



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE MINERAL REMOVIDO EN EL COSTO DEL EXPLOSIVO POR VOLADURA CON INICIACIÓN PIROTÉCNICA Y ELECTRÓNICA EN UNA MINA DE ORO EN HUALGAYOC – CAJAMARCA, 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Julio Alfonso Miranda Gaytan
Manuel Jesus Salazar Villegas

Asesor:

Mg. Wilson Carlos Gomez Hurtado

<https://orcid.org/0000-0002-3434-366>

Cajamarca - Perú

2024


JURADO DE TESIS

Jurado 1 Presidente(a)	Jairo Pinedo Taquia
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Elizabeth Catheline Mejia Narro
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Wilson Carlos Gomez Hurtado
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud

 **turnitin** Página 2 of 86 - Integrity Overview Identificador de la entrega trncoid::1:3215309173

15% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.




Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Small Matches (less than 8 words)

Exclusions


- ▶ 12 Excluded Matches

Top Sources

- 15%  Internet sources
- 2%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**
48 suspect characters on 2 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

DEDICATORIA

A mi esposa Pilar, por ser el bastión que me impulsó a alcanzar este logro. Tu amor, apoyo incondicional y fe en mí han sido fundamentales en este camino.

A mis hijas Viviana, Valentina e Isabella, quienes han sido mi mayor motivación para lograr este objetivo. Ustedes son mi inspiración diaria y la razón por la que siempre busco superarme.

Julio Miranda

Este trabajo de investigación va dedicado principalmente a Dios, por ser el ser inspirador y también quien me dio fuerzas para seguir con este camino de conseguir uno de mis anhelados deseos.

Para mi esposa e hijas, quienes, con su amor y comprensión durante todos estos años han sabido motivarme, gracias a su apoyo y empatía hemos conseguido llegar al objetivo trazado. Esta tesis es un tributo a la colaboración, paciencia que me han brindado durante este viaje académico.

Manuel Salazar

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Gloria y Alfonso. Su amor incondicional, su apoyo constante y sus sabios consejos han sido el pilar fundamental en mi vida y en la consecución de este logro. Gracias por creer en mí, por sus sacrificios y por ser siempre una fuente inagotable de inspiración.

A mi esposa Pilar, mi compañera de vida y de sueños, le debo un agradecimiento especial. Tu amor, paciencia y comprensión han sido esenciales durante todo este proceso. Has sido mi apoyo en los momentos difíciles y mi alegría en los momentos de triunfo. Sin ti, este camino habría sido mucho más difícil de recorrer.

A mis hijas Nicole, Olenka e Isabella, su amor ha sido clave para alcanzar este logro. Gracias por su alegría, su cariño y por ser una fuente constante de motivación y felicidad en mi vida.

Julio Miranda

Al haber concluido una etapa bonita en mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a quienes con su confianza y comprensión hicieron posible que cumpla con esta meta trazada, a mi familia quienes estuvieron junto a mí en cada momento, siempre fueron fuente de inspiración, fortaleza, apoyo.

Esta mención especial a mi madre, esposa e hijas. Infinito agradecimiento a todas ustedes por demostrar en todo momento que el verdadero amor es el deseo de ayudar a conseguir las metas trazadas.

Manuel Salazar

Tabla de contenido

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	169
1.3. Objetivo general	20
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	18
CAPÍTULO III: RESULTADOS	22
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	54
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diseño malla de perforación y voladura empleando iniciación pirotécnica	22
Tabla 2: Diseño malla de perforación y voladura empleando iniciación electrónica.....	22
Tabla 3: Cantidad de mineral removido con iniciación pirotécnica.....	29
Tabla 4: Cantidad de mineral removido con iniciación electrónica	30
Tabla 5: Vibraciones producidas por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica...	37
Tabla 6: Costo de explosivo por voladura con iniciador pirotécnico	40
Tabla 7: Costo de explosivo por voladura con iniciador electrónico	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño de carga taladro de producción con iniciación electrónica Daveytronic	29
Figura 2: Prueba t student para dos muestras con varianzas desiguales para la cantidad de mineral removido con iniciación pirotécnica y electronica.....	36
Figura 3: Grado de fragmentación p80 con Iniciación pirotécnica.....	24
Figura 4: Estadística para medir la relación de la variable factor de potencia con la variable grado de fragmentación p80 con iniciación pirotécnica.....	37
Figura 5: Grado de fragmentación p80 con Iniciación electrónica	34
Figura 6: Estadística para medir la relación de la variable factor de potencia con la variable grado de fragmentación p80 con iniciación electrónica	38
Figura 7: Prueba t student para dos muestras con varianzas desiguales para el grado de fragmentación p80 con iniciación pirotécnica y electrónica	36
Figura 8: Evolución de las vibraciones producidas por voladura con Iniciación pirotécnica y electrónica.....	38
Figura 9: Prueba t student para dos muestras con varianzas iguales para las vibraciones producidas por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica.....	39
Figura 10: Gráfico comparativa de costos del explosivo por voladura.....	42
Figura 11: Prueba t student para dos muestras con varianzas desiguales para el costo de explosivo con iniciación pirotécnica y electrónica	43

RESUMEN

El propósito de la siguiente investigación tuvo por finalidad determinar la influencia de la cantidad de mineral removido en el costo del explosivo por voladura, con iniciación pirotécnica y electrónica en una mina de oro en Hualgayoc, Cajamarca 2023. Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, tipo descriptivo longitudinal. La muestra estuvo constituida por 19 proyectos de voladura donde se realizó 2 335 taladros con iniciación pirotécnica y 22 proyectos de voladura donde se ejecutaron 2 335 taladros con iniciación electrónica. Los descubrimientos indican que la configuración de la malla de perforación y voladura es crucial para la carga del taladro de producción con iniciación pirotécnica y electrónica en una malla 5,30m x 6,10m con altura de taladro de 10 m y diámetro de broca de 7 7/8”, se utilizó una cantidad de 627 853 kg y 639 237 respectivamente. La cantidad de material removido con iniciación pirotécnica fue un 13,06 % a favor de la voladura con iniciación electrónica. El costo del explosivo por voladura con iniciación electrónica fue menor, con una diferencia del 5,68% a favor de la iniciación electrónica. Se concluye que, para hacer el uso de iniciadores electrónicos, ofrecen fragmentación p80 optimas y vibraciones reducidas para proteger las estructuras que se localizan a distancia más lejana del foco de la voladura.

PALABRAS CLAVES: Mineral removido, iniciador pirotécnico, iniciador electrónico, costos de explosivo, granulometría p80, PPV.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad, el sector minero constituye un pilar fundamental en la economía global debido a la alta demanda sostenida de minerales en los últimos 25 años. Este comportamiento ha impulsado un notable desarrollo del rubro extractivo, fomentando vínculos económicos y sociales entre las naciones proveedoras de recursos minerales y sus respectivos mercados consumidores (Sánchez-Albavera y Lardé, 2016).

Dentro del contexto operativo de la minería a cielo abierto, el uso de explosivos y técnicas de voladura es esencial para lograr una extracción eficiente. El constante avance tecnológico ha generado sistemas de iniciación más seguros, eficaces y económicos, incrementando la precisión en el control del grado de fragmentación y reduciendo efectos no deseados como las vibraciones, proyecciones de roca (flyrock), formación de bolonería, sobreexcavación y retroceso en las paredes del banco (Arvind et al., 2017).

Uno de los puntos críticos dentro del proceso minero es la etapa de voladura, cuyo objetivo es la adecuada liberación del macizo rocoso. Sin embargo, se ha identificado que la eficiencia energética durante la voladura no supera el 70 %, lo que implica un uso excesivo de explosivos y, por ende, un incremento en los costos operativos (Aragón, Díaz y Jiménez, 2012). En ese sentido, la elección de métodos adecuados resulta vital para garantizar la viabilidad económica de los proyectos (Rojas y Zúñiga, 2020).

En el caso peruano, tanto los sistemas de iniciación pirotécnica como electrónica son ampliamente utilizados en diversas unidades mineras. Por esta razón, resulta indispensable analizar su desempeño comparativo, dado que su implementación incide directamente en los

costos de producción y en el posicionamiento competitivo de las compañías frente a otras del sector.

En el ámbito internacional, por ejemplo, la empresa Enaex en Chile provee a diversas minas con el sistema electrónico DaveyTronic, el cual ofrece ventajas como control efectivo de vibraciones, disminución de daños en zonas colindantes, reducción de sobreexcavaciones, facilidad en su aplicación y un notable incremento en la productividad, reduciendo el costo unitario y acelerando el avance de producción.

En Perú, una importante operación minera a tajo abierto ubicada en Ancash logró un ahorro significativo tras la implementación del sistema DaveyTronic SP de Enaex S.A., con una disminución de USD 156 096,44 en costos de voladura y carguío, además de mejoras en la fragmentación y niveles de vibración (Jesús, 2022).

Esta investigación se enfoca en la minería a cielo abierto por ser una de las ramas más dinámicas del sector extractivo, caracterizada por la extracción de minerales desde la superficie. En la mina de oro ubicada en Hualgayoc, uno de los problemas identificados es la fragmentación excesiva del material, alcanzando tamaños de hasta 15 pulgadas, lo que impacta negativamente en el tonelaje de mineral removido y en la eficiencia del proceso de minado.

Para sustentar la presente investigación, se han considerado diversos estudios previos cuyos enfoques presentan alta correlación con las variables tratadas. Aguirre (2016), en su tesis sobre la optimización de parámetros de voladura con explosivos de alta energía en la Sociedad Contractual Minera El Abra, ejecutó un análisis técnico-económico enfocado en resolver problemas de fragmentación en zonas de roca altamente competente. Mediante una metodología experimental aplicada en los bancos 3610 y 3625 del fondo mina, utilizando un

diámetro de perforación de 10 5/8”, se determinó que la combinación de una malla de 6x7 metros y el uso de explosivo Vistis 225 redujo el p80 a la mitad en comparación con Fortis Extra-65, evidenciando una mejora significativa en la fragmentación, aunque con un aumento en los costos asociados al proceso de voladura.

Por su parte, Arvind et al. (2017), en su investigación sobre voladuras controladas con detonadores electrónicos en minas de caliza, plantearon un diseño experimental en la fase de expansión de una planta cementera. Se reportaron vibraciones inferiores a 3,1 mm/s y 2,3 mm/s a distancias de 50 m y 100 m, respectivamente. Los autores concluyen que el uso de detonadores electrónicos y un diseño adecuado permiten ejecutar voladuras de alta precisión en cercanías de estructuras sin provocar impactos negativos.

Vargas (2021), en su tesis sobre iniciación pirotécnica, electrónica y fracturamiento con plasma en el Proyecto Quellaveco, aplicó un enfoque cuasi experimental en las áreas 3000 y 4000. Los resultados muestran una diferencia de 8,75 mm/s en la Velocidad Pico de Partícula (PPV) a favor del sistema electrónico, además de una reducción de riesgos por vibraciones y otros efectos asociados a la voladura convencional.

Asimismo, Huerta (2019) realizó un análisis comparativo de la eficiencia de la iniciación electrónica simple, doble y triple en voladuras a cielo abierto. A través de una metodología descriptivo-explicativa, determinó que el uso de tres iniciadores electrónicos optimiza la fragmentación (p80) y aumenta el porcentaje de finos menores a 1”, superando en rendimiento a las configuraciones de iniciación simple y doble.

De igual forma, Quispe (2023) evaluó la influencia de los detonadores electrónicos DigiShot Plus en el proceso de voladura de la unidad minera Cerro Corona. El p80 se redujo de 8,74” a 2,96”, y las vibraciones se atenuaron significativamente, mostrando un descenso

de 20,15 mm/s a 9,64 mm/s en la PPV. Los resultados demuestran que esta tecnología mejora de manera efectiva la fragmentación y control de vibraciones.

En el mismo ámbito, Cueva y Herrera (2018) compararon el desempeño del sistema electrónico versus el pirotécnico en Minera Yanacocha S.R.L. Los resultados muestran que el p80 disminuyó de 3,9” a 3,34” con el sistema electrónico, representando una mejora del 14,6 %, mientras que la productividad aumentó de 2 982,37 TM/h a 3 323,27 TM/h. Se concluye que la iniciación electrónica favorece una voladura más eficiente y rentable.

Según Lozano y Vargas (2021), quienes evaluaron ambos sistemas de iniciación en el banco 3240 de una mina a cielo abierto en Cajamarca, los costos fueron relativamente similares (\$19 072,72 vs \$19 624,24), sin embargo, la productividad con el sistema electrónico casi duplicó a la obtenida con el pirotécnico (8 922,38 TM/h frente a 4 540,55 TM/h). Esto refuerza su conveniencia operativa a pesar del costo ligeramente mayor.

La voladura, como etapa esencial del ciclo minero, se basa en el proceso de fragmentación generado por la detonación rápida de explosivos. Esta actividad se realiza al final de cada jornada, utilizando cargas explosivas introducidas en los barrenos previamente perforados, con el objetivo de fragmentar el macizo rocoso (Chipana, 2015).

La energía que produce dicha fragmentación proviene de reacciones químicas generadas en el momento de la explosión, liberando gases a alta presión dentro del barreno (Delgado, 2021). Según Jimeno (2003), al iniciarse la explosión, se libera una cantidad considerable de energía en forma de gases, lo que produce un efecto de alta presión y calor que se expande en todas direcciones, generando ondas de choque, ruido, proyecciones y vibraciones.

Chávez (2014) indica que la técnica de voladura tradicional se basa principalmente en el impulso de compresión inicial de la onda de choque, y que la energía detonante puede calcularse utilizando modelos termodinámicos, siendo posible su medición mediante técnicas especializadas.

La detonación se caracteriza por una liberación súbita de energía que se propaga a gran velocidad, generando una serie de efectos físicos en el entorno, como ondas sonoras, sismos y proyecciones. Su intensidad depende del grado de confinamiento del explosivo y del tipo de terreno (República de Colombia, 2019).

El sistema de iniciación pirotécnico emplea componentes tradicionales como el fulminante #12, conectores plásticos tipo J, y tubos de choque resistentes. Brinell, por ejemplo, ofrece una línea de detonadores no eléctricos que utilizan retardos temporizados y presentan alta precisión en minería superficial y subterránea. Para activar este tipo de iniciación se emplea un percutor DUKE ESI STARTER ESI/2 y una batería de 9 voltios (Enaex, 2019).

En contraste, el sistema de iniciación electrónica es un método moderno que permite controlar con gran exactitud el momento del disparo mediante una señal codificada. Este sistema ofrece una mayor precisión en la entrega de energía, reduciendo los errores asociados a los detonadores tradicionales (Enaex, 2019).

Tal como lo señala Vargas (2021), el sistema electrónico, al no tener limitaciones en cuanto a cantidad de taladros ni a tiempos de retardo, permite una mejor distribución de energía, disminuyendo las vibraciones y aumentando la seguridad. Además, su composición otorga protección frente a interferencias eléctricas externas.

El detonador electrónico se caracteriza por tener su iniciador ubicado por debajo del módulo de retardo, a diferencia de los sistemas eléctricos y no eléctricos tradicionales. Este diseño permite una mayor precisión en el retardo programado y mejor desempeño en la fragmentación (Quelcca, 2020; Jesús, 2022).

Desde la perspectiva operativa, el costo del explosivo en la voladura representa un gasto variable, directamente asociado al volumen de producción. Incluye materiales como San G, ANFO, Heavy ANFO y Quantex, los cuales impactan directamente en el costo total del proceso de extracción (García, 2017).

El p80 es un indicador granulométrico que representa el tamaño de partícula por debajo del cual se encuentra el 80 % del material fragmentado. Este parámetro permite evaluar la eficiencia del proceso de voladura, diferenciando entre fragmentación fina y gruesa (García, 2017).

