



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“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 para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autores:

Carlos Lozano Quiliche

Wilson Marin Vargas Cholán

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

Dedico este presente trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y el conocimiento que me permite el haber llegado hasta este momento tan importante y fundamental para seguir completando mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su apoyo incondicional a pesar de los obstáculos que se presentaron durante el transcurso de mi formación profesional.

A mi padre, porque siempre estuvo conmigo y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento es muy especial e importante para él.

Por último y no menos importante dedico este trabajo de investigación a todos los docentes quienes supieron guiarnos para lograr nuestra formación académica de la mejor manera y así ayudarnos a cumplir nuestra meta.

Carlos Lozano

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a mis padres, Juan Félix, que desde el cielo fue una de mis motivaciones más grandes para culminar mi carrera, a mi madre Fabiola Cholan, quien día a día se esforzó para apoyarme moral y económicamente. A mis hermanos quienes me enseñaron que con esfuerzo, empeño y perseverancia se encuentra el éxito y se consigue lograr lo que uno se propone; estoy muy agradecidos con todos ya que ellos fueron mi pilar fundamental en mi formación académica.

Wilson Vargas

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza, conocimiento y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor incondicional, corrigiendo mis faltas, celebrando mis triunfos y lo más importante ayudándome a levantarme en las caídas a lo largo de mi formación profesional.

A mi hermano, que con sus consejos y su ayuda académica me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi estadía en la presente casa de estudios universitarios.

A mi padre, que siempre estuvo presente en los momentos más críticos durante esta larga trayectoria en mi vida. Y sé que está totalmente orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

Al Ing. Víctor Alvares por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de la presente tesis.

Carlos Lozano

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme el don de la perseverancia y poder alcanzar una de mis metas.

También quiero agradecer a la universidad por abrirme las puertas y haberme aceptado ser parte de ella, para así poder estudiar mi carrera, así mismo agradecer a los docentes quienes me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante y no dar pie atrás.

Mi agradecimiento también va dirigido a mi asesor de tesis Ing. Víctor Álvarez, por haberme brindado su apoyo y la oportunidad de poder recurrir a sus conocimientos y capacidad intelectual, así como haberme tenido la paciencia para asesorarme durante el desarrollo de mis tesis.

Y para finalizar agradezco a mis compañeros y amigos por motivarme y sobresalir a los obstáculos que se presentan en esta vida día a día.

Wilson Vargas

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	33
Tabla 2.....	36
Tabla 3.....	40
Tabla 4.....	43
Tabla 5.....	47
Tabla 6.....	49
Tabla 7.....	52
Tabla 8.....	54
Tabla 9.....	55
Tabla 10.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	15
Figura 2.....	16
Figura 3.....	18
Figura 4.....	19
Figura 5.....	22
Figura 6.....	39
Figura 7.....	46
Figura 8.....	51
Figura 9.....	53
Figura 10.....	66
Figura 11.....	67

## RESUMEN

La presente investigación titulada 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; nace a partir de la mejora continua que rige la industria minera en los procesos de voladura, lo cual suscita la evaluación de los indicadores de diseño, costos referentes al empleo de la iniciación pirotécnica y electrónica. Se planteó como objetivo general, evaluar el 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. Para lo cual, se utilizó el tipo de investigación aplicada con diseño experimental, cuasiexperimental. Tomando en cuenta el Instrumento 01: Base de datos – Resultados de voladura con el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca, en el mes de enero del año 2021 e Instrumento 02: Base de datos – Resultados de voladura en fragmentación con el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca, en el mes de enero del año 2021. Finalmente, en el análisis se evidenciaron los resultados consecuentes a los indicadores de diseño, explosivos y transporte, teniendo como costo \$ 19072.72 para el iniciador pirotécnico y para el sistema de iniciación electrónico un valor de \$ 19624.24. Sin embargo, por parte de producción el sistema pirotécnico presenta el valor de 4540.55 Tn/H y el electrónico el valor de 8922.38 Tn/H, concluyendo que, el sistema de iniciación electrónico es más eficaz y su empleo se compensa en la mejora de productividad; alcanzando así una optimización remota por parte del área de voladura, por ende, reduce en un 17% los costos globales de voladura.

**Palabras clave:** Iniciador electrónico, Iniciador pirotécnico, Voladura, Optimización, Costos

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Un componente esencial dentro del campo de voladura a tajo abierto es su correcta ejecución, calidad de acabado y avance óptimo, que tiene un papel determinante en el resto de las operaciones. Los defectos que se pueden provocar en el macizo rocoso implican una serie de costos posteriores en la operación que pueden verse reducidos si la voladura es efectiva (Pomaylle, 2017).

Para la obtención de una voladura efectiva, se pretende la detonación simultánea de taladros de acuerdo a los sistemas de iniciación generales (pirotécnica y electrónica), ya que es un factor determinante en la calidad de los resultados.

De acuerdo a (Paucar, 2016) con el empleo del sistema de iniciación pirotécnica (detonador ensamblado - mecha rápida) es muy difícil conseguir esa simultaneidad exacta en la detonación por cada secuencia de salida, ya que la dispersión por metro en la mecha lenta está en aproximadamente  $\pm 5$  s/m y es probable que algunos taladros no sigan la secuencia y se adelanten si es que no se tiene en cuenta la longitud mínima de mecha rápida entre secuencias de encendido; además de muchas fallas que ocurren con este sistema desde el momento de su ejecución hasta el mismo resultado de la voladura como: el encendido, tiros cortados, tiros no iniciados, tiros soplados, etcétera, comprometiendo la seguridad del personal.

El empleo del sistema de iniciación electrónica, por su parte, incide una gran capacidad de explosión que generan un disparo remoto, obteniendo así gran flexibilidad en el diseño de explosión lo cual demanda solida confiabilidad y efectiva voladura. Sin

embargo, en terrenos con líneas de agua, tiende a no detonar y proporcionar fallas en la voladura y generen costos a largo plazo. (Zenteno, 2018)

Teniendo en claro estos dos conceptos y con el fin de tener una voladura efectiva, la empresa minera en estudio hace empleo del sistema de iniciación pirotécnica y electrónica en el banco 3240, debido a que busca optimizar costos, sin poner en riesgo su operación. Presentando en primera instancia para ello resultados de voladura en taladros de producción, para luego tener conocimiento complejo acerca de los beneficios individuales de los sistemas de iniciación en el mismo terreno y la predicción de la optimización de sus costos.

En el desarrollo de dicha evaluación, se presentarán antecedentes Internacionales y Nacionales, que enmarcan nuestro contexto:

Partiendo de la idea inicial de estudio, (Salas & Yoshiro, 2017) en su trabajo de investigación “Estudio del rendimiento entre detonadores electrónicos y no eléctricos e implicancia en la economía del proceso y seguridad en tajo abierto” en Colombia; explica el rendimiento entre detonadores electrónicos y no eléctricos e implicancia en costos y seguridad, dando como aporte que el rendimiento fue en 8 % en promedio de los detonadores electrónicos frente a detonadores no eléctricos tratándose de costos, y de 1 770 TM por taladro a favor de detonadores electrónicos y de 1 692 TM por taladro para no eléctricos; a su vez se desempeñan mucho mejor en voladura de producción que en precorte, permitiendo ahorrar US \$ 180 791 al año, y US \$ 0,004 por tonelada métrica.

Por tanto, el aporte que nos brinda (Salas & Yoshiro, 2017), es que debe haber una evaluación continua en el empleo de los dos sistemas de iniciación, ya que lo beneficios que implican su aplicación varían de acorde al terreno.

(Ubillús, 2016) en su trabajo de investigación “Implementación de un nuevo sistema de iniciación electrónica en Perú, seguridad y versatilidad”, muestra las características de este sistema de detonación electrónica, demostrando su seguridad y versatilidad a través de experiencias prácticas en campo. Concluye que la mayor ventaja de los detonadores electrónicos es su calidad de exactitud, precisión y flexibilidad de programación. Y destaca las siguientes ventajas:

A raíz de la mejor excavabilidad de la pila de material volado, los tiempos de espera de los equipos de transporte son menores, aumentando de cierta manera el rendimiento de este proceso. A su vez, al alimentar al chancador primario con material más homogéneo, se reducen también los tiempos de espera en estos puntos, al no interrumpir la operación por bolones que puedan quedar atascados en estos equipos.

La mayor exactitud de los detonadores electrónicos se traduce en menores dispersiones al momento de detonar las cargas explosivas y de esta manera producir los efectos programados, evitando acoplamientos los cuales aumentan las vibraciones con todas las implicancias que esto significa.

Flexibilidad y seguridad a la hora de disparar ya que se cuenta con una gama de posibilidades de ubicación gracias a su modo “disparo remoto”.

(Paucar, 2018) en sus estudio: Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y productividad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.

Universidad Nacional del Centro del Perú; toma en consideración el estudio de (Ubillús, 2016) , y obtiene resultados positivos ya que los estudios realizados en la Minera Chinalco con respecto a la voladura con detonadores electrónicos permiten optimizar la fragmentación del macizo rocoso, reduciendo el P80 en la zona oeste 5%, zona este 16.7% con respecto a la voladura con detonadores pirotécnicos. Trayendo como consecuencia una mejora en la producción de 2.1% (zona oeste) y 7.0% (zona este) generando mayor rentabilidad para la mina”.

No obstante (Callata, 2017) en su estudio: Optimización de la fragmentación de la roca mediante las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos – U.M. Apumayo S.A.C. Universidad Nacional del Altiplano. Realizó 8 pruebas P80 el año 2014 dando como resultado un P80 de 7.9387 pulgadas, en busca de una mejor fragmentación de se aplicó el software Wip Frag 2010 para realizar 3 pruebas en el banco 4112 Proyecto 5, dando como resultado un P80 de 4.03, 3.58 y 5.38 pulgadas respectivamente, sacando un promedio de fragmentación de P80 de 3.405 pulgadas como tamaño óptimo de fragmentación.

Abordando así que el uso de sistemas de iniciación diferentes en un mismo banco reduce el factor de potencia, logrando así que la bolonería disminuya, la fragmentación sea optima y la producción continua.

Consecuentemente, a manera de colofón (Hinostroza, 2019) al tomar en cuenta las consideraciones de dichos estudios, realizó un estudio: Optimización de costos con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. En el cual demuestra la importancia del uso de los iniciadores electrónicos para la fragmentación de la roca en la zona mineralizada. Esta implementación juntamente con las modificaciones de los

parámetros en el diseño de mallas y cargas de los taladros incremento los costos de perforación y voladura, pero, al mejorar la fragmentación del macizo rocoso hasta en un 36 % se tendrá una mayor producción de mineral y reducir los costos totales del ciclo de minado”.

