}} \right) \right]^b \right\}$$

X_{max} = tamaño máximo en la pila

X_{50} = tamaño promedio en la pila

b = "pendiente" de la curva, relacionada el índice de Uniformidad

$$b = n \times 2 \text{Ln}(2) \times \text{Ln} \left(\frac{X_{max}}{X_{50}} \right)$$

3.2.15. Teoría de la reflexión

Tienen su origen en la explosión que se expande, y se manifiestan como ondas de tracción. Por lo que las ondas realizan todo el proceso fragmentación y desplazamiento, en cambio las ondas de compresión en una forma sutil desquebrajan a la roca de tracción.

3.2.16. Teoría de la expansión de los gases

La expansión de gases según la teoría alcanza fases. El inicio de fisuras empieza a separarse y al final el proceso de fragmentación, por acción de los gases las fisuras tienden a moverse.

3.2.17. Rotura por flexión

Se entiende que la roca rectangular se tiende a doblar o quebrarlo.

3.2.18. Detonación del explosivo

Según FARJE (2006). Indica que la expansión de la onda en la roca a una alta presión y temperatura que producirá el movimiento del cuerpo (p. 32).

3.2.19. Mejora de la fragmentación

Según menciona FARJE (2006) sugiere lo siguiente:

- Control de fragmentación: la fragmentación se ayuda de los atrasos, es la que introducirá acciones entre los taladros adyacentes.
- Resultados de la fragmentación. La tecnología en la actualidad emplea el método captar fotos digitales y grabar las imágenes, hasta ahora no se cuenta

de métodos económicos y sencillos, es por ello lo selecto y reducido personal especializado.

- Tipo de secuenciamiento: los retardos que tienen importancia es la que afecta el fraccionamiento de la roca.

3.2.20. Vibraciones

CANO (2019). Aquellos movimientos cíclicos que ocurren dentro de un medio, que se produce mediante las fases alternativas de tensión y compresión. Mediante vibraciones provocada por la roca surge durante la detonación del explosivo, en un lugar donde hay un explosivo sólido se convierte en gas y la densidad del gas sigue siendo la misma que la densidad del explosivo sólido (zona de plasma) (p. 10).

3.2.21. Sistema de detonadores electrónicos para el control en voladuras.

MENDOZA (2018). El diseño del sistema DigiShot Plus es para su uso en operaciones de detonación de superficie, capaz de detonar hasta 1800 detonadores. Para determinar las limitaciones del sistema. Es capaz de manipular varias configuraciones de llenado. El sistema puede manejar un máximo de 15 detonadores por disparo (p. 116). Las temperaturas de funcionamiento recomendadas son las siguientes:

Tabla 4 — Temperaturas de los detonadores

Accesorios y detonadores= $-40\text{ }^{\circ}\text{C}/-40\text{ }^{\circ}\text{F}$ hasta $+70\text{ }^{\circ}\text{C}/158\text{ }^{\circ}\text{F}$
Equipos de Control = $-20\text{ }^{\circ}\text{C}/-4$ hasta $+50\text{ }^{\circ}\text{C}/122\text{ }^{\circ}\text{F}$

Extraído del MANUAL DIGISHPT PLUS (2007)

En operaciones donde la temperatura ambiente esté dentro de este rango, se debe evitar el uso del dispositivo.

3.2.22. Componentes del Sistema DigiShot Plus.

a) El Detonador DigiShot Plus

MENDOZA (2018). Los detonadores es originar la columna de explosivos de un tiro. Sólo los controles DigiShot Plus se pueden usar para sellar (asignar localización), testear y originar el detonador DigiShot Plus. Este sistema está



dentro de una cápsula de cobre que protege el circuito electrónico y la carga explosiva y está rodeado por una línea verde.

El otro extremo del enlace ascendente está conectado al conector que se usa para conectarse al cable de interfaz de superficie. La junta se rellena con un gel impermeable, que protege el sistema de la humedad que se escapa por la entrada de agua (p. 140).

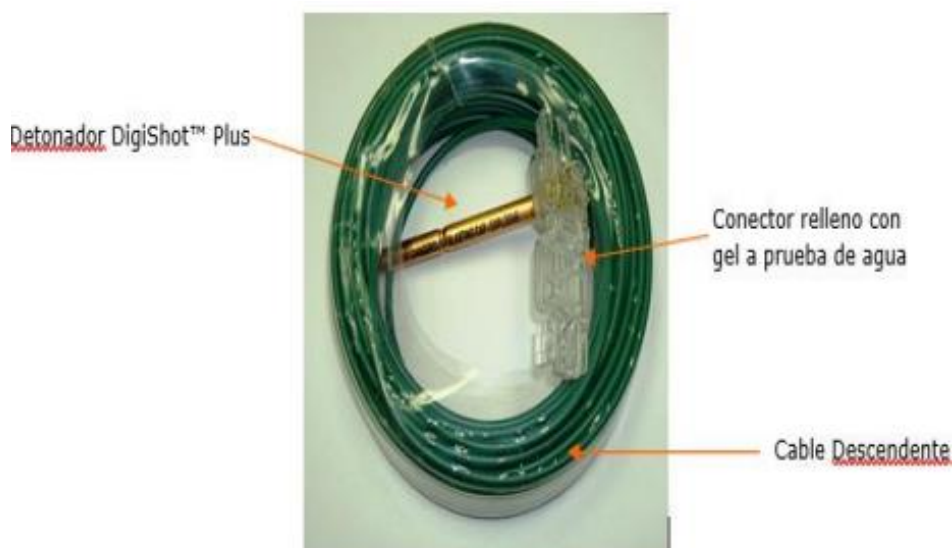


Figura 10 — Componentes externos del DigiShot Plus

El detonador consiste en:

Tabla 5 — Componentes del detonador

Cable descendente de dos vías
Crimpado doble y simple
Placa de Circuitos Integrados
Inflamador
H-Plug de Seguridad
Capsula de Cobre
Carga explosiva

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

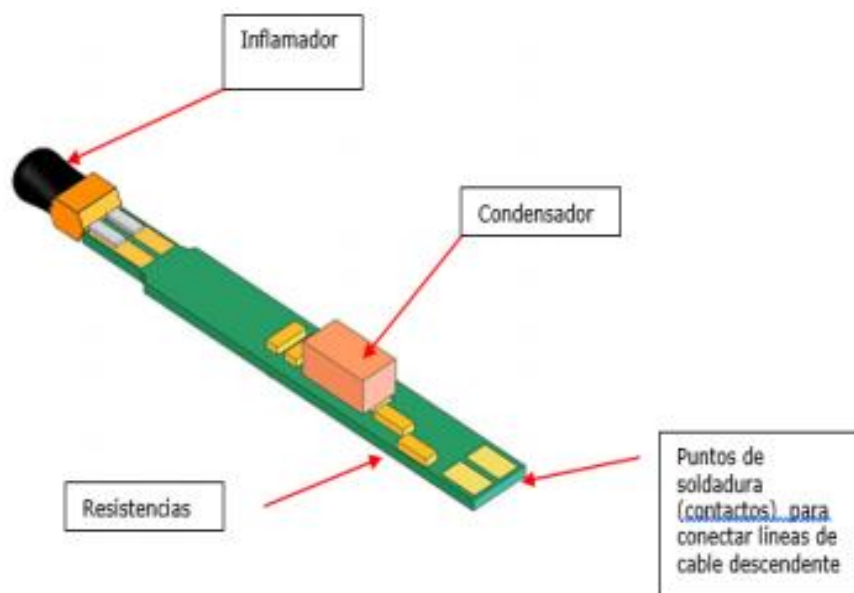


Figura 11 — Componentes internos del detonador

El detonador no es impresionable a la polaridad, este sistema utiliza comunicación bidireccional; la figura 2.2 se evidencia cómo la placa de circuito integrado (PCB) del detonador se encuentra dentro de la cápsula de cobre. Los elementos poseen las subsiguientes propiedades:

- Tapón de Crimpado: Es como tipo sello que pasa por la línea descendente e impide que el líquido ingrese a la carcasa del detonador.
- La Placa de Circuitos Impresa (PCB): Es un módulo electrónico con elementos como resistencias y condensadores.
- Resistencias: También protege los circuitos del detonador de influencias externas:

Tabla 6 — Resistencias de los detonadores

Sobre voltaje
Sobre corriente
Descargas Electroestáticas (ESD)
Pulso electromagnético (EMP)

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

- Condensador: Es un dispositivo para almacenar energía, esta energía es indispensable para que el detonador marche de forma independiente cuando se transmite una señal de fuego.
- Inflamador: Es un conector pirotécnico que procede como interfaz entre el componente electrónico y la carga explosiva del detonador.
- H-Plug de Seguridad: Se usa para centralizar la PCB, separa la carga explosiva de los elementos electrónicos y evita su migración en los circuitos. Este material de seguridad H-Plug es antiestático y tiene un anillo limpiador incorporado en el exterior. La función de este último es limpiar el interior de la carcasa del detonador de cualquier carga explosiva que quede durante el montaje del detonador. Para responder con una seguridad del H-Plug y conservar la PCB concentrada, se crea un segundo engarce en la parte media exterior del detonador.

b) Tagger DigiShot Plus

El Tagger DigiShot Plus es usado en el banco para:

Tabla 7 — El Tagger DigiShot Plus

Marque el detonador colocándolo en la rejilla de lanzamiento.
Marque “detonadores fuera del patrón” especiales
Prueba de detonador individual DigiShot Plus
Probar las líneas de detonadores acoplados
Evidenciar la lista de ubicación de los detonadores.
Probar fugas adentro de la instalación
Verifique que no haya detonadores sin marcar dentro de la red de fuego.

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

- El Tagger tiene una conexión de 4 vías, y solo se puede conectar un detonador durante el proceso de marcado.

- El Tagger Tiene una conexión de dos vías a la que se conecta un cable de red contra incendios durante la prueba de explosión. Para la comunicación con otros dispositivos.
- El Tagger dispone de ingreso un conector USB. Mediante de esta conexión, Tagger se puede reprogramar o se pueden realizar reajuste en el software. La carga también se puede realizar a través de esta conexión si hay baterías recargables disponibles.
- El teclado de los Tagger es como un celular, tiene un teclado con números y flechas de navegación. La ubicación de las teclas virtuales está en la parte inferior de la pantalla, donde puede realizar selecciones de menú.
- Batería. - El Tagger es simultáneo con baterías recargable de 9 voltios
- Teclado del Tagger y Funcionalidad Básica

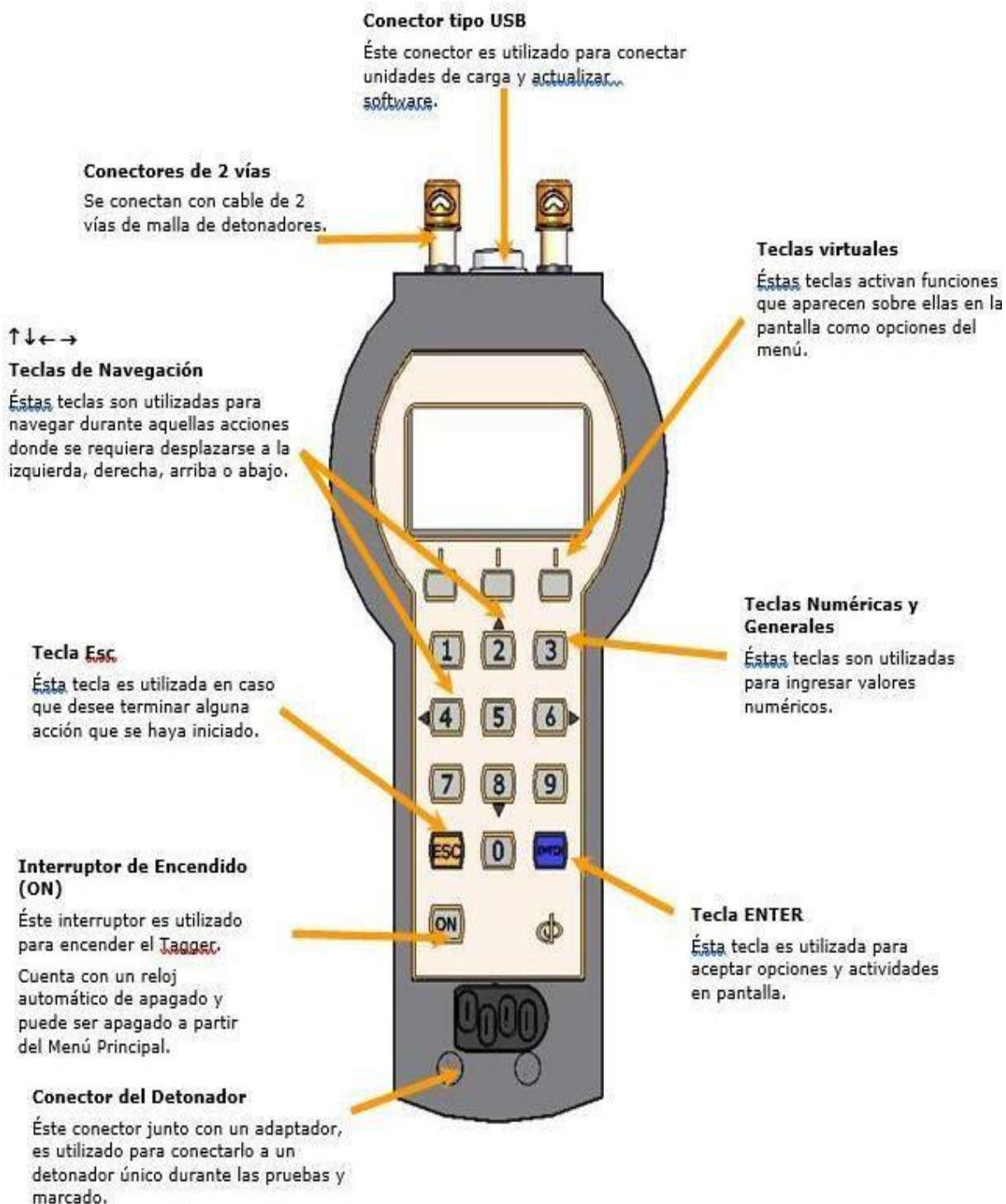


Figura 12 — Teclado Tagger

C. Bench Box/Estación Base DigiShot Plus Externamente

Estación Base y el Bench Box son semejantes, además, se diferencia en relación con el software situado en ellos. La caja de banco tiene 6 canales; con una capacidad inicial y 300 detonadores.