Las voladuras generan vibraciones que se propagan a través del macizo rocoso en forma de ondas. Estas ondas disminuyen su energía conforme se alejan de la fuente de explosión y se clasifican en ondas internas y superficiales. Las ondas P (longitudinales) se propagan en la misma dirección que el movimiento de las partículas, mientras que las ondas S (transversales o de cizalladura) lo hacen en dirección perpendicular (Chávez, 2014).

Para medir estos efectos, se utilizan conceptos como la Velocidad Pico de Partícula (VPP), que representa la máxima velocidad de desplazamiento oscilatorio. Esta se registra a través de sensores piezoeléctricos de tres ejes que permiten monitorear los niveles de vibración generados durante el proceso de voladura (Peralta et al., 2016).

El factor de potencia se define como la relación entre la cantidad de explosivo empleado (en kg) y la masa de roca fragmentada (en TM). Este indicador permite evaluar la

eficiencia energética de la voladura, comparando el consumo teórico con el real (García, 2017).

Cajamarca, al ser una región con alta actividad minera, concentra diversos proyectos de gran envergadura, razón por la cual esta investigación contribuye de forma directa al desarrollo de estrategias más eficientes de voladura en minas de tajo abierto. La información obtenida permitirá tomar decisiones técnicas y económicas más acertadas, mejorando la competitividad de la empresa frente a otras operaciones a nivel nacional.

La relevancia de este trabajo radica en la necesidad de comparar dos métodos ampliamente utilizados en el país: la voladura con iniciación pirotécnica y la electrónica. Determinar cuál de estas estrategias genera un menor costo operativo en minas superficiales permitirá optimizar recursos y mejorar la eficiencia del proceso extractivo. A partir de los resultados obtenidos se podrá validar la hipótesis planteada y recomendar la alternativa más adecuada para condiciones similares.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influye la cantidad de mineral removido en el costo del explosivo empleado en voladuras con iniciación pirotécnica y electrónica, en una mina de oro ubicada en Hualgayoc, Cajamarca, durante el año 2023?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la relación entre la cantidad de mineral removido y el costo del explosivo utilizado en voladuras con sistemas de iniciación pirotécnica y electrónica en una operación minera aurífera en Hualgayoc, Cajamarca, 2023.

1.3.2 Objetivos específicos

Describir los parámetros del diseño de malla empleado para iniciación pirotécnica y electrónica.

Comparar la eficiencia en términos de tonelaje removido, granulometría p80 y vibraciones generadas.

Determinar los costos asociados al uso de cada tipo de iniciador en el proceso de voladura.

1.4. Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La cantidad de mineral removido influye significativamente en el costo del explosivo por voladura, dependiendo del sistema de iniciación utilizado (pirotécnico o electrónico) en una mina de oro en Hualgayoc, Cajamarca.

Planteamiento de la hipótesis estadística:

Ho: $\mu_1 = \mu_2$

Ha: $\mu_1 > \mu_2$

Donde: Ho = Hipótesis nula

Ha = Hipótesis alterna

μ_1 = estadístico t promedio con iniciación pirotécnica

μ_2 = estadístico t promedio con iniciación electrónica

Formulación de hipótesis estadísticas:

Hipótesis Nula (Ho):

- **Ho (hipótesis nula):** No existe diferencia significativa entre el costo promedio del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica.

- **Ha (hipótesis alternativa):** Existe una diferencia significativa, siendo más eficiente el sistema electrónico en términos de costo por tonelada removida.

Nivel de significancia

Si la significancia es menor o igual al 5% o $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis de que no hay diferencia o igualdad (H_0) (Amat, 2016).

Esto significa que, si el valor P es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Si el valor P es mayor que el nivel de significancia, no se puede rechazar la hipótesis nula y se concluye que no hay suficiente evidencia para apoyar la hipótesis alternativa.

El valor estadístico se determina utilizando los datos de la muestra, y el valor P representa la probabilidad de observar el estadístico si la hipótesis nula es verdadera.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, porque está basado en una recolección de datos sobre las dos estrategias de voladura estudiadas, que permitirán corroborar la hipótesis planteada mediante una medición numérica. La investigación con enfoque cuantitativo describe, predice y explica fenómenos mediante datos numéricos, utilizando herramientas de la matemática y la estadística (Babbie, 2016). Así mismo la investigación según su propósito es aplicada, y según su nivel es descriptiva, ya que se describe características de la variable en la recabación de datos, acerca de la cantidad de mineral removido, la fragmentación obtenida y los costos operacionales tras haber sido ejecutados los dos métodos de voladura en estudio durante la ejecución de ambas estrategias de voladura, únicamente se llevará a cabo un levantamiento de datos en campo, más no una

intervención. Según Hernández (2016), la investigación según su propósito puede ser básica y aplicada; la investigación básica genera saberes y teorías, mientras que la investigación aplicada soluciona cuestiones prácticas.

Asimismo, la recolección de datos es retrospectiva, porque los datos serán recolectados de procesos de voladura ya existentes y que estarán siendo ejecutados en la zona de estudio. Además, según el número de mediciones es longitudinal, porque los datos se tomarán varias veces durante un periodo de tiempo, que será definido por ambos procesos de voladura.

La investigación será de tipo no experimental, ya que se analizarán los costos de las voladuras pirotécnicas y electrónicas sin manipular las condiciones de estas, observando las características de cada método tal como se presentan en la práctica. Según Hernández et al. (2014), el enfoque permite observar fenómenos en su entorno natural, enfocándose en las relaciones entre variables sin la intervención del investigador.

La población está conformada por todos los proyectos de voladura de la mina en estudio en el año 2023 y la muestra está constituida por los 19 proyectos de voladura donde se realizó 2 335 taladros para la voladura con iniciación pirotécnica y los 22 proyectos de voladura donde se ejecutaron 2 335 taladros para la voladura con iniciación electrónica.

Asimismo, la técnica a utilizar será la observación, puesto que durante todo el proceso de voladura solamente se recolectarán datos en nuestro instrumento de investigación, de tal manera que el investigador no alterará estos procesos, sino que únicamente será testigo de ellos, lo que permitirá tomar nota de los datos necesarios para la investigación. Para lo cual el instrumento estará conformado por fichas de recolección de datos creadas, que fueron validadas por profesionales especialistas: Ing. Dalila Julca López

– CIP 25762 y Ing. Víctor Álvarez León – CIP 132270; las cuales contienen los datos generales de la ejecución in situ, y por otra parte están seccionadas para colocar datos basados tanto en costos (en \$) como en la cantidad de material removido (en TM). De esta manera la recabación de datos se llevará a cabo en una mina de tajo abierto seleccionada para la presente investigación. Puesto que nuestra unidad de medida estará determinada por \$/TM, se levantarán datos sobre los costos tanto de insumos (detonadores, equipos, etc.), como de mano de obra y los componentes involucrados en la ejecución. Además, para determinar el tonelaje se tomarán datos acerca de la cantidad de material removido durante esta ejecución. La veracidad de estos datos estará garantizada por la empresa ejecutora, ya que será la que los abastezca. Es así como para poder analizar los datos, se utilizó el programa Microsoft Excel; en primer lugar, se procesó los datos recolectados en campo para un correcto orden y clasificación para ambos métodos de voladura, asimismo se trabajó con los datos obtenidos del equipo porta metric con respecto a la granulometría medida en campo.

La metodología estadística empleada para verificar la hipótesis del estudio fue la prueba T Student en grupos independientes para varianzas iguales o desiguales; para obtener el estadístico de prueba, se utilizó el complemento del excel llamado Análisis de datos. Posteriormente, se realizó una confrontación de datos de la siguiente manera: Costos vs la cantidad de material removido (en TM). De esta manera se pudo obtener valores iniciales en la unidad de medida preestablecida para esta investigación (\$/TM). Finalmente se aplicó la estadística descriptiva, basada en gráficos, para clasificar y comparar los datos previamente obtenidos y así lograr establecer las conclusiones de este estudio.

Este proyecto de investigación utilizó datos provenientes de las mineras superficiales para la recolectar información directa de empresas, para así determinar y conocer las

metodologías de mejora del proceso de voladura para optimizar la eficacia de costos operacionales, donde se utilizará la recopilación de datos de empresas, tesis, revistas e infografías. La tesis consideró fichas instrumentales para la recolección de datos que se detallan en Anexos.

Tras obtener los datos requeridos, se lleva a cabo lo siguiente: Organizar y clasificar la información de campo, manejar la información en hojas de Excel comparando los datos de la voladura electrónica y la voladura pirotécnica, en donde se verán los beneficios económicos alcanzados para el uso en operación de mina a tajo abierto.

El procedimiento consta de 03 etapas, la primera es el Pre-campo donde se recopiló información de antecedentes y marco conceptual descrito en el capítulo I, la cual guarda relación directa con los objetivos de la investigación, se recurrió a las bibliotecas virtuales y repositorios institucionales. Se evaluaron los reportes de la operación de voladura durante el periodo comprendido entre abril y junio, mostrando la fluctuación de las variables en estudio.

Posteriormente, en la etapa 02 de Campo, se recopiló la información referente a la voladura con iniciación pirotécnica y electrónica (material removido, vibraciones, granulometría, costos, etc.). Finalmente, en la etapa 03, Gabinete se utilizó la información recolectada en campo relacionados el factor del diseño de malla, las mediciones de granulometría, vibraciones, tonelaje y costos que se organizaron en una base de datos digital en el programa Excel.

Las condiciones éticas consideraron que este estudio fue escrito según los estándares de la norma APA, la epistemología correcta y el formato definido por la Universidad Privada del Norte, incentivando a los investigadores a respetar la integridad de los estudios. Luego de revisar los trabajos y artículos de los autores antes mencionados, se tomó la decisión de

tener en cuenta sus derechos de autor para la utilización de sus datos en el desarrollo de este trabajo de investigación científica.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Parámetros del diseño de malla empleado para iniciación pirotécnica y electrónica

A continuación, se detallan los hallazgos alcanzados con relación a los parámetros del diseño de mallas utilizados en la voladura con iniciación pirotécnica y electrónica.

Tabla 1

Elaboración de la malla de perforación y voladura utilizado para iniciación pirotécnica

Nº	Banco	Proyecto	Altura de banco (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Nº taladros	Cantidad de explosivo (kg)	Cantidad de explos/taladro (kg)
1	3990	105	10	5,20	6,00	105	33 330	317,43
2	4090	203	10	5,20	6,00	108	38 895	360,14
3	4100	181	10	4,11	4,75	58	10 465	180,43
4	3990	107	10	5,20	6,00	164	50 580	308,41
5	4100	180	10	3,60	4,00	89	13 846	155,57
6	3990	108	10	5,20	6,00	154	51 490	334,35
7	3990	109	10	3,68	4,30	64	16 490	257,66
8	4010	215	10	5,40	6,20	52	6 825	131,25
9	4030	218	10	3,90	4,50	48	8 062	167,96
10	3970	25	10	5,00	6,00	35	8 490	242,57
11	4040	251	10	3,68	4,25	261	50 410	193,14
12	3970	26	10	5,20	6,00	172	59 070	343,43
13	3990	110	10	4,98	5,75	128	41 650	325,39
14	4040	252	10	4,11	4,75	288	64 040	222,36
15	4030	219	10	5,20	6,00	93	29 645	318,76
16	4000	197	10	5,60	6,20	132	45 905	347,77
17	4040	253	10	4,11	4,75	164	37 195	226,80
18	3990	112	10	5,20	6,00	82	26 025	317,38
19	4030	220	10	4,11	4,75	138	35 440	256,81
						2 335	627 853	263,56

Nota: Se consideró el tipo de roca calidad IV; en los 2 335 taladros cargados se utilizó una cantidad promedio de 263,56 kg. explosivo/taladro. El explosivo utilizado fue el MEX Quantex 73, densidad final de 1,20 gr/cc. Datos tomados de Mina La Zanja.

Tabla 2

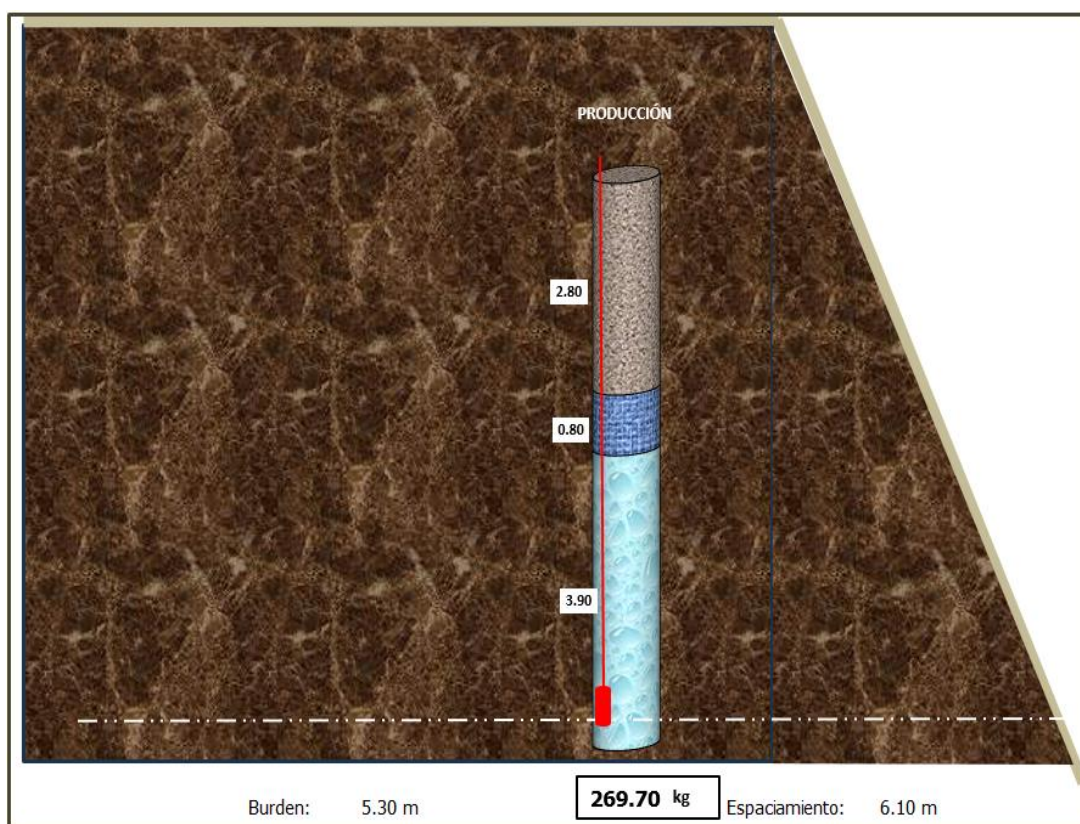
Elaboración de la malla de perforación y voladura utilizada para iniciación electrónica

Nº	Banco	Proyecto	Altura de banco (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Nº taladros	Cantidad de explosivo (kg)	Cantidad de explos/taladro (kg)
1	4060	225-227	10	5,41	6,25	128	31 110	243,05
2	4000	201	10	5,20	6,00	6	1 820	303,33
3	4070	211	10	5,20	6,00	17	3 245	190,88
4	4070	210	10	5,20	6,00	68	18 610	273,68
5	4010	216	10	3,40	4,00	30	6 750	225,00
6	4060	230	10	5,20	6,00	30	11 220	374,00
7	4060	231	10	5,20	6,00	173	54 272	313,71
8	4020	225-227	10	4,33	5,00	171	36 935	215,99
9	4040	255	10	5,20	6,00	62	15 165	244,60
10	4070	212	10	5,41	6,25	24	7 195	299,79
11	4030	230	10	5,20	6,00	109	32 925	302,06
12	4090	206	10	5,41	6,25	256	75 386	294,48
13	4100	182	10	5,41	6,25	86	26 525	308,43
14	4020	228	10	4,33	5,00	118	20 865	176,82
15	4060	233	10	5,41	6,25	59	22 100	374,58
16	4020	229	10	4,33	5,00	104	22 420	215,58
17	4010	218	10	4,33	5,00	157	33 545	213,66
18	4060	234	10	5,41	6,25	132	35 920	272,12
19	4000	203	10	3,90	4,50	33	7 475	226,52
20	4040	256	10	5,20	6,00	65	17 940	276,00
21	4010	220	10	4,33	5,00	169	41 319	244,49
22	4050	213-214-215	10	5,20	6,00	338	116 495	344,66
						2 335	639 237	269,70
						Diferencia	11 383,88	
						%	1,78	

Nota: Se consideró el tipo de roca calidad IV; en los 2 335 taladros cargados se utilizó una cantidad promedio de 269,70 kg. explosivo/taladro. El explosivo utilizado fue el MEX Quantex 73, densidad final de 1,20 gr/cc. Datos tomados de Mina La Zanja.