En la actualidad la tecnología en explosivos ha logrado alcanzar niveles que años atrás no se pensaba. Como principal testigo de ello es el desarrollo de los detonadores electrónicos de retardo programables y sus sistemas de control e iniciación. El adecuado trabajo de estos sistemas dependerá de la identificación de mejoras por parte de las empresas mineras, llevando a las empresas de servicio poder brindar calidad y confianza ya que se entrega una herramienta segura y moderna. (Huamán, 2017).

Con respecto a las definiciones teóricas y de acuerdo con lo mencionado por (INACAP, 2018), se presentan las siguientes definiciones:

Los sistemas de iniciación son aquellos elementos que permiten transferir la señal de detonación a cada pozo, asignando un tiempo de iniciación para detonar.

La selección del sistema de iniciación es un factor crítico para el suceso de tronadura. El sistema no solo controla la secuencia de iniciación de cada pozo, sino que también afecta la cantidad de vibración generada, la cantidad de fragmentación producida, el sobre quiebre y la violencia con que esto ocurre.

Existen 4 sistemas de iniciación más comunes en minería, presentados en el siguiente gráfico:

**Figura 1**

*Tipos de sistema de iniciación de voladura*



Fuente: INACAP (2018)

Los sistemas de iniciación para tronaduras a tajo abierto, se clasifican de manera general en sistema de iniciación no eléctrico (pirotécnica) y electrónica.

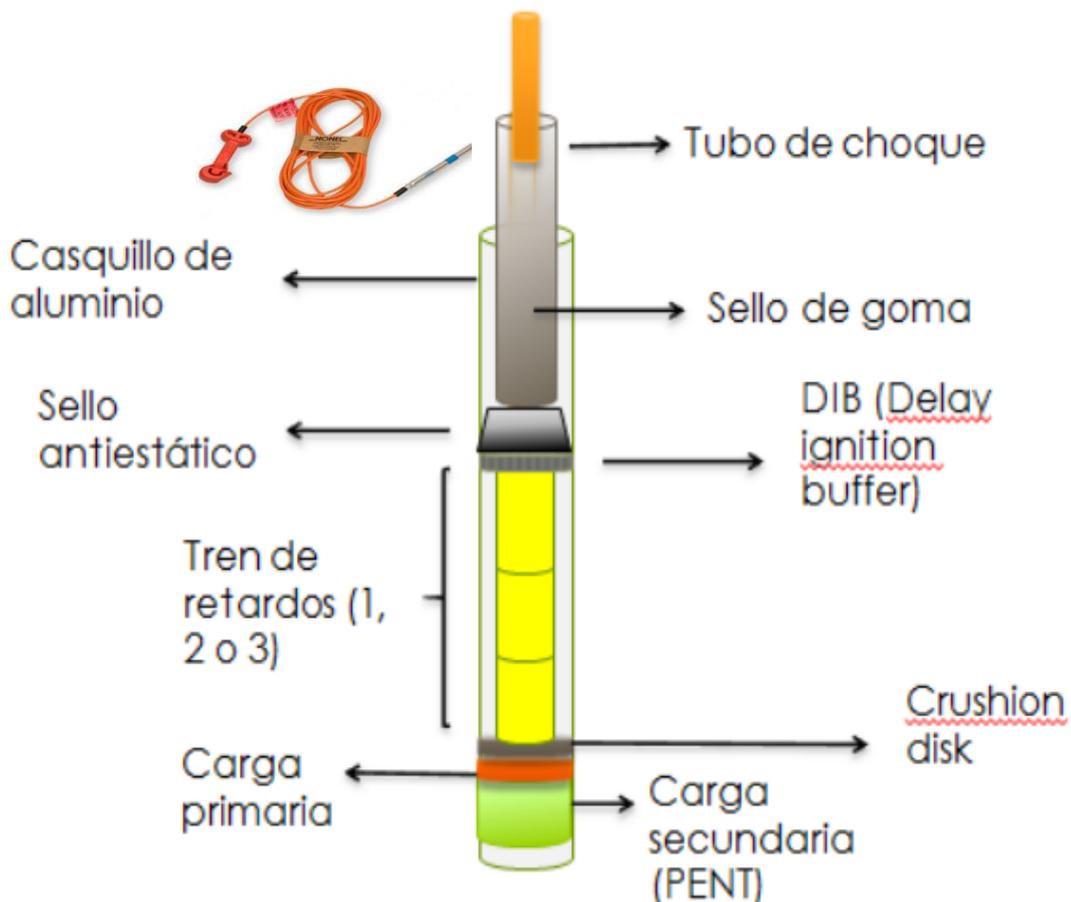
Cada sistema de iniciación lleva consigo un conjunto de accesorios para iniciar una carga explosiva, esto va a depender del tipo de señal que se quiera emitir al detonador, cabe destacar que cada sistema de iniciación lleva consigo un detonador diferente, de acuerdo a las características de esta señal, el detonador posee componentes que lo hacen sensible a este. Estos accesorios se pueden apreciar en la siguiente clasificación:

Para un mejor enfoque en el entendimiento de sus funciones con cada componente, se presentan sus definiciones:

El sistema no electrónico (pirotécnica), denominado sistema tradicional está compuesto por el detonador no eléctrico, tubo de choque, cordón detonante, conectores de superficie y línea de iniciación, tienen como característica una onda de choque de baja velocidad (aproximadamente 2000 m/s) que se propaga a través de un tubo de plástico o tubo de choque que contiene en su interior una película delgada de explosivo de 20 mg/m y es transmitida hacia el detonador. La reacción no es violenta, y relativamente silenciosa, no causando interrupción ni al explosivo ni al taco.

**Figura 2**

*Sistema de iniciación pirotécnica*



Fuente: INACAP (2018)

Este detonador cuenta con 2 cargas explosivas, una primaria de azida de Plomo y una secundaria de Pentrita, que es la responsable de la detonación del fulminante.

El crushion disk es un elemento que le otorga al detonador una mayor resistencia al impacto y la detonación por simpática, también en su fabricación de forma indirecta limpia las paredes del detonador que pudiesen quedar con carga explosiva.

El tren de retardos, que puede variar entre 1,2 y 3 dispositivos de Aluminio que según su tamaño y calidad generan un retardo en la onda que viene del tubo de choque antes de iniciar al explosivo primario.

El DIB, o Delay ignition Buffer, es un elemento con forma de rejilla, la cual cumple la función de traspasar la onda de choque en forma pareja al interior del detonador con el fin de elevar la precisión y evitar posibles fallas en su detonación.

El sello antiestático tiene como función, cuidar la carga de posibles corrientes vagabundas que pudiesen detonar el fulminante de manera prematura.

El sello de Goma, otorga una mayor protección al tubo de choque a posibles cortes, desgastes por manipulación, golpes, calor, entre otros. Recordar que es esta zona donde el tubo de choque presentar mayor flexión, por lo que este sello también ayuda a evitar este desgaste.

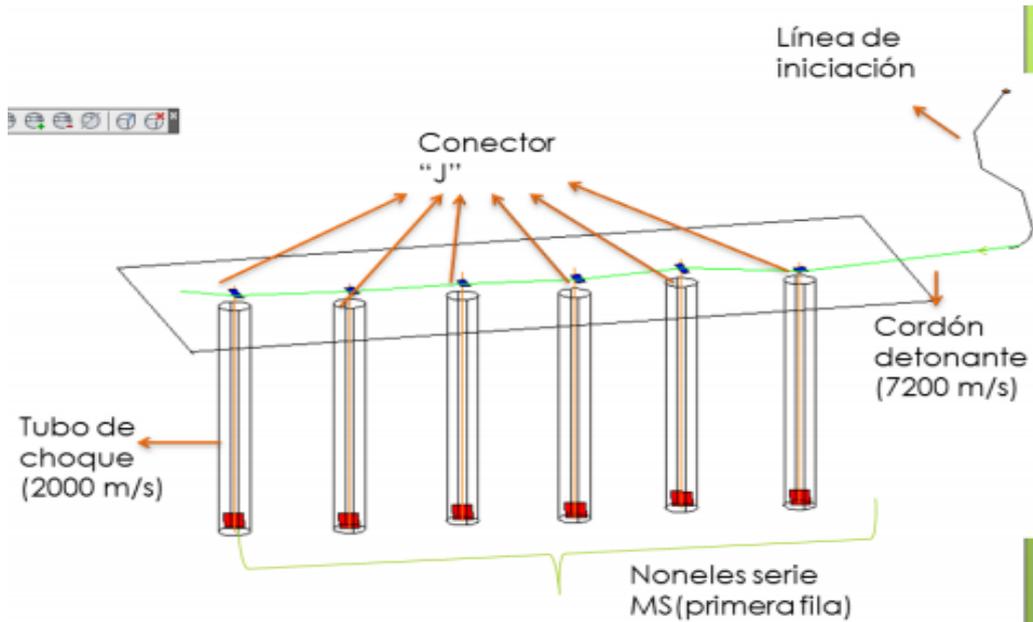
La señal proveniente del tubo de choque, penetra el DIB, esta señal se propaga de forma pareja por el interior del tren de retardos, retrasando la onda de choque según cantidad y calidad de estos trenes, para llegar a la carga primaria, detonando esta, e

iniciando la detonación de la pentrita ubicada en el fondo del fulminante, detonando este componente.

En el siguiente esquema se puede apreciar un ejemplo simple de sistema de iniciación no eléctrica tradicional y aplicación.

**Figura 3**

*Aplicación del sistema de iniciación pirotécnica*



Nota. Aplicación in situ

El sistema de iniciación electrónica tiene la particularidad de enviar una señal codificada (electrónica) para iniciar un tren de retardo, este sistema es lo último en tecnología y llego a solucionar el problema de dispersión (error) que presentan los detonadores no eléctricos (o pirotécnicos), la cual es cercana al 5%.

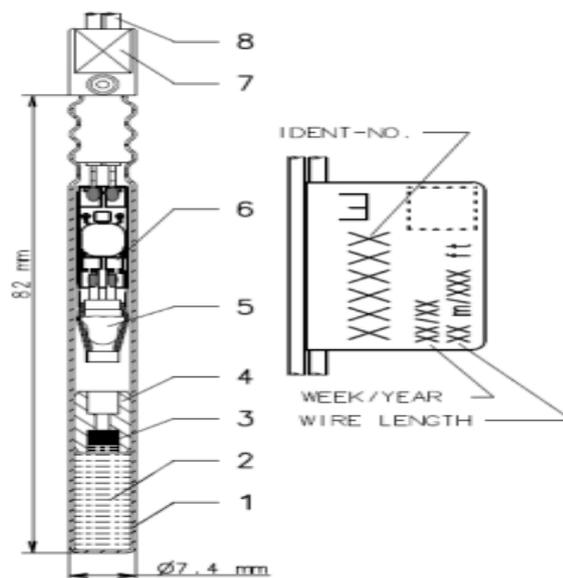
El sistema electrónico que manejan las dos grandes empresas proveedoras de explosivos en Chile, Enaex y Orica, tienen un error aproximado del 0,02% y 0,05% respectivamente.