Figura 13 — Bench Box/Estación Base DigiShot Plus Externamente



Figura 14 — Estuche de Bench Box/Estación Base DigiShot Plus Externamente

Tabla 8 — Funciones del Bench Box DigiShot Plus

Funciones del Bench Box DigiShot Plus
El Bench Box es la unidad de potencia usada junto con SmartKeys para comenzar a disparar.
La unidad se utiliza para el diseño y prueba del diseño de explosión, así como la conexión del detonador.
Se utiliza para configurar y configurar los tiempos de retardo del detonador 147.
Programa los detonadores
Interfaz de dispositivo RF para arranque remoto
Arma los detonadores
Instruye los detonadores

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

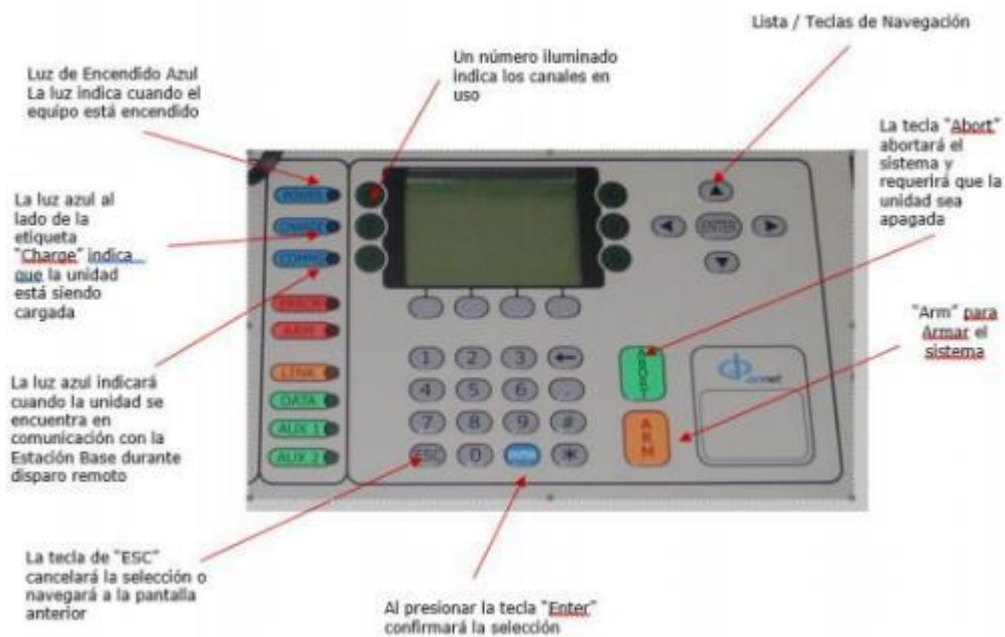


Figura 15 — Teclado Bench Box/Estación Base DigiShot Plus

La unidad tiene el voltaje requerido y puede generar y transmitir la señal necesaria para iniciar la explosión.

Tabla 9 — Funciones de la Estación Base DigiShot Plus

Las Funciones de la Estación Base DigiShot Plus
La estación base está conectada al Bench Box y accede al usuario iniciar una explosión de forma remota mediante radiofrecuencia (RF) o un cable bidireccional (disparador y cable de conexión).
La función de la estación base es activar y detonar detonadores de forma remota mediante de las estaciones base.
Mantiene la comunicación inalámbrica hasta una distancia de 3 km con supervisión directa.

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

Tabla 10 — Capacidad Bench Box

Capacidad
El Bench Box puede detonar hasta 1.800 detonadores por voladura, como se usa en modo Standalone, con 2.500 m y un cable de conexión pertinente a cada canal.
El Bench Box en modo RF pertinente a la estación base puede detonar y disparar hasta 1.800 detonadores, con 2.500 m de cable de conexión y disparo bidireccional sobre el canal y con 3 kilómetros con línea de fuego entre unidades en modo RF.
La estación base genera todos los detonadores conectados al Bench Box.

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

Tabla 11 — SmartKeys DigiShot Plus

SmartKeys DigiShot Plus
Hay dos SmartKeys idénticas, amarillas para activar el Bench Box y rojas para impulsar la estación base.
Las Smart Keys acceden una conexión física sin que el voltaje necesario para la detonación pueda transferirse a los detonadores.
Las llaves cuentan con sistemas electrónicos que crean las señales de explosión requeridas y también acceden la comunicación entre los sistemas.
Si dispara desde un Bench Box y no desde una estación base, se requiere un botón rojo de Bench Box.
Si el fuego se realiza a través de RF, se debe colocar una llave amarilla en el Bench Box para acceder a la comunicación. La clave roja debe ingresarse en la estación base donde ocurrirá el incendio.
La SmartKey roja domina la codificación que expresa los comandos de lanzamiento y debe ser usados por el dispositivo que emite el lanzamiento.
Las llaves están protegidas y bloqueadas en pares con contraseña.

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)



Figura 16 — SmartKeys DigiShot Plus

3.2.23. Seguridad del sistema electrónico

El diseño con la técnica DigiShot Plus es desigual, por lo cual, una excelente proyección de las voladuras y una adecuada intervención en la malla es esencial. Los enlaces no deben realizarse en el orden de salida de la explosión. El

dispositivo marcado y testeado (Tagger) usado para verificar la red y solucionar dificultades es naturalmente positivo y tiene un voltaje de salida máximo de 9 V en contextos normales de funcionamiento. Los detonadores son totalmente comprobables mediante comunicación bidireccional. El sistema puede verificar el cableado, la integridad del detonador y los conectores. Las malas conexiones se pueden aislar y reparar. Esto permite a Tagger garantizar el funcionamiento del sistema y minimizar los errores de explosión. La fuente de alimentación para iniciar el fuego se encuentra en un sistema llamado Bench Box. Se usa para probar el funcionamiento de detonadores y también es capaz de desencadenar explosiones. El Bench Box operará con un alto nivel de seguridad. Esto significa que la prueba puede estar en la parrilla, pero no en el área de explosión. La voladura se puede disparar desde el mismo Bench Box o desde la estación base. Si el disparo se realiza desde la misma Bench Box (disparo local), debe colocarse en una zona segura para las personas. Al disparar desde una estación base, la caja de banco debe colocarse en un área segura para evitar daños que puedan causar las operaciones de disparo del equipo. Se deben realizar una serie de acciones específicas y consecutivas para iniciar y explotar una estación base:

- La clave de inicio amarilla debe ingresarse en el campo Bench Box y Password. Esta llave siempre debe estar consolidada en el momento de la explosión y por la persona responsable de la explosión.
- Para usar la estación base, debe ingresar la segunda clave de arranque roja. Las dos teclas de activación, amarilla y roja, debe pertenecer al mismo juego de teclas para garantizar la comunicación entre el Bench Box y la estación base, la llave roja del tractor asimismo se debe estar en manos del responsable de la explosión o en un lugar seguro hasta su uso. Los detonadores solo pueden activarse mediante una serie de pasos en el extintor de incendios a una distancia de la estación base.



Tabla 12 — Resumen estación base

Resumen de los beneficios
Control: Mayor inspección del impacto ambiental de voladura
Componentes mínimos en el banco simplifican el uso: El conector del detonador electrónico DigiShot Plus se puede conectar fácilmente al conector de 2 vías en la parte superior. No se requieren accesorios adicionales.
Conveniente: Los planes y tiempos de voladura se pueden preprogramar en DigiShot Plus Bench Box o el día de la explosión, lo que sea más apropiado.
Tiempos de retardo automático o programable: La programación de desaceleración automática rápida y sencilla ahorra tiempo y disminuye los errores en comparación con la asignación manual de detonadores individuales. Para DigiShot Plus, es posible cargar el equipo de control y de incendios antes de la fecha de explosión, el diseño de la red y el tiempo de retardo de todos los detonadores y descargar la información sobre la red de explosión inmediatamente después del día del disparo usando un software analítico y simulación de voladura ViewShot™ de DetNet, o con la aplicación Plan Talk.
Seguridad Los controladores DigiShot Plus están protegidos con contraseña y requieren una llave inteligente DigiShot Plus para enviar una señal de activación cifrada para desencadenar una explosión DigiShot Plus.
Tronadura Remota Inalámbrica: La voladura se puede encender usando una conexión inalámbrica para un fuego remoto.
Fácil de usar y rápido de desplegar: La estructura del menú del software está diseñada para reducir el tiempo de capacitación del usuario. El proceso de montaje es más rápido porque los tiempos de retardo se introducen fuera del Bench Box.

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

Tabla 13 — Flexibilidad en el diseño de la voladura

Flexibilidad en el diseño de la voladura
Exacta programación.
Se pueden programar retardos con desviaciones de hasta mil por segundo o el sistema accede trabajar con tomas especiales.
El sistema es capaz de manejar diferentes configuraciones y períodos de prioridad.
Retrasos de programación individual, programación automática y programación automática usando el software ViewShot de DetNet, enviando información diseñada por computadora a los detonadores del banco mediante Bench Box, lo que permite al usuario final opciones de configuración ilimitadas en el tiempo y tiempo más altos.

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

Tabla 14 — Fácil de aprender voladura

Fácil de aprender
La estructura del menú del software está diseñada para reducir el tiempo total de capacitación del usuario.
El proceso de montaje es más rápido porque los tiempos de retardo se introducen fuera del Bench Box.
El sistema posee un concepto simple de conexión.

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

3.2.24. Tamaño de la voladura y límites del equipo de control

- a) Número de Detonadores por Voladura Cada Bench Box tiene 6 canales a través de los cuales se puede conectar un cable de incendio. Cada canal puede manipular un máximo de 300 disparadores, lo que permite que el sistema



La voladura se divide desde el punto de inflexión en izquierda y derecha. La fila 1 es la más cercana al área libre. El sistema accede a la colocación de 127 tiros a cada lado (derecho e izquierdo) de forma secuencial y un total de 63 filas.

c) Límites de RF La aplicación de RF hace uso del Bench Box y de la Estación Base los cuales se informan entre sí mediante una señal RF. Para que estas unidades puedan establecer y mantener la comunicación, es necesario que se establezca una visibilidad directa entre las dos unidades. Esta línea no debe tener más de 3,5 km., de lo contrario, la intensidad de la señal puede ser muy débil y la comunicación puede interrumpirse o interrumpirse. Asimismo, cada unidad debe utilizar una antena omnidireccional. Las antenas están conectadas a cada una de las unidades y deben apuntar en la misma dirección (Ambos deben colocarse verticalmente o ambos horizontalmente).

d) Límites del Cable de Conexión y Disparo de Voladura

Los detonadores están conectados al cable de arriba, es conocido como Lead in Wire. Cada canal puede acomodar una longitud total de 2500 m. y 300 detonadores (Mendoza, 2018, p.158).

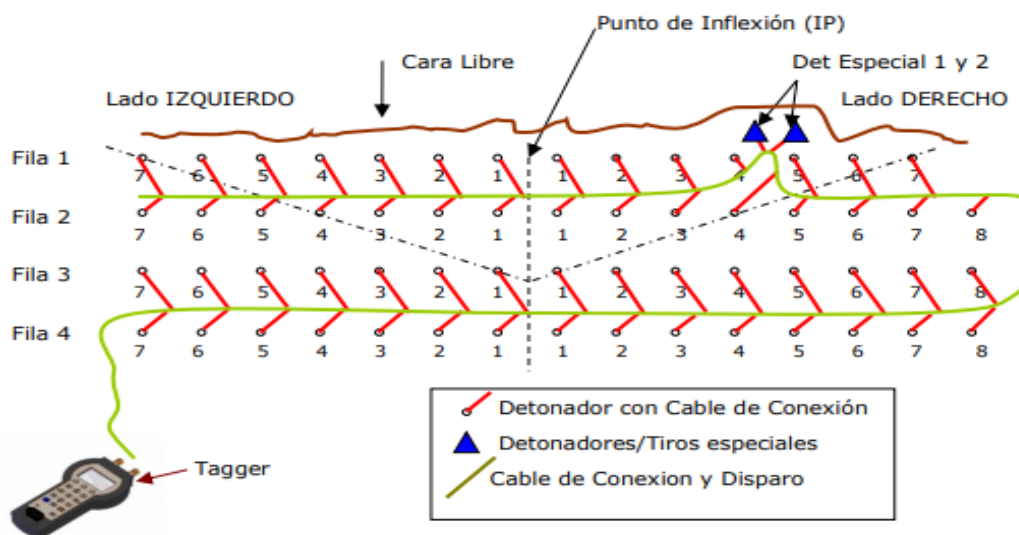


Figura 19 — Conexiones de los detonadores

Los detonadores se pueden conectar de cualquier manera, usando conectores de 2 vías y un cable de fuego. Los conectores no son sensibles a la polaridad. significa configuración en forma de espiga. Las uniones en espiga solo se deben



utilizar para reducir el número de cables de conexión utilizados. No se podrán extender más de 2500 m. de cable por canal sin aumentar la "distancia eléctrica" al detonador final. Si se excede el rango, la integridad de la explosión se verá comprometida porque la corriente transmitida por la señal de fuego puede no ser lo adecuadamente para alcanzar y cargar todos los sistemas, lo que resultaría en un posible disparo fallido.

- e) Distancias del Cable Detonador Actualmente, la distancia máxima disponible para la línea de descenso es de 75 m., cuanto más alta sea la línea inferior, menos detonadores y cables de conexión y disparo puede aceptar el sistema.
- f) Máximos tiempos de retardo e Incrementos Los detonadores se pueden programar desde 0 ms y tienen pasos desde 1 ms hasta un retardo máximo de 20000 ms.
- g) Límites de Temperatura El diagrama muestra los límites de temperatura aplicables para el sistema DigiShot Plus:

Tabla 15 — Límites de temperatura

Detonador Digishot Plus	-40°C/-40°F	+70 °C/+158 °F
Tagger Digishot Plus	-10°C/+40°F	+50 °C/+122 °F
Bench Box/ Estación Base	-10°C/+40°F	+50 °C/+122 °F

Extraído del MANUAL DIGISHOT PLUS (2007)

Cuando se utiliza un kit climático, la temperatura mínima a la que se puede exponer el Tagger es de -20 °C. El tagger no debe exponerse a la luz solar directa durante largos períodos de tiempo.

- h) Vida de la Batería La duración de la batería se ve afectada por las condiciones bajo las cuales se opera la unidad. Cuando la batería está descargada, el dispositivo emite un pitido y se apaga cuando la carga está completamente cargada o alcanza el voltaje mínimo requerido. Se apagará automáticamente, que se emite una señal acústica de nivel de voltaje alcance 6,9 V. El Tagger puede ser alimentado por una batería alcalina de 9V o una batería recargable de 9V. El Bench Box y la Estación Base tienen cada uno una batería recargable de 12V. El dispositivo debe estar apagado mientras se carga la batería. La

batería no se cargará cuando las unidades estén cargadas. Las unidades deben cargarse al menos 5 horas antes de la explosión MENDOZA (2018, p.161).