Figura 1

Diseño de carga en taladro de producción con iniciación electrónica DaveyTronic



Nota: Diseño de carga obtenido del proyecto de voladura PY 3160-201 del reporte de voladura de Mina La Zanja.

3.2. Cantidad de mineral removido, fragmentación p80 y niveles de vibración obtenidos en la voladura con iniciación pirotécnica y electrónica

Se muestra a continuación los resultados obtenidos del total de tonelaje de material removido, fragmentación y niveles vibración con los dos tipos de iniciación.

Tabla 3
Cantidad de mineral removido con iniciación pirotécnica

N°	Banco	Proyecto	Altura de banco (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	N° taladros	Cantidad de mineral removido * (TM)
1	3990	105	10	5,20	6,00	105	81 900,00
2	4090	203	10	5,20	6,00	108	84 240,00
3	4100	181	10	4,11	4,75	58	28 308,00
4	3990	107	10	5,20	6,00	164	127 920,00
5	4100	180	10	3,60	4,00	89	32 040,00
6	3990	108	10	5,20	6,00	154	120 120,00
7	3990	109	10	3,68	4,30	64	25 024,00
8	4010	215	10	5,40	6,20	52	43 524,00
9	4030	218	10	3,90	4,50	48	21 060,00
10	3970	25	10	5,00	6,00	35	26 250,00
11	4040	251	10	3,68	4,25	261	102 051,00
12	3970	26	10	5,20	6,00	172	134 160,00
13	3990	110	10	4,98	5,75	128	91 632,00
14	4040	252	10	4,11	4,75	288	140 562,00
15	4030	219	10	5,20	6,00	93	72 540,00
16	4000	197	10	5,60	6,20	132	114 576,00
17	4040	253	10	4,11	4,75	164	80 042,00
18	3990	112	10	5,20	6,00	82	63 960,00
19	4030	220	10	4,11	4,75	138	67 353,00
						2 335	1 457 262,00

Nota: De los 19 proyectos de voladura con iniciación pirotécnica se han cargado 2 335 taladros, la cantidad de material total removido es de 1 457 262 TM. Datos tomados de reportes de voladura Mina La Zanja.

Tabla 4
Cantidad de mineral removido con iniciación electrónica

Nº	Banco	Proyecto	Altura de banco (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Nº taladros	(2) Electrónico- Cantidad de mineral removido * (TM)
1	4060	225-227	10	5,41	6,25	128	108 200,00
2	4000	201	10	5,20	6,00	6	4 680,00
3	4070	211	10	5,20	6,00	17	13 260,00
4	4070	210	10	5,20	6,00	68	53 040,00
5	4010	216	10	3,40	4,00	30	10 200,00
6	4060	230	10	5,20	6,00	30	29 640,00
7	4060	231	10	5,20	6,00	173	134 940,00
8	4020	225-227	10	4,33	5,00	171	92 554,00
9	4040	255	10	5,20	6,00	62	48 360,00
10	4070	212	10	5,41	6,25	24	20 288,00
11	4030	230	10	5,20	6,00	109	85 020,00
12	4090	206	10	5,41	6,25	256	216 400,00
13	4100	182	10	5,41	6,25	86	72 697,00
14	4020	228	10	4,33	5,00	118	63 868,00
15	4060	233	10	5,41	6,25	59	49 873,00
16	4020	229	10	4,33	5,00	104	56 290,00
17	4010	218	10	4,33	5,00	157	84 976,00
18	4060	234	10	5,41	6,25	132	111 581,00
19	4000	203	10	3,90	4,50	33	14 479,00
20	4040	256	10	5,20	6,00	65	50 700,00
21	4010	220	10	4,33	5,00	169	91 471,25
22	4050	213-214-215	10	5,20	6,00	338	263 640,00
						2 335	1 676 157,25
						Diferencia	218 895,25
						%	13,06%

Nota: De los 22 proyectos de voladura con iniciación pirotécnica se han cargado 2 335 taladros, la cantidad de material total removido es de 1 676 157,82 TM. Datos tomados de reportes de voladura Mina La Zanja.

Los resultados de las tablas 3 y 4, indican que en la voladura con iniciación electrónica se obtuvo mayor cantidad de material removido, con una diferencia de 218 895,25 TM, es decir un 13,06 % a favor.

Prueba de hipótesis para la cantidad de material removido con iniciación pirotécnica y electrónica:

Planteamiento de la hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_a: \mu_1 > \mu_2$

H_0 : La cantidad promedio de mineral removido por voladura es la misma o similar entre la iniciación pirotécnica e iniciación electrónica.

H_a : La cantidad promedio de mineral removido por voladura en iniciación pirotécnica es mayor al de iniciación electrónica.

Figura 2

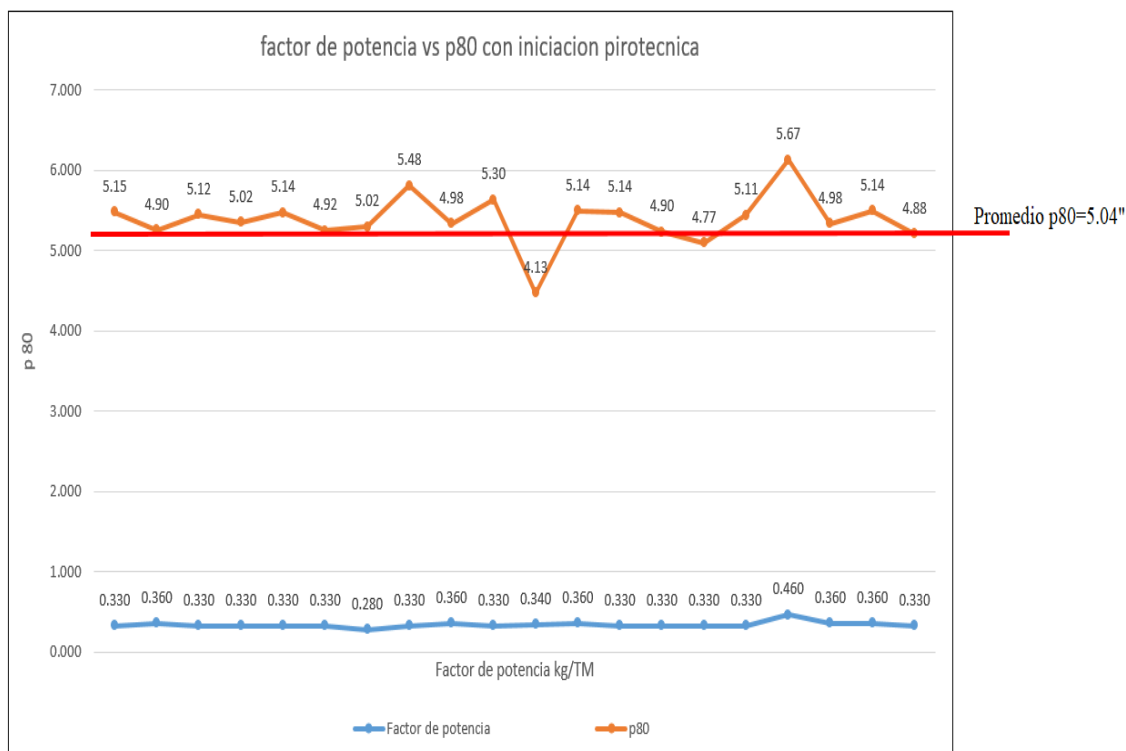
Prueba T Student para dos muestras con varianzas desiguales para la cantidad de mineral removido con iniciación pirotécnica y electrónico

	(1) Pirotécnico-Cantidad de mineral removido * (TM)	(2) Electrónico-Cantidad de mineral removido * (TM)
Media	76698	76188,96591
Varianza	1572190559	4139193300
Observaciones	19	22
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	36	
Estadístico t	0,030927781	
P(T<=t) una cola	0,487748983	
Valor crítico de t (una cola)	1,688297714	
P(T<=t) dos colas	0,975497967	
Valor crítico de t (dos colas)	2,028094001	

Nota: Las dos varianzas son desiguales. Si $p \text{ valúe} < \alpha = 0.05$ se rechaza la H_0 ; como $p \text{ valúe} = 0.487748983 > \alpha = 0.05$, se acepta la H_a .

Figura 3

Grado de fragmentación p80 con Iniciación pirotécnica



Nota: Los resultados indican que, de los 20 proyectos de voladura con el sistema de iniciación pirotécnico, se obtuvo valor mínimo del grado de fragmentación p80 de 4,13” y un valor máximo de 5,67”, asimismo un p80 promedio de 5,04”. Datos tomados de reportes de voladura Mina La Zanja.

Figura 4

Estadística para medir la relación de la variable factor de potencia con la variable grado de fragmentación p80, con Iniciación pirotécnica

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,3733
Coefficiente de determinación R ²	0,1393
R ² ajustado	0,0915
Error típico	0,2859
Observaciones	20

ANÁLISIS DE VARIANZA

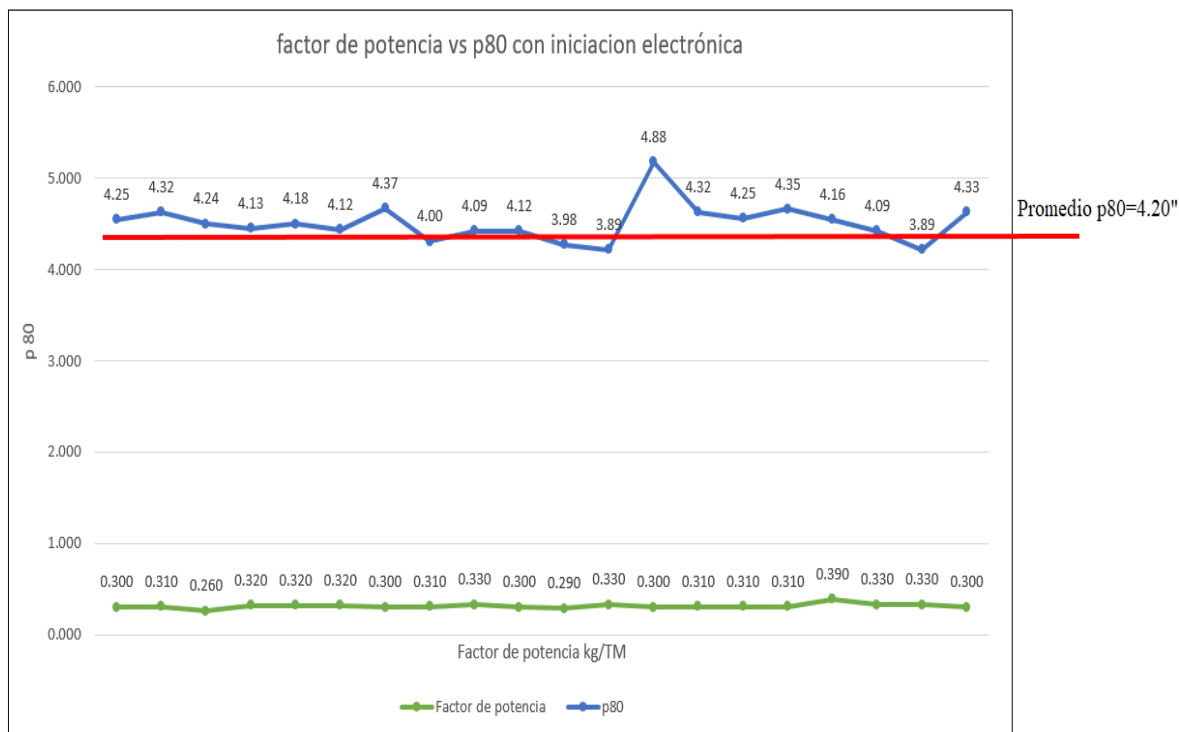
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,238146136	0,238146136	2,91379789	0,1050
Residuos	18	1,471148864	0,081730492		
Total	19	1,709295			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	3,8960795	0,675807343	5,765074305	1,82982E-05
factor de potencia (kg/TM)	3,3579545	1,967184532	1,706985029	0,1050

Nota: El análisis de varianza nos indica que conjuntamente ambas variables, el efecto del factor de potencia, no tiene influencia significativa en el grado de fragmentación p80 con iniciación pirotécnica, (P= 0.1050).

Figura 5

Grado de fragmentación p80 con Iniciación electrónica



Nota: Los resultados indican que, de los 20 proyectos de voladura con el sistema de iniciación electrónica, se obtuvo valor mínimo del grado de fragmentación p80 de 3,89” y un valor máximo de 4,88”, asimismo un p80 promedio de 4,20”.

Con el sistema de iniciación pirotécnico se obtuvo un p80 promedio de 5,04”, y con el electrónico menor granulometría con un p80 promedio de 4,20”.

Figura 6

Estadística para medir la relación de la variable factor de potencia con la variable grado de fragmentación p80, con Iniciación electrónica

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,3830
Coefficiente de determinación R ²	0,146659983
R ² ajustado	0,096463511
Error típico	0,291911756
Observaciones	19

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,248966899	0,248966899	2,92171896	0,10558442
Residuos	17	1,448612048	0,085212473		
Total	18	1,697578947			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	3,858313253	0,693949547	5,559933384	3,4563E-05
factor de potencia (kg/TM)	3,445783133	2,015898777	1,709363648	0,10558442

Nota: El análisis de varianza nos indica que conjuntamente ambas, variables, el efecto del factor de potencia, no tiene influencia significativa en el grado de fragmentación p80 con iniciación electrónica, (P= 0.1055).

Prueba de hipótesis para el grado de fragmentación p80 con iniciación pirotécnica y electrónica:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: $\mu_1 = \mu_2$

Ha: $\mu_1 > \mu_2$

Ho: La fragmentación promedio por voladura es la misma o similar entre la iniciación pirotécnica e iniciación electrónica.

Ha: La fragmentación promedio por voladura en iniciación pirotécnica es mayor al de iniciación electrónica.

Figura 7

Prueba T Student para dos muestras con varianzas desiguales para el grado de fragmentación p80 con iniciación pirotécnica y electrónico

	(1) Pirotécnico: p80	(2) Electrónico: p80
Media	5,0445	4,198
Varianza	0,089962895	0,046869474
Observaciones	20	20
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	35	
Estadístico t	10,23405009	
P(T<=t) una cola	2,30593E-12	
Valor crítico de t (una cola)	1,689572458	
P(T<=t) dos colas	4,61185E-12	
Valor crítico de t (dos colas)	2,030107928	

Nota: Las dos varianzas son desiguales. Como $p \text{ valúe} = 0.00000000000230593 < \alpha$

$=0.05$, se rechaza la Ho.