El detonador electrónico presenta ventajas como: Inmunidad a RF, EMI y corrientes vagabundas, es completamente testeable, tiene un sistema Automatizado de Prueba, su funcionamiento es autónomo, requiere de Equipos específicos de voladura para el disparo.

Este sistema de iniciación eliminó la dispersión que presentaba la mayoría de los detonadores pirotécnicos, optimizando así diferentes parámetros post-tronadura.

**Figura 4**

*Sistema de iniciación electrónica*



Fuente: INACAP

- 1: Cápsula, de aluminio utilizada como carcasa del sistema
- 2: Carga base de Pentrita, la cual provoca la detonación del fulminante
- 3: Carga inicial, de Azida de Plomo, el cual es el elemento sensible que inicia la detonación de la pentrita
- 4: Tubo de ignición, el cual a través de un aumento en la temperatura es capaz de sobrecalentarse para iniciar la carga inicial primaria
- 5: elemento de ignición, que este recibe la señal electrónica, se sobrecalienta y comienza arder para iniciar al tubo de ignición
- 6: Circuito impreso con CHIP, es un mini procesador que almacena un tiempo de retardo configurado a través del logger, un dispositivo que permite designar tiempos de retardo y verificar si la conexión es correcta (testeo)
- 7: Sello, sirve para sostener el cable eléctrico al detonador, además de darle cierta resistencia a la flexión (en el proceso de cebado, tiende a curvarse mucho esta zona) y al desgaste al menos en los primeros centímetros desde la conexión
- 8: Leg wire (cable), actúan como transmisores de la señal electrónica al detonador eléctrico.

Los detonadores electrónicos están expuestos a riesgos propios de las condiciones de operación adversas del trabajo minero, entre los que encontramos:

- Equipos eléctricos que funcionan a altos voltajes
- Comunicaciones por radio frecuencia
- Electricidad estática
- Tormentas eléctricas

Para el presente tema investigativo, se hace uso del nuevo sistema de iniciación DigiShot Plus 4G de Dyno Nobel, el cual es líder del mercado de tecnología avanzada para tronadura que garantiza la mejor explosión, a tiempo y en cada ocasión. Ahora, el sistema es conocido por su facilidad de uso, lo que se traduce en una rápida implementación y programación que, a su vez, eliminan los costosos retrasos en la tronadura.

Teniendo como principales características: El Método de implementación de "etiquetado por plano" fácil y sencillo, la verificación automática del Tagger de que los detonadores por canal se encuentran en conformidad con la capacidad de diseño, el monitoreo de energía del detonador directo hasta el punto de tronadura, la detección autónoma y pruebas de los detonadores, la velocidad de programación es 7 veces más rápida que en los sistemas actuales, e proceso de tronadura controlado de forma inalámbrica a través del Tagger CE4 multipropósito la posición del orificio del detonador en el banco simplificada, mediante la ubicación por GPS del detonador almacenado en el Tagger CE4, permite que se almacenen 10 planos ViewShot en el Tagger CE4, la longitud máxima de cableado por canal de 16 000 m (400 detenciones por canal a 40 m).

Entre las ventajas, se reducen las fugas, la implementación es más rápida y genera menos fallas de detonación

**Figura 5**

*Digishot*



Fuente: INACAP (2018)

De acuerdo con la literatura revisada y publicada por Enaex y Orica se han resaltado los términos más utilizados en el desarrollo de la presente investigación, que a continuación, se presentan:

La altura de banco, está definida como la distancia vertical partiendo de la superficie horizontal superior hasta la inferior (de cresta a piso).

La deflagración es la reacción explosiva rápida acompañada por la formación de gases y presión de barreno y sin choque, con una velocidad de detonación menor a los 2000 m/s.

La densidad de un explosivo corresponde a su peso por unidad de volumen y se expresa en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ). Si la densidad de un explosivo es mayor que  $1,00 \text{ g/cm}^3$ , se hunde en el agua (asumiendo que el agua en él no tiene cantidades apreciables de sólidos en suspensión o sales disueltas). Si la densidad del explosivo es menor que  $1,00 \text{ g/cm}^3$ , el explosivo flota.

Detonación es la reacción explosiva que consiste en la propagación de una onda de choque a través del explosivo, acompañado por una reacción química, en la que se libera una gran cantidad de energía, gases a alta presión y temperatura.

Desacoplamiento se refiere a la práctica de usar una carga de diámetro más pequeño que la del taladro de voladura a cargar.

Desplazamiento. - Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento.

El factor de carga es la cantidad de explosivo en peso que se emplea para fragmentar una tonelada métrica de material de banco. El factor de carga se indica mediante unidades de  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{kg/ton}$ .

El factor de energía es similar al Factor de carga, pero la energía del explosivo se expresa con relación al peso o volumen de roca quebrada ( $\text{MJ/m}^3$  o  $\text{MJ/ton}$  o  $\text{Kcal/ton}$ ).

Falla es una fractura frágil a lo largo de la cual acontecen desplazamientos visibles, generalmente semejante a la superficie de esta.

Fly rock es la proyección aérea de roca no controlada, producto de exceso de carga explosiva, mal confinamiento del taladro falla en diseño de la secuencia de salida del disparo, mala calidad geológica o estructural del macizo rocoso.

La fragmentación depende del tipo de proceso de rotura y la característica de rotura natural de la masa rocosa (NBC, Natural Breakage)

Granulometría se denomina a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

La iniciación es el acto de detonar el explosivo por medio de un detonador o cualquier otro accesorio.

El sistema de iniciación electrónica, contiene el detonador electrónico, la unidad remota de configuración de pozos, la unidad de iniciación de pozos, cables y conectores. Asimismo, dentro de las funciones que cumplen estos accesorios de iniciación tenemos la: Iniciación de cargas explosivas, proporción o transmisión de la fuente de calor para iniciar una explosión, llevar la onda detonante de un punto a otro, o de una carga de explosivo a otra.

El iniciador pirotécnico (también iniciador o igniciador) es un dispositivo que contiene un compuesto pirotécnico que se utiliza principalmente para incendiar otro,

más difícil de detornarse, p. ej. termita, generadores de gases y cohetes de combustible sólido. El nombre es a menudo utilizado también para los mismos compuestos.

Los iniciadores constan generalmente de un iniciador de pentolita o un cartucho de emulsión o dinamita. El término iniciador se usa para designar la carga que inicia a la columna explosiva.

La sobre perforación es la longitud del taladro perforado por bajo nivel del arranque proyectado.

Las técnicas de voladura son procedimientos que combinan la diversidad de etapas a desarrollarse en la rotura de macizos a fin de predisponer geotécnicamente el yacimiento y facilitar la explotación del mineral.

La Velocidad de Detonación (VOD), corresponde a la velocidad con la que se propaga la detonación a través de una columna de explosivos. Dos explosivos tienen la misma potencia, pero si tienen VODs distintas podrían desempeñarse en una voladura en forma bastante diferente. Como regla general, mientras más alta la VOD, mayor la energía de choque y más baja la energía de empuje. Sin embargo, es importante no confundir la Energía de Choque con la Energía de Fragmentación. La VOD de los explosivos usados en minas de superficie varía en alrededor de 3000 m/s y 7500 m/s. La VOD.

Voladura de rocas es un proceso tridimensional, en la cual las presiones generadas por explosivos dentro de taladros originan una zona de alta concentración de energía que producen dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

Sobre la base de conceptos y aunado a la definición de optimización, la valoración monetaria de los gastos incurridos aplicados en la obtención de un bien, incluye el costo de los materiales, mano de obra y los gastos indirectos de fabricación cargados a los trabajos en su proceso. Definiendo así a la optimización como el valor reducido de los insumos que requieren las unidades económicas para realizar su producción de bienes y servicios consumidos en el proceso productivo (materias primas, combustibles, energía eléctrica, servicios, etc.). (García, 2017)

El presente trabajo de investigación se justifica en la medida en que se plantea alternativas de solución para reducir costos, evaluando para ello la aplicación del sistema de iniciación pirotécnica y electrónica en el mismo terreno (banco 3240), respetando estándares de seguridad en la ejecución de este proyecto, teniendo en cuenta la baja dispersión de tiempos; conexión independiente a la secuencia de detonación y comprobación antes del proceso de voladura de iniciación remota. Asimismo. con el término de esta tesis se busca contribuir con aplicaciones prácticas para optimizar costos en voladuras a tajo abierto.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Con la evaluación del sistema de iniciación pirotécnica y electrónica en el banco 3240 se optimizarán los costos de voladura en una empresa minera a tajo abierto, en Cajamarca 2021?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar el 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.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Determinar los parámetros de voladura en el banco 3240 de una empresa minera a tajo abierto, mediante el empleo del sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica.

Establecer los costos respecto a los parámetros de voladura en el banco 3240 de una empresa minera a tajo abierto.

Analizar los costos de voladura con el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el mes de enero del año 2021.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Al evaluar el sistema de iniciación pirotécnica y electrónica en el banco 3240 se logrará optimizar los costos de voladura. Es decir, después de la evaluación de los sistemas de iniciación de voladura en el mismo terreno en un banco, se logrará reducir en un 20% del costo global.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

Determinando los parámetros de voladura en el banco 3240 que emplean el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica, se logrará identificar factores que den paso a la optimización de costos por voladura.

Al presentar los costos por cada parámetro requerido en el empleo del sistema de iniciación pirotécnica y electrónica en la voladura del banco 3240, se logrará identificar la optimización de costos.

Con el análisis de costos de voladura del sistema de iniciación pirotécnica versus el sistema de iniciación electrónica en el mes de enero del año 2021, se determinará la optimización de costos de voladura.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo Aplicada, con diseño Experimental - Cuasiexperimental, ya que evalúa el sistema de iniciación pirotécnica y electrónica en el banco 3240 de una empresa minera a tajo abierto en Cajamarca.

De acuerdo con Hernández et al (2014), la investigación aplicada tiene por objetivo resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo.

Hernández et al (2003), la investigación experimental es aquella que tiene como propósito determinar relaciones de causa efecto. Para ello uno o más grupos son expuestos a estímulos experimentales y los comportamientos resultantes son comparados a los comportamientos de otros grupos.