3.2.25. Voladura

CHIPANA (2015). La voladura es una actividad final de una guardia, para la ejecución de fragmentar la roca se usa explosivos en el carguío de los taladros anticipadamente perforados, el disparador debe ser consciente que la actividad que realiza es importante y delicadeza en el uso del explosivo (p. 48).

Es un proceso tridimensional en el que la presión generada por los explosivos atrapados en agujeros perforados en una roca proviene de una zona con una alta concentración de energía, lo que crea dinámicas, fragmentación y desplazamiento.

3.2.26. Fragmentación de la voladura

Según DELGADO (2021). Requiere el uso de energía que se deriva de una reacción química que resulta de la detonación de cargas explosivas que se inyectan en la masa rocosa. El material descargado debe una disposición espacial y efectuar con una granulometría adecuada para los procesos posteriores (p.8).

3.2.27. Nivel de vibraciones producidas por las vibraciones

Para PERALTA y otros (2016). Los registros de vibración se toman de geófonos piezoeléctricos triortogonales modernos, que recomiendan un nivel típico de vibración en situaciones de referencia, para trabajos de conexión de rutina. Actualmente, los sistemas de registro están implementados en tareas relacionadas con la informática (p.4).

El procesamiento de los registros obtenidos es realizado por programas que ajustan los equipos de acuerdo con sus requerimientos y los parámetros que reciben, lo cual es resultado de cambios de Fourier a un nivel mucho más alto, cuya función es estudiar los parámetros medidos en este tipo de trabajos en el dominio de la frecuencia.

3.2.28. Condiciones para una voladura de rocas

CHÁVEZ (2018). En la voladura existen algunos factores la cual interviene directa o indirectamente, estos factores son llamados variables, parámetros o condiciones principales que comprende (p.42):

a) Propiedades físicas

Dureza: Muestra el problema de perforar.

Tenacidad: Muestra el problema de romperse

Densidad: Muestra el problema para volar y está entre 1 a 4,5 g/cm³

Textura: Forma de enlace de cristal y nivel de concentración.

Porosidad: Comparte los poros y su capacidad para absorber agua.

Variabilidad: Las rocas no son semejantes en su textura y composición.

Grado de alteración: Deterioro que produce por efecto de las aguas freáticas y intemperismo.

b) Propiedades elásticas

Frecuencia sísmica: La velocidad a la que estas ondas atraviesan las rocas.

Frecuencia mecánica: Resistencia a las fuerzas de tensión y compresión

Frecuencia interna: Posibilidad de deslizamiento de las superficies internas bajo tensión

Frecuencia de Young: Resistencia elástica a la deformación

Radio de Poisson: El radio de la concentración transversal o expansión longitudinal del material bajo tensión.

Impedancia: Relación de la densidad del explosivo y velocidad sísmica.

c) Propiedades geológicas

Estructura: Forma que se presenta la roca y está relacionada con su origen y formación.

Grado de fisuramiento: Indica la amplitud del fracturamiento natural e intensidad de las rocas.

3.3. Marco conceptual

a) Detonadores electrónicos. Son empleados para empezar activación de los explosivos de diferentes clases y proporción, también pueden ser con o sin retardo.

b) Fragmentación de la voladura. Diversas teorías han propuesto por exhibir como la roca se fragmentada obtenido de la explosión.

c) Nivel de vibraciones producidas por las voladuras. Cada voladura se lleva a cabo se realizó un estudio de monitoreo de vibraciones, se empleó para esta tarea lo siguiente equipo un sismógrafo, es aquel que se utiliza para medir vibraciones.



- d) Burden.** Para YNQUILLA (2017) también llamada piedra, losa o línea de menor resistencia al espacio libre. Esta es la distancia desde el talón o eje del agujero hasta el área libre perpendicular más cercana. También la distancia entre las filas de agujeros durante la explosión (p.44).
- e) Cara libre.** Para HINOSTOZA (2014) es necesario para la generación y retorno de ondas de tensión reflejadas que provocan la fisión. Si falta superficie libre, hay menos explosión, y si no hay superficie libre, las ondas de compresión pueden propagarse libremente de forma invisible y propagarse a lo largo de la distancia como ondas sísmicas (p. 17).
- f) Balance de oxígeno.** Para MUÑOZ (2017). Con la excepción de la nitroglicerina y el nitrato de amonio, la mayoría de los explosivos carecen de oxígeno porque no es suficiente para convertir cada átomo de carbono e hidrógeno en la molécula explosiva en dióxido de carbono y agua (p.5).
- g) Deflagración.** Para BERNOLA y otros (2013). La deflagración es la combustión repentina de una llama a una velocidad de propagación baja, sin que se produzca una explosión. A menudo se asocia erróneamente con explosiones, que a menudo se usan como sinónimo (p.67).
- h) Densidad.** Para MUÑOZ (2017). Es una de las propiedades más importantes a considerar cuando se diseña un explosivo y corresponde al peso del explosivo por unidad de volumen (p.2).
- i) Diámetro Crítico.** Para MUÑOZ (2017). Las cargas explosivas cilíndricas tienen un diámetro en el fondo donde la onda de detonación no se propaga o, si ocurre, tiene una velocidad muy baja en el modo de velocidad, esta dimensión se denomina "diámetro crítico" (p.2).
- j) Detonación.** Para BERNOLA y otros (2013). La detonación es una combustión supersónica caracterizada por la generación de una onda de choque. En este frente de onda se crean gradientes de alta presión y temperatura, porque la reacción química tiene lugar inmediatamente (p. 242).
- k) Explosivo.** Para BERNOLA y otros (2013). Es un elemento que puede causar una explosión, y bajo ciertas condiciones estos elementos reaccionan en un proceso de descomposición química, el cual se caracteriza por una alta velocidad de reacción y donde la expansión de muchos gases ocurre a altas temperaturas en estado de trabajo mecánico a una distancia alrededor del explosivo (p. 241).
- l) Humos Tóxicos.** Para INACAP (s.f, p.20). Los humos residuales son un grupo de gases producidos por la reacción de detonación de un explosivo, incluidos el vapor de

nitrógeno (NO_x), el vapor de agua, el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂).

- m) **Poder rompedor.** Para BERNOLA y otros (2013). La fuerza de fractura como propiedad explosiva que muestra la posibilidad de romper la roca solo por la onda de detonación y no por el conjunto de ondas de detonación y presión del gas (que es medida de potencia) (p. 242).
- n) **Proceso de fracturamiento.** Para AGEICO (s.f, p. 5). La fragmentación de rocas por voladura consiste en la acción de un explosivo y la reacción resultante del macizo rocoso circundante, en la que se eliminan en una interacción rápida y compleja factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas, etc.
- o) **Quantex 73.** Para EXSA (2013). Es la mezcla explosiva compuesta de un 70% de emulsión gasificable; Slurrex Q, potenciada con un 30% de nitrato de amonio Quantex (p. 1).
- p) **Resistencia al Agua.** Para BERNOLA y otros (2013). La resistencia al agua de un explosivo se define ampliamente como la capacidad de un producto para resistir el agua (p. 81).
- q) **Sensibilidad (Cebo Mínimo).** Para BERNOLA y otros (2013). La sensibilidad de un explosivo se puede definir como un mayor o menor nivel de energía de iniciación que debe transferirse para evitar su formación y posterior detonación (p. 81).
- r) **Transmisión o simpatía.** Para NOA (2019). Transmisión de la onda de detonación en la columna de carga. Una buena simpatía asegura la explosión total de la columna de carga (p.40).
- s) **Velocidad de Detonación (VOD).** Para BERNOLA y otros (2013). La velocidad de la onda de choque en m/s califica a los explosivos como detonantes y deflagrantes (p. 77).



CAPÍTULO IV

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y Nivel de la investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, de acuerdo con el desarrollo de la investigación, es del tipo aplicada ya que se ha hecho uso de conocimientos adquiridos anteriormente para aplicarlos en campo y darle solución a la problemática encontrada. Según HERNANDEZ y otros (2019). Esta investigación es aquella que se va a emplear cuando se proponga a aplicar el conocimiento con el fin solucionar cualquier problema y que su posible solución dependerá del beneficio de individual o colectivo (p. 114).

Por otro lado, el nivel es descriptiva ya que comprende descripción, registro, análisis e interpretación de las características o procesos de los fenómenos. Según HERNANDEZ y otros (2019). La investigación descriptiva tiene como finalidad describir características importantes de un conjunto de fenómenos haciendo uso de criterios sistemáticos que ayuden a conocer la composición de dichos fenómenos de estudio (p. 711).

4.2. Diseño de investigación

Debido a la naturaleza de la investigación, el diseño es no experimental ya que no existe manipulación de las variables fragmentación y vibración por medio de los detonadores electrónicos. De esta manera, CARRASCO (2006). Menciona que el diseño de investigación está concebido para lograr absolver nuestras preguntas del caso, en donde en una investigación no experimental se trata de recopilación y análisis de datos sin la manipulando las variables puestas en estudio (p.42).

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

CARRASCO (2006). Menciona que es la agrupación de personas u objetos que tiene ciertas similitudes que son visibles en un lugar y tiempo que está fijado (p. 236). La población en este estudio está conformada por las actividades de las voladuras de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

4.3.2. Muestra

CARRASCO (2006). Indica que es un subconjunto que está representado en la población (p. 237). De esta manera haciendo uso de un muestreo no probabilístico, la muestra de estudio de la presente investigación está conformada por los



registros de fragmentación y vibración producto de las voladuras en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

4.4. Procedimiento

Trata de la implementación de detonadores electrónicos DigiShot Plus, se implementó debido a que se observó oportunidad de mejora en cuanto a fragmentación y niveles de vibración donde se estima realizar el trabajo de investigación en un tiempo de 8 meses, el medio del procedimiento será la observación y los reportes generados del monitoreo de vibraciones y el análisis de fragmentación en los frentes de minado, para la obtención de los datos se tendrá en cuenta registros en papel y una base de datos en formato Excel las cuales serán procesados para su respectivo análisis.

4.4.1. Medición de vibraciones

- Todos los equipos y herramientas necesarios para la tarea se trasladan en la camioneta hasta la zona de monitoreo de voladura.
- Para la instalación del equipo de monitoreo de vibraciones, 30 minutos antes de la voladura, se pide autorización radial de ingreso al proyecto de voladura al supervisor de voladura o ingeniero residente previa coordinación con ellos.
- Una vez en el proyecto de voladura en el caso de geófonos superficiales, se tiene que colocar un geófono a 50 m del último taladro de la malla y otro geófono a 100 m del último taladro de la malla, estas ubicaciones pueden cambiar por indicación del supervisor de voladura o cuando las condiciones no sean favorables.
- De ser la medición de las vibraciones en zonas de comunidad y/o instalaciones alejadas, de igual manera ubicar en una zona segura y señalar el área.
- Con la ayuda del GPS se identifica el punto de monitoreo.
- Se entierra el geófono. La dirección de la flecha que lleva este, debe apuntar hacia el proyecto de voladura.
- Sobre el geófono enterrado se coloca un peso de 2 kg aproximadamente (saco con arena).
- Se conecta el geófono al monitor INSTANTEL se programa el equipo con los parámetros de grabación solicitados y/o dependiendo del tipo de registro a obtener.
- Se deja el equipo en proceso de monitoreo.



- Se coloca encima del monitor la caja metálica de protección y se delimita el área con conos.
- Terminada la instalación se comunica por radio al supervisor de voladura informando que se salió del proyecto y se encuentra ubicado fuera del radio de influencia de la voladura.
- Culminado el proceso de voladura y luego de que el supervisor de voladura autorice el ingreso al área, apagar el equipo y posteriormente realizar el análisis.
- Con la ayuda del software BLASTWARE se analiza los datos y toda la información obtenida se registra en el formato correspondiente.

4.4.2. Análisis de fragmentación

- La cámara fotográfica debe contener batería cargada, memoria con espacio suficiente, pelota.
- Antes de ingresar al frente de minado donde se ubica la excavadora, pedir autorización radial al ingeniero de operaciones mina de turno.
- Si autoriza el ingreso, esperar que el equipo de carguío (excavadora o cargador frontal) detenga su marcha y baje el respectivo balde.
- Al culminar la labor comunicar al O1 el retiro del corte de la excavadora.
- Esta operación se realizará durante la paralización del equipo de carguío. Deberán de hacerlas dos personas, una tomará las fotos el otro hará el papel de vigía.
- Estando cerca del talud del banco o frente de carguío observar las condiciones del terreno. No arriesgarse, si las condiciones no son seguras comunicar y retirarse.
- Con los instrumentos de muestreo acérquese al frente de carguío o talud de banco y ubique la pelota encima del material fragmentado que desea analizar.
- Llène el campo visor con roca fragmentada.
- Ubique la pelota adecuadamente para la foto.
- Incluya todos los tamaños. Ningún bloque simple deberá ocupar más del 20 % del ancho de la imagen.
- La cantidad de fotos a tomar queda a criterio del examinador, pero se deberá tener en cuenta la uniformidad de la fragmentación. Si la fragmentación de la pila es poco uniforme deberá incluir más fotos.

- Para una resolución mejorada de fragmentos pequeños, use la capacidad de acercamiento de la cámara fotográfica para combinar imágenes a diferentes escalas de magnificación.
- Tomar fotos panorámicas, para tener mayor información de cómo está el frente que se está minando.
- Una vez terminado el trabajo comunique al operador del equipo de carguío la culminación del trabajo.
- Todas las fotos tomadas deben descargarse en la computadora, colocar su respectiva malla y posteriormente analizarlo con el software Split-Desktop”. Los resultados obtenidos deben ser registrados en el formato correspondiente.

4.4.3. Carguío de taladros

- El operador debe revisar la cantidad de materias prima antes de iniciar el carguío.
- Activar el sistema neumático, eléctrico.
- Abrir las válvulas de emulsión, petróleo. Vibrar el compartimiento de nitrato.
- Limpie el filtro de petróleo, nitrato de sodio y agua; pida apoyo al mecánico si es necesario.
- Encrochar el P.T.O y calentar el aceite hidráulico 10 minutos antes de inicio carguío taladros.
- Llenar la planilla según requerimientos indicados en la misma: densidades inicial y final si es gasificado, cantidades inicial, final y consumida de agentes de voladura, tipo de agentes de voladura, etc.
- Prender el PLC. Regular la divisora ANFO-EMULSION de acuerdo a la mezcla requerida.
- Acelerar a 1200 RPM, soplar el brazo de descarga en la bandeja o bolsa.
- Empiece a fabricar en la bandeja y bolsas, compruebe que la mezcla sea la correcta, cargue el brazo con 50 a 70 kg aproximadamente, resetear el totalizador de mezcla.
- En cada viaje, antes de iniciar el proceso de carguío, verterá los kilos necesarios fuera del primer taladro para verificar que la dosificación de la mezcla sea la requerida. El material vertido luego se echará sobre 1 metro del taco inerte del taladro para evitar ensuciar el proyecto.
- Sacar y posicionar frente a la cabina el brazo de descarga, colocar la manga.

