

# ESCUELA DE POSGRADO NEWMAN

MAESTRÍA EN  
GESTIÓN MINERA Y AMBIENTAL



**" Propuesta de mejora de seguridad y eficiencia en  
el proceso de Voladura mediante la  
Implementación de detonadores electrónicos en  
Mina La Arena S.A. "**

**Trabajo de Investigación  
para optar el Grado a Nombre de la Nación de:**

Maestro en  
Gestión Minera y Ambiental

**Autor:**  
Bach. Bazán Cupri, Angela María

**Docente Guía:**  
Mag. Ticona Corrales, Sergio

TACNA – PERÚ  
2024

## 3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado

«El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor o autores». Escuela de Posgrado Newman

### **AGRADECIMIENTO**

A YHWH, por permitirme hacer realidad todos los deseos de mi corazón.

A mi madre; Ángela Sofía, por su amor inmenso, sacrificio y su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A Fiorella Limo, mi amiga del alma, por su soporte en todo este proceso.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>14</b>
<b>ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....</b>	<b>14</b>
1.1    TÍTULO DEL TEMA.....	14
1.2    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.3    OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
1.3.1    OBJETIVO GENERAL .....	18
1.3.2    OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>1.4    METODOLOGÍA .....</b>	<b>19</b>
1.4.1    TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	19
1.4.2    NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	19
1.4.3    MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.4    DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.5    TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	20
1.4.6    PROCEDIMIENTOS PARA CUMPLIMIENTOS DE OBJETIVOS .....	21
1.4    JUSTIFICACIÓN .....	22
1.5    DEFINICIONES.....	25
1.6    ALCANCES Y LIMITACIONES .....	29
1.7    CRONOGRAMA.....	33
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>34</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>34</b>
2.1.    CONCEPTUALIZACIÓN DE LA VARIABLE .....	34
2.2.    IMPORTANCIA DE LAS VARIABLES.....	34
2.3.    ANÁLISIS COMPARATIVO .....	50
2.4.    ANÁLISIS CRÍTICO .....	54
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>56</b>
<b>MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>56</b>