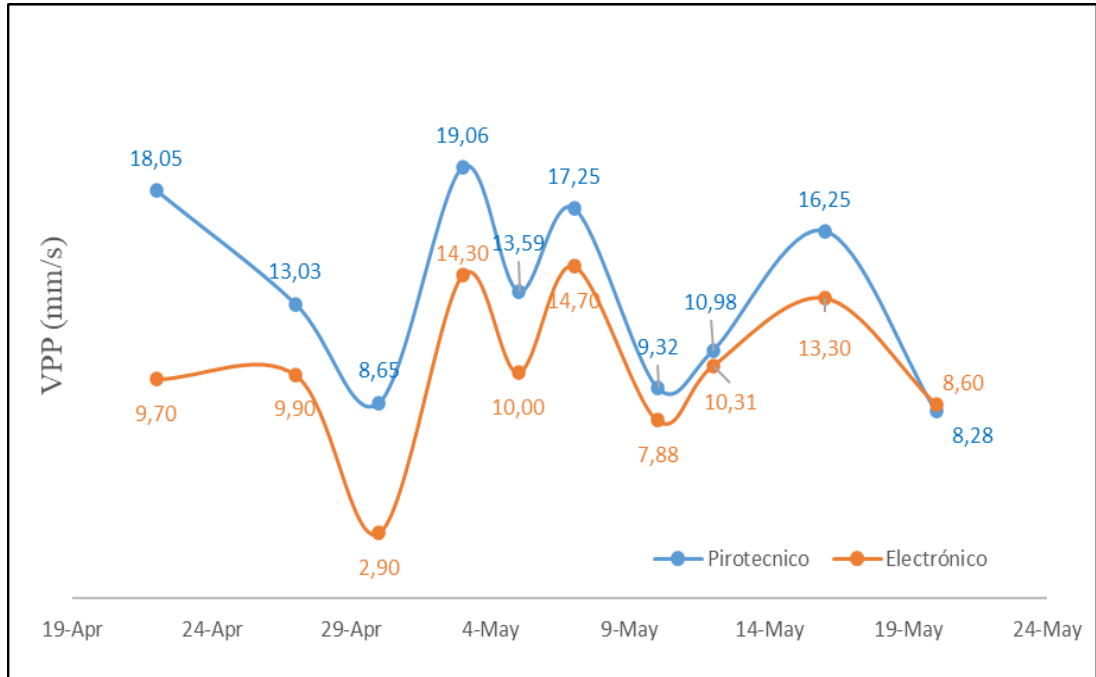
Tabla 5
Vibraciones producidas por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica

Fecha	SISTEMA PIROTÉCNICO			SISTEMA ELECTRÓNICO		
	Densidad Explosivo (gr/cc)	VPP (mm/s)	Frecuencia (Hz)	Densidad Explosivo (gr/cc)	VPP (mm/s)	Frecuencia (Hz)
22-Apr	1,10	18,05	16,00	1,12	9,70	7,60
27-Apr	1,11	13,03	18,00	1,14	9,90	7,90
30-Apr	1,11	8,65	7,40	1,14	2,90	4,00
3-May	1,11	19,06	18,00	1,15	14,30	9,30
5-May	1,09	13,59	9,00	1,15	10,00	6,00
7-May	1,11	17,25	18,00	1,13	14,70	10,00
10-May	1,11	9,32	8,50	1,12	7,88	12,00
12-May	1,09	10,98	7,00	1,12	10,31	7,00
16-May	1,09	16,25	8,50	1,14	13,30	12,00
20-May	1,09	8,28	8,10	1,14	8,60	6,00
PROMEDIO		13,45	11,85	PROMEDIO	10,16	8,18

Nota: Los resultados indican que en 10 proyectos de voladura monitoreados en abril y mayo del 2023, el sistema de iniciación electrónica generó un nivel de vibraciones menor con un VPP promedio de 10,16 mm/s y una frecuencia promedio de 8,18 Hz. Datos tomados de reportes de voladura Mina La Zanja.

Figura 8

Evolución de las Vibraciones producidas por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica



Nota: Los resultados indican que en 10 proyectos de voladura monitoreados en abril y mayo del 2023, el sistema de iniciación electrónica generó un menor VPP del nivel de vibraciones.

Prueba de hipótesis para los niveles de vibraciones producidas por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica:

Planteamiento de la hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_a: \mu_1 > \mu_2$

H_0 : Los niveles de vibración promedio por voladura son las mismas o similares entre la iniciación pirotécnica e iniciación electrónica.

Ha: Los niveles de vibración promedio por voladura en iniciación pirotécnica es mayor al de iniciación electrónica.

Figura 9

Prueba t student para dos muestras con varianzas iguales para las vibraciones producidas por voladura con iniciación pirotécnica y electrónico

	(1) Sistema Pirotécnico: VPP (mm/s)	(2) Sistema Electrónico: VPP (mm/s)
Media	10,159	10,159
Varianza	12,03085444	12,03085444
Observaciones	10	10
Varianza agrupada	12,03085444	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	0	
P(T<=t) una cola	0,500	
Valor crítico de t (una cola)	1,734063607	
P(T<=t) dos colas	1	
Valor crítico de t (dos colas)	2,10092204	

Nota: Las dos varianzas son iguales. Como $p \text{ valúe} = 0.500 > \alpha = 0.05$, se acepta la H_0 .

3.3. Costo de explosivo por voladura para cada tipo de iniciación

Los resultados que se obtuvieron de la comparación de costos operativos en las voladuras con iniciador electrónico y pirotécnico se presentan a continuación.

Tabla 6
Costo de explosivo por voladura con Iniciador pirotécnico

N°	Banco	Proyecto	N° taladros	Cantidad de mineral removido * (TM)	Cantidad de explosivo (kg)	Factor de potencia (kg/TM)	Costo explosivo \$/TM mineral
1	3990	105	105	81900,00	33330	0,407	0,220
2	4090	203	108	84240,00	38895	0,462	0,249
3	4100	181	58	28308,00	10465	0,370	0,200
4	3990	107	164	127920,00	50580	0,395	0,214
5	4100	180	89	32040,00	13846	0,432	0,233
6	3990	108	154	120120,00	51490	0,429	0,232
7	3990	109	64	25024,00	16490	0,659	0,356
8	4010	215	52	43524,00	6825	0,157	0,085
9	4030	218	48	21060,00	8062	0,383	0,207
10	3970	25	35	26250,00	8490	0,323	0,175
11	4040	251	261	102051,00	50410	0,494	0,267
12	3970	26	172	134160,00	59070	0,440	0,238
13	3990	110	128	91632,00	41650	0,455	0,246
14	4040	252	288	140562,00	64040	0,456	0,246
15	4030	219	93	72540,00	29645	0,409	0,221
16	4000	197	132	114576,00	45905	0,401	0,216
17	4040	253	164	80042,00	37195	0,465	0,251
18	3990	112	82	63960,00	26025	0,407	0,220
19	4030	220	138	67353,00	35440	0,526	0,284
			2335	1 457262,00	627853	0,425	0,229

Nota: Con el factor de potencia promedio de 0,425 dividiendo entre 1000 y multiplicado por el precio del explosivo de \$/TM 540,16 se obtiene el costo de explosivo de 0,229 \$/TM de mineral con iniciación pirotécnica.

Tabla 7

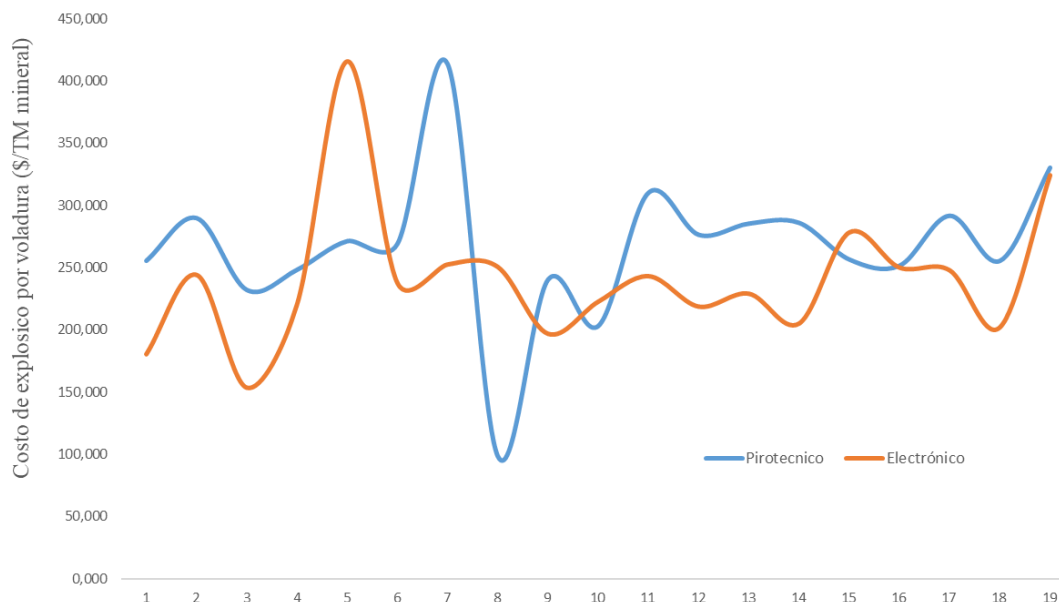
Costo de explosivo por voladura con Iniciador electrónico

Nº	Banco	Proyecto	Nº taladros	Cantidad de mineral removido * (TM)	Cantidad de explosivo (kg)	Factor de potencia (kg/TM)	Costo explosivo \$/TM mineral
1	4060	225-227	128	108200,00	31,110	0,288	0,155
2	4000	201	6	4680,00	1,820	0,389	0,210
3	4070	211	17	13260,00	3,245	0,245	0,132
4	4070	210	68	53040,00	18,610	0,351	0,190
5	4010	216	30	10200,00	6,750	0,662	0,357
6	4060	230	30	29640,00	11,220	0,379	0,204
7	4060	231	173	134940,00	54,272	0,402	0,217
8	4020	225-227	171	92554,00	36,935	0,399	0,216
9	4040	255	62	48360,00	15,165	0,314	0,169
10	4070	212	24	20288,00	7,195	0,355	0,192
11	4030	230	109	85020,00	32,925	0,387	0,209
12	4090	206	256	216400,00	75,386	0,348	0,188
13	4100	182	86	72697,00	26,525	0,365	0,197
14	4020	228	118	63868,00	20,865	0,327	0,176
15	4060	233	59	49873,00	22,100	0,443	0,239
16	4020	229	104	56290,00	22,420	0,398	0,215
17	4010	218	157	84976,00	33,545	0,395	0,213
18	4060	234	132	111581,00	35,920	0,322	0,174
19	4000	203	33	14479,00	7,475	0,516	0,279
20	4040	256	65	50700,00	17,940	0,354	0,191
21	4010	220	169	91471,25	41,319	0,452	0,244
22	4050	213-214-215	338	263640,00	116,495	0,442	0,239
			2335	1 676157,25	639,237	0,401	0,216
				Costo iniciación pirotécnica	0,229	\$/TM mineral	
				Costo iniciación electrónica	0,216	\$/TM mineral	
				Diferencia	0,013	\$/TM mineral	
				Diferencia porcentual	5,68	%	

Nota: Con el factor de potencia promedio de 0,401 dividiendo entre 1000 y multiplicado por el precio del explosivo de \$/TM 540,16 se obtiene el costo de explosivo de 0,216 \$/TM de mineral con iniciación electrónica, demostrándose que es 5,68% menor en costo que la voladura con iniciación pirotécnica. Datos tomados de reportes de voladura Mina La Zanja.

Figura 10

Gráfica comparativa de costos del explosivo por voladura



Nota: Los resultados indican que el costo del explosivo por voladura con iniciación electrónica fue menor. Datos tomados de reportes de voladura Mina La Zanja.

Prueba de hipótesis del costo de explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica:

Planteamiento de la hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_a: \mu_1 > \mu_2$

H_0 : El costo promedio del explosivo por voladura es el mismo o similar entre la iniciación pirotécnica e iniciación electrónica.

H_a : El costo promedio del explosivo por voladura en iniciación pirotécnica es mayor al de iniciación electrónica.

Figura 11

Prueba T Student para dos muestras con varianzas desiguales para el costo de explosivo con iniciación pirotécnica y electrónico

	(1) Pirotécnico Costo explosivo \$/TM mineral	(2) Electrónico Costo explosivo \$/TM mineral
Media	0,229371119	0,123897104
Varianza	0,00266218	0,000776752
Observaciones	19	19
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	28	
Estadístico t	7,839898993	
P(T<=t) una cola	7,68645E-09	
Valor crítico de t (una cola)	1,701130934	
P(T<=t) dos colas	1,53729E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2,048407142	

Nota: Las dos varianzas son desiguales. Si $p \text{ valúe} < \alpha = 0.05$ se rechaza la H_0 ; como

Como $p \text{ valúe} = 0,0000000076864 < \alpha = 0.05$, rechaza la H_0 .

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión:

Según los descubrimientos realizados, la información estadística proporcionada y los datos de información mostrados, se estudió el impacto de la cantidad de mineral extraído en el costo del explosivo por voladura con inicio pirotécnico y electrónico en una mina de oro en Hualgayoc – Cajamarca 2023.

La comparación de ambos estudios permite afirmar que la voladura con iniciadores electrónicos genera un costo mayor que los pirotécnicos, sin embargo, esto se compensa con el incremento de la cantidad de mineral removido, una mejor fragmentación y menores niveles de vibración.

Con respecto al primer objetivo específico, sobre la descripción de los parámetros utilizados en el diseño de malla empleado para iniciación pirotécnica y electrónica:

En la tabla 1 y 2, se muestran los parámetros del diseño de la malla de perforación y voladura para iniciación pirotécnica y electrónica, que para un tipo de roca IV considerada como mala y semifracturada en función de su RMR, se estima un burden práctico con un valor mínimo de 3,60 m y un valor máximo de 5,30 m; asimismo el espaciamiento práctico con un valor mínimo de 4 m y un valor máximo de 6,10 m en los 2 335 taladros perforados; se utilizó una cantidad de 627 853 kg de explosivo MEQ-QUANTEX 73, que representa una cantidad promedio de 263,56 kg. explosivo/taladro usado en la voladura con iniciación pirotécnica. Para la voladura con iniciación electrónica se utilizó una cantidad de 639 237 kg de explosivo MEQ-QUANTEX 73 en los 2 335 taladros perforados, que representa una cantidad promedio de 269,70 kg. explosivo/taladro. En la tabla 3 y 4, así como en la figura 1, se presentan un resumen del diseño de la malla de perforación y voladura con Iniciación pirotécnica y electrónica respectivamente y el diseño de carga en taladro de producción con iniciación electrónica DaveyTronic, estimando una malla BxE=5,30m x 6,10m para la perforación y voladura de los 4 670 taladros con altura de taladro de 10 m y diámetro de broca de 7 7/8". Las medidas de la malla de perforación y voladura que se muestran en estas tablas son valores promedios burden x espaciamiento de los 19 proyectos de voladura con iniciación pirotécnica y 22 proyectos de voladura con iniciación electrónica. Para el carguío de los 4 670 taladros se utilizó el explosivo MEQ-QUANTEX 73 empleado por la empresa minera en estudio. Estos resultados nos permiten cumplir con el objetivo planteado sobre describir los parámetros del diseño de malla empleado para la voladura con iniciación pirotécnica y electrónica de la investigación, que corrobora con la investigación de Vargas (2021) en donde el diseño del proyecto toma en cuenta el número de taladros, tipo de

taladros, cantidad de explosivo por cada taladro, altura promedio de cada taladro, burden, espaciamiento, cantidad de explosivo y factor de potencia, para determinar el mejor método de iniciación y analizar la vibración por voladura con plasma, producida por cada iniciador. Para el área 4 000 se realizó la investigación en 5 proyectos de voladura, se utilizó una malla de perforación y voladura triangular, con burden de 3 m x espaciamiento de 3,50 m, 4” de diámetro de taladro, 6 m de altura de banco, 0,50 m de sobre perforación, con una longitud promedio de taladro de 5,90 m y se utilizó Anfo como explosivo. Nuestros hallazgos y los de Quiliche y Vargas (2021) son parecidos, porque ambos estudios pertenecen a una mina con yacimiento epitermal de alta sulfuración en minería superficial, con el mismo tipo de roca IV considerada como mala y semi fracturada en función de su RMR.