- Ubicar la manga al centro de la boca del taladro, evitar siempre que el explosivo se contamine con del detritus de la perforación.
- Para trasladarse entre taladros, la parte inferior de la manga debe estar insertada en el gancho para evitar caída de explosivo a piso durante este desplazamiento, si no hay gancho hacer un nudo a la manga.
- Durante este proceso, evitar derramar explosivo sobre el piso, es responsabilidad del winchero este control. Los derrames, se deben levantar con cuidado y verter al taladro sobre el taco de la carga explosiva (taladros completamente cargados), según el caso utilice la bandeja para derrames. Nunca debe quedar explosivo o partes de él sobre el terreno.
- Comunicación en todo momento entre el operador y winchero en los puntos de descarga.
- Si la mezcla es correcta y es adecuada para la densidad objetivo inicie el carguío, no se iniciará el carguío si no se encuentra el winchero
- Obtener la densidad de la carga, para ello deberán contar con el equipo necesario para esta operación. Esta densidad será tomada en los primeros taladros luego de forma aleatoria.
- Compruebe el porcentaje de petróleo que está inyectando entre el primer y segundo taladro como máximo. NO siga cargando si no comprobó el porcentaje. Asimismo, registre en la planilla de control.
- Al realizar el carguío compruebe la cantidad de kilos que ingresa al taladro utilizando la fórmula de carga lineal; recuerde que la tolerancia por defecto en el taladro es hasta aproximadamente 5 kilos/metro lineal.
- Para explosivo gasificado, considere los kilos a verter y los centímetros que levanta esponjando para el taco final
- De quedar un taladro a “medio cargar”, el winchero colocara un cono cerca a la boca del taladro y comunicara al supervisor y demás wincheros.
- Es obligatorio que el operador revise y verifique la cantidad de agentes de voladura que aún queda en el camión antes de retirarse.
- Cuando haya terminado de cargar realice la limpieza soplando el brazo de descarga fuera del taladro, a una bolsa o bandeja.
- Retire la manga y guarde el brazo; finalmente desconecte el PTO.



4.5. Técnica e instrumentos

4.5.1. Técnica

Las técnicas de recolección de datos son una serie de pasos o procedimientos los cuales permiten que el investigador obtenga información esencial para que cumpla su objetivo de su investigación HERNÁNDEZ y otros (2014). En este caso, para la recolección de datos se usaron dos técnicas, el análisis documental y la observación (p. 50).

4.5.2. Instrumentos de investigación

En este caso, según HERNÁNDEZ y otros (2014). Los instrumentos son los recursos que el investigador usa para llevar a cabo las técnicas y finalmente extraer información de los fenómenos de estudio (p. 54). En la presente investigación, los instrumentos utilizados son la guía de análisis documental y la guía de observación.

Guía de análisis documental. Es una forma práctica de seleccionar ideas relevantes de alguna fuente como un libro, documento, con la finalidad de evidenciar y obtener datos que ayuden a cumplir los objetivos de la investigación.

Guía de observación. Es la técnica que se fundamenta en la búsqueda del realismo y la interpretación del contexto, por lo cual, por medio de esta se da a conocer más el tema que se quiere estudiar. En este caso, este instrumento se usó para el apunte de lo observado al aplicar los detonadores electrónicos en voladura.

4.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico del trabajo es el siguiente:

- El Equipo “Instatel Minemate” que tendrá su programa informático “Blastware” que analiza las vibraciones.
- Para el monitoreo y control de fragmentación de roca se empleará el programa informático “Software Split-Desktop”.
- Se utilizará Microsoft Excel para procesamiento de información y de los resultados.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de los resultados

En el desarrollo de las pruebas que se realizó en Unidad Minera Cerro Corona, Cajamarca utilizando los detonadores electrónicos DigiShot Plus, donde se ha podido ejecutar pruebas de voladuras las cuales dieron resultados favorables para el trabajo, como consecuencia del buen funcionamiento de los detonadores electrónicos, refiriéndose a no generar tiros cortados y tiros quedados (TQs). En cuanto a la fragmentación y al nivel de vibraciones los resultados obtenidos fueron satisfactorios y se detallan a continuación.

Implementación de detonadores electrónicos

La implementación de detonadores electrónicos DigiShot Plus se implementó debido a que se observó oportunidad de mejora en cuanto a fragmentación y niveles de vibración.

El sistema consta de cuatro componentes principales:

- Un detonador electrónico (totalmente programable)
- Un Tagger
- Un Bench Box
- Una estación Base

Mejora de la fragmentación con detonadores electrónicos

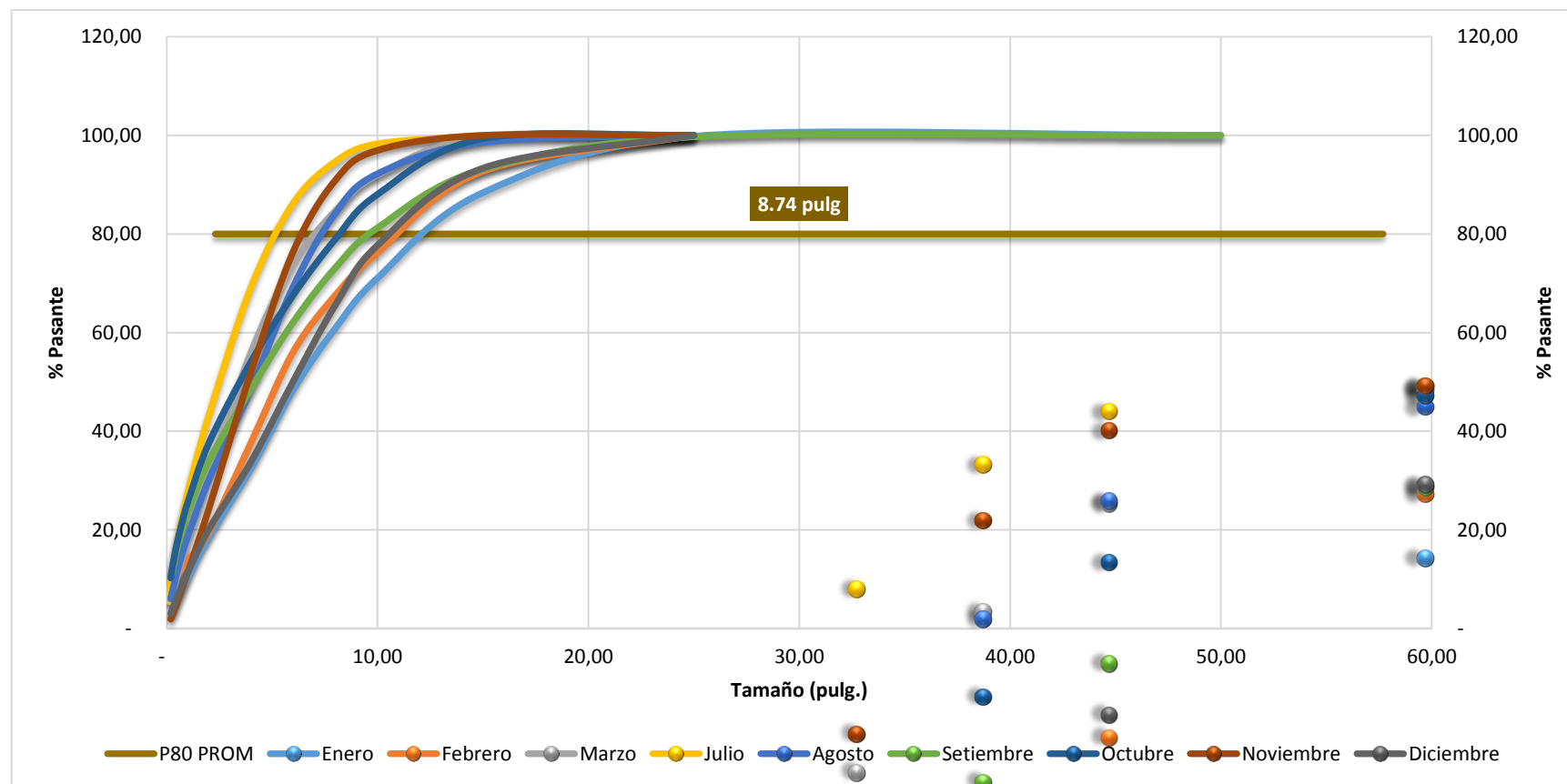


Figura 20 — Fragmentación de voladura con detonadores no electrónicos, 2018

La figura 20 muestra la granulometría del material como resultado de la fragmentación de voladura en el 2018 con el uso de detonadores no electrónicos, en donde en promedio el P80 que se ha obtenido es de 221,51 mm, es decir, el 80% del material fragmentado tuvo una granulometría menor a 221,51 mm o 8.74” aproximadamente, lo cual no cumplía con los requerimientos de los procesos posteriores a la de voladura (<5,9”) requerido como KPI de Gold Fields Cerro Corona.

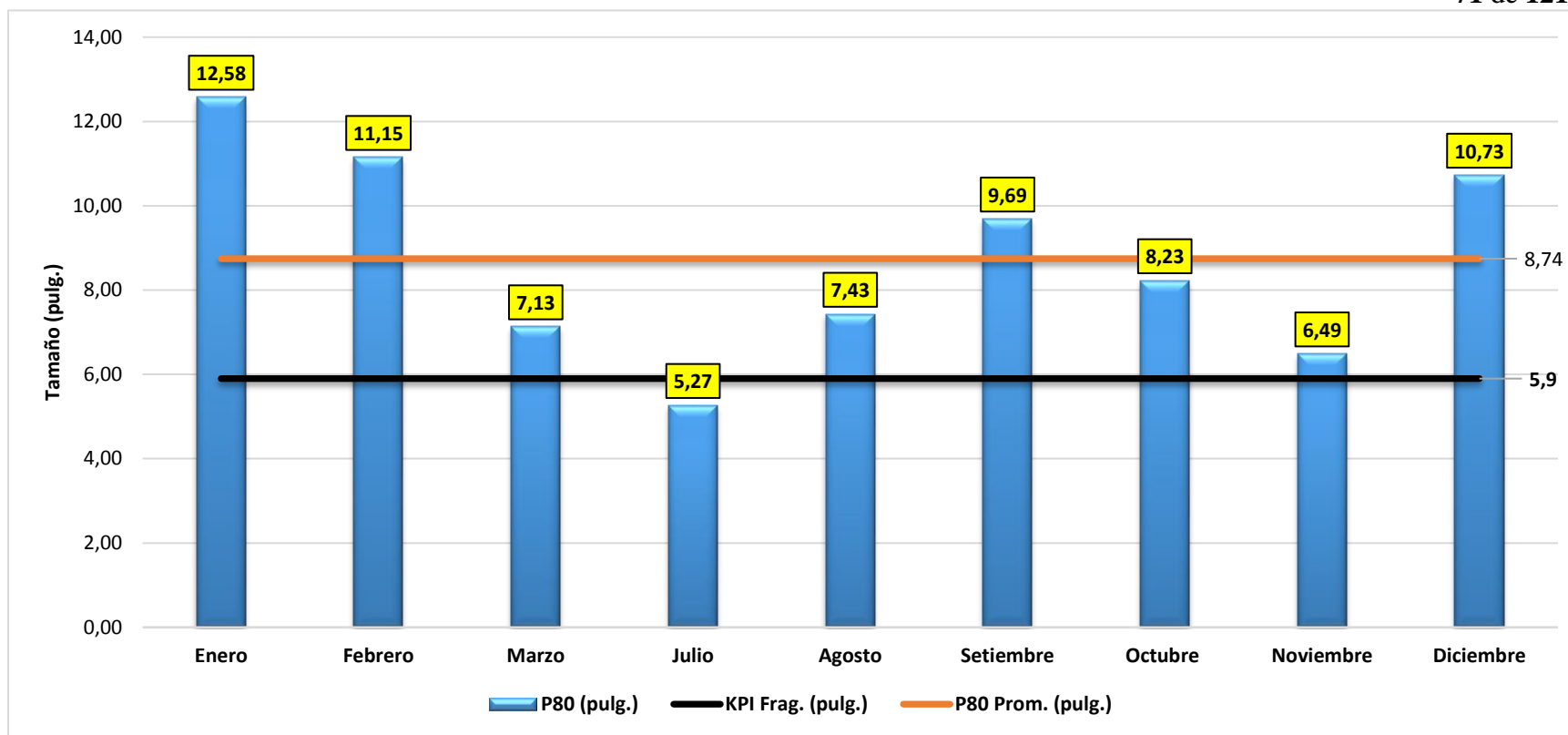


Figura 21 — P80 Promedio con detonadores no electrónicos, 2018

La figura 21 muestra el P80 promedio de cada mes en el 2018, observándose que enero fue el mes con granulometría más grande (P80 = 12,58”) y en julio se obtuvo la granulometría más pequeña del año (5,27”), y teniendo en cuenta que el máximo proyectado por la empresa es de 5,27”, el mes de julio fue el único que cumplió; sin embargo, el promedio del año fue un P80 de 8,74”, muy por encima del KPI plasmado por la empresa.