(Shuttleworth, 2021) indica que el diseño cuasiexperimental consiste en la escogencia de los grupos, en los que se prueba una variable, sin ningún tipo de selección aleatoria o proceso de preselección. Por lo que, de acuerdo al tema de investigación este diseño es favorable para cumplir con los objetivos trazados.

### **2.2. Población y muestra**

#### **2.2.1. Población**

Todas las voladuras con taladro de producción en el tajo TOL de una empresa minera a tajo abierto en Cajamarca, 2021.

### **2.2.2. Muestra**

Voladuras con taladros de producción en el banco 3240, teniendo en cuenta 30 voladuras con sistema de incitación pirotécnica y 30 voladuras con sistema de incitación electrónica en una empresa minera a tajo abierto en Cajamarca en el mes de enero del año 2021.

La muestra descrita líneas arriba, pertenece al muestreo por conveniencia debido a que es una técnica de muestreo no probabilístico y no aleatorio utilizada para crear muestras de acuerdo a la facilidad de acceso, la disponibilidad de las personas u objetos de formar parte de la muestra, en un intervalo de tiempo dado o cualquier otra especificación práctica de un elemento particular. (Otzen, 2017)

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas utilizadas fueron el análisis documental y observación directa:

En el análisis documental, se investigaron antecedentes de otros trabajos de investigación relacionados con la evaluación de sistemas de iniciación para la optimización de costos, así como textos, revistas y artículos especializadas en perforación y voladura.

La observación directa, permitió visualizar en campo los resultados obtenidos en taladros de producción tanto por el iniciador pirotécnico como el electrónico.

Para la recolección de datos, se verificó la data de voladura en el banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca en el año 2021.

Los instrumentos de recolección de datos se localizan en el anexo N°1, y fueron los siguientes:

Instrumento 01: Base de datos – Resultados de voladura con el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca, en el mes de enero del año 2021.

Instrumento 02: Base de datos – Resultados de voladura en fragmentación con el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca, en el mes de enero del año 2021.

### **2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos**

Para el análisis de datos se utilizó el almacenamiento de resultados obtenidos de la data de voladura del banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca del mes de enero del año 2021, que luego de su respectivo análisis posicionamos en hojas de cálculo de Excel, para su respectivo procesamiento en tablas dinámicas y gráficos de acuerdo a cada objetivo trazado.

## **2.4. Procedimiento**

### **2.4.1. Etapa de Gabinete**

Inicialmente se recolectó información a través de la revisión de antecedentes nacionales e internacionales, utilizando para ello plataformas como EBSCO, Scopus, Dialnet y Redalyc. Asimismo, se obtuvo información de la data de voladura en el banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca en el año 2021.

#### **2.4.2. Etapa de Campo**

Se procedió a observar las voladuras, con los dos tipos de iniciadores y recoger la información de los reportes de voladura en físico (hojas manuales)

#### **2.4.3. Etapa de gabinete (análisis de datos)**

Finalmente, luego de recolectar toda información necesaria en campo se procedió a procesar y tabular de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda del programa Excel, así mismo se elaboraron cuadros comparativos de costos y gráficos de los análisis de los resultados obtenidos.

### **2.5. Aspectos éticos**

Para seguir con la resolución y protocolo que nos brinda la Universidad, el desarrollo de esta investigación se rige estrictamente mediante el uso del Manual de Redacción APA, evitando así plagios, valiéndose de una correcta situación de autores y coautores de las investigaciones antecesoras a estas.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1 Parámetros de voladura

Para la presentación de estos resultados, se tuvo en cuenta las siguientes tablas que evidencian los parámetros que necesita el empleo del sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el banco 3240 de una empresa minera a tajo abierto.

**Tabla 1**

*Parámetros de voladura en el banco 3240 con la aplicación del sistema de iniciación pirotécnica*

Sistema de Iniciación	Alt. Banco	Densidad de Diseño de Malla	Proveedor Roca	N° Taladros	Tipo de explosivo
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	120 Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	201 Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	135 Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	140 Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	50 Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	163 Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	95 Iremita

Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	126	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	184	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	105	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	218	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	323	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	130	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	299	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	174	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	283	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	207	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	178	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	114	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	106	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	219	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	350	Iremita

Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	236	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	149	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	167	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	135	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	124	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	103	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	198	Iremita
Pirotécnica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.93	Pirotécnico	209	Iremita

---

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

**Comentario:**

La tabla N°1 muestra que el diseño de malla depende directamente del tipo de voladura, en este caso corresponde a producción, asimismo de la densidad de roca, ya que el número de taladros y el tipo de explosivos remarcan la secuencia del sistema de iniciación pirotécnica.

Para el empleo del sistema de iniciación pirotécnica, se tomó en cuenta la literatura estudiada, el cual indica que el macizo rocoso con menor dureza la abastece, bajo esta base expuesta y con el objetivo de tener una evaluación concreta acatamos dicha referencia y se obtuvo mayor eficacia en cuanto a taladros de producción.

**Tabla 2**

*Parámetros de voladura en el banco 3240 con la aplicación del sistema de iniciación electrónica*

Sistema de Iniciación	Alt. Banco	Diseño de Malla	Densidad de Roca	Proveedor electrónico	N° Taladros	Tipo de explosivo
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	911	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	910	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	909	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	908	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	907	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	906	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	905	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	904	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	903	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	902	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	901	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.45	Digishot	900	70/30 Emul-Q

Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	730	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	620	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	223	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	305	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	235	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	310	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	241	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	320	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	250	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	333	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	266	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.90	Digishot	190	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	1.90	Digishot	330	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.2	Digishot	201	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	420	70/30 Emul-Q

Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2	Digishot	530	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.3	Digishot	202	70/30 Emul-Q
Electrónica	12	PROD 10 5/8 7.0 x 8.0	2.3	Digishot	206	70/30 Emul-Q

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

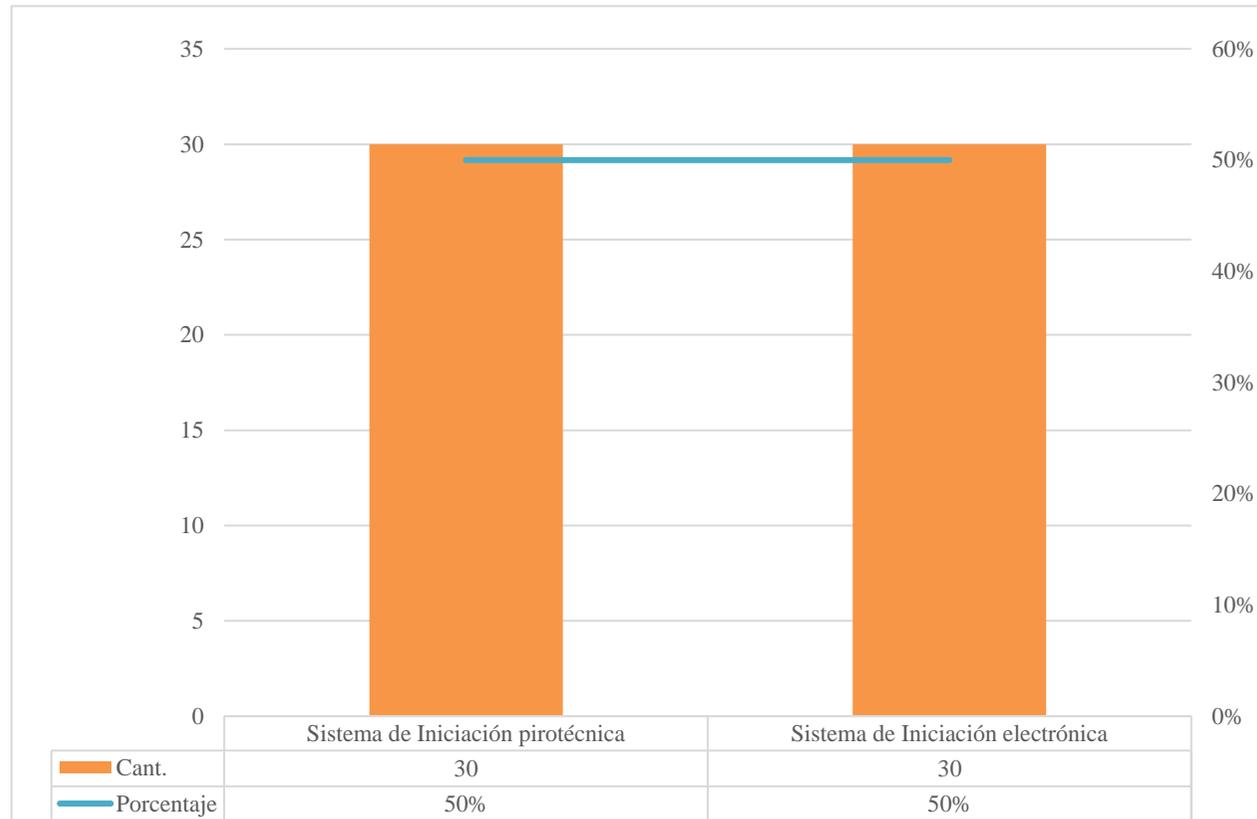
### **Comentario:**

Para tener un mejor resultado, en la tabla N°2 se evidencia el mismo diseño de malla que del sistema pirotécnico, para tener resultados exactos en producción y poder costear de manera gradual.

Para el empleo del sistema de iniciación electrónica, se tomó en cuenta la literatura estudiada, el cual hace referencia que cuando el macizo rocoso es mayor y su densidad proporcional, al tener como proveedor electrónico a Digishot y como emulsión a 70/30 Emul-Q, afianza una correcta tronadura y voladura efectiva.

**Figura 6**

*Sistema de iniciación pirotécnico y electrónico*



*Nota.* En el presente gráfico se evidencia que el empleo del sistema de iniciación pirotécnico y electrónico fue de manera simultánea, para su concreta evaluación y posterior costeo en cuanto al uso de iniciadores individuales en el mismo terreno, en este caso en el banco 3240.