3.1	RESEÑA HISTÓRICA .....	56
3.2	FILOSOFÍA ORGANIZACIONAL .....	58
3.2.1	MISIÓN .....	58
3.2.2	VISIÓN .....	58
3.2.3	ESTRATEGIA CORPORATIVA .....	58
3.2.4	VALORES .....	59
3.2.5	POLÍTICA SIG DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE .....	60
3.3	DISEÑO ORGANIZACIONAL .....	61
3.4	PRODUCTOS .....	62
3.5	DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL.....	63
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>64</b>
<b>RESULTADOS .....</b>		<b>64</b>
4.1	MARCO METODOLÓGICO.....	64
4.1.1.	TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO.....	64
4.1.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	65
4.1.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	66
4.2	DIAGNÓSTICO .....	66
4.3	DISEÑO DE LA MEJORA .....	71
4.3.1.	GESTIÓN DE SEGURIDAD Y CRITERIO DE EVALUACIÓN .....	76
4.3.1.1.	TASA DE BACK UP .....	79
4.3.2.	INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA OPERACIONAL.....	82
4.3.2.1.	GESTIÓN DE TIEMPOS EN PRODUCCIÓN POR VOLADURA .....	83
4.3.2.2.	FRAGMENTACIÓN Y DIG RATE (PRODUCTIVIDAD) .....	88
4.3.2.3.	VIBRACIONES.....	94
4.3.2.4.	SECUENCIAS DE INICIACIÓN .....	98
4.3.2.5.	MENSAJES DEL SISTEMA .....	100
4.3.2.6.	BENEFICIO ECONÓMICO .....	102
4.3.3.	RESUMEN .....	103
4.4	MECANISMOS DE CONTROL .....	105
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>107</b>
<b>SUGERENCIAS .....</b>		<b>107</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>107</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>112</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>117</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Operacionalización de las variables.</i>	34
<b>Tabla 2</b>	<i>Principales detonadores electrónicos comercializados en Perú.</i>	44
<b>Tabla 3</b>	<i>Análisis comparativo entre los tres tipos de detonadores.</i>	51
<b>Tabla 4</b>	<i>Datos generales de mina La Arena S.A.</i>	58
<b>Tabla 5</b>	<i>Matriz FODA de mina La Arena S.A.</i>	63
<b>Tabla 6</b>	<i>Características técnicas sist. no eléctrico y electrónico I-KON™.</i>	69
<b>Tabla 7</b>	<i>Cantidad de tiros quedados últimos 5 años en mina La Arena S.A.</i>	70
<b>Tabla 8</b>	<i>Cuadro resumen de voladuras con detonadores no-eléctricos.</i>	71
<b>Tabla 9</b>	<i>Cuadro resumen de voladuras con detonadores electrónicos.</i>	72
<b>Tabla 10</b>	<i>Consumo de dets no eléctricos, electrónicos, back up y TQs.</i>	75
<b>Tabla 11</b>	<i>Criterio de evaluación de seguridad.</i>	77
<b>Tabla 12</b>	<i>Resultados de seguridad con el sistema electrónico i-Kon™.</i>	78
<b>Tabla 13</b>	<i>Resultados generales de seguridad sistema electrónico i-Kon™.</i>	79
<b>Tabla 14</b>	<i>Criterio de evaluación tasa de back up detonadores electrónicos.</i>	80
<b>Tabla 15</b>	<i>Cantidad y tasa de back up por voladura electrónica.</i>	81
<b>Tabla 16</b>	<i>Evaluación tasa de back up con detonadores electrónicos.</i>	81
<b>Tabla 17</b>	<i>Criterio de evaluación gestión del tiempo dets electrónicos.</i>	83
<b>Tabla 18</b>	<i>Horarios de voladura con detonadores no eléctricos.</i>	84
<b>Tabla 19</b>	<i>Horarios de voladura con detonadores electrónicos.</i>	86
<b>Tabla 20</b>	<i>Evaluación de la gestión del tiempo en ambos tipos de voladuras.</i>	87
<b>Tabla 21</b>	<i>FP – P80 – Dig Rate en voladuras con detonadores no eléctricos.</i>	89
<b>Tabla 22</b>	<i>FP – P80 – Dig Rate en voladuras con detonadores electrónicos.</i>	89
<b>Tabla 23</b>	<i>Resultados de vibraciones con detonadores no eléctricos.</i>	94
<b>Tabla 24</b>	<i>Resultados de vibraciones con detonadores electrónicos.</i>	95

<b>Tabla 25</b>	<i>Cálculo de costos de PyV con dets no eléctricos y electrónicos.</i>	102
<b>Tabla 26</b>	<i>Ahorro generado con detonadores electrónicos.</i>	103
<b>Tabla 27</b>	<i>Resumen de resultados.</i>	104