Con respecto al segundo objetivo específico, sobre la evaluación de la cantidad de mineral removido, fragmentación p80 y niveles de vibración obtenidos en la voladura con iniciación pirotécnica y electrónica:

En la tabla 3 y 4, se observa que, la cantidad de material removido con iniciación pirotécnica fue de 1 457 262 TM de mineral y con iniciación electrónica la cantidad de material removido fue de 1 676 157,25 TM de mineral, con una diferencia de 218 895,25 TM, es decir un 13,06 % a favor de la voladura con iniciación electrónica. Estos hallazgos fueron corroborados mediante la prueba T Student para dos muestras con varianzas desiguales para la cantidad de mineral removido con iniciación pirotécnica y electrónico; $p \text{ valúe} = 0,487748983 > \alpha = 0,05$, se acepta la H_a , es decir se acepta que, la cantidad promedio de mineral removido por voladura en iniciación pirotécnica es mayor al de iniciación electrónica. El análisis porque el “p” calculado es mayor que el “p” valúe, se debe a dos factores esenciales: tamaño de muestra y magnitud de diferencia que queremos probar (Manterola y Pineda, 2008, pp.88). Nuestros hallazgos son diferentes a lo investigado por

Cueva y Herrera (2018), que concluyen indicando que, la producción de la pala con detonación pirotécnica fue 2 982,37 TM/h y con detonadores electrónicos 3 323,27 TM/h; con una mejora de 11,4% en productividad. Asimismo, nuestra investigación también se contrasta con Quiliche y Vargas (2021), por parte de la producción de mineral, el sistema pirotécnico alcanza un valor de 4 540,55 TMH y el sistema electrónico un valor de 8 922,38 TMH, con un 17% de diferencia en producción de mineral con voladuras con detonadores electrónicos respecto a las pirotécnicas. Nuestros hallazgos son contrarios en producción de mineral a las investigaciones de los dos antecedentes, porque en sus hallazgos, el mineral removido por voladura en iniciación electrónica es mayor al de iniciación pirotécnica. La explicación técnica de las diferencias, se debe al diseño básico de tiempos de retardos que en nuestro caso para el tipo de roca media se utilizó un tiempo de 15 ms/m en la iniciación y en los antecedentes para una roca suave se utilizó un tiempo de 20 ms/m en la iniciación; es decir en nuestro caso como el movimiento de la masa rocosa fue rápido se necesitó intervalos de tiempo más cortos entre taladros.

Por otro lado, en la figura 3 y figura 5 se aprecia el grado de fragmentación p80 con Iniciación pirotécnica y con iniciación electrónica, respectivamente. Los hallazgos de la investigación indican que, con el sistema de iniciación pirotécnico se obtuvo una fragmentación p80 promedio de 5,04”, y con el electrónico se obtuvo menor granulometría con un p80 promedio de 4,20”. Estos resultados fueron corroborados mediante la prueba T Student para dos muestras con varianzas desiguales para el grado de fragmentación p80 con iniciación pirotécnica y electrónico; a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que el grado de fragmentación p80 con iniciación pirotécnica es mayor que con iniciación electrónica, concluyéndose que hay influencia significativa entre los dos sistemas de iniciación en el grado de fragmentación p80: $p \text{ valúe} = 0,0000000000230593 < \alpha = 0.05$, se

rechaza la Ho. Estos resultados los corrobora Cueva y Herrera (2018) logrando que la voladura con detonadores electrónicos con mejores resultados en la fragmentación p80 que con pirotécnicos; la fragmentación p80 de 3,9” con la voladura pirotécnica mientras que con la electrónica fue de 3,34”. Asimismo, se corrobora los hallazgos con la investigación de Paucar (2018) indicando que, la voladura con iniciadores electrónicos ha permitido optimizar la fragmentación p80 del tajo Toromocho, reduciéndolo en un 5% en la zona Oeste y 16,7% en la zona Oeste, en comparación con los iniciadores pirotécnicos. Nuestros hallazgos son similares con las investigaciones de los dos antecedentes, porque la voladura con iniciación electrónica produce una fragmentación más reducida que con iniciación pirotécnica. La explicación técnica de las diferencias se debe al diseño básico de tiempos de retardos que, en nuestro caso, el uso de detonadores electrónicos nos permitió trabajar con tiempos cortos (15ms), teniendo en cuenta que no varié los tiempos de detonación (+/- 0.001%, teórico según proveedor) y perturbé los resultados de la investigación.

Por otro lado, en la tabla 5 y figura 8 se muestran los resultados de las Vibraciones producidas por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica, cuyos hallazgos indican que, el sistema de iniciación electrónica generó un nivel de vibraciones menor con un VPP promedio de 10,16 mm/s y una frecuencia promedio de 8.18 Hz, en comparación con el pirotécnico que obtuvo un VPP promedio de 13,45 mm/s y una frecuencia promedio de 11,85 Hz. VPP: Velocidad Pico Partícula. Estos resultados fueron corroborados mediante la Prueba T Student para dos muestras con varianzas iguales para las vibraciones producidas por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica que, a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que el nivel vibraciones promedio con iniciación pirotécnica es el mismo o similar con iniciación electrónica, concluyéndose que no hay influencia entre los dos sistemas de iniciación en el nivel de vibraciones producidas por la voladura: p valúe = 0.500

$\alpha = 0.05$, se acepta la H_0 . Estos resultados permiten corroborar los hallazgos de Quiliche y Vargas (2021) Los resultados obtenidos al comparar los valores mostraron una diferencia de 8,75 mm/s en PPV entre la iniciación electrónica y la pirotécnica. Se concluyó que se redujo el riesgo y la probabilidad de daño por vibraciones, proyección de rocas (fly rocks) y otros efectos generados en una voladura convencional. Esta comparación indica que en la investigación realizada y el estudio de Vargas se redujo los niveles de vibración empleando el sistema de iniciación electrónica. Asimismo, los resultados de nuestra investigación son corroborados por Vásquez (2023) presentó como resultados que, el sistema de iniciación electrónica generó un nivel de vibraciones menor con un VPP promedio de 16,18 mm/s, en comparación con el pirotécnico que obtuvo un VPP promedio de 16,18 mm/s con sismógrafo instalado a 50 m. La explicación técnica de las diferencias se debe al diseño básico de tiempos de retardos.

Con respecto al tercer objetivo específico, sobre evaluar el costo del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica:

En la tabla 6 y tabla 7 se observa el costo del explosivo por voladura con iniciador pirotécnico y con electrónico respectivamente. Los resultados indican que el costo del explosivo por voladura con iniciación electrónica fue menor, con el sistema de iniciación pirotécnico se obtuvo un costo promedio de explosivo de 0,229 \$/TM de mineral y con el electrónico un menor costo de 0,216 \$/TM de mineral, con una diferencia de 0,013 \$/TM de mineral, es decir un 5,68 % a favor de la iniciación electrónica. Estos resultados fueron corroborados mediante la prueba T Student para dos muestras con varianzas desiguales para el costo del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica que, a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que el costo del explosivo con iniciación pirotécnica es mayor que con iniciación electrónica, concluyéndose que hay influencia

significativa entre los dos sistemas de iniciación en el costo del explosivo: $p \text{ valúe} = 0.0000000076864 < \alpha = 0.05$, rechaza la H_0 . Estos valores permiten establecer una comparación con los resultados obtenidos en Colombia por Miranda & Yoshiro (2017) quienes explican el rendimiento, implicancia en costos y seguridad entre detonadores pirotécnicos y electrónicos, concluyendo que en la voladura de taladros de producción con iniciación electrónica permitió ahorrar 180 791 dólares/año y 0,004 \$/TM de mineral en el costo por voladura. Por otro lado, a nivel nacional Lozano y Vargas (2021) indican que, el sistema pirotécnico presentó un costo de \$19 072,72 mientras que el sistema electrónico presentó un costo de \$19 624,24

Las limitaciones del estudio se relacionan con la información levantada en campo con respecto al tipo de roca, ya que se obtuvo información de proyectos de voladora con tipo de roca IV (roca mala/semifracturada), siendo insuficiente para establecer una diferencia marcada entre el uso de los sistemas de iniciación.

Las implicancias prácticas se relacionan con la mejora del proceso de voladura en los factores de cantidad de mineral removido, fracturamiento p_{80} de la roca y reducción de las vibraciones con el uso de los sistemas de iniciación electrónica, ya que es más confiable, ofrece precisión en el terreno a la vez te da un estimado significativamente más flexible que los detonadores tradicionales pirotécnicos, esto abre una serie de contribuciones a la literatura y plantea estudios futuros que deberán ser abordados y resueltos por investigadores posteriores.

Conclusiones

La pregunta de investigación de la tesis fue: ¿Cuál es la influencia de la cantidad de mineral removido en el costo del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y

electrónica en una mina de oro en Hualgayoc, Cajamarca 2023?, planteándose el objetivo general Determinar la influencia de la cantidad de mineral removido en el costo del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica en una mina de oro en Hualgayoc, Cajamarca 2023, para lo cual se investigó la Influencia de la cantidad de mineral removido en el costo del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica en una mina de oro en Hualgayoc – Cajamarca 2023. Se concluye que la voladura con iniciación electrónica produce mayor cantidad de material removido, es decir un 13,06 % más que la voladura con iniciación pirotécnica, lo cual no influye en el costo, debido a que el costo promedio del explosivo por voladura en iniciación pirotécnica es mayor al de iniciación electrónica. Se concluye que el uso de la voladura con iniciación electrónica reduce los efectos de las vibraciones. Por lo tanto, se recomienda este tipo de detonador cuando el objetivo de las voladuras es minimizar las vibraciones cerca de taludes, fallas u otros elementos que se deben proteger. Mediante esta investigación se pudo constatar que la empresa minera en estudio, es una de las empresas que trabajan y optan por las voladuras seguras que viene hacer el uso de equipos electrónicos, aunque sean de mayor costo, pero ofrecen más cuidado con las estructuras que se localizan a distancia más lejana del foco de la voladura y que minimizan las vibraciones en taludes en la parte superior del tajo, instalaciones del campamento y las casas aledañas de las comunidades; asimismo la voladura con iniciación electrónica ofrece mayor rentabilidad en la empresa minera.

Se concluye que, el diseño de la malla de perforación y voladura para la carga del taladro de producción con iniciación electrónica DaveyTronic, es una malla BxE=5.30m x 6.10m con altura de taladro de 10 m y diámetro de broca de 7 7/8". Las medidas de la malla de perforación y voladura que se indican son valores promedios burden x espaciamiento de los 19 proyectos de voladura con iniciación pirotécnica y 22 proyectos de voladura con

iniciación pirotécnica. Para el carguío de los 4 670 taladros se utilizó el explosivo MEQ-Quantex 73 empleado por la empresa minera en estudio. Se concluye que se utilizó una cantidad de 627 853 kg de explosivo, que representa una cantidad promedio de 263,56 kg. explosivo/taladro usado en la voladura con iniciación pirotécnica y una cantidad de 639 237 kg de explosivo en los 2 335 taladros perforados con iniciación electrónica, que representa una cantidad promedio de 269,70 kg. explosivo/taladro.

Se concluye que, la cantidad de material removido con iniciación pirotécnica fue de 1 457 262 TM de mineral y con iniciación electrónica la cantidad de material removido fue de 1 676 157,25 TM de mineral, con una diferencia de 218 895,25 TM, es decir un 13,06 % a favor de la voladura con iniciación electrónica. Estadísticamente los valores obtenidos en la cantidad de mineral removido, a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que la cantidad de mineral removido con iniciación pirotécnica es el mismo o similar con iniciación electrónica, concluyéndose que no hay influencia entre los dos sistemas de iniciación en la cantidad de mineral removido: $p \text{ valúe} = 0.487748983 > \alpha = 0.05$, se acepta la H_0 .

Se concluye que, con el sistema de iniciación pirotécnico se obtuvo una fragmentación p80 promedio de 5,04”, y con el electrónico se obtuvo menor granulometría con un p80 promedio de 4,20”. Estadísticamente los valores obtenidos en la fragmentación p80 a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que el grado de fragmentación p80 con iniciación pirotécnica es mayor que con iniciación electrónica, concluyéndose que hay influencia significativa entre los dos sistemas de iniciación en el grado de fragmentación p80: $p \text{ valúe} = 0.00000000000230593 < \alpha = 0.05$, se rechaza la H_0 .

Se concluye que, el sistema de iniciación electrónica generó un nivel de vibraciones menor con un VPP promedio de 10,16 m/s y una frecuencia promedio de 8,18 Hz, en comparación con el pirotécnico que obtuvo un VPP promedio de 13,45 m/s y una frecuencia

promedio de 11,85 Hz. VPP: Velocidad Pico Partícula. Estadísticamente los valores obtenidos en vibraciones por voladura a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que el nivel vibraciones promedio con iniciación pirotécnica es el mismo o similar con iniciación electrónica, concluyéndose que no hay influencia entre los dos sistemas de iniciación en el nivel de vibraciones producidas por la voladura: $p \text{ valúe} = 0.500 > \alpha = 0.05$, se acepta la H_0 .

Se concluye que, el costo del explosivo por voladura con iniciación electrónica fue menor, con el sistema de iniciación pirotécnico se obtuvo un costo promedio de explosivo de 0,229 \$/TM de mineral y con el electrónico un menor costo de 0,209 \$/TM de mineral, con una diferencia de 0,020 \$/TM de mineral, es decir un 9,51 % a favor de la iniciación electrónica. Estadísticamente los valores obtenidos del costo del explosivo por voladura a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que, el costo del explosivo con iniciación pirotécnica es mayor que con iniciación electrónica, concluyéndose que hay influencia significativa entre los dos sistemas de iniciación en el costo del explosivo: $p \text{ valúe} = 0.0000000076864 < \alpha = 0.05$, rechaza la H_0 .

REFERENCIAS

- Amat, J. (2016). *“T-test: Comparación de medias poblacionales independientes”*. Estadística con R.
https://rpubs.com/Joaquin_AR/218467
- Aguirre, A. (2016). *“Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta engería en sociedad contractual minera el Abra”*. (tesis pre grado). Universidad de Chile.
- Aragón, M., Díaz, J., & Jiménez, J. (2012). *“Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada”*. Bogotá.
- Arvind, K., Ning, Y. y Depanshu, R. (2017). *“Voladura controlada en una mina de piedra caliza mediante detonadores electrónicos: Un caso de estudio”*. Revista de la Sociedad Geológica de la India. Vol. 89.
- Bellotti, M. (2015). *“Minería a cielo abierto versus glaciares en alerta roja en Argentina”*. Revista Minera.
- Chávez, A. (2014). *“Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja”*. (Tesis de pregrado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Chipana, R. (2015). *“Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis - Corporación Minera Ananea SA”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

- Cvetkovic, A., Maguiña, L., Soto, A., Lama, J. & López, L. (2021). “*Estudios transversales*”. Revista de la Facultad de Medicina Humana, 21(1), 179-185. <https://dx.doi.org/10.25176/rfmh.v21i1.3069>
- Cueva, B. y Herrera, I. (2018). “*Comparación de la productividad, fragmentación y costos del sistema de iniciación electrónica versus pirotécnica en voladura-Minera Yanacocha S.R.L*”. (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.
- Delgado, R. (2021). “*Determinación del factor de carga mediante parámetros operativos y geomecánicos para el proceso de voladura de rocas - Minera Yanacocha 2017*”. Cajamarca: s.n.,
- Enaex (2019). “*Sistema de iniciación*”
<https://www.enaex.com/pe/es/sistemas-de-iniciacion/>.
- García, W. (2017). “*Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba*”. Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Trujillo
- González, A. y Martínez, P. (2017). “*Caracterización geomecánica de suelos y rocas*”. Tema 6.2 Clasificaciones geomecánicas. Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la materia Consensada. Universidad de Cantabria. Cantabria, España.
- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). “*Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*”. *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173.
[https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)

- Huerta, G. (2019). *“Análisis comparativo de la eficiencia de la triple iniciación electrónica en voladura versus la iniciación electrónica simple y doble en la explotación de un yacimiento cuprífero a cielo abierto”*. (tesis pre grado). Universidad Continental. Huancayo, Perú.
- Jesús, L. (2022). *“Detonadores electrónicos para mejorar la fragmentación de la roca en minería a cielo abierto, año 2019”*. (tesis maestría). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.
- Hadi, M., Mrtel, Ch., & Huayta, F. (2023). *“Metodologías de la investigación: guía para el proyecto de tesis”*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. Puno, Perú.
- [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Hernandez, R. (2016). *“Metodología de la investigación*. Editorial Mc Graw Hill. México D.F.
- Lozano, C y Vargas, W. (2021). *“Evaluación del sistema de iniciación pirotécnica y electrónica en el banco 3240 para la optimización de costos por voladura en una empresa minera a tajo abierto en Cajamarca, 2021”*. (tesis pregrado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.
- López, C., López, E. y García, P. (2003). *“Manual de perforación y voladura de rocas”*. Madrid: s.n.
- Manterola C., Pineda V. (2008). El valor de “p” y la “significación estadística”. Aspectos generales y su valor en la práctica clínica. Revista Chilena de Cirugía Vol 60 – N° 1, Febrero; págs. 86-89.