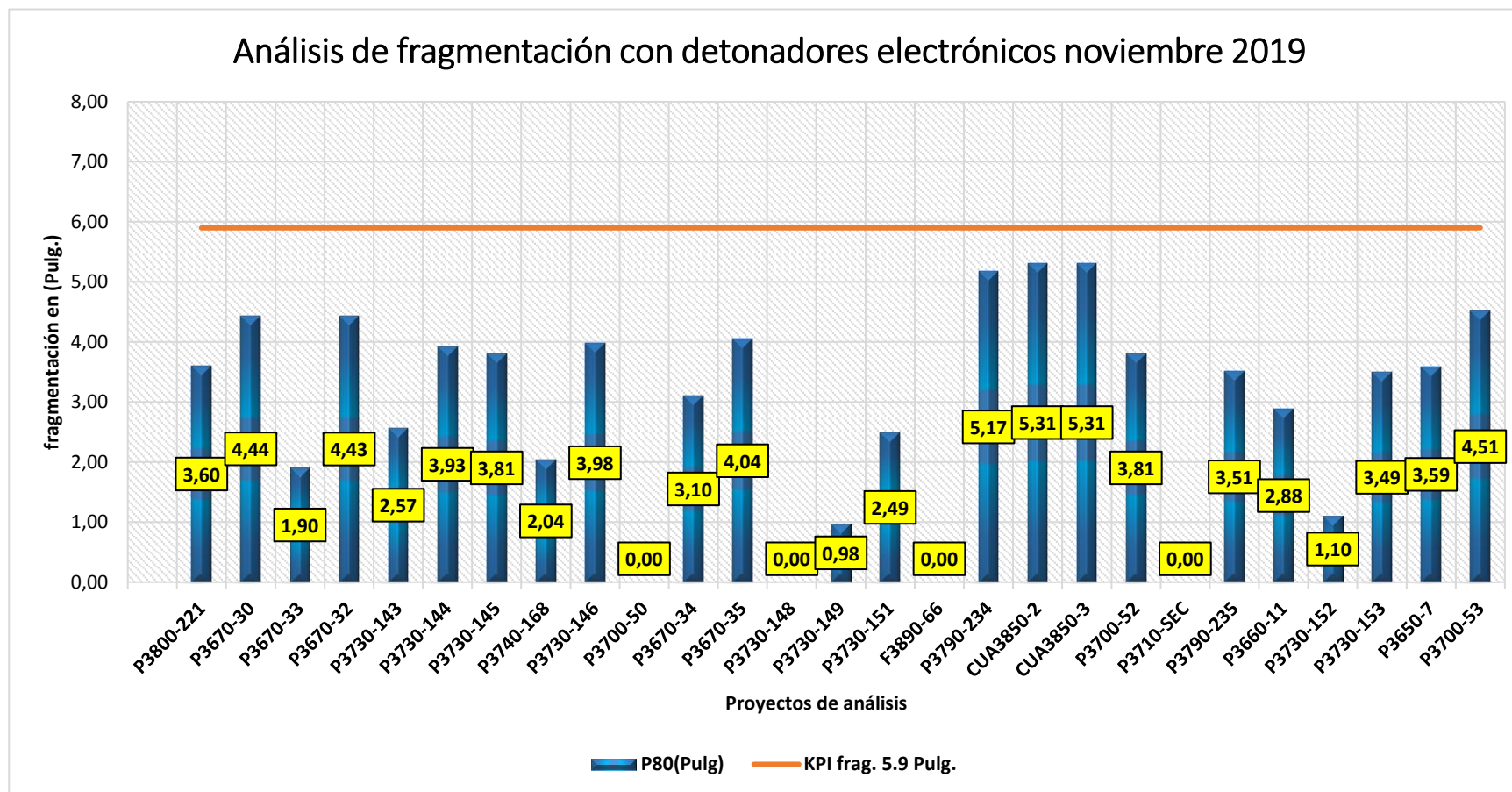


Figura 22 — Análisis de fragmentación por proyecto, noviembre 2019

La figura 22 muestra la fragmentación del material en diferentes proyectos del 2019 usando detonadores electrónicos DigiShot Plus, en donde se evidenciaron diferentes tamaños de fragmentación, siendo el más bajo de 0,98”, y por otro lado, se identificó que el más grande fue de 5,31”, de esta manera, en promedio en Noviembre del 2019, se obtuvo una fragmentación de 2,96” o 75,26 mm aproximadamente, lo cual evidentemente es un tamaño de fragmento menor y por ende mejor que haciendo uso de detonadores no electrónicos .

5.1.1. Mejora del nivel de vibración con detonadores electrónicos

A nivel internacional, las vibraciones causadas por voladuras con potencial para dañar edificios se producen de acuerdo con algunos de los niveles más altos de vibración, encontrándose los valores más altos midiendo e identificando daños en edificios incluyendo un margen de seguridad específico y en muchos casos reglamentaciones legales o técnicas para evitar daños a los edificios.

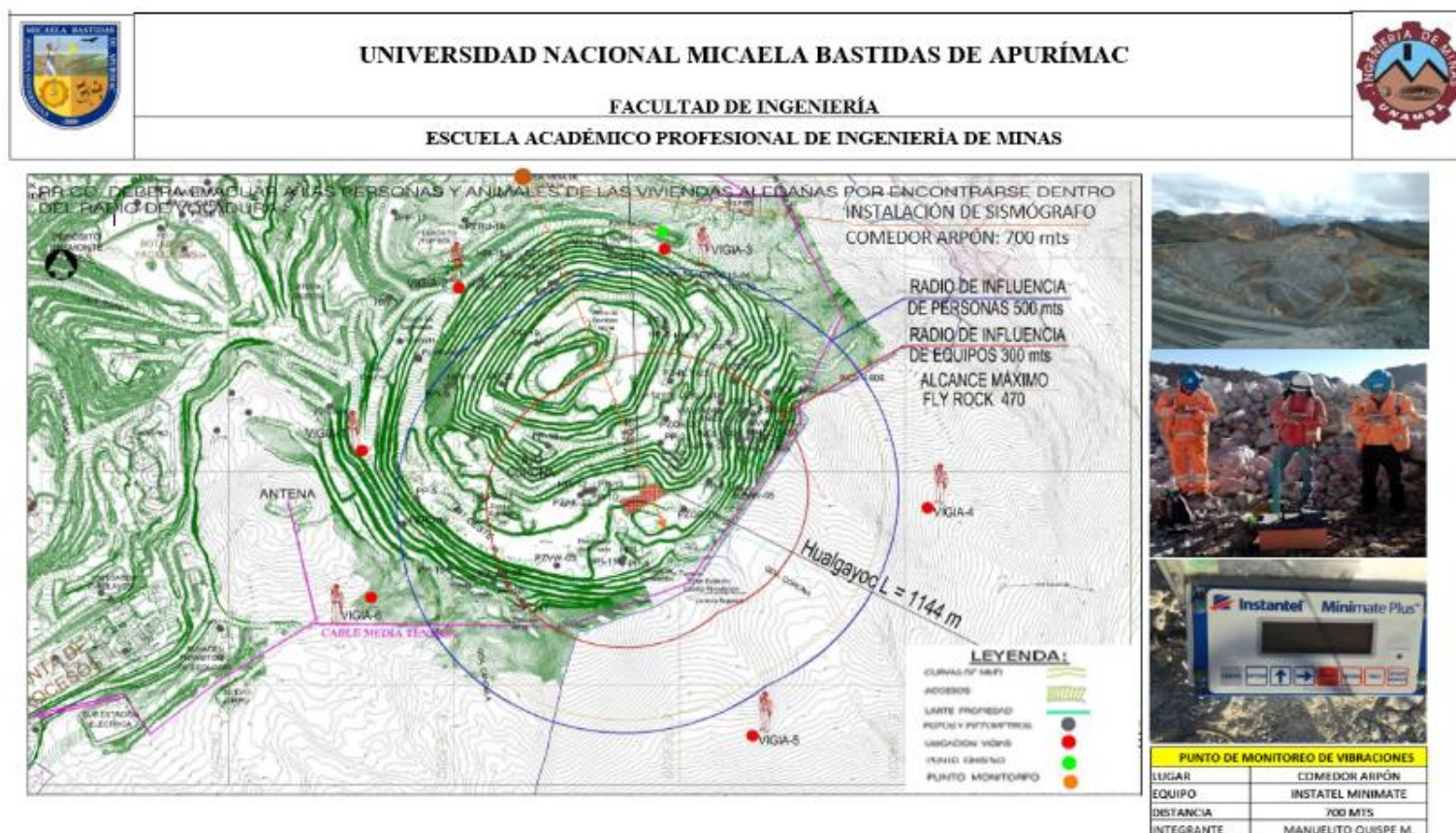


Figura 23 — Plano de punto de monitoreo de vibraciones

Para la obtención de los niveles de vibración, se hizo un estudio de velocidad pico partícula (VPP) de las voladuras haciendo uso de los detonadores en cuestión que son los pirotécnicos o no electrónicos y los electrónicos.

Como método, se realizaron mediciones a distintas distancias del frente (figura 23). Los sismógrafos deben colocarse en un lugar seguro y de fácil acceso, y también debe conocerse su distancia exacta desde el frente. Los detonadores electrónicos y pirotécnicos pueden beneficiarse de este método. A continuación, se mostrarán los resultados registrados.

Tabla 16 — Registro de vibraciones con detonadores no electrónicos, 2018

FECHA MONITOREO	INICIACIÓN	TIPO DE EXPLOSIVO	DENSIDAD EXPLOSIVO (gr/cc)	VPP (mm/s)	FRECUENCIA (Hz)	DISTANCIA (m)	UBICACIÓN
13/01/2018	Pirotécnico	HA 37-46	1,21	13,59	12	117	Rampa Oeste ingreso a mina
18/01/2018	Pirotécnico	HA 37-46	1,17	3,34	18	580	Familia palma
21/01/2018	Pirotécnico	MEQ73	1,09	19,05	18	320	Grifo
9/02/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,12	7,306	12	389	Grifo
18/02/2018	Pirotécnico	MEQ82	1,12	8,915	3,7	450	Rampa Oeste ingreso a mina
30/03/2018	Pirotécnico	MEQ82	1,12	44,29	11	111	Rampa Oeste al ingreso de mina
1/04/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,11	63,25	16	64	Al norte del Proyecto
3/04/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,11	99,29	18	91	Al sur del Proyecto
9/04/2018	Pirotécnico	MEQ82	1,12	13,84	16	305	Grifo
11/04/2018	Pirotécnico	MEQ82	1,11	9,99	6,8	900	Mirador cerro corona
25/04/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,12	7,609	18	291	Rampa Oeste al ingreso de mina
29/04/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,13	11,08	12	209	Rampa Oeste al ingreso de mina
20/05/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,1	3,921	14	683	Planta concentradora
27/05/2018	Pirotécnico	MEQ82	1,11	8,26	22	350	Familia palma
29/05/2018	Pirotécnico	MEQ82	1,12	8,29	8,5	380	Familia palma
3/06/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,14	13,03	9	398	Familia palma
5/06/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,14	41,02	18	123,2	Este del proyecto
20/06/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,14	11,44	7,4	525	Mirador
27/06/2018	Pirotécnico	MEQ75/25	1,14	7,751	8,1	425	Mirador
22/07/2018	Pirotécnico	MEQ73	1,14	7,751	8,1	425	Arpón

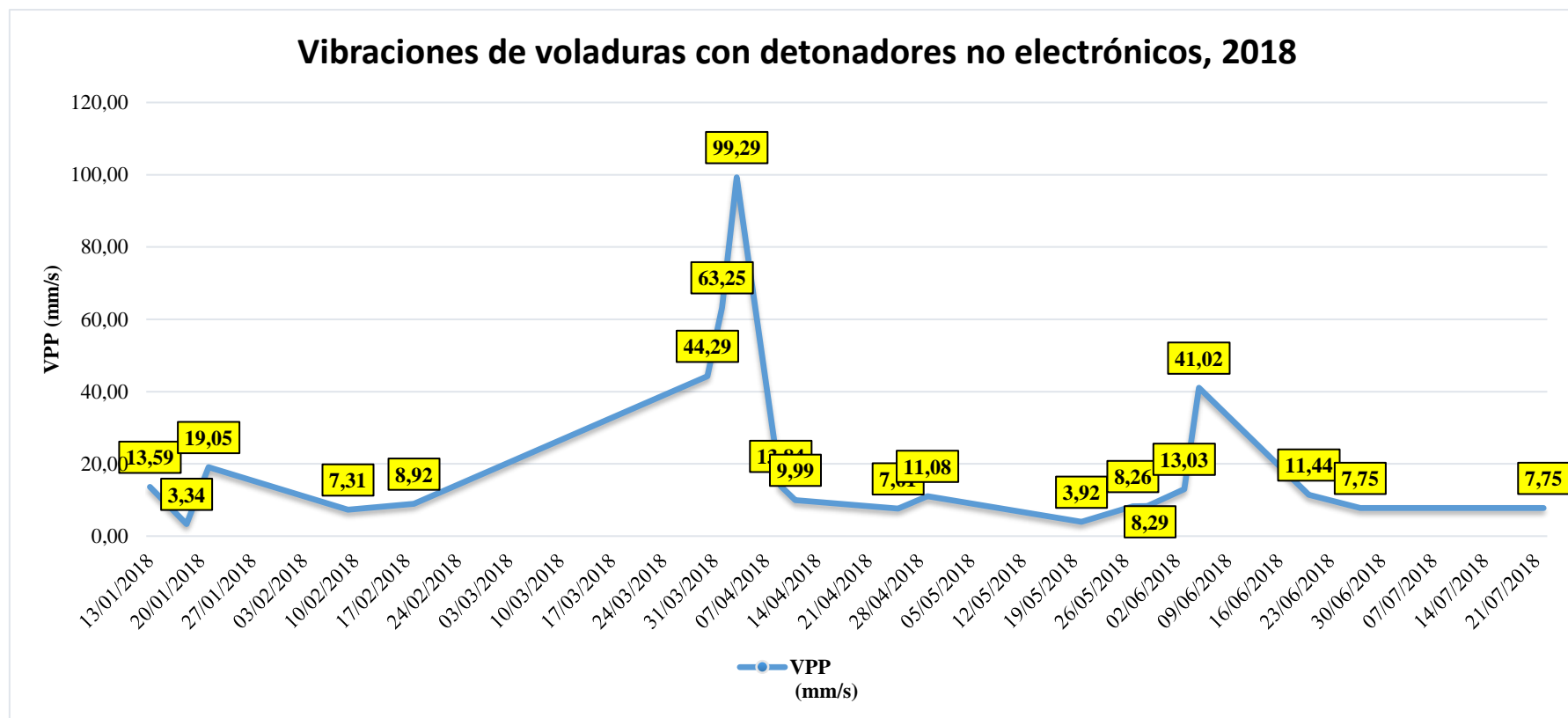


Figura 24 — Reporte de vibraciones con detonadores no electrónicos, 2018

En la tabla 16 se observa el registro de vibraciones con uso de detonadores pirotécnicos o no eléctricos los cuales han sido monitoreadas a diferentes distancias. Entre los datos se destaca la velocidad pico partícula y la frecuencia. En cuanto a la VPP, el punto más alto es de 99,29 mm/s registrado en la voladura del 3 de abril, por otro lado, el mínimo valor es de 3,34 mm/s registrado en la voladura del 18 de enero de 2018. En cuanto a la frecuencia, el máximo valor es de 22 Hz, registrado en la voladura del 27 de mayo a una distancia de 350 metros; por otro lado, el mínimo valor registrado es de 3,7 Hz registrado en la voladura del 18 de febrero a una distancia de 450 metros. En promedio, se registró 20,15 mm/s y 12,83 Hz de velocidad pico partícula y frecuencia respectivamente.