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Plano de ubicación de mina La Arena S.A</i> .....	31
<b>Figura 2</b>	<i>Vista panorámica de mina La Arena S.A.</i> .....	32
<b>Figura 3</b>	<i>Diagrama de Gantt para la propuesta mejora.</i> .....	33
<b>Figura 4</b>	<i>Partes de un detonador pirotécnico.</i> .....	40
<b>Figura 5</b>	<i>Detonador eléctrico instantáneo y de retardo.</i> .....	41
<b>Figura 6</b>	<i>Detonador electrónico.</i> .....	43
<b>Figura 7</b>	<i>Microchip del detonador electrónico.</i> .....	44
<b>Figura 8</b>	<i>Componentes del sistema electrónico i-kon™.</i> .....	47
<b>Figura 9</b>	<i>Modos de disparo sistema electrónico i-kon™.</i> .....	48
<b>Figura 10</b>	<i>Detonador electrónico i-kon™</i> .....	49
<b>Figura 11</b>	<i>Estructura interna del detonador electrónico i-kon™.</i> .....	50
<b>Figura 12</b>	<i>Diferencias entre el detonador no eléctrico y electrónico.</i> .....	52
<b>Figura 13</b>	<i>Diferencias entre el detonador eléctrico y electrónico.</i> .....	53
<b>Figura 14</b>	<i>Diferencias de detonadores pirotécnico, eléctrico y electrónico.</i> ..	53
<b>Figura 15</b>	<i>Precisión del tiempo de retardo vs la desviación estándar.</i> .....	54
<b>Figura 16</b>	<i>Política SIG de Seguridad, Salud y Medio Ambiente, PAS Perú.</i> ..60	60
<b>Figura 17</b>	<i>Organigrama gerencia de mina La Arena S.A y área de PyV.</i> .....	61
<b>Figura 18</b>	<i>Proceso suministro de mina La Arena S.A.</i> .....	62
<b>Figura 19</b>	<i>Cantidad de tiros quedados últimos 5 años mina La Arena S.A</i> ...	70
<b>Figura 20</b>	<i>Voladuras 1er Trimestre 2024 mina La Arena S.A.</i> .....	73
<b>Figura 21</b>	<i>Consumos, TQs y back up con detonadores no eléctricos.</i> .....	74
<b>Figura 22</b>	<i>Consumos, TQs y back up con detonadores electrónicos.</i> .....	74
<b>Figura 23</b>	<i>Consumo acumulado de detonadores electrónicos.</i> .....	76

<b>Figura 24</b>	<i>Causas de back up con detonadores electrónicos.</i>	82
<b>Figura 25</b>	<i>Gestión de tiempos de disparo con detonadores no eléctricos.</i>	85
<b>Figura 26</b>	<i>Gestión de tiempos de disparo con detonadores electrónicos.</i>	86
<b>Figura 27</b>	<i>FP, P80 y Dig Rate con detonadores no eléctricos.</i>	90
<b>Figura 28</b>	<i>FP, P80 y Dig Rate con detonadores electrónicos.</i>	91
<b>Figura 29</b>	<i>P80 con detonadores no eléctricos vs detonadores electrónicos.</i>	92
<b>Figura 30</b>	<i>Dig Rate con dets no eléctricos vs dets electrónicos.</i>	93
<b>Figura 31</b>	<i>Vibraciones con detonadores no eléctricos vs electrónicos.</i>	96
<b>Figura 32</b>	<i>Niveles de percepción - Criterio de Steffens.</i>	97
<b>Figura 33</b>	<i>Secuencia de detonación para detonadores electrónicos.</i>	99
<b>Figura 34</b>	<i>Tiempos nominales detonador no eléctrico.</i>	100
<b>Figura 35</b>	<i>Mensajes de error del sistema electrónico i-Kon™.</i>	101

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado "Propuesta de mejora de seguridad y eficiencia en el proceso de Voladura mediante la Implementación de detonadores electrónicos en mina La Arena S.A." aborda la necesidad de mejorar los métodos de voladura en la mina La Arena S.A., Perú, mediante la implementación de detonadores electrónicos. Actualmente, se utilizan métodos convencionales de detonación (detonadores no eléctricos) que presentan problemas significativos en términos de seguridad y eficiencia, como la precisión en la fragmentación de rocas y el riesgo de detonaciones no controladas.

El objetivo general del estudio es proponer mejoras en la seguridad y eficiencia de las voladuras utilizando detonadores electrónicos, comparando su desempeño con los sistemas tradicionales de iniciación. Se plantean objetivos específicos como identificar los beneficios de los detonadores electrónicos, analizar su impacto en la prevención de tiros quedados, y evaluar las mejoras en la fragmentación, productividad, vibraciones y costos operativos.

Esta investigación es de tipo aplicada y descriptiva-explicativa, la cual utiliza el método comparativo y longitudinal. Para este estudio se analizaron 20 voladuras realizadas en el primer trimestre de 2024, divididas equitativamente entre detonadores electrónicos y no eléctricos. Los resultados muestran que los detonadores electrónicos mejoran significativamente la precisión y seguridad de las voladuras, reducen los costos operativos y aumentan la eficiencia de la operación minera.