- Miranda, S. y Yoshiro (2016). *“Estudio del rendimiento entre detonadores electrónicos y no eléctricos e implicancia en la economía del procesos y seguridad en tajo abierto”*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- Peralta, G. y Mojica, R. (2016). *“Características y control de las vibraciones producidas por acción de las voladuras en minas a cielo abierto”*.
- Quispe, M. (2023). *“Influencia de la implementación de detonadores electrónicos en el proceso de voladura en la unidad minera Cerro Corona-Cajamarca, 2019”*. (tesis pregrado). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay, Perú.
- Rojas, C., & Zúñiga, C. (2020). *“Análisis de costos operativos en pequeña minería y minería artesanal en Nambija”*. Quito.
- Sánchez-Albavera, F., & Lardé, J. (2016). *“Minería y competitividad Internacional en América Latina”*. CEPAL, 9.
- Vargas, J. (2021). *“Voladura con iniciación pirotécnica, electrónica y aplicación de fracturamiento con plasma ejecutado por la empresa Enaex s.a. en áreas 3000 y 4000 del Proyecto Quellaveco”*. (tesis pregrado). Universidad Nacional de Moquegua. Moquegua, Perú.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Matriz de consistencia

INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE MINERAL REMOVIDO EN EL COSTO DEL EXPLOSIVO POR VOLADURA CON INICIACIÓN PIROTÉCNICA Y ELECTRÓNICA EN UNA MINA DE ORO EN HUALGAYOC-CAJAMARCA, 2023

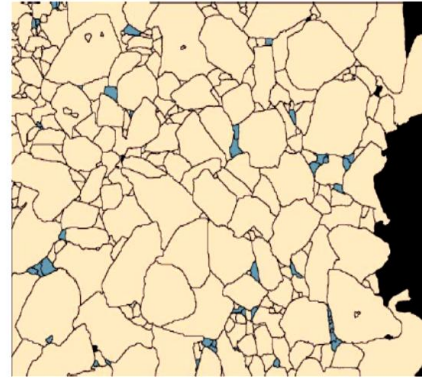
Problema	Objetivos	Variables	Metodología
<p>¿Cuál es la influencia de la cantidad de mineral removido en el costo del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica en una mina de oro en Hualgayoc, Cajamarca 2023?</p>	<p>Objetivo General: Determinar la influencia de la cantidad de mineral removido en el costo del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica en una mina de oro en Hualgayoc, Cajamarca 2023.</p> <p>Objetivos Específicos: a) Describir los parámetros del diseño de malla empleado para iniciación pirotécnica y electrónica. b) Evaluar la cantidad de mineral removido, fragmentación p80 y niveles de vibración obtenidos en la voladura con iniciación pirotécnica y electrónica. c) Evaluar el costo del explosivo por voladura para cada tipo de iniciación.</p>	<p>Cantidad de mineral removido</p> <p>Costos del explosivo voladura iniciación pirotécnica y electrónica</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Nivel de investigación: Descriptivo.</p> <p>Diseño de investigación: No Experimental.</p> <p>Método de investigación: Científico.</p> <p>Población: Todos los proyectos de voladura de la mina en estudio en el año 2023</p> <p>Muestra: 19 proyectos de voladura donde se realizó 2 335 taladros para la voladura con iniciación pirotécnica y los 22 proyectos de voladura donde se ejecutaron 2 335 taladros para la voladura con iniciación electrónica.</p>

ANEXO N° 02: Matriz Operacionalización de la variable

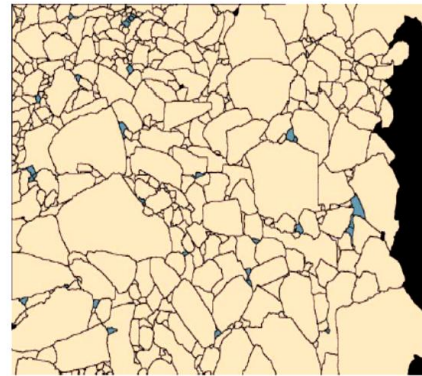
Variable	Tipo	Dimensión	Indicador	Índice
Cantidad de mineral removido	Independiente	Incremento de la cantidad de mineral removido	Capacidad Granulometría p80 Vibración	TM, pulgadas, PPV
Costos del explosivo por voladura con iniciación pirotécnica y electrónica	Dependiente	Mayor costo	Dólares	\$

ANEXO N° 03: Informe de granulometria del mineral

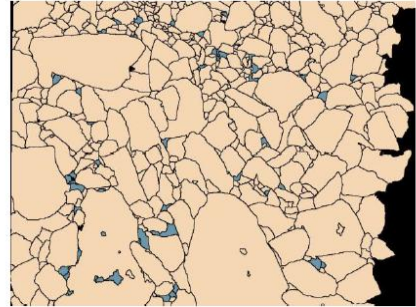
P100	6.69 in
P90	5.83 in
P80	5.31 in
P50	4.09 in
P20	2.32 in



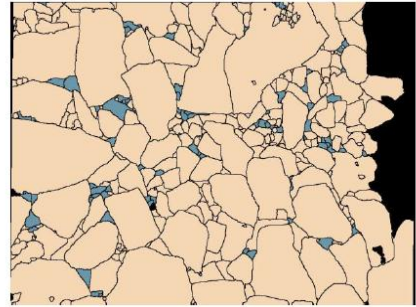
P100	7.80 in
P90	6.34 in
P80	5.83 in
P50	3.35 in
P20	1.93 in



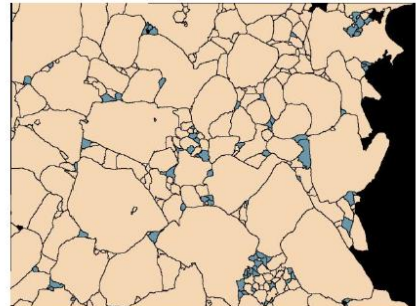
P100	10.67 in
P90	10.31 in
P80	6.42 in
P50	3.94 in
P20	2.28 in



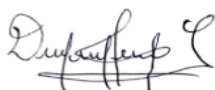
P100	9.06 in
P90	7.36 in
P80	5.98 in
P50	4.09 in
P20	2.17 in



P100	7.09 in
P90	6.97 in
P80	6.50 in
P50	4.80 in
P20	2.28 in



ANEXO N° 04: Matriz de evaluación expertos

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	"Influencia del tonelaje de mineral removido en los costos de operación en voladura con iniciación pirotécnica y electrónica en una mina de oro en Hualgayoc - Cajamarca, 2023"			
Línea de investigación:	Desarrollo sostenible y Gestión empresarial			
El instrumento de medición pertenece a las variables:	Costos de operación en voladura con iniciación pirotécnica y electrónica			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
Nombre completo: DALILA JULCA LOPEZ DNI: 72175455 Profesión: Docente Grado: Ingeniero de Minas		 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> Firma		

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	"Influencia del tonelaje de mineral removido en los costos de operación en voladura con iniciación pirotécnica y electrónica en una mina de oro en Hualgayoc - Cajamarca, 2023"
Línea de investigación:	Desarrollo Sostenible y Gestión Empresarial
El instrumento de medición pertenece a las variables:	Costos de operación en voladura con iniciación pirotécnica y electrónica


Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.

Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:

Ninguna

Nombre completo: Víctor Eduardo Alvarez León
 DNI: 18034429
 Profesión: Metalurgista
 Grado: Ingeniero Metalurgista


 Víctor E. Alvarez León
 ING. METALURGISTA
 R. CIP. 132270
 Firma

ANEXO N° 05: Fichas instrumentales

*Ficha instrumental - Parámetros de diseño de malla***FICHA INSTRUMENTAL**

Parámetros de malla de Producción		
Tipo de roca		
Malla		
Tipo de malla		
Explosivo		
Burden		
Espaciamiento		
Sobre perforación		
Altura de banco		
Altura de taladro		
Díámetro de broca		
Total de taladros		

Nota: Elaboración propia.

*Ficha instrumental - Costos***FICHA INSTRUMENTAL**

Fecha	Hora	Costos			Tonelaje
		Insumos	Mano de Obra	Equipos	Material Fragmentado (TN)

Nota: Elaboración propia

Ficha Instrumental – Vibraciones

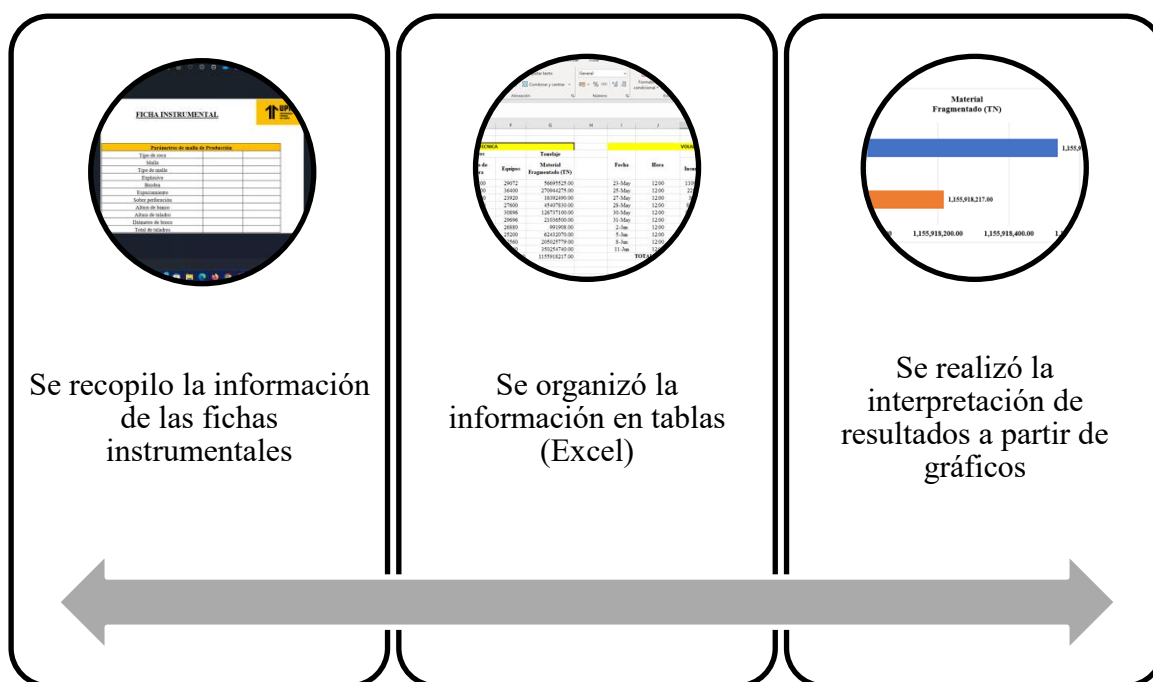
FICHA INSTRUMENTAL



Fecha	Densidad de Explosivo (gr/cc)	VPP (mm/s)	Frecuencia (Hz)

Nota: Elaboración propia.

ANEXO N° 06: Secuencia de procesamiento de datos



Nota: Elaboración propia.

ANEXO N° 07: Data de la investigación

INICIACION PIROTECNICA

N° Banco	Proyecto	Altura de banco (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	N° taladros	Cantidad de mineral removido * (TM)	Cantidad de explosivo (kg)	Cantidad de explos/taladro (kg)	
1	3990	105	10	5,20	6,00	105	81 900,00	33 330	317,43
2	4090	203	10	5,20	6,00	108	84 240,00	38 895	360,14
3	4100	181	10	4,11	4,75	58	28 308,00	10 465	180,43
4	3990	107	10	5,20	6,00	164	127 920,00	50 580	308,41
5	4100	180	10	3,60	4,00	89	32 040,00	13 846	155,57
6	3990	108	10	5,20	6,00	154	120 120,00	51 490	334,35
7	3990	109	10	3,68	4,30	64	25 024,00	16 490	257,66
8	4010	215	10	5,40	6,20	52	43 524,00	6 825	131,25
9	4030	218	10	3,90	4,50	48	21 060,00	8 062	167,96
10	3970	25	10	5,00	6,00	35	26 250,00	8 490	242,57
11	4040	251	10	3,68	4,25	261	102 051,00	50 410	193,14
12	3970	26	10	5,20	6,00	172	134 160,00	59 070	343,43
13	3990	110	10	4,98	5,75	128	91 632,00	41 650	325,39
14	4040	252	10	4,11	4,75	288	140 562,00	64 040	222,36
15	4030	219	10	5,20	6,00	93	72 540,00	29 645	318,76
16	4000	197	10	5,60	6,20	132	114 576,00	45 905	347,77
17	4040	253	10	4,11	4,75	164	80 042,00	37 195	226,80
18	3990	112	10	5,20	6,00	82	63 960,00	26 025	317,38
19	4030	220	10	4,11	4,75	138	67 353,00	35 440	256,81
						2 335	1 457 262	627 853	263,56

INICIACION ELECTRONICA

N° Banco	Proyecto	Altura de banco (m)	Burden (m)	Espaciamiento (m)	N° taladros	Cantidad de mineral removido * (TM)	Cantidad de explosivo (kg)	Cantidad de explos/taladro (kg)	
1	4060	225-227	10	5,41	6,25	128	108 200,00	31 110	243,05
2	4000	201	10	5,20	6,00	6	4 680,00	1 820	303,33
3	4070	211	10	5,20	6,00	17	13 260,00	3 245	190,88
4	4070	210	10	5,20	6,00	68	53 040,00	18 610	273,68
5	4010	216	10	3,40	4,00	30	10 200,00	6 750	225,00
6	4060	230	10	5,20	6,00	30	29 640,00	11 220	374,00
7	4060	231	10	5,20	6,00	173	134 940,00	54 272	313,71
8	4020	225-227	10	4,33	5,00	171	92 554,00	36 935	215,99
9	4040	255	10	5,20	6,00	62	48 360,00	15 165	244,60
10	4070	212	10	5,41	6,25	24	20 288,00	7 195	299,79
11	4030	230	10	5,20	6,00	109	85 020,00	32 925	302,06
12	4090	206	10	5,41	6,25	256	216 400,00	75 386	294,48
13	4100	182	10	5,41	6,25	86	72 697,00	26 525	308,43
14	4020	228	10	4,33	5,00	118	63 868,00	20 865	176,82
15	4060	233	10	5,41	6,25	59	49 873,00	22 100	374,58
16	4020	229	10	4,33	5,00	104	56 290,00	22 420	215,58
17	4010	218	10	4,33	5,00	157	84 976,00	33 545	213,66
18	4060	234	10	5,41	6,25	132	111 581,00	35 920	272,12
19	4000	203	10	3,90	4,50	33	14 479,00	7 475	226,52
20	4040	256	10	5,20	6,00	65	50 700,00	17 940	276,00
21	4010	220	10	4,33	5,00	169	91 471,25	41 319	244,49
22	4050	213-214-215	10	5,20	6,00	338	263 640,00	116 495	344,66
						2 335	1 676 157	639 237	269,70

ANEXO N° 08: *Resumen diseño de la malla de perforación y voladura con Iniciación pirotécnica*

Parámetros de malla de Producción		
Tipo de roca	IV	
Malla	5,30 x 6,10	m
Tipo de malla	Triangular	
Explosivo	MEQ-QUANTEX 73	
Burden	5,20	m
Espaciamiento	6,0	m
Sobre perforación	1,0	m
Altura de banco	10	m
Altura de taladro	10,0	m
Diámetro de broca	7 7/8"	pulgadas
Total de taladros	2 335	Unid.