**Tabla 3**

*Explosivos empleados en el sistema pirotécnico en la voladura del banco 3240 de una mina a tajo abierto*

Iniciación	Tipo de explosivo	Cant. Explosivo	Nitrato	Emulsión	FC	Tipo
Pirotécnica	Iremita	348	113.4	264	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	408	113.4	264	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	410	113.4	264	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	448	113.4	264	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	300	113.4	264	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	250	113.4	264	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	342	113.4	264	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	406	113.1	263	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	330	113.8	266	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	265	141.6	320	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	326	141.6	320	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	290	141.6	320	0.4	Producción
Pirotécnica	Iremita	254	141.6	320	0.33	Producción

Pirotécnica	Iremita	230	141.6	320	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	215	141.6	320	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	205	141.6	320	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	326	141.6	320	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	410	141.6	320	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	448	141.6	320	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	300	165	220	0.48	Producción
Pirotécnica	Iremita	250	141.6	269	0.48	Producción
Pirotécnica	Iremita	342	169.2	269	0.48	Producción
Pirotécnica	Iremita	369	113.4	264	0.48	Producción
Pirotécnica	Iremita	412	113.4	264	0.48	Producción
Pirotécnica	Iremita	415	113.4	264	0.48	Producción
Pirotécnica	Iremita	246	113.4	264	0.2	Producción
Pirotécnica	Iremita	225	113.4	264	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	320	113.1	264	0.33	Producción

Pirotécnica	Iremita	254	113.2	263	0.33	Producción
Pirotécnica	Iremita	350	113.4	264	0.33	Producción

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

### Comentario:

En la tabla N°3 se hace evidente el tipo de explosivo y cantidad de explosivo que utilizará el sistema de iniciación pirotécnico, asimismo el factor de carga que alude a referenciar el tipo de voladura que alcanza el sistema de iniciación.

De acuerdo con el enfoque, del desarrollo de nuestra investigación, la voladura para producción se utiliza en el control de exceso de sobre quiebre y ayuda en la mejora de la estabilidad.

Por otra parte, el tipo de tronadura secundario recurre a la iniciación de sistema electrónico ya que ayuda a mantener la cara del talud en un buen estado.

**Tabla 4**

*Explosivos empleados en el sistema electrónico en la voladura del banco 3240 de una mina a tajo abierto*

Iniciación	Tipo de		Nitrate	Emulsion	FC	Tipo
	explosivo	Cant. Explosivo				
Electrónica	70/30 Emul-Q	384		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481		177.8	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	415		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	440		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	445		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	472		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	415		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	415		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	182		177.8	0.4	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	440		177.8	0.4	Producción

Electrónica	70/30 Emul-Q	481	177.8	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	177.8	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	240	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	240	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	385	240	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	461	240	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	240	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	240	0.48	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	240	0.48	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	472	177.8	0.48	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	177.8	0.48	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	240	0.48	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	240	0.48	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	240	0.2	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	481	177.8	0.33	Producción

Electrónica	70/30 Emul-Q	486	177.8	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	486	177.8	0.33	Producción
Electrónica	70/30 Emul-Q	488	177.8	0.33	Producción

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

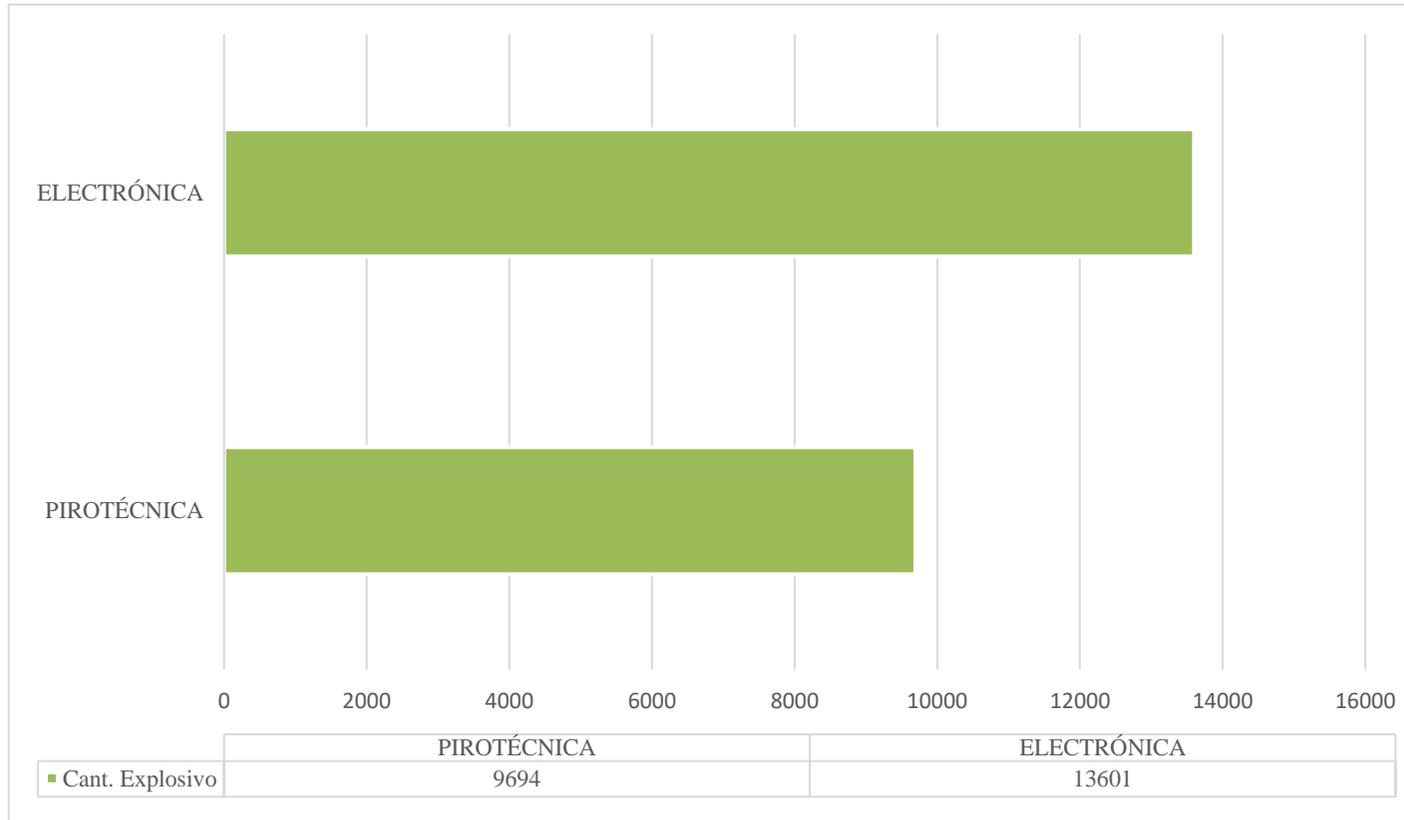
**Comentario:**

En la tabla N°4 se hace evidente el tipo de explosivo y cantidad de explosivo que utilizará el sistema de iniciación pirotécnico, asimismo el factor de carga que alude a referenciar el tipo de voladura que alcanza el sistema de iniciación.

En este caso no se hace uso del nitrato, debido a que como proveedor electrónico tiene a Digishot.

**Figura 7**

*Cantidad de explosivo de acuerdo al sistema de iniciación pirotécnico y electrónico*



*Nota.* La distribución gráfica evidencia que el sistema de iniciación electrónica requiere mayor cantidad de explosivo, debido a que al tener en cuenta la literatura estudiada es aplicada cuando el macizo rocoso presenta mayor densidad de dureza.

**Tabla 5**

*Número de taladros y tipo de camión para la voladura del banco 3240 en una mina a tajo abierto con sistema de iniciación pirotécnica*

Iniciación	N° Taladro	Kg de taladro	Camión
Pirotécnica	120	378	Q-26EXSA
Pirotécnica	201	378	Q-26EXSA
Pirotécnica	135	376	Q-26EXSA
Pirotécnica	140	377	Q-26EXSA
Pirotécnica	50	377	Q-26EXSA
Pirotécnica	163	377	Q-26EXSA
Pirotécnica	95	376	Q-26EXSA
Pirotécnica	126	377	Q-26EXSA
Pirotécnica	184	377	Q-26EXSA
Pirotécnica	105	440	Q-26EXSA
Pirotécnica	218	439	Q-26EXSA
Pirotécnica	323	440	Q-26EXSA
Pirotécnica	130	439	Q-26EXSA
Pirotécnica	299	440	Q-26EXSA
Pirotécnica	174	308	Q-26EXSA
Pirotécnica	283	440	Q-26EXSA
Pirotécnica	207	410	Q-26EXSA
Pirotécnica	178	377	Q-26EXSA
Pirotécnica	114	376	Q-26EXSA
Pirotécnica	106	377	Q-26EXSA
Pirotécnica	219	377	Q-26EXSA

Pirotécnica	350	440	Q-26EXSA
Pirotécnica	236	439	Q-26EXSA
Pirotécnica	149	440	Q-26EXSA
Pirotécnica	167	439	Q-26EXSA
Pirotécnica	135	440	Q-26EXSA
Pirotécnica	124	308	Q-26EXSA
Pirotécnica	103	408	Q-26EXSA
Pirotécnica	198	410	Q-26EXSA
Pirotécnica	209	425	Q-26EXSA

---

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

**Comentario:**

En la tabla N°5 se hace evidente el número de taladros, el kilogramo correspondiente y el camión a utilizar en el sistema de iniciación pirotécnica.

El camión seleccionado, hace referencia al frente de trabajo, el tiempo de carguío y material que lleva consigo.