Tabla 17 — Registro de vibraciones con detonadores electrónicos, 2019

FECHA MONITOREO	INICIACIÓN	TIPO DE EXPLOSIVO	DENSIDAD EXPLOSIVO (gr/cc)	VPP (mm/s)	FRECUENCIA (Hz)	DISTANCIA (m)	UBICACIÓN
25/02/2019	Electrónico	MEQ82	1,11	4,59	15	300	Cerro candela
27/02/2019	Electrónico	MEQ82	1,10	7,81	7,9	710	Grifo
11/03/2019	Electrónico	MEQ82	1,11	3,42	9,5	430	Grifo
15/03/2019	Electrónico	MEQ82	1,1	22,32	7	99	Al sur del Proyecto
16/04/2019	Electrónico	MEQ73	1,12	30,26	12	112	Al sur del Proyecto
1/05/2019	Electrónico	MEQ75/25	1,12	3,66	14	663	La boggio
23/05/2019	Electrónico	MEQ75/25	1,12	8,90	6	146	Este del proyecto
10/06/2019	Electrónico	MEQ75/25	1,14	10,03	6,2	318	Familia palma
14/06/2019	Electrónico	MEQ75/25	1,14	7,70	10	30	Al norte del Proyecto
17/06/2019	Electrónico	MEQ75/25	1,14	17,70	7	167	La Este del proyecto
1/07/2019	Electrónico	MEQ75/25	1,13	1,11	14	491	Pared Oeste del Tajo
4/07/2019	Electrónico	MEQ75/25	1,13	1,86	12	517	Comedor
17/07/2019	Electrónico	MEQ73	1,14	5,76	7,5	862	La boggio
31/07/2019	Electrónico	MEQ73	1,14	2,90	21	434	Familia palma
16/08/2019	Electrónico	MEQ73	1,15	16,59	9,3	380	Familia palma

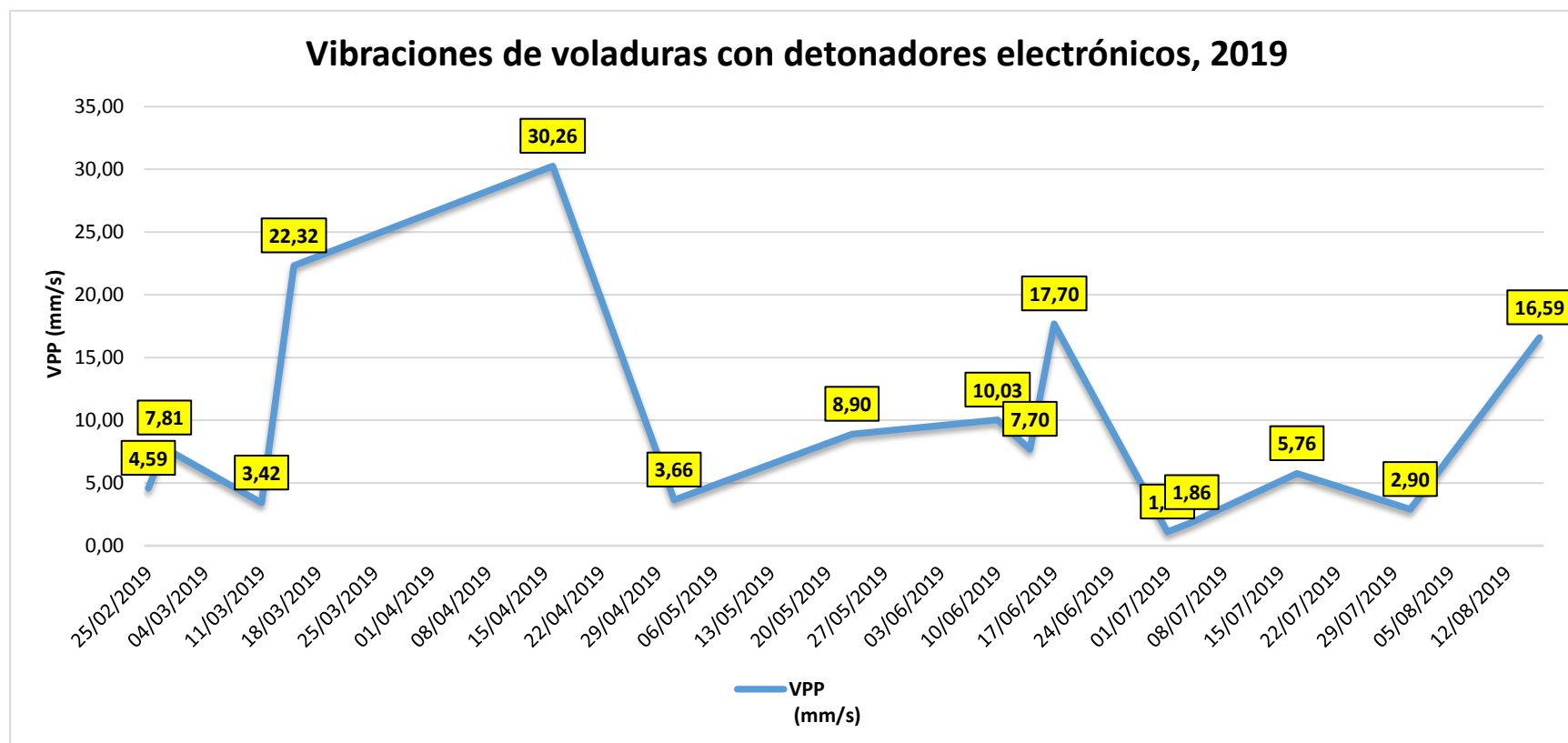


Figura 25 — Reporte de vibraciones con detonadores electrónicos, 2019

En la tabla 17 se observa el registro de vibraciones con uso de detonadores electrónicos los cuales han sido monitoreadas a diferentes distancias. Entre los datos se destaca la velocidad pico partícula y la frecuencia. En cuanto a la VPP, el punto más alto es de 30,26 mm/s registrado en la voladura del 16 de abril, por otro lado, el mínimo valor es de 1,11 mm/s registrado en la voladura del 1 de julio de 2019. En cuanto a la frecuencia, el máximo valor es de 21 Hz, registrado en la voladura del 31 de julio a una distancia de 434 metros; por otro lado, el mínimo valor registrado es de 6 Hz registrado en la voladura del 23 de mayo a una distancia de 146 metros. En promedio, se registró 9,64 mm/s y 10,56 Hz de velocidad pico partícula y frecuencia respectivamente.

5.1.2. Comparación de resultados de fragmentación y vibraciones con detonadores electrónicos y no electrónicos

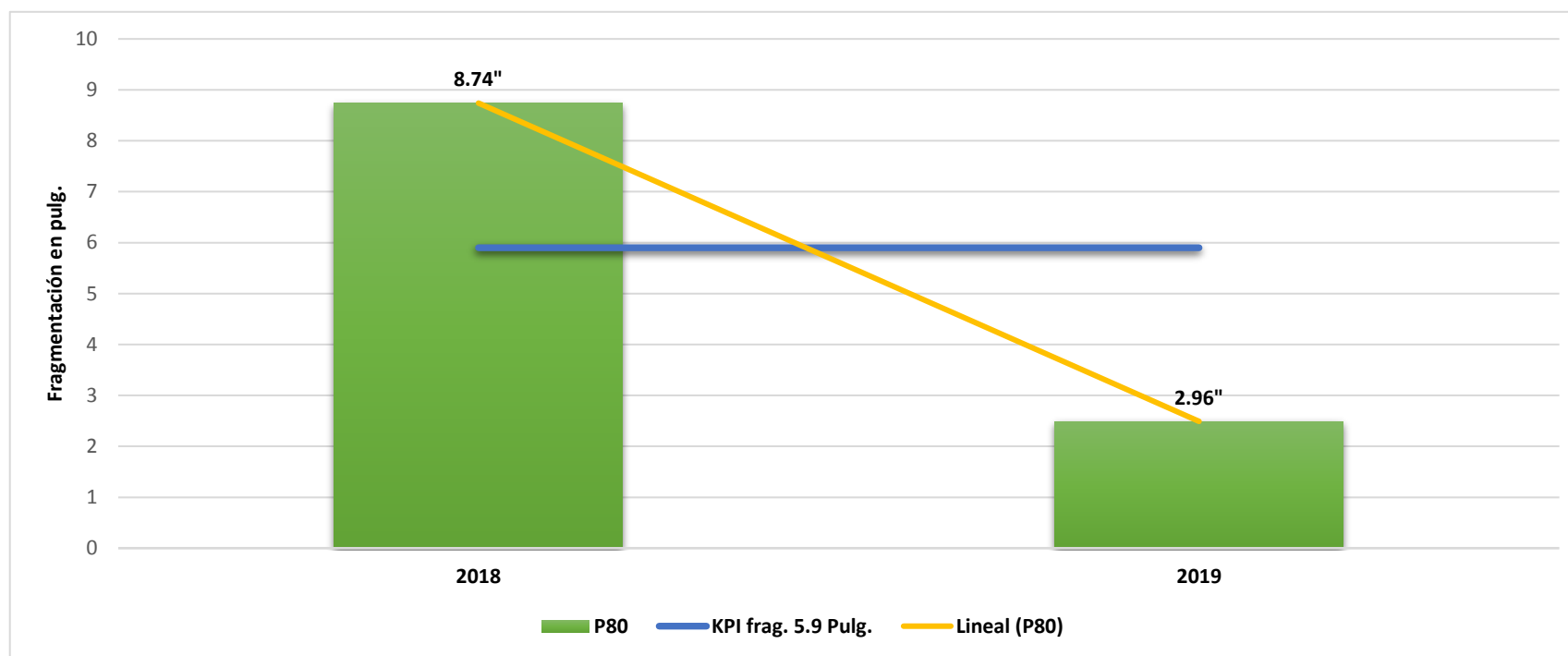


Figura 26 — P80 con uso de detonadores no electrónicos y detonadores electrónicos

Como se puede observar en la figura 26, haciendo uso de detonadores electrónicos DigiShot Plus, se puede mejorar la fragmentación de las rocas en el proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona, ya que como se observa, en el año 2018 usando detonadores no electrónicos se tenía un P80 de 8,74” y en el año 2019 haciendo uso de detonadores electrónicos DigiShot Plus el tamaño del P80 disminuye hasta 2,96”. Cumpliendo de esta manera el estándar de fragmentación de Gold Fields Cerro Corona <5,9”, el obtener material fragmentado de menor tamaño optimiza la energía utilizada de los procesos posteriores de conminución, llegando incluso a eliminar algunos de estos si fuesen necesario, evidentemente influye positivamente en el carguío de material en los frentes de minado.

Tabla 18 — Distancia escalar y VPP con detonadores pirotécnicos y electrónicos

Detonador no electrónico				Detonador electrónico			
D (m)	W (kg)	de = D/w ^{1/2}	VPP (mm/s)	D (m)	W (kg)	de = D/w ^{1/2}	VPP (mm/s)
Distancia de monitoreo	Carga Máxima sobre petardo	Distancia escalar	Velocidad pico partícula	Distancia de monitoreo	Carga Máxima sobre petardo	Distancia escalar	Velocidad pico partícula
117	743	4,29	13,59	300	570	12,57	4,59
580	882	19,53	3,34	710	840	24,50	7,81
320	2227	6,78	19,05	430	1964	9,70	3,42
389	1600	9,73	7,31	99	776	3,55	22,32
450	1572	11,35	8,92	112	885	3,76	30,26
111	1464	2,90	44,29	663	710	24,88	3,66
64	776	2,30	63,25	146	1925	3,33	8,90
91	828	3,16	99,29	318	700	12,02	10,03
305	1570	7,70	13,84	30	1710	0,73	7,70
900	1583	22,62	9,99	167	1940	3,79	17,70
291	883	9,79	7,61	491	900	16,37	1,11
209	915	6,91	11,08	517	930	16,95	1,86
683	986	21,75	3,92	862	1890	19,83	5,76
350	2190	7,48	8,26	434	820	15,16	2,90
380	1840	8,86	8,29	380	2018	8,46	16,59
398	2220	8,45	13,03				
123.2	2055	2,72	41,02				
525	2790	9,94	11,44				
425	1890	9,78	7,75				
425	2450	8,59	7,75				

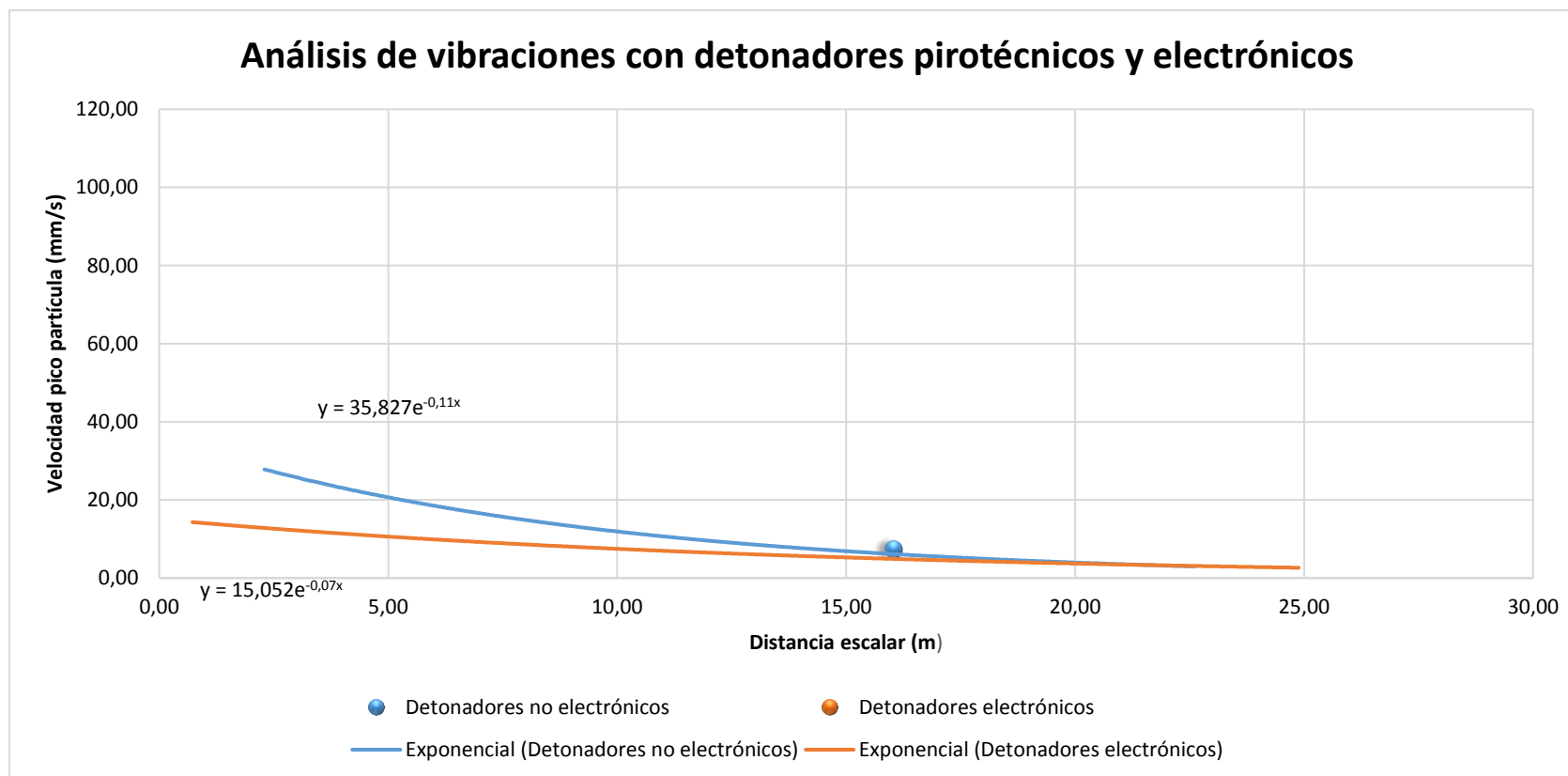


Figura 27 — Análisis de vibraciones con detonadores pirotécnicos y electrónicos.