Nota: El tipo de roca se mide a través del índice de calidad RMR conocida también como clasificación geomecánica de Bieniawski, cuyas puntuaciones oscilan entre 0 y 100. El tipo de roca IV tiene una puntuación RMR cuyo valor oscila entre 21-40 que le corresponde a una calidad de roca MALA-SEMI FRACTURADA (González y Martínez, 2017). Las medidas de la malla de perforación y voladura que se muestran en la tabla 3, son valores promedios burden x espaciamiento de los 19 proyectos de voladura en estudio con iniciación pirotécnica.

ANEXO N° 09: *Resumen diseño de la malla de perforación y voladura con Iniciación electrónica*

Parámetros de malla de Producción		
Tipo de roca	IV	
Malla	5,30 x 6,10	m
Tipo de malla	Triangular	
Explosivo	MEQ-QUANTEX 73	
Burden	5,30	m
Espaciamiento	6,10	m
Sobre perforación	1,0	m
Altura de banco	10	m
Altura de taladro	10,0	m
Diámetro de broca	7 7/8	"
Total de taladros	2 335	Unid.

Nota: El tipo de roca IV tiene una puntuación RMR cuyo valor oscila entre 21-40 que le corresponde a una calidad de roca MALA-SEMIFRACTURADA. (González y Martínez, 2017). Las medidas de la malla de perforación y voladura que se muestran en la tabla 4, son valores promedios burden x espaciamiento de los 22 proyectos de voladura en estudio con iniciación electrónica.

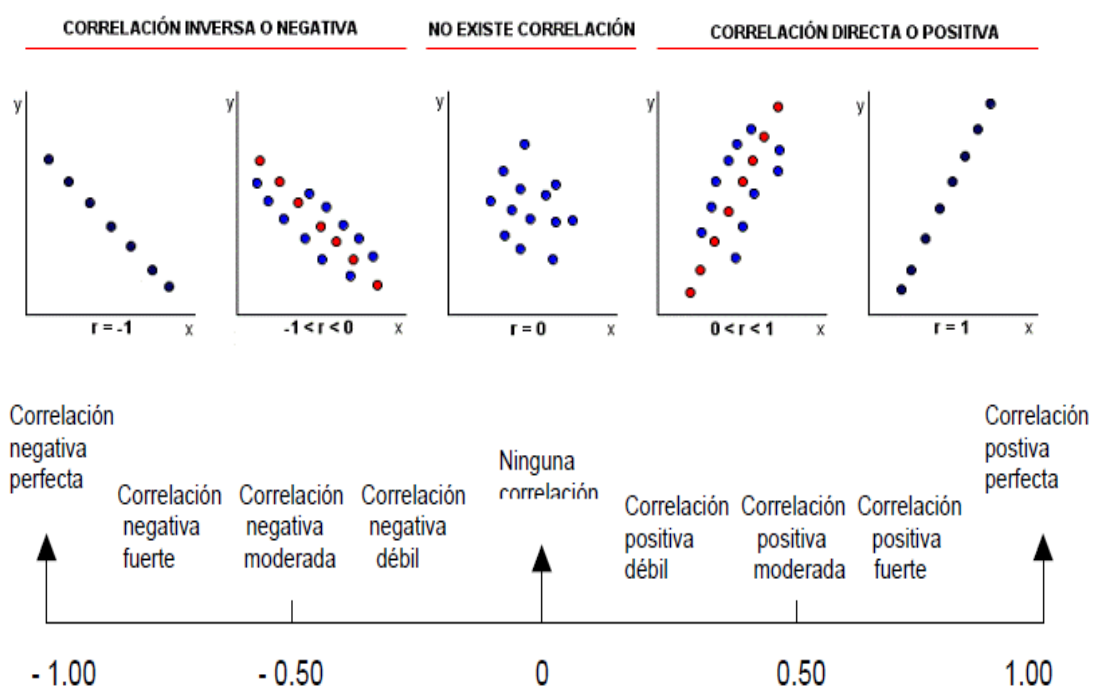
ANEXO N° 10: Niveles de vibración.

Fecha	SISTEMA PIROTÉCNICO			SISTEMA ELECTRÓNICO		
	Densidad Explosivo (gr/cc)	VPP (mm/s)	Frecuencia (Hz)	Densidad Explosivo (gr/cc)	VPP (mm/s)	Frecuencia (Hz)
22-Apr	1,10	18,05	16,00	1,12	9,70	7,60
27-Apr	1,11	13,03	18,00	1,14	9,90	7,90
30-Apr	1,11	8,65	7,40	1,14	2,90	4,00
3-May	1,11	19,06	18,00	1,15	14,30	9,30
5-May	1,09	13,59	9,00	1,15	10,00	6,00
7-May	1,11	17,25	18,00	1,13	14,70	10,00
10-May	1,11	9,32	8,50	1,12	7,88	12,00
12-May	1,09	10,98	7,00	1,12	10,31	7,00
16-May	1,09	16,25	8,50	1,14	13,30	12,00
20-May	1,09	8,28	8,10	1,14	8,60	6,00
PROMEDIO		13,446	11,85	PROMEDIO	10,159	8,18

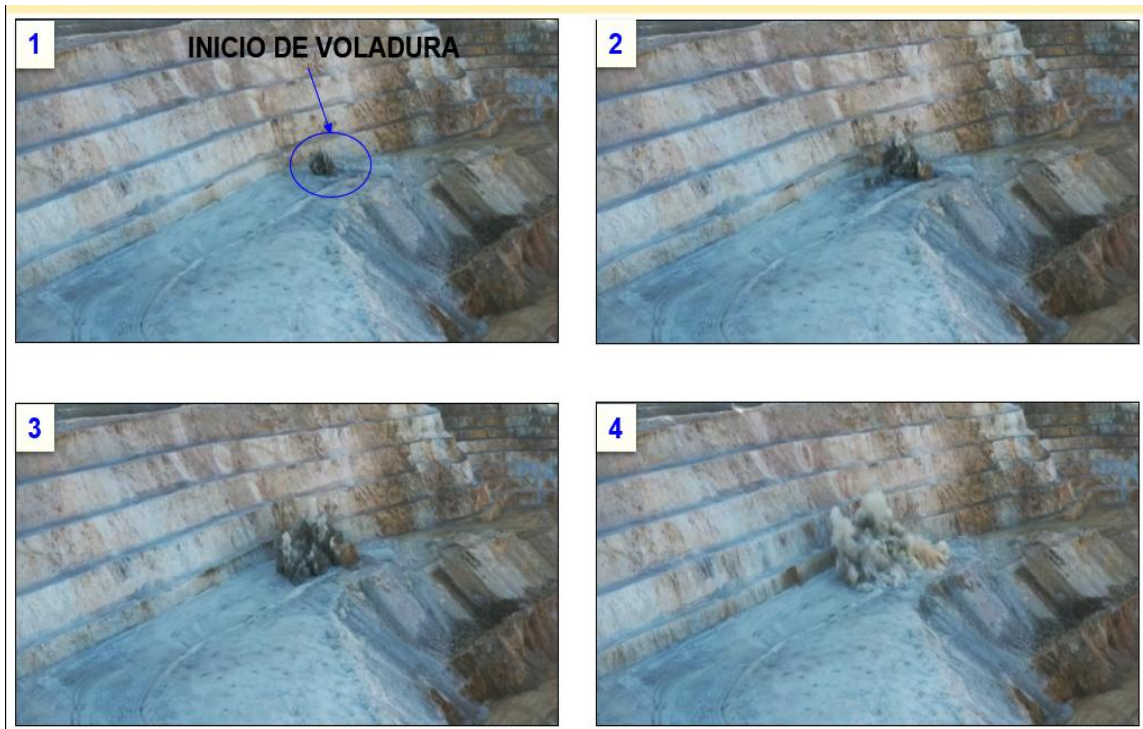
Nota: *VPP: Velocidad Pico Partícula.

ANEXO 11: Coeficiente de correlación múltiple R y su interpretación

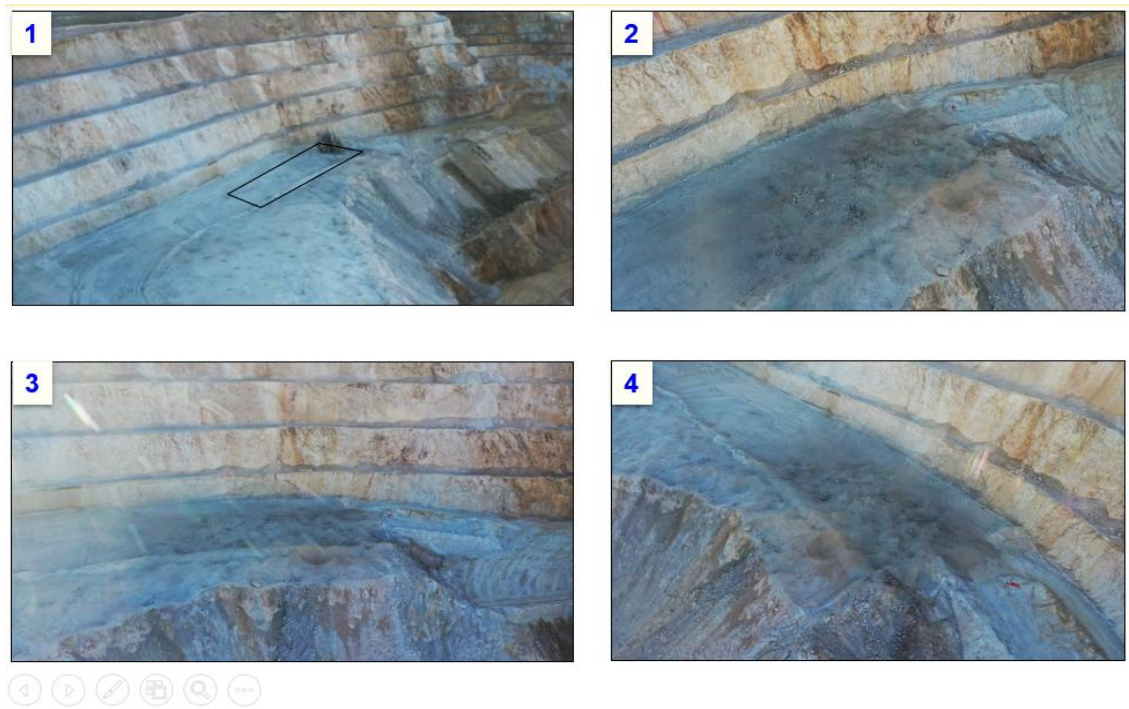
R	INTERPRETACIÓN
De ± 0.01 a ± 0.19	Correlación Muy Baja
De ± 0.20 a ± 0.39	Correlación Baja
De ± 0.40 a ± 0.69	Correlación Moderada
De ± 0.70 a ± 0.89	Correlación Alta
De ± 0.90 a ± 0.99	Correlación Muy Alta
+1	Perfecta Positiva
-1	Perfecta Negativa
0	Correlación Nula



ANEXO N° 12: Información fotográfica



Fotos 1,2,3 y 4: Inicio de voladura con iniciación pirotécnica




Fotos 1,2,3 y 4: Inicio de voladura con iniciación electrónica

ANEXO N° 13: Detonador electrónico Daveytronic



ANEXO N° 14: Procedimiento detonación pirotécnica.

	DETONACIÓN PIROTÉCNICA		
	ÁREA: VOLADURA	Versión : 00	
	CÓDIGO: AAQSA-OPE-PETS-05	125	

1. PERSONAL

- 1.1. Supervisor de voladura
- 1.2. Supervisor de Seguridad.
- 1.3. Operador de equipo auxiliar.
- 1.4. Operario de camión furgón.
- 1.5. Operario de piso

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**2.1. Equipo Básico:**

- 2.1.1. Casco de seguridad
- 2.1.2. Barbiquejo
- 2.1.3. Lentes de seguridad (Claros y/o oscuros)
- 2.1.4. Overol
- 2.1.5. Chaleco con cinta reflectiva
- 2.1.6. Guantes
- 2.1.7. Zapatos de seguridad
- 2.1.8. Protector solar.

2.2. Equipo Específico: Según: labor, exposición y factor climático:

- 2.2.1. Protector respiratorio Respirador de media cara con filtro mixto (polvo, gases).
- 2.2.2. Protector auditivo (tipo copa o tapones descartables)
- 2.2.3. Overol térmico (Según temperaturas bajas).

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

3.1. Materiales

- 3.1.1. Línea silenciosa. De 500 m o 700 m
- 3.1.2. Plano de secuencia del amarre pirotécnico.
- 3.1.3. IPERC continuo (firmado y revisado por personal de supervisión)

3.2. Equipos

- 3.2.1. Camioneta furgón.
- 3.2.2. Equipos de comunicación: radio Handy portátil
- 3.2.3. Starter. (Equipo de inicio de la línea silenciosa)

3.3. Herramientas:

- 3.3.1. Cuchilla pico de loro.
- 3.3.2. Tijera de corte.
- 3.3.3. Plumón.
- 3.3.4. Cinta aislante.

PROCEDIMIENTO

4.1. Amarre para iniciación pirotécnica

- 4.1.1. Todos los trabajos de manipulación de explosivos serán realizados por personal capacitado en uso de explosivos y deberán contar con su carnet SUCAMEC vigente.
- 4.1.2. Se debe contar con las hojas MSDS en el punto de trabajo.
- 4.1.3. Realizar el amarre de los detonadores no eléctricos a la línea de disparo siempre revisando que el tubo de choque no tengas golpes o cortes que pongan en riesgo la secuencia de salida de inicio a fin.
- 4.1.4. Los tubos de choque que se encuentran en superficie, serán conectados en retardos de superficie y estos a su vez serán conectados a la línea de disparo. En cada conector solo se colocará 6 tubos de choque como máximo.
- 4.1.5. Se utilizará dos retardos de superficie como mínimo por seguridad para la iniciación pirotécnica en troncal y entre filas.
- 4.1.6. El personal debe de conectar los tubos de choque en el conector asegurándose el encroche entre el tubo de choque con el fulminante para asegurar su detonación.
- 4.1.7. De producir un corte a la línea se debe comunicar inmediatamente al supervisor de voladura para darle solución al corte, o en su defecto señalar e identificar el número de taladro.

- 4.1.8. Verificar el plano de conexión o diseño del amarre para ubicar el correcto punto de inicio. Cuando se realicen voladuras simultaneas de 2 o más proyectos, analizar la secuencia de salida de los mismos para evitar posibles tiros cortados.
- 4.1.9. Acorde al diseño se colocarán los conectores y sus colas para dar un orden en malla.
- 4.1.10. Si por alguna razón el largo de los tubos es insuficiente para la conexión, se debe recurrir a tubos con retardo de superficie y se empalmara con otro tubo de choque.
- 4.1.11. El personal responsable de tener material sobrante debe comunicar para su retiro y realizar el orden y limpieza.
- 4.1.12. Utilizar retardos superficiales para la conexión de la línea troncal de acuerdo al diseño de voladura aprobado en el protocolo.
- 4.1.13. Terminada la conexión el supervisor de voladura o personal designado realiza una inspección física (tacto), visual de cada uno de los puntos de conexión tomando las precauciones para no pisar ni enredar con los pies los tubos, se marcará con plumón cada conector superficial con una marca (raya) en el cuello del conector y numeración de los testigos, quedando registrado la verificación del amarre.
- 4.1.14. La conexión de los amarres de la malla de voladura se filmará con una cámara digital como evidencia del correcto amarre del total de taladros.
- 4.1.15. Se asegurará con cinta aislante la troncal y los puntos de unión entre filas.
- 4.1.16. Antes de extender la línea silenciosa los accesos deben estar cerrados por los vigías de voladura y totalmente libre de transito de equipos y unidades.
- 4.1.17. Asegurar con cinta aislante el punto de contacto del conector del tubo de la línea silenciosa con los tubos receptores del punto inicio de detonación (primer taladro).
- 4.1.18. Por cada disparo se debe contar con 04 rollos de línea silenciosa como mínimo, para estar listos en caso se produjera algún corte de línea o una segunda detonación.
- 4.1.19. Se encuentra prohibido correr al realizar el proceso de tendido de línea silenciosa.