**Tabla 6**

*Número de taladros y tipo de camión para la voladura del banco 3240 en una mina a tajo abierto con sistema de iniciación electrónica*

Iniciación	N° Taladro	Kg de taladro	Camión
Electrónica	911	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	910	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	909	415.00	Q-31EXSA
Electrónica	908	440.00	Q-31EXSA
Electrónica	907	445.00	Q-31EXSA
Electrónica	906	472.00	Q-31EXSA
Electrónica	905	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	904	415.00	Q-31EXSA
Electrónica	903	182.00	Q-31EXSA
Electrónica	902	440.00	Q-31EXSA
Electrónica	901	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	900	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	730	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	620	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	223	385.00	Q-31EXSA
Electrónica	305	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	235	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	310	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	241	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	320	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	250	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	333	481.00	Q-31EXSA

Electrónica	266	472.00	Q-31EXSA
Electrónica	190	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	330	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	201	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	420	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	530	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	202	481.00	Q-31EXSA
Electrónica	206	481.00	Q-31EXSA

---

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

#### **Comentario:**

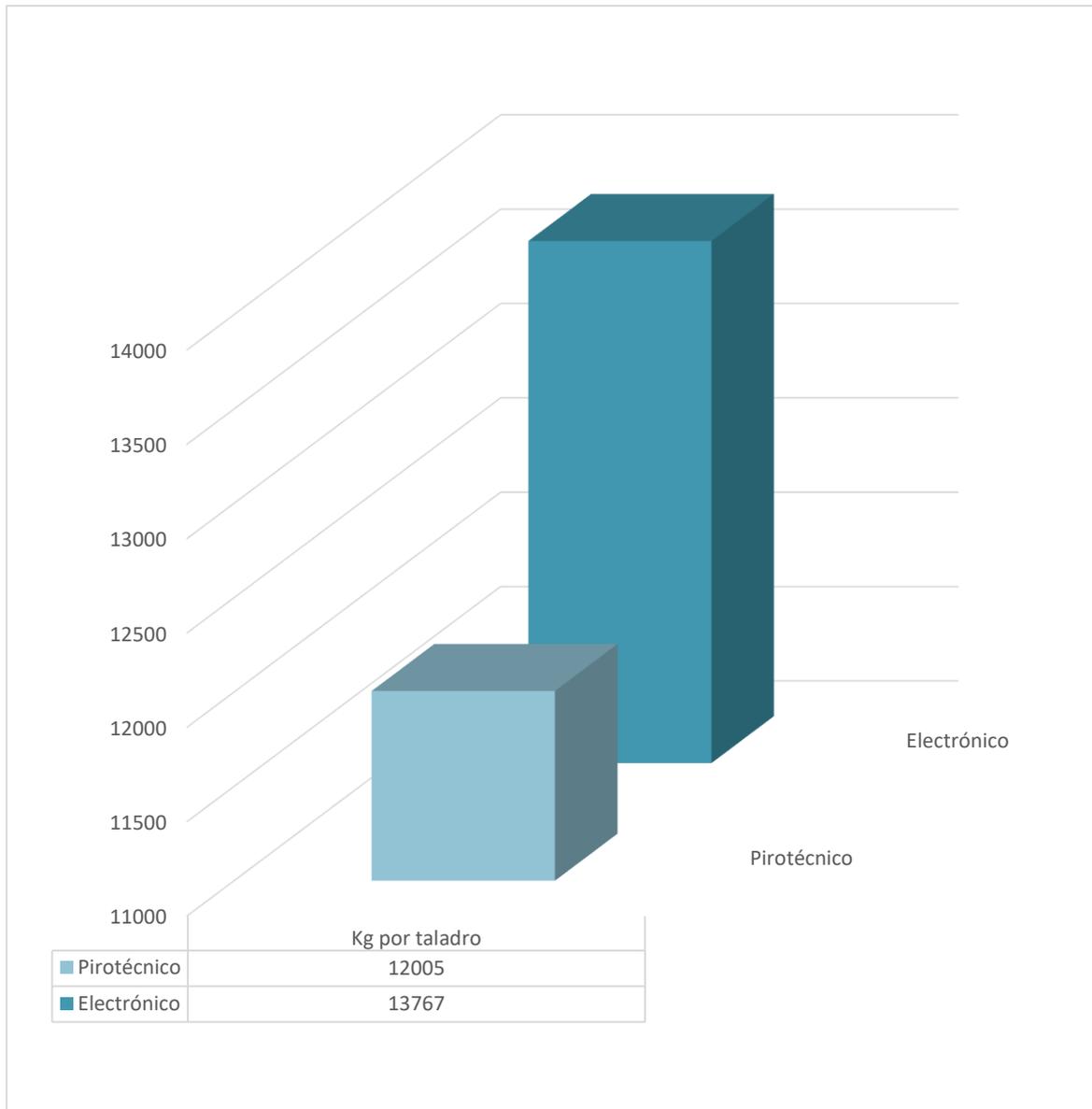
En la tabla N°6 se hace evidente el número de taladros, el kilogramo correspondiente y el camión a utilizar en el sistema de iniciación electrónica.

El camión seleccionado, hace referencia al frente de trabajo, el tiempo de carguío y material que lleva consigo.

De manera técnica, se engloba a los camiones en transporte del cual el alquiler del Q-26 EXSA tiene un valor de \$ 40 y el camión Q-31 EXSA un valor de \$ 67.

**Figura 8**

*Cantidad de explosivo por iniciador*

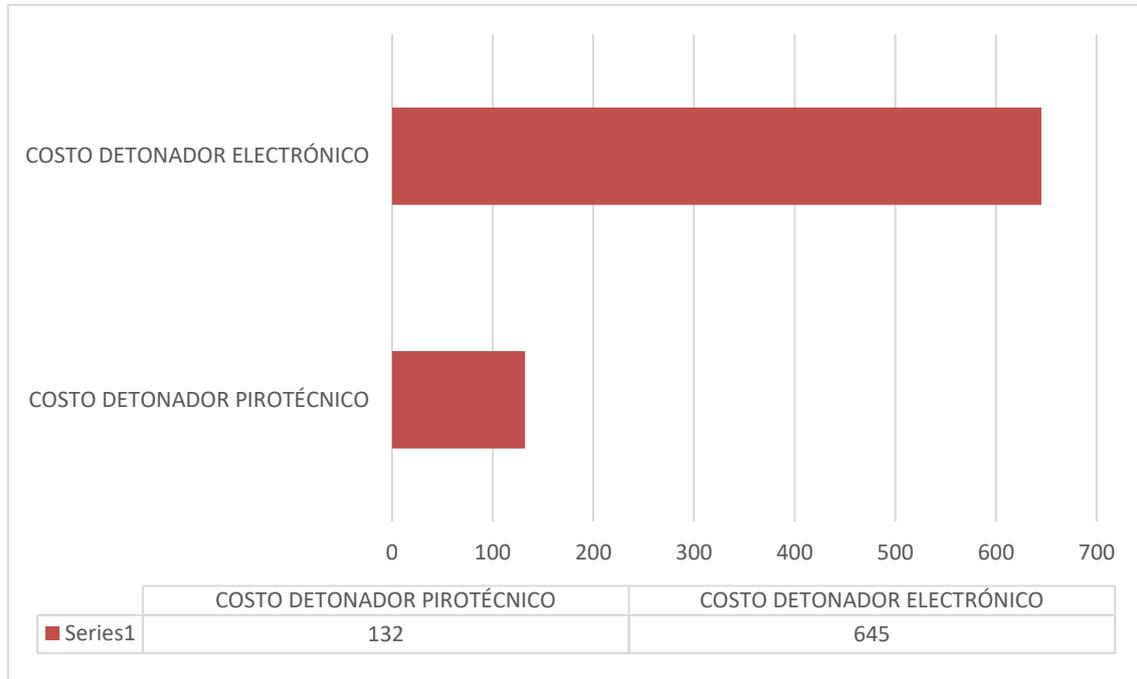


*Nota.* La presente figura muestra la cantidad de kg por taladro de acuerdo al sistema de iniciación seleccionado. Identificando al sistema de iniciación electrónica con mayor tonelaje, impartiendo de esta manera el camión Q-26 EXSA al sistema de iniciación pirotécnica y el camión Q-31 EXSA al sistema de iniciación electrónica.



**Figura 9**

*Costo por detonador electrónico versus pirotécnico en la voladura del banco 3240, de acorde con los indicadores del diseño de voladura, en el mes de enero.*



*Nota.* El costo del detonador electrónico es mayor al del pirotécnico, sin embargo, tras la aplicación de los dos en simultáneo en un mismo banco. La efectividad en tonelaje de producción y fragmentación va de acuerdo con el detonador electrónico, optimizando costos futuros en las demás operaciones como chancado, molienda, carguío y acarreo.

Por lo que utilizarla de manera individual sería pertinente para la optimización de costos en voladura a tajo abierto.

**Tabla 8**

*Costo de explosivos en la voladura del banco 3240 con sistema de iniciación pirotécnico*

	Costo de	Costo	Costo	Costo
Iniciación	Iremita (\$)	nitrato (\$)	emulsión (\$)	booster (\$)
Pirotécnica	2.20	69.1	129.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	151.4	4.15
Pirotécnica	2.20	67.8	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	151.4	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	175.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	151.7	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	151.4	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	151.4	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	175.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	151.7	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	175.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.1	152.1	4.15

Pirotécnica	2.20	69.7	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.8	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.8	151.7	4.15
Pirotécnica	2.20	70.1	151.4	4.15
Pirotécnica	2.20	70.0	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	68.4	175.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.8	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	69.8	152.1	4.15
Pirotécnica	2.20	70	152.1	4.15
	66	2077.7	4627.5	124.5

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

### Tabla 9

*Costo de explosivos en la voladura del banco 3240 con sistema de iniciación electrónica*

Iniciación	Costo emulsión (\$)	Costo booster (\$)
Electrónica	140.2	4.15
Electrónica	139.9	4.15
Electrónica	140.2	4.15
Electrónica	139.5	4.15
Electrónica	139.9	4.15
Electrónica	139.5	4.15
Electrónica	175.1	4.15

Electrónica	175.1	4.15
Electrónica	175.1	4.15
Electrónica	174.7	4.15
Electrónica	175.1	4.15
Electrónica	175.1	4.15
Electrónica	175.1	4.15
Electrónica	204.1	4.15
Electrónica	175.1	4.15
Electrónica	209.2	4.15
Electrónica	208.1	4.15
Electrónica	175.1	4.15
Electrónica	203.7	4.15
Electrónica	204.1	4.15
Electrónica	175.1	4.15
	5020.7	124.5

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

### **Comentario:**

En la tabla N°8 y la tabla N°9 se hace evidente que no utilizan los mismos explosivos, por ende, en esta sección tiene una ventaja el sistema de iniciación electrónica debido a que solo usa la emulsión.

Teniendo como resultado un costo total de \$ 6895.72 en explosivo de para pirotécnico y para electrónico un valor de \$5145.24

### 3.3 Análisis de costos de voladura con el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el mes de enero del año 2021.

Teniendo presente las tablas anteriores, donde se mencionan los parámetros y costos que incide la voladura de enero en el banco 3240, los resultados para optimizar el proyecto de voladura empleando ambos sistemas de iniciación, indican resultados diferenciales.

Por lo que, se presenta una tabla general en donde se evidencia una comparación de costos del sistema de iniciación pirotécnica y electrónica, de acuerdo a lo utilizado en esta voladura.

**Tabla 10**

*Producción y Costos según el sistema de iniciación para la voladura del banco 3240.*

Productividad	Parámetros	Costo USD \$/Tonelada	
		Sistema Pirotécnico	Sistema electrónico
Sistema de iniciación Pirotécnica	Detonadores	132	645
4540.55 Tn/H	Tipo de Explosivos	6895.72	5145.24
Sistema de iniciación Electrónica	Cant. Explosivos	12005	19624
8922.38 Tn/H	Transporte	40	67
	Total (USD\$/Tonelada)	19072.72	19624.24

Fuente: Datos de la investigación, 2021.