Con los resultados de la figura 27, se obtiene una constante de explosivo de $35,827e$ para el caso de detonadores no electrónicos o pirotécnicos y $15,052e$ para el caso de detonadores electrónicos respectivamente. En promedio, se registró $20,15 \text{ mm/s}$ y $12,83 \text{ Hz}$ en caso para el uso de detonadores no electrónicos o pirotécnicos, $9,64 \text{ mm/s}$ y $10,56 \text{ Hz}$ para el uso de detonadores electrónicos respectivamente. Según la Norma Española ENU 22-381-93, no causa daños a la estructura en ninguno de los casos; sin embargo, las vibraciones producto de la voladura con detonadores electrónicos son más bajas por ende favorecen mejorar los procesos de voladuras en la Unidad Minera Cerro Corona.

5.2. Contratación de hipótesis

Con los resultados encontrados en la presente investigación se puede aseverar la hipótesis del estudio general ya que se identificó que, en el año 2018 al hacer uso de detonadores no electrónicos, el P80 promedio era de 8,74” (por encima del límite de 5,9” de la Unidad Minera Cerro Corona) y en cuanto a las vibraciones VPP más alto registrado es de 99,29 mm/s, por otro lado el mínimo valor es de 3,34 mm/s, el promedio fue de 20,15 mm/s, además, el promedio de la frecuencia fue de 12,83 Hz; por otro lado, en el 2019 al implementar los detonadores electrónicos DigiShot Plus, dentro de las voladuras que se realizó el P80 fue de 2,96”, en cuanto a las vibraciones VPP más alto registrado es de 30,26 mm/s, por otro lado el mínimo valor es de 1,11 mm/s, el promedio fue de 9,64 mm/s, además, el promedio de la frecuencia fue de 10,56 Hz. De esta manera se puede decir que la implementación de los detonadores electrónicos influye positivamente en la mejora del proceso de voladura de rocas, en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

Según los resultados encontrados con el primer objetivo específico, en el año 2018 usando detonadores no electrónicos se tenía un P80 promedio 8,74” y en el año 2019 haciendo uso de detonadores electrónicos DigiShot Plus el tamaño promedio del P80 disminuye hasta 2,96”, por lo que se puede afirmar que la implementación de los detonadores electrónicos en los frentes de minado mejoró el grado de porcentaje de fragmentación obtenido en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.

Para el segundo objetivo específico, se comprobó la hipótesis que los detonadores electrónicos minimizan significativamente el nivel de vibración en el proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019 ya que, en el año 2018 con el uso de detonadores no electrónicos, en promedio se registraron vibraciones de 20,16 mm/s; por otro lado, para el año 2019 haciendo uso de detonadores electrónicos, se registró una disminución significativa de las vibraciones a 9,64 mm/s.

Con el cumplimiento de los primeros objetivos específicos, se comprobó que el uso de detonadores electrónicos muestra mejores resultados en cuanto a fragmentación y vibraciones a comparación de los detonadores no electrónicos o pirotécnicos, en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.



5.3. Discusión

Se determinó la influencia de la implementación de detonadores electrónicos en la mejora del proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019, indicando que los detonadores electrónicos DigiShot Plus influyen positivamente debido a que con la implementación de estos se disminuyó el P80 de 8,74” a 2,96”, las vibraciones disminuyeron de 20,15 mm/s a 9,64 mm/s (promedios), finalmente, en cuanto a la frecuencia producida por las voladuras, con detonadores pirotécnico o no electrónicos se registró en promedio 12,83 Hz, lo cual disminuyó a 10,56 Hz con uso de detonadores electrónicos. Por otro lado, se tienen los resultados encontrados por Gonzales (2020) quien innovó la voladura usando detonadores duales en la compañía Minera Santa Luisa – Mina Huanzalá con la finalidad de optimizar el proceso productivo de voladura en donde tuvo en cuenta los niveles de vibración los cuales fueron medidos con sismógrafos y geófonos para la presión sonora, además de la fragmentación de la roca por medio de cámaras digitales de última generación además de imágenes sistema informático, llegando a la conclusión que con el uso de estos detonadores, se podía mejorar el grado de fragmentación ya que se obtuvieron fragmentos de pequeña proporción en las prácticas diarias en laboras, además se registró que el macizo rocoso se mantuvo estable de acuerdo con los niveles de vibración. Es así como se puede decir que los detonadores eléctricos muestran resultados favorables en cuanto a la fragmentación y vibración, ya que disminuyeron significativamente el tamaño del P80 además de los niveles de vibración que se registraban en Hualgayoc y Pílancones, cabe rescatar que, mientras mejor se dé la fragmentación en la voladura, los procesos posteriores se desarrollarán de manera más eficiente, la productividad de la pala, de la chancadora, de la molienda. Por otro lado, mientras menores sean los niveles de vibración en la voladura, menor será el riesgo latente por deslizamiento del macizo rocoso, ya que la desestabilización se estará minimizando.

Los resultados del primer objetivo específico mostraron que, con el uso de detonadores electrónicos DigiShot Plus, el P80 mejoró a 2,96”, es decir que con estos detonadores es posible realizar una mejor fragmentación del material en las voladuras realizadas en la Unidad Minera Cerro Corona. Además, en el año 2016, Aguirre realizó su investigación para optimizar la operación de voladura, disminuyendo la granulometría y costos, para esto usó el explosivo Demoblast P80, con el cual indicó que es 100% beneficioso en cuanto a la fragmentación, lo cual conlleva a que sea económicamente rentable ya que mostró un excelente desempeño referido a la fragmentación. Así mismo, Quispe (2018) analizó la fragmentación resultante de voladura aplicando sistema de iniciación



electrónico en minería Coimolache-2016, en donde al analizar los resultados concluyó que, para los disparos de prueba, muestra que el uso del sistema de iniciativa electrónica proporciona resultados mejores de manera consistente, sobre todo, en la parte más gruesa de la curva de distribución granulométrica. Por otro lado, Mamani (2018) en la mina Toquepala optimizó la fragmentación haciendo uso de detonadores electrónicos, concluyendo que el uso de estos detonadores mejora la fragmentación lo cual afecta positivamente a los procesos posteriores a la voladura, en este caso se verificó en el ciclo de minado de pala ya que se registró una subida en la velocidad de minado. Finalmente, Romero en el 2016 usó detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho perteneciente a la Minera Chinalco Perú S.A., en este caso, el autor comparó los resultados obtenidos con detonadores pirotécnicos y detonadores electrónicos, obteniendo mejores resultados con los detonadores electrónicos ya que en el lado oeste el P80 mejoró en un 5,4% además que la productividad de la pala incrementó 2,1%, en 5,3% la chancadora primaria y en un 4,2% la molienda. Por otro lado, en la parte este el P80 se vio mejorado en un 16,7%, la productividad de la pala en un 7,0% y en un 6,6% y 5,4% la chancadora primaria y la molienda respectivamente. En cuanto a temas de seguridad, los detonadores electrónicos facilitaron el control de los tiros quedados, por lo que se concluyó que los detonadores electrónicos mejoran significativamente la fragmentación y seguridad en el tajo objeto de estudio.

De acuerdo con el segundo objetivo específico, se mejoró el nivel de vibración con el uso de detonadores electrónicos en el proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019, ya que, en el año 2019 al implementar los detonadores electrónicos DigiShot Plus, se registraron disminuciones significativas en los niveles de vibración a 9,64 mm/s y 10,56 Hz en niveles promedio de PPV y frecuencia respectivamente. Así mismo, el autor Mendoza, en el año 2018 implementó un sistema electrónico DIGISHOT para que reduzca los niveles de vibración de voladura en la Compañía Minera Atacocha S.A., en donde según los resultados que obtuvo, concluyó que DIGISHOT no solo ayuda a reducir los niveles de vibración que se producen en la voladura, si no también que, al producirse una óptima fragmentación de rocas, se obtienen mejores procesos productivos y se reducen los costos en las operaciones. De esta manera, en general se concluye que los detonadores electrónicos, muestran un desempeño mejor que los detonadores pirotécnicos que, como se han visto en los resultados obtenidos, estos son capaces de disminuir los niveles de vibración, los cuales están directamente relacionados a temas de seguridad ya que menor vibración representa menos desestabilización del macizo rocoso,



por ende, el riesgo de deslizamientos es menor, así que de esta manera los detonadores electrónicos son una buena opción para mejorar, los niveles de vibración, lo que conlleva a mejorar la seguridad en el proyecto mismo.

Los resultados del último objetivo específico mostraron la comparación entre los resultados de fragmentación y voladura con el uso de detonadores electrónicos y no electrónicos en cuanto a la fragmentación, el P80 disminuyó de 8,74” a 2,96”, es decir se optimizó un 72%; por otro lado, en cuanto a las vibraciones, se disminuyó de 20,15 mm/s y 12,83 Hz a 9,64 mm/s y 10,56 Hz en niveles promedio de PPV y frecuencia respectivamente. El autor Quispe (2018) realizó una investigación con la finalidad de aplicar iniciadores electrónicos y analizar la fragmentación resultante, en donde obtuvo una optimización de 11.6%, ya que el P80 disminuyó de 10,75” a 9,5”, fundamentalmente en la parte más gruesa de la gran curva de distribución granulométrica. Por otro lado, el autor Mendoza (2018) utilizó detonadores electrónicos para reducir las vibraciones producto de las voladuras, en donde concluyó que, al producirse una óptima fragmentación de rocas, se obtiene que los procesos productivos y se reducen los costos en las operaciones. “DIGISHOT” ayuda a reducir las vibraciones que se producen en la voladura “Compañía Minera Atacocha S.A” cuyo valor están por debajo de 5,25 mm/s y con 7-14 Hz de frecuencia de resonancia.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- De acuerdo con el objetivo general, se concluye que, la implementación de los detonadores eléctricos DigiShot Plus influye positivamente en la mejora del proceso de voladura de rocas en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.
- La implementación de detonadores electrónicos DigiShot Plus en los frentes de minado mejoró el grado de porcentaje de fragmentación, disminuyendo el P80 de 8,74” a 2,96” en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.
- Los detonadores electrónicos DigiShot Plus minimizaron significativamente el nivel de vibración de 20,15 mm/s y 12,83 Hz a 9,64 mm/s y 10,56 Hz para los niveles promedio de VPP y frecuencia respectivamente en la Unidad Minera Cerro Corona – Cajamarca, 2019.
- Los detonadores electrónicos DigiShot Plus mostraron mejores resultados que los detonadores pirotécnicos ya que disminuyeron el tamaño de fragmento de 8.74” a 2.96”; además, en cuanto a las vibraciones disminuyeron de 20,15 mm/s a 9,64 mm/s.

6.2. Recomendaciones

- Se debe capacitar a los trabajadores involucrados en el proceso de voladura en la manipulación y uso del sistema de detonadores electrónicos.
- Se recomienda seguir usando detonadores electrónicos en las actividades de voladura de los diferentes proyectos de la Unidad Minera Cerro Corona, además, verificar y actualizar los procedimientos periódicamente.
- Es importante mantener las buenas prácticas operacionales para de esta manera mantener los resultados logrados en la investigación.
- Se recomienda a la Unidad Minera Cerro Corona seguir investigando para la mejora continua en la actividad de voladura de rocas para que se obtenga fragmentación adecuada y además se realice de forma segura minimizando las vibraciones que estas puedan ocasionar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, Maritza y CHILÓN, Fernando. Estimación de presiones dinámicas inducidas por voladura para definir distancias críticas para detonadores electrónicos Daveytronic en tajo la Quinoa Yanacocha. Universidad Privada del Norte. Cajamarca : s.n., 2017.

AGUIRRE, Andrés. Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual Minera el Abra. Universidad de Chile. Santiago de Chile : s.n., 2016.

BERNOLA, José, CASTILLA, Jorge y HERRERA, Juan. Perforación y voladura de rocas en minería. España : Reconocimiento, Vol. 1. 2013

CANO, Jonatan. Estudio de vibraciones para la selección de explosivo óptimo en la unidad operativa Selene Compañía Minera Ares SAC Filial de Hochschild. Cerro de Pasco : s.n., 2019.

CARI, Claudia y CASTRO, David. Control de parámetros extractivos, para la optimización en la recuperación de minerales auríferos gruesos y argenticos de la empresa minera Ecovitaca Ltda. Arequipa : s.n., 2014.

CARRASCO, Samuel. Metodología de la investigación científica. s.l. : San Marcos, 2006.

CHÁVEZ, Yetson. Mejora de la granulometría mediante diseño de malla de perforación y voladura palicando el modelo de holmberg en la galería 370 de la zona Coturcan en el mina Huancapeti - año 2015. Huaraz : s.n., 2018.

CHIPANA, Rudy. Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la geslería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis - Corporación Minera Ananea SA. Universidad Nacional del Altiplano. Puno : s.n., 2015.



CRUZADO, Fredy y DÍAZ, Kevien. Análisis de la máxima carga operante en las vibraciones acampo lejano generadas por voladura, en minera Cerro Negro S.A Cajamarca 2017. Universidad Privada del Norte. Cajamarca : s.n., 2017.

DÁVILA, José. Evaluación de vibraciones en voladura con plasma para reducir la proyección de rocas (Fly Rock) en el tajo abierto de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. Cerro de Pasco : s.n., 2019.

DELGADO, Román. Determinación del factor de carga mediante parámetros operativos y geomecánicos para el proceso de voladura de rocas - Minera Yanacocha 2017. Cajamarca : s.n., 2021.

ESCOLAR, Alberto. Resolución número 0000933 de 2019. 2019, Vol. 1, 1, págs. 33-39. 2019.

EXSA. Quantex 73. 2013, Vol. 1, 1. 2013.