4.2. Inicio de precorte y/o secundario.

- 4.2.1. Se utilizará la cuchilla pico de loro y/o tijera de corte en caso se requiera cortar cordón detonante, se debe utilizar guantes anti corte, se debe mantener la cuchilla retraída cuando no se utilice y no se debe exponer las manos a la línea de fuego cuando se utilice la cuchilla pico de loro y/o tijera.
- 4.2.2. Se conectará el fulminante de la línea silenciosa al tubo de choque que cuente con fulminante potencia N°12 u 8 que dará inicio al cordón detonante.
- 4.2.3. En caso de mallas con taladros de precorte con producción, realizar las conexiones analizando la secuencia de salida en la que los taladros de precorte detonen antes que los taladros de producción.
- 4.2.4. Revisar en la secuencia de salida según protocolo aprobado.

4.3. Tendido de línea silenciosa

- 4.3.1. Caminar por lugares libres de obstáculos. Identificar niveles y desniveles. Tomar la distancia prudente de 1 a 2 metros de separación de talud y cresta.
- 4.3.2. En el Meeting se comunicará la dirección donde se tenderá la línea silenciosa.
- 4.3.3. Antes de extender la línea silenciosa los accesos deben estar cerrados y totalmente libre de tránsito de equipos y unidades con los vigías de voladura.
- 4.3.4. Por cada disparo se debe contar con cuatro rollos de línea silenciosa, para estar listos en caso se produjera algún corte de línea.
- 4.3.5. El supervisor de voladura "ENAEX 01" verificará el extendido de la línea silenciosa y que el percutor/Starter esté en perfectas condiciones.
- 4.3.6. Se encuentra prohibido correr al realizar el proceso de colocación de línea silenciosa.
- 4.3.7. La línea silenciosa que sobra de la voladura se percute inmediatamente para que quede un tubo inerte sin explosivo.

4.4. Ubicación de punto de disparo

- 4.4.1. El personal debe estar capacitado y entrenado.

- 4.4.2. Se verificará en el plano de evacuación del proyecto la zona más idónea para realizar el disparo en campo.
- 4.4.3. En el Meeting se comunicará la dirección donde se tenderá la línea silenciosa.

4.5. Detonación de proyecto





- 4.5.1. El personal involucrado en la detonación una vez llegado a su punto alistará el equipo de inicio de disparo tiempo que dependerá de la cantidad de línea silenciosa.
- 4.5.2. El supervisor de voladura "Enaex 01" dará la autorización para conexión de la línea silenciosa al percutor o equipo iniciador para voladura no eléctrica.
- 4.5.3. El supervisor de voladura "Enaex 01" comunicara a (O1) para iniciar con el chispeo del disparo. El disparador procederá a tener preparado el percutor/starter para el chispeo y tomar el tiempo de espera para la detonación.
- 4.5.4. El supervisor de voladura "Enaex 01" dará la orden de fuego a través de una cuenta regresiva de 5, 4, 3, 2, 1, "fuego", donde el disparador procederá a ejecutar el disparo.
- 4.5.5. Transcurrido un tiempo de 5 minutos y según evaluación del supervisor de voladura "Enaex 01" dará la autorización de ingreso al proyecto volado para su verificación.
- 4.5.6. Después del disparo se recoge la línea silenciosa que fue utilizada para el disparo y se coloca en la zona de residuos del polvorín.

5. RESTRICCIONES

- 5.1. En alerta naranja se paraliza los trabajos de manipulación de explosivos.
- 5.2. En caso de alerta roja, se cierra los accesos con unidades móviles con vigías de voladura según el radio de influencia.
- 5.3. Una vez pasado a alerta amarilla se procederá a detonar el proyecto de voladura.
- 5.4. Estar atento a las alertas de tormentas, las unidades con carga de explosivos y accesorios se llevará al proyecto de voladura o polvorines según sea su cercanía,


coordinar el recojo de personal. Los equipos que transportan explosivos y/o accesorios no están autorizados como refugios si se encuentra portando materiales de voladura (explosivos, accesorios).

- 5.5. No usar Celular durante la tarea. Paralizar toda acción para hacer uso de dicho equipo. Si esta fatigado, auto medicado, o con síntomas de salud anormal, paralice la labor y comunique al supervisor.
- 5.6. No usar Herramientas hechizas, o reacondicionadas para la labor.
- 5.7. Detener toda actividad si algún equipo presenta condiciones sub estándares que pongan en riesgo la integridad personal, medio ambiente o equipos/vehículos.
- 5.8. Si no hay las condiciones seguras para la labor, tiene el derecho a decir NO.
- 5.9. No está permitido realizar dicha labor bajo los efectos del alcohol, drogas y/o estupefacientes, tampoco está permitido fumar.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Daniel Chambi Ocsa SUPERVISOR DE VOLADURA	 Marco Queque A. SUPERVISOR DE VOLADURA	 Henry Gomez Huancahuire SUPERVISOR SSOMA	 Oscar Lara N. JEFE DE SERVICIO
Daniel Chambi Ocsa	Marco Queque A.	Henry Gomez H.	Oscar Lara Negron
Supervisor de Voladura	Supervisor de Voladura	Supervisor de seguridad	Jefe de servicios
Fecha de Aprobación: 14/11/19			Fecha de Aprobación: 14/11/19

Nota: Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro Detonación Pirotécnica - Enaex.

ANEXO N° 15: Procedimiento detonación electrónica

	DETONACION ELECTRONICA	
	ÁREA: VOLADURA	Versión: 00
	CÓDIGO: AAQSA-OPE-PETS-06	Página: 112 - 9

1. PERSONAL

- 1.1. Programador de disparos electrónicos: Personal encargado de realizar la programación, testeo, instalación y detonación de detonadores Electrónicos.
- 1.2. Supervisor de Voladura: Supervisor responsable de la voladura.
- 1.3. Supervisor SSOMA: Supervisor encargado de la ubicación de los vigías.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**2.1. Equipo Básico:**

- 2.1.1. Casco de seguridad.
- 2.1.2. Lentes de seguridad (Claros y/o oscuros).
- 2.1.3. Chaleco con cinta reflectiva.
- 2.1.4. Guantes Hyflex.
- 2.1.5. Zapatos de seguridad.
- 2.1.6. Protector solar.

2.2. Equipo Específico: Según: labor, exposición y factor climático:

- 2.2.1. Protector respiratorio (polvo/gas),
- 2.2.2. Protector auditivo (a 30 metros de perforadora u otro equipo similar).
- 2.2.3. Overol térmico (Según temperaturas bajas).
- 2.2.4. Ropa de agua (Según condiciones climáticas).

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES

3.1. Equipos:

- 3.1.1. 01 Daveytronic Remote Blaster (DRB).
- 3.1.2. 01 Daveytronic Blast Driver (DBD).
- 3.1.3. 02 Unidades de Programación (PU's).
- 3.1.4. 02 antenas.
- 3.1.5. Trípode.
- 3.1.6. Radio comunicación.
- 3.1.7. Camioneta.
- 3.1.8. Teléfono celular.
- 3.1.9. Conectores bidireccionales.
- 3.1.10. Caja Protectora de DBD.
- 3.1.11. T de Cu (puesta a tierra).

3.2. Herramientas:

- 3.2.1. Alicata Pelacables

3.3. Materiales:

- 3.3.1. Cinta aislantes
- 3.3.2. Plano de evacuación.
- 3.3.3. Planos de secuencia de iniciación (plano de amarre, secuencia y tiempo.)
- 3.3.4. Cable de amarre M-35

4. PROCEDIMIENTO

4.1. El día anterior al disparo verificar el funcionamiento de los equipos Daveytronic a utilizar (auto test, simulación de disparo con dummy) a través del Check List Diario Equipos Daveytronic SP, con código "FOR-AT-EN-002".

4.2. Revisar que cada set contenga:

- 01 Daveytronic Remote Blaster (DRB).
- 01 Daveytronic Blast Driver (DBD)
- 02 Unidades de Programación (PU's).
- 02 a 04 antenas.
- Accesorios adicionales (cargador para camioneta, Tarjeta RFID de disparo).

4.3. Luego se deberá cargar completamente todos los equipos y dejarlos listos para el día del Disparo.

4.4. Coordinaciones previas

- 4.4.1. Comunicar y coordinar el trabajo a ejecutar, la zona de la ubicación del DBD y el punto de disparo (lugar donde se realizará la detonación) con el Supervisor de Voladura y el Supervisor SSOMA (esta zona debe estar en un lugar seguro, fuera del radio de influencia de la voladura para personas).

4.5. Realizar la Identificación de Peligros Evaluación de Riesgos y Control (IPERC) correspondiente.

4.6. Programación de detonadores:

- 4.6.1. Las PU's deben ser tagueadas con la DBD en modo manual. En este modo manual uno crea la secuencia de programación de acuerdo como le permita la operación en malla.
- 4.6.2. Abrir el conector que posee el detonador Daveytronic y conectarlo en los terminales de conexión de los conectores de la Pu.
- 4.6.3. Para programar digite el tiempo de retardo de acuerdo al plano de tiempos, luego presione ENTER. El número de orden será asignado automáticamente por la PU. En la PU mostrará el mensaje: "Programando OK" lo que significa que quedará grabado en la memoria de la PU la secuencia de programación, el ID del detonador y el tiempo asignado. La

PU queda lista para programar el siguiente detonador. Una vez que el detonador ha sido programado, el tiempo de retardo puede ser cambiado de ser necesario, por ejemplo, en caso de equivocación o cambio de secuencia en terreno. Esto se realiza con la opción "leer" luego presionar (enter) para cambiar el tiempo. Otra forma de cambiar los tiempos es entrando a la Opción "Lista" + "Plan de Disparo" luego cambiar el tiempo de cualquier detonador.

- 4.6.4. Luego de la programación siempre los detonadores deben volver a cerrarse.
- 4.6.5. Anotar cualquier problema que se pueda encontrar al momento de la programación en el plano impreso de acuerdo a la simbología que se tiene para la unidad.

4.7. Conexión y Testeo de Detonadores:

- 4.7.1. Para conectar los detonadores al cable de conexión (M-35), se utiliza el conector superficial, el cual debe verificar que se encuentre el número de detonador programado. Luego conectarlo al cable M35, se puede volver a abrir si es necesario para chequear y luego volver a conectar.
- 4.7.2. Una vez que todos los detonadores estén conectados a la(s) línea(s) primaria(s), éstas se unen en un solo punto y se realizan los TEST con la PU.
- 4.7.3. Realizar la medición de Fuga, entrar en la Opción "Función" + "Test" + "Test línea".
- 4.7.4. Realizar el testeo de la línea principal el cual se encuentran conectados los detonadores, en caso de que una línea primaria presente fuga mayor a 5mA, una búsqueda binaria y realizar un reemplazo (Back Up). Si al

realizar el testeo el equipo indica que existe corto circuito en alguna línea primaria (emplear función ohmímetro para localizar el corto circuito) entonces realizar una búsqueda binaria y solucionarla.

4.7.5. Cuando la medición de todas las líneas juntas es menor a 15mA. proceder a realizar la opción "Búsqueda Desconectados". Una vez finalizada la búsqueda, la PU mostrará mensajes tales como: Cero errores: Todos los detonadores programados están conectados a la línea. Proceder con el siguiente chequeo.

4.7.6. Luego de realizar la "Búsqueda Desconectados" se debe realizar el "Conteo de Detonadores", este chequeo nos indica cuantos detonadores están conectados a la línea, sin importar de que haya detonadores que no estén programados. Al realizar el conteo y esta cantidad es superior al número de detonadores programados, esto quiere decir que la diferencia de cantidades es el número de detonadores que están conectados al cable M-35 pero no están programados. En este caso se tiene que encontrar al (los) detonador(es) que no fueron programados. Una vez ubicado el detonador se procede a programarlo y volver a realizar el conteo de detonadores.

4.7.7. No se debe omitir por ningún motivo, realizar todos los TEST antes de salir al punto de disparo.

4.8. Tendido de Línea Troncal:

4.8.1. Una vez realizado los tres chequeos anteriores, unir todos los cables a un solo cable M35, que se llamará línea troncal o cable de disparo.

4.8.2. Extender el cable de disparo en una extensión que esté fuera del área de voladura (500 metros como mínimo) que será el punto de detonación con

la DRB (voladura alámbrica) o cerca del disparo para detonación remota con la DBD, dicho lugar debe ser un área segura y protegida de proyecciones o caídas de roca. Tener en consideración que de haber muchos detonadores y hay fuga alta en la malla se deberá sacar una línea trocal por PU utilizada.

- 4.8.3. Extender el cable por un lugar seguro, libre del tránsito de equipos, caída de rocas. En caso se tenga que cruzar una vía, se comunicará al Supervisor de Voladura que se procederá a cruzar la vía cuando el Supervisor de Voladura de conformidad de que ya no pasarán equipos.
- 4.8.4. En caso el disparo sea inalámbrico, instalar el trípode. Sobre el trípode colocar la caja protectora de DBD y dentro de la caja colocar el DBD con la antena instalada. El DBD debe apuntar hacia el punto de disparo coordinado anteriormente. En este punto volver a realizar los 3 test con la PU antes de conectar los cables al DBD. Si es que no presenta ningún error, proceder con la conexión de los terminales del cable al DBD.

.9. Detonación





- 4.9.1. Dirigirse al punto de disparo comunicándole al Supervisor de Voladura cuando se encuentra fuera del radio de Voladura y en el Punto de disparo.
- 4.9.2. Ya en el punto de disparo taguear la o las PU's con la DRB para pasar la información del disparo. Además, se realizará la prueba de señal y calidad.
- 4.9.3. El supervisor de voladura se encontrará en el punto de disparo, para cualquier inconveniente, y él dará la orden para el inicio de programación, en esta etapa el DRB realizará el test de Línea, Detonadores Extra y Autotest de Detonadores. Si no se presenta ningún inconveniente el DRB

dará la autorización para cargar los detonadores, se tagueará la tarjeta RFID para autorizar la carga, una vez terminado este proceso, el equipo dará la autorización para el disparo, en este momento se comunicará al Supervisor de Voladura que nos encontramos listos para el disparo, el Supervisor de Voladura iniciará la cuenta regresiva del 5 a 0, y dará la autorización para la detonación, una vez el Supervisor de Voladura de la autorización se procederá con la Detonación.

- 4.9.4. Luego de realizar el disparo esperar la autorización del Supervisor de Voladura para recoger los equipos y el cable M-35.

5. RESTRICCIONES

- 5.1. Durante tormentas eléctricas: Alerta roja y naranja suspender toda actividad, en alerta amarilla alistar todo lo necesario y comunicar al supervisor para la evacuación respectiva de la zona.
- 5.2. No usar Herramientas hechizas o reacondicionadas para la labor.
- 5.3. Detener toda actividad si algún equipo presenta condiciones sub estándares que pongan en riesgo la integridad personal, medio ambiente o equipos/vehículos.
- 5.4. Si las condiciones de luz artificial son deficientes, no realice esta labor.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
Jonathan Alvis Cjuro	Luis Iglesias Salas	Henry Gomez H.	Oscar Lara Negron
Asistente Técnico	Asistente Técnico	Supervisor de Seguridad	Jefe de servicios