#### **Comentario:**

En la tabla N° 10, se presenta los costos de voladura concernientes al sistema de iniciación pirotécnica y electrónica, de manera general.

En donde se evidencia con gran notoriedad que los costos del sistema pirotécnico son mayores al del electrónico, en el tipo de explosivos a utilizar.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

A partir de los hallazgos encontrados, con la información doctrinada expuesta y la información estadística presentada, se evaluó el 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.

Destacando que los resultados obtenidos en el precio alto de los detonadores electrónicos con respecto a los detonadores pirotécnicos son recompensados en la producción y fragmentación, además de que mejora los procesos posteriores. Es indudable el beneficio económico de utilizar detonadores electrónicos en la voladura de rocas.

Debido a que, los resultados de producción de las voladuras con detonadores electrónicos comparado con los de detonadores pirotécnicos son mejores desde el primer disparo. Se mejora la producción en todas las zonas del tajo, lo que se ve reflejado en la mejora de la productividad y optimización de costos en las demás operaciones.

En el banco 3240 las voladuras con detonadores pirotécnicos es 4540.55 Tn/H, mientras con detonadores electrónicos la productividad aumenta a 8922.38 Tn/H; siendo 17.0% la mejora con voladuras de detonadores electrónicos respecto a las voladuras con detonadores pirotécnicos.

Con los resultados obtenidos, el precio alto de los detonadores electrónicos con respecto a los detonadores pirotécnicos es recompensado en la producción, además de que mejora los procesos posteriores. Entonces es indudable el beneficio económico de utilizar detonadores electrónicos en la voladura de rocas.

Estos resultados expuestos, van respaldados por (Ubillús, 2016) en su trabajo de investigación “Implementación de un nuevo sistema de iniciación electrónica en Perú, seguridad y versatilidad”, muestra las características de este sistema de detonación electrónica, demostrando su seguridad y versatilidad a través de experiencias prácticas en campo. Concluye que la mayor ventaja de los detonadores electrónicos es su calidad de exactitud, precisión y flexibilidad de programación.

(Paucar, 2017) en sus estudio: Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y productividad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A. Universidad Nacional del Centro del Perú; toma en consideración el estudio de (Ubillús, 2016) , y obtiene resultados positivos ya que los estudios realizados en la Minera Chinalco con respecto a la voladura con detonadores electrónicos permiten optimizar la fragmentación del macizo rocoso, reduciendo el P80 en la zona oeste 5%, zona este 16.7% con respecto a la voladura con detonadores pirotécnicos. Trayendo como consecuencia una mejora en la producción de 2.1% (zona oeste) y 7.0% (zona este) generando mayor rentabilidad para la mina”.

Finalmente, (Turriate, 2017) quien indica que la consecuencia objeto de la evaluación de los sistemas de iniciación, tiene mayor optimización de capital humano, tiempo y equipos lo que se traduce en reducción de costos, para mejora continua de la productividad

## 4.2 Conclusiones

Se evaluó el 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., tomando en cuenta para ello la determinación de los parámetros de voladura, los costos con respecto a lo indicado y el análisis que describe la optimización de costos de voladura en el banco 3240.

Se determinaron los parámetros, los cuales fueron la altura de banco, el diseño de malla, densidad, número de taladros, tipo de dispositivo, y proveedor electrónico. Para lo cual se muestra que el diseño de malla cambia de acuerdo al empleo de cada sistema de iniciación, y producción tomando para ello PROD 10 5/8 7.0 x 8.0, asimismo según la variante de densidad el número de taladros varía y el tipo de explosivo también , presentando a 70/30 Emul-Q , el mayor porcentaje de uso, los tipos de explosivos se emplean con mayor conteo en el sistema de iniciación pirotécnica, pero con más kg por tonelada en el sistema de iniciación electrónica, es por esto que el uso de camiones abarca más presencia en esta.

Se presentaron costos respecto a los parámetros de voladura, indicando para ello que el detonador electrónico tiene más valor que el pirotécnico. Puesto que, implica una voladura más eficiente, ya que fragmenta, mueve y apila el mineral directamente y reduce la energía desperdiciada en sobre quiebre, vibraciones, ruido, etc. Creando máxima seguridad y eficacia respecto a sus antecesores. Los costos por emulsiones son mayores en el sistema de iniciación pirotécnica, puesto que es convencional.

Se analizó los costos de voladura con el empleo de iniciación electrónica como pirotécnica, demostrando así que los costos totales por parte del sistema pirotécnico confieren un total de 132 USD \$/Tonelada, y por el sistema de iniciación electrónico 645 USD \$/Tonelada, en el parámetro de tipos explosivos, los costos por parte del sistema pirotécnico oscilan en un 6895.72 USD \$/Tonelada y electrónico en 5145.24 USD \$/Tonelada. En cantidad de explosivos el sistema de iniciación electrónico necesita más que el pirotécnico puesto que utiliza menos tipos de explosivos. En transporte el valor del Q-26 EXSA es menor al de Q31 EXSA. Pero en cuanto al indicador de productividad el sistema electrónico es consiguiente puesto que posee un mayor valor al de pirotécnico específicamente un 17% en mejora de voladuras. Por tanto, de acuerdo con la experiencia consignada en esta investigación se relee utilizar el sistema de iniciación electrónico.

## REFERENCIAS

Bernaola A, J., Castilla G, J., & Herrera H, J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid, España.

Bocangel, L., (2015) “*optimización de las operaciones y precios unitarios de minado para la reducción de los costos operativos en mina paula*”, AREQUIPA UNSA.

Brandy, G., & brown, E. (2005). *Rock mechanics for underground mining*. U.S.A.: springer siente.

Bustillos, m., & Jimeno, L. (1991). *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras*. Madrid: Instituto Tecnológico Geo minero de España.

CHIAPPETTA, F. (2014). *New Innovative Blasting Techniques to Improve Fragmentation, Final Highwalls and Plant Throughput*. Pennsylvania-USA.

EXSA SOLUCIONES. S.A. (2013). *Manual Práctico de Voladura*.

EXSA. (2001). *Manual práctico de voladura*. Perú.

Gaona Gonzales, A. J. (2015). *Optimización de la voladura, Mina la Virgen -de la Compañía Minera San Simón- Huamachuco Trujillo* (Tesis de pregrado). Piura: Universidad Nacional de Piura.

HERNANDEZ, S. y OTROS (2007) *Metodología de Investigación*. Mc. Graw-Hill. México.

Hinostroza Sierra, J. R. (2014). *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de la doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor DE San Marcos. Lima, Perú.

Huamán, B. A. (2010). *Implementación De Un Nuevo Sistema De iniciación Electrónica En Perú - Seguridad Y Versatilidad*”. Lima-Perú.

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO DE ESPAÑA. (1994). *Manual de Voladura Rocas*. España.

Instituto Tecnológico Geo Minero de España. (1991). *Manual de Perforación y Voladura*. Madrid -España.

Jimeno, L. (1998). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: Instituto Tecnológico Geo minero de España.

Kenzie, M. (1994). *Estado del Arte de la Tronadura*. Santiago de Chile.

Leiva Torres, A. (2007). *Influencia de la Optimización de la Fragmentación de Roca en la Rentabilidad de las operaciones Mina- Molienda*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad católica del Perú, Perú.

Loza Carazas, Robert Antonio. (2013), *“Aplicación del Método de Holmberg para el Mejoramiento de la Malla de Voladura en la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. Tacna.*

Mancera, O. A., Serrano, O. A., & Guerrero Páez, A. (2011). *Comparación entre el sistema de iniciación nonel y electrónico en las voladuras y su efecto en la fragmentación, forma de la pila costos de producción y vibraciones.* pág. 17.

Miranda S, Y. (2009). *Estudio del rendimiento entre detonadores electrónicos y no eléctricos e implicancia en la economía del proceso y seguridad en tajo abierto.* (tesis de pregrado). Lima-Perú.

Persson, A., Holmberg, R., & Lee, J. (1999). *Rock Flashing and Explosives Engineering.*

Poma F, J. (2012). *Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill Caso Minera Yanacocha-* (Tesis de pregrado). PUCP. Lima- Perú.

Poma Fernández, J. L. (2016). *Importancia de la Fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

Pomaylle, Q., & Vásquez, P. (2013). *Voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la profundización del pique N°2, mina teresita* (Tesis Pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. . Huancavelica- Perú.

Ramirez, P., Lain, R., & Grijaldo, E. (1991). *Mecánica de rocas aplicada a la minería a cielo abierto*. Madrid: Instituto Geológico Minero de España.

Roberto Hernández Sampieri. *Metodología de Investigación*, 6ta. Edición.

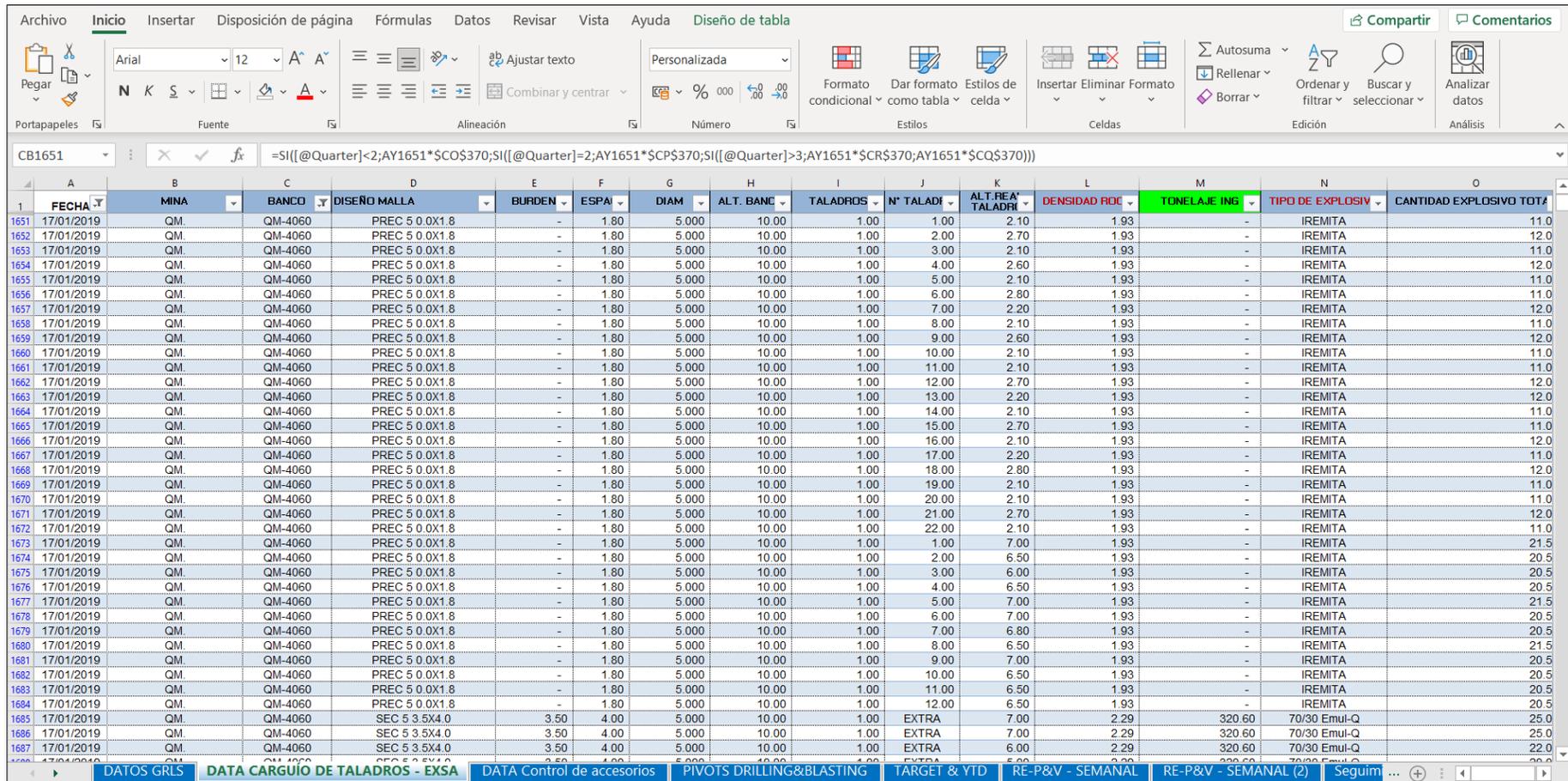
Romero Paucar, R. (2016). “*Voladura con Detonadores Electrónicos para Optimizar la Fragmentación y Seguridad en el Tajo Toromocho- Minera Chinalco Perú S.A.* (Tesis de Pregrado) . Huancayo. Perú.