El trabajo concluye que la implementación de detonadores electrónicos en la mina La Arena, es una solución viable y beneficiosa, recomendando su adopción para optimizar la operación minera de esta mina y mejorar las condiciones de seguridad.

## ABSTRACT

This research paper, titled 'Proposal to Improve Safety and Efficiency in the Blasting Process through the Implementation of Electronic Detonators at La Arena Mine S.A.', addresses the need to enhance blasting methods at La Arena Mine S.A., Peru, by implementing electronic detonators. Currently, conventional detonation methods (non-electric detonators) are used, which present significant problems in terms of safety and efficiency, such as precision in rock fragmentation and the risk of uncontrolled detonations.

The general objective of the study is to propose improvements in the safety and efficiency of blasting using electronic detonators, comparing their performance with traditional initiation systems. Specific objectives include identifying the benefits of electronic detonators, analyzing their impact on preventing misfires, and evaluating improvements in fragmentation, productivity, vibrations, and operating costs.

This research is applied and descriptive-explanatory, using a comparative and longitudinal method. For this study, 20 blasts carried out in the first quarter of 2024 were analyzed, divided equally between electronic and non-electric detonators. The results show that electronic detonators significantly improve the precision and safety of blasting, reduce operating costs, and increase the efficiency of mining operations.

The work concludes that the implementation of electronic detonators at La Arena Mine is a viable and beneficial solution, recommending its adoption to optimize the mining operation of this mine and improve safety conditions.

## INTRODUCCIÓN

En el vasto y desafiante mundo de la minería, la seguridad y la eficiencia son pilares fundamentales para el éxito de las operaciones. Mina La Arena S.A., con su rica historia y prominencia en la industria minera peruana, enfrenta retos constantes en su búsqueda de métodos más seguros y efectivos. Este trabajo de investigación propone una mejora significativa en el proceso de voladura mediante la implementación de detonadores electrónicos, una tecnología avanzada que promete transformar la forma en que se realizan estas operaciones críticas.

La voladura, un proceso esencial en la extracción de minerales, no está exenta de riesgos y complicaciones. Los métodos tradicionales de detonación, aunque efectivos, presentan limitaciones en términos de precisión, control y seguridad. La implementación de detonadores electrónicos en la mina La Arena S.A. no solo busca mitigar estos riesgos, sino también optimizar el proceso, logrando una fragmentación más uniforme de las rocas, reduciendo la incidencia de tiros quedados, y mejorando la eficiencia operativa general.

Los resultados de este trabajo de investigación son prometedores. Se ha demostrado que el uso de detonadores electrónicos en otras operaciones mineras alrededor del Perú y el mundo lo cual ha llevado a una mejora notable en la seguridad y la eficiencia en todas estas operaciones mineras. En particular, la mina La Arena S.A. puede esperar una reducción en los costos operativos, un menor impacto ambiental debido a una menor vibración y dispersión de escombros, y una mayor seguridad para sus trabajadores.

Esta propuesta no solo se fundamenta en teorías y estudios previos, sino que también se apoya en datos concretos obtenidos durante el primer trimestre del 2024 en mina La Arena S.A. El análisis comparativo entre los detonadores tradicionales (no

electrónicos) y los detonadores electrónicos muestra una clara ventaja de estos últimos en varios aspectos críticos de la operación minera.

A través de este trabajo, se proporciona una hoja de ruta clara (propuesta de mejora) y viable para la implementación de detonadores electrónicos en la mina La Arena S.A., destacando no solo los beneficios esperados sino también los pasos necesarios para lograr una transición exitosa. Con un enfoque en la seguridad y la eficiencia operativa, este estudio se convierte en una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la gestión minera y ambiental.

En resumen, la implementación de detonadores electrónicos en la mina La Arena S.A. no es solo una propuesta de mejora técnica; es una apuesta por un futuro más seguro, eficiente y sostenible para la minería en el Perú.