FARJE, Italo. Perforación y voladura en minera a cielo abierto. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima : s.n., 2006.

FIGUEROA, Steve. Optimización de los parámetros de perforación y voladura para las operaciones unitarias en la explotación minera de la Concesión Italo de la empresa Phuyu Yuraq II EIRL distrito de Magdalena-Cajamarca 2017. Cajamarca : s.n., 2018.

GADIKOR, Joel. Optimization of drilling and blasting practices at a western us open pit copper mine. Montana : s.n., 2018.

GOLDFIELDS. Gold Fields. [En línea] 2017.

GOLDFIELDS. Gold Fields. [En línea] 4 de enero de 2018.
https://www.goldfields.com.pe/upload/gold_fields_la_cima/EEFF_2018/GFLC%20Notas%20a%20los%20EEFF_Q1%202018%20SPA.pdf.



GOMEZ, Elvis. Aplicación de modelo predictivo de daño (cross hole) para determinar la vibración pico partícula máxima (VPPc) producida por voladura y controlar la estabilidad de salud, mina Constancia - 2019. Universidad Nacional de Moquegua. Moquegua : s.n., 2019.

GONZÁLES, Luis. Inicio de operaciones en Mina Cerro Corona. Cajamarca : s.n., 2016.

GONZALES, Ramiro. Innovación de voladura en minería subterránea con el uso de detonadores duales en la compañía minera Santa Luisa - mina Huanzalá. Puno : s.n., 2020.

GREENE, Thomas. An investigation into the combined use of electronic detonators and air-decks to reduce fines and oversize in quarry blasts. The Pennsylvania State University. Pensilvania : s.n., 2019.

HERNANDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian. 2019. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ecuador : McGraw, 2019.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. 2014. Metodología de la investigación. 6. México : s.n., 2014.

HINOSTOZA, Jaime. Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto. Lima : s.n., 2014.

LIN, Fei, y otros. Reduction of blasting induced ground vibrations using high precision digital electronic detonators. 2022.

MAMANI, Yony. Optimización de la fragmentación con el uso de detonadores electrónicos en la mina Toquepala. Tacna : s.n., 2018.

MENDOZA, Adú. Implementación del sistema electrónico DIGISHOT para la reducción de vibraciones en voladura Compañía Minera Atacocha. Cerro de Pasco : s.n., 2018.



MONTALVAN, Leonof. Análisis de onda elemental para el control de vibraciones y selección de retardos en Cerro Candela de Mina Gold Fields. Piura : s.n., 2022.

MUÑOZ, Javier. Guía de buenas prácticas en el diseño y ejecución de voladuras en banco. Primera. España : PASEO DE LA CASTELANA, 2017.

NOA, Juan. Propuesta de implementación de proceso de voladura en interior mina en un frente con sección 3x3 metros. Arequipa : s.n., 2019.

PAREDES, Randall. Empleo de detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación en sector yeso anhidrita en Mina Modelo a tajo abierto - Toquepala. Arequipa : s.n., 2014.

PERALTA, Errol. Estudio de los procesos de perforación y voladura y su implicancia en el rendimiento y desguerdad en sociedad Minera Cerro Verde. Arequipa : s.n., 2019.

PERALTA, Germán y MOJICA, Rubén. Características y control de las vibraciones producidas por acción de las voladuras en minas a cielo abierto. 2016.

PÉREZ, Cristhian. Optimización de la fragmentación mediante el uso de doble inclinación electrónica en roca toba cristal de la fase 8 en al Unidad Minera Cuajone 2019. Tacna : s.n., 2021.

QUELCCA, Gonzalo. Aplicación de explosivos y análisis de secuencia de salida con el uso de detonadores electronicos, para la demolición de edificaciones deterioradas en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa : s.n., 2020.

QUISPE, César. Análisis de la fragmentación resultante de voladura para le evaluación de la expansión de las mallas de perforación aplicando sistema de iniciación electrónico en Minera Coimolache. Huaraz : s.n., 2018.

REPUBLICA DE COLOMBIA. Guía técnica de seguridad para el uso y manejo de explosivos en voladura bajo tierra y a cielo abierto. [En línea] agosto de 2019.



<http://asogravas.org/wp-content/uploads/2020/05/GUIA-EXPLOSIVOS.pdf>.

ROMERO, Royer. Voladura con detonadores electronicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho Minera Chinalco Perú SA. Huancayo : s.n., 2016.

SKLODOWSKA, A y MITEW, Czajewska. 2022. The influence of electronic detonators on the quality of the tunnel excavation. 2022.

SOCIEDADMINERALACIMASA. 2005. [En línea] Mayo de 2005.

YNQUILLA, Jairsino. Diseño de mallas de perforación para la estandarización del frente de la galería de desarrollo nivel intermedio de la corporación minera Ananea SA. Arequipa : s.n., 2017.

YUPA, Jony. Planeamiento estrtaegico de la empresa minera GOLDFIELDS La Cima. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa : s.n., 2018.

ZENTENO, Jean. Cambio de detonadores electrónicos para la disminución de cortes en la línea descendente en taladros de gran diámetro en explotación minera de cobre a cielo abierto. Moquegua : s.n., 2018.



ANEXOS



ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Tabla 19 — Matriz de consistencia

“INFLUENCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DETONADORES ELECTRÓNICOS EN EL PROCESO DE VOLADURA EN LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA-CAJAMARCA, 2019”					
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Metodología	Variables	Dimensión
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo la implementación de detonadores electrónicos influye el rendimiento de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿En qué medida el uso de los detonadores electrónicos mejora la fragmentación de la roca en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia de la implementación de detonadores electrónicos en la mejora del proceso de voladura en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Mejorar la fragmentación de la roca con el uso de detonadores electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La implementación de los detonadores electrónicos influye positivamente en la mejora del proceso de voladura de rocas, en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>La implementación de los detonadores electrónicos en los frentes de minado mejorará el grado de porcentaje de fragmentación obtenido en</p>	<p>Población</p> <p>La población en este estudio está conformada por las actividades de las voladuras de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p> <p>Muestra</p> <p>Está conformada por los registros de fragmentación y vibración producto de las voladuras en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p> <p>Enfoque</p> <p>Cuantitativo</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Detonadores electrónicos</p>	<p>Diseño de voladura</p> <p>Precisión del detonador</p> <p>Exactitud del detonador</p>

<p>¿En qué medida el uso de detonadores electrónicos minimiza el nivel de vibraciones en las actividades de producción en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019?</p> <p>¿Cuáles son las diferencias en cuanto a fragmentación y vibraciones al usar detonadores electrónicos y detonadores pirotécnicos en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019?</p>	<p>Reducir el nivel de vibración con el uso de detonadores electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p> <p>Comparar los resultados de fragmentación y vibraciones con detonadores electrónicos y no electrónicos en las actividades de la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019</p>	<p>la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p> <p>Los detonadores electrónicos minimizan significativamente el nivel de vibración en las actividades de producción en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p> <p>El uso de detonadores electrónicos muestra mejores resultados en cuanto a fragmentación y vibraciones a comparación de los detonadores pirotécnicos, en la Unidad Minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019.</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Descriptiva</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Aplicada</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>No experimental</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Proceso de voladura</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de fragmentación - Análisis de vibraciones - Carguío de taladros - Conexión superficial de detonadores - Revisión post voladura - Comparar resultados (P80 y VPP)
---	---	---	--	---	---

ANEXO 2



Figura 28 — Tajo despejado de la Unidad Minera Cerro Corona

ANEXO 3



Figura 29 — Terreno preparado antes de la voladura

ANEXO 4



Figura 30 — Zona reconocida para realizar el trabajo

ANEXO 5



Figura 31 — Zona cargada con detonador Digishot Plus (Cerro Candela)

ANEXO 6



Figura 32 — Detonador siendo etiquetado y conectado

ANEXO 7



Figura 33 — Bench station colocado en el punto de disparo de voladura

ANEXO 8



Figura 34 — Frente de minado siendo minado (Tajo intermedio)

ANEXO 9



Figura 35 — Equipos de control de vibraciones pasando pruebas y check list

ANEXO 10



Figura 36 — Control de detonadores Digishot Plus en el tapado de taladros

ANEXO 11



Figura 37 — Operadores verificando y etiquetando los detonadores con el Tagger

ANEXO 13



**Figura 39 — Resultados del material fragmentado con detonadores electrónicos
(post voladura)**

ANEXO 14



**Figura 40 — Resultados del material fragmentado con detonadores electrónicos
(post voladura)**

ANEXO 15

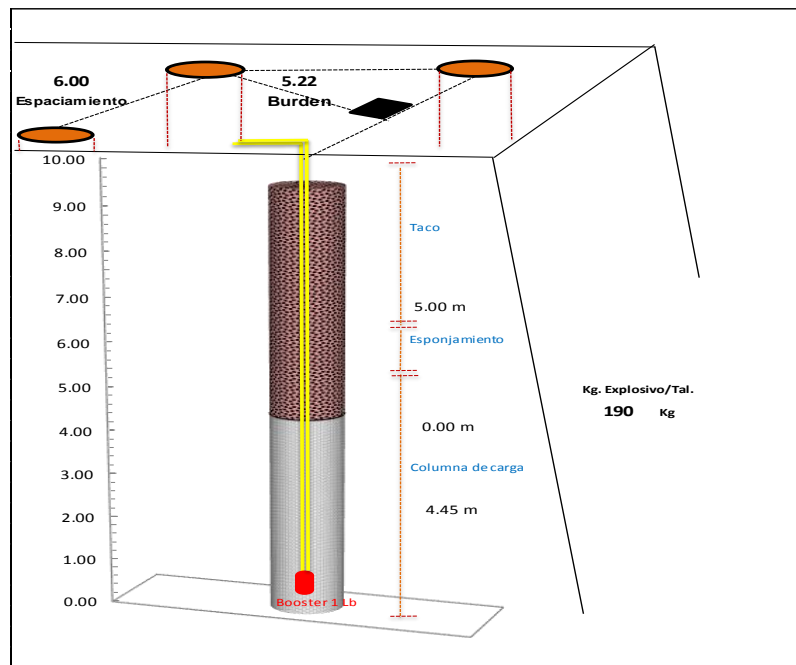
	UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		

DISEÑOS DE MALLA PARA PROYECTOS DE VOLADURA - UNIDAD MINERA CERRO CORONA 2019

DISEÑO DE CARGA PARA TALADROS DE PRODUCCIÓN

MEQ-73



Parámetros para taladros de producción	
Tipo de Roca	4,5,6
Dureza	4,5,6
Explosivo	ME-QUANTEX 73
Tajo	CERRO CORONA
Iniciación	PIROTÉCNICO
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	5.22
Espaciamiento (m)	6.00
Altura de Banco (m)	10.00
Sobre perforación (m)	0.50
Profundidad Tal (m)	10.50
Diámetro de Tal. (Pulg)	7 7/8
Densidad Inicial Quantex (g/cm3)	1.36
Densidad Final Quantex (g/cm3)	1.1
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	42.76
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	34.59
Cantidad de Explosivo (Kg)	190
Taco (m)	5.00
Esponjamiento (m)	0.00
Longitud de Carga sin gasificar (m)	4.45
Longitud de Carga gasificado (m)	5.50
Densidad de la Roca (ton/m3)	2.50
Volumen (m3)	329
Ton/Tal (ton)	783
Factor de Carga (Kg/m3)	0.579
Factor de Potencia (Kg/ton)	0.243



- Detonador pirotécnico exanel 20 m / 600 ms
- Detonador pirotécnico exanel 20 m / 600 ms
- Prima

Figura 41 — Diseño de carga para detonadores pirotécnicos

ANEXO 16

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

DISEÑOS DE MALLA PARA PROYECTOS DE VOLADURA - UNIDAD MINERA CERRO CORONA 2019

DISEÑO DE CARGA PARA TALADROS DE PRODUCCIÓN

MEQ-73

Parámetros para taladros de producción	
Tipo de Roca	5
Dureza	5
Explosivo	ME-QUANTEX 73
Tajo	CERRO CORONA
Iniciación	ELECTRÓNICA
Malla	TRIANGULAR
Burden (m)	4.78
Espaciamiento (m)	5.50
Altura de Banco (m)	10.00
Sobre perforación (m)	0.50
Profundidad Tal (m)	10.50
Diámetro de Tal. (Pulg)	7 7/8
Densidad Inicial Quantex (g/cm ³)	1.36
Densidad Final Quantex (g/cm ³)	1.15
Carga Lineal antes de gasificar (Kg/m)	42.76
Carga Lineal gasificada (Kg/m)	36.16
Cantidad de Explosivo (Kg)	235
Taco (m)	4.00
Esponjamiento (m)	1.00
Longitud de Carga sin gasificar (m)	5.50
Longitud de Carga gasificado (m)	6.50
Densidad de la Roca (ton/m ³)	2.50
Volumen (m ³)	276
Ton/Tal (ton)	658
Factor de Carga (Kg/m ³)	0.851
Factor de Potencia (Kg/ton)	0.357

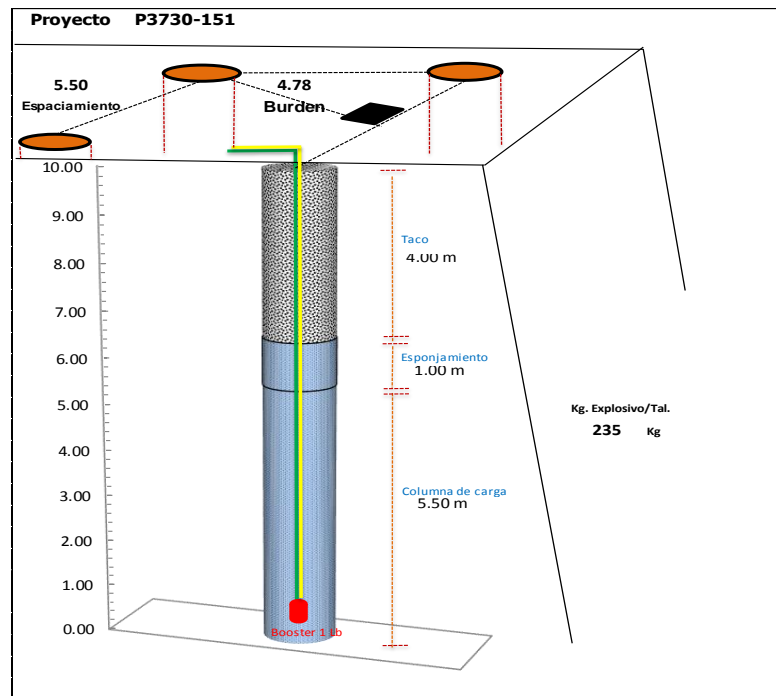


Figura 42 — Diseño de carga para detonadores electrónicos