Wilfredo Ojeda Mestas (2003), “*Diseño de Mallas de Perforación y Voladura Subterránea Aplicando un Modelo Matemático*”. Huancayo.

## ANEXOS

**Figura 10**

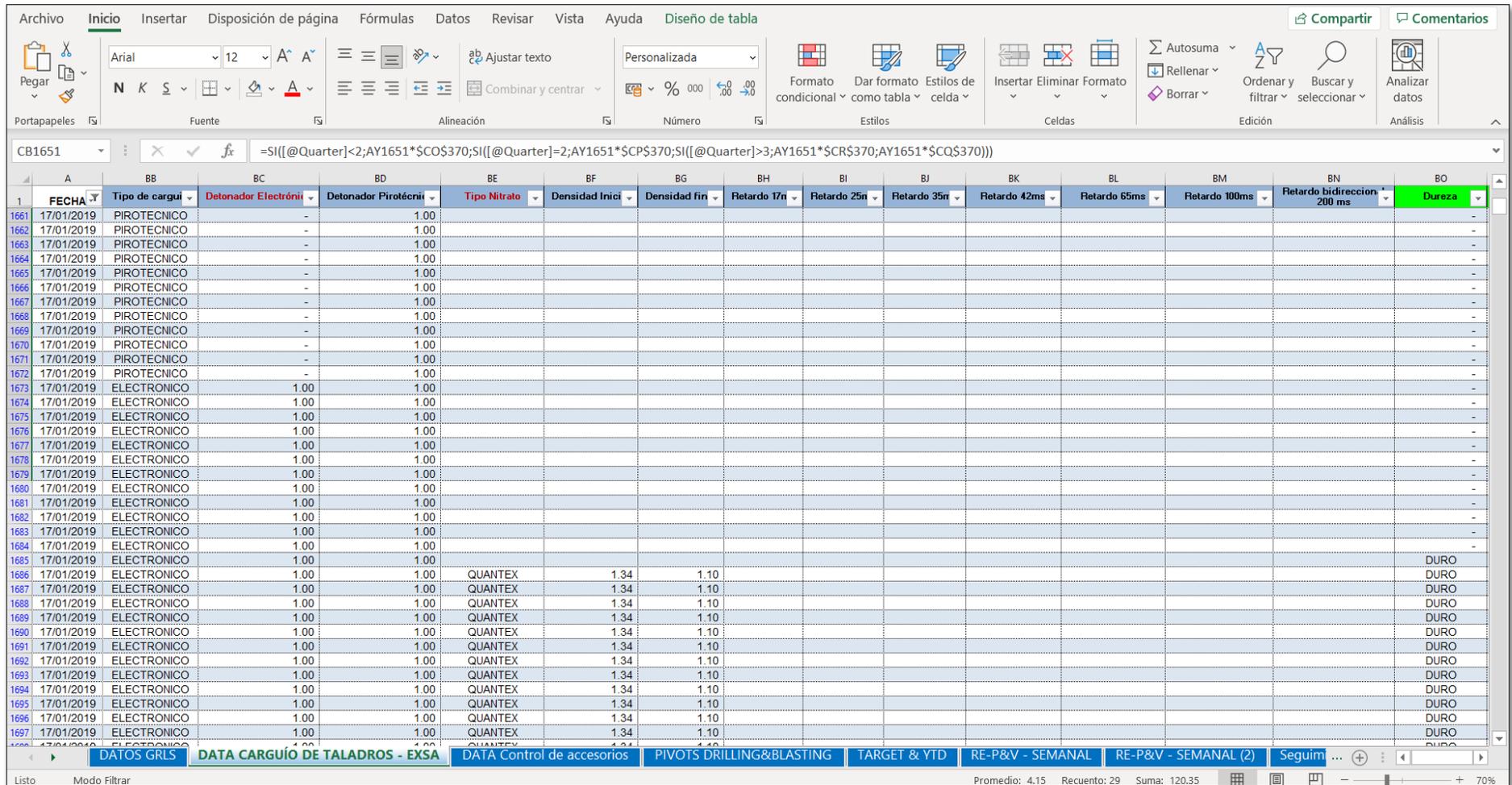
*Instrumento 01: Base de datos – Resultados de voladura con el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca, en el mes de enero del año 2021.*



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
FECHA	BANCO	BANCO	DISEÑO MALLA	BURDEN	ESPA	DIAM	ALT. BANC	TALADROS	N° TALADR	ALT. REAL TALADR	DENSIDAD RDC	TONELAJE ING	TIPO DE EXPLOSIV	CANTIDAD EXPLOSIVO TOTAL	
1651	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	1.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1652	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	2.00	2.70	1.93	-	IREMITA	12.0
1653	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	3.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1654	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	4.00	2.60	1.93	-	IREMITA	12.0
1655	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	5.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1656	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	6.00	2.80	1.93	-	IREMITA	11.0
1657	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	7.00	2.20	1.93	-	IREMITA	12.0
1658	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	8.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1659	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	9.00	2.60	1.93	-	IREMITA	12.0
1660	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	10.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1661	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	11.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1662	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	12.00	2.70	1.93	-	IREMITA	12.0
1663	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	13.00	2.20	1.93	-	IREMITA	12.0
1664	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	14.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1665	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	15.00	2.70	1.93	-	IREMITA	11.0
1666	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	16.00	2.10	1.93	-	IREMITA	12.0
1667	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	17.00	2.20	1.93	-	IREMITA	11.0
1668	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	18.00	2.80	1.93	-	IREMITA	12.0
1669	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	19.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1670	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	20.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1671	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	21.00	2.70	1.93	-	IREMITA	12.0
1672	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	22.00	2.10	1.93	-	IREMITA	11.0
1673	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	1.00	7.00	1.93	-	IREMITA	21.5
1674	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	2.00	6.50	1.93	-	IREMITA	20.5
1675	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	3.00	6.00	1.93	-	IREMITA	20.5
1676	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	4.00	6.50	1.93	-	IREMITA	20.5
1677	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	5.00	7.00	1.93	-	IREMITA	21.5
1678	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	6.00	7.00	1.93	-	IREMITA	20.5
1679	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	7.00	6.80	1.93	-	IREMITA	20.5
1680	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	8.00	6.50	1.93	-	IREMITA	21.5
1681	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	9.00	7.00	1.93	-	IREMITA	20.5
1682	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	10.00	6.50	1.93	-	IREMITA	20.5
1683	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	11.00	6.50	1.93	-	IREMITA	20.5
1684	17/01/2019	QM	QM-4060	PREC 5 0.0X1.8	-	1.80	5.000	10.00	1.00	12.00	6.50	1.93	-	IREMITA	20.5
1685	17/01/2019	QM	QM-4060	SEC 5 3.5X4.0	3.50	4.00	5.000	10.00	1.00	EXTRA	7.00	2.29	320.60	70/30 Emul-Q	25.0
1686	17/01/2019	QM	QM-4060	SEC 5 3.5X4.0	3.50	4.00	5.000	10.00	1.00	EXTRA	7.00	2.29	320.60	70/30 Emul-Q	25.0
1687	17/01/2019	QM	QM-4060	SEC 5 3.5X4.0	3.50	4.00	5.000	10.00	1.00	EXTRA	6.00	2.29	320.60	70/30 Emul-Q	22.0
1688	17/01/2019	QM	QM-4060	SEC 5 3.5X4.0	3.50	4.00	5.000	10.00	1.00	EXTRA	5.00	2.29	320.60	70/30 Emul-Q	20.0

**Figura 11**

*Instrumento 02: Base de datos – Resultados de voladura en fragmentación con el sistema de iniciación pirotécnica y el sistema de iniciación electrónica en el banco 3240 de una mina a tajo abierto en Cajamarca, en el mes de enero del año 2021.*



	A	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO
1	FECHA	Tipo de cargui	Detonador Electróni	Detonador Pirotécni	Tipo Nitrato	Densidad Inici	Densidad fin	Retardo 17n	Retardo 25n	Retardo 35n	Retardo 42ms	Retardo 65ms	Retardo 100ms	Retardo bidireccion 200 ms	Dureza
1661	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1662	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1663	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1664	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1665	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1666	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1667	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1668	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1669	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1670	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1671	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1672	17/01/2019	PIROTECNICO	-	1.00											-
1673	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1674	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1675	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1676	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1677	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1678	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1679	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1680	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1681	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1682	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1683	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1684	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1685	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00											-
1686	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1687	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1688	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1689	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1690	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1691	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1692	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1693	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1694	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1695	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1696	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO
1697	17/01/2019	ELECTRONICO	1.00	1.00	QUANTEX	1.34	1.10								